

А. С. Вильгельм, М. М. Никифоров

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ УСИЛЕНИЯ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ИНТЕРВАЛЬНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

Аннотация. В статье предложена структура имитационной модели взаимодействия системы тягового электроснабжения и электроподвижного состава для выполнения многовариантных расчетов пропускной способности участков железных дорог с учетом планов реализации проекта внедрения технологии интервального регулирования движения поездов. В качестве апробации предлагаемой модели выполнена оценка пиковых мощностей тяговых подстанций при реализации различных графиков движения поездов с применением интервального регулирования на двухпутном электрифицированном участке железной дороги для существующего варианта комплектации системы тягового электроснабжения и вариантов ее усиления. На примере однопутного участка показано, что применение предлагаемой имитационной модели позволит оценивать варианты построения системы тягового электроснабжения для неэлектрифицированных участков при различных перспективных схемах пропуска поездов. Предложенная имитационная модель может использоваться для сравнения технико-экономических показателей различных вариантов усиления системы тягового электроснабжения, моделирования поставарийных ситуаций и оценки пропускной способности системы тягового электроснабжения при восстановлении графика движения поездов, определения минимально возможных межпоездных интервалов.

Ключевые слова: система тягового электроснабжения, график движения поездов, пиковая мощность, тяговые расчеты, электрические расчеты, интервальное регулирование движения поездов.

Для цитирования: Вильгельм, А. С. Применение имитационного моделирования для оценки эффективности вариантов усиления системы тягового электроснабжения при интервальном регулировании движения поездов / А. С. Вильгельм, М. М. Никифоров // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 2. – С. 48–56. – DOI 10.46973/0201-727X_2024_2_48.

Темпы роста потребностей в грузоперевозках на Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралях [1] диктуют свои условия для развития системы организации тяги поездов [2]. Так, например, постепенно расширяется полигон использования системы интервального регулирования и технологии «виртуальная сцепка» [3–5]. При этом одним из основных лимитирующих параметров по пропускной и провозной способности участков является работа системы тягового электроснабжения (далее – СТЭ).

Общая протяженность участков направления Кузбасс – Дальний Восток, на которых по устройствам электроснабжения не обеспечиваются перспективные размеры движения поездов к 2025 году, составляет более 6000 км. Для решения данной проблемы планируются к внедрению такие мероприятия, как обновление оборудования и устройств хозяйства электроснабжения, модернизация БАМа и Транссиба, увеличение пропускной способности участка Артышта – Междуреченск – Тайшет и др.

Для обоснованного проектирования усиления СТЭ необходима разработка модели многовариантных расчетов Восточного полигона, с учетом планируемых к реализации проектов модернизации Транссиба и БАМа до 2025 года и внедрения технологии интервального регулирования движения поездов.

Для достижения этой цели необходимо решение следующих задач:

– разработка имитационных моделей СТЭ в границах участков Восточного полигона, в том числе для существующих условий и планируемых к реализации проектов модернизации Транссиба и БАМа до 2025 года;

– анализ факторов, лимитирующих пропускную способность по элементам СТЭ в границах рассматриваемого полигона по результатам имитационного моделирования;

– оценка потенциала повышения пропускной способности в границах участков полигона к 2025 году при реализации планов по усилению СТЭ и электрификации БАМа, а также при внедрении технологии интервального регулирования движения поездов;

– определение пиковых мощностей тяговых нагрузок на шинах тяговых подстанций рассматриваемых участков для обеспечения расчетной пропускной способности;

– разработка рекомендаций по первоочередному усилению СТЭ в границах рассматриваемых участков;

– прогноз увеличения отгрузки продукции при различных вариантах усиления СТЭ Восточного полигона железных дорог и внедрения технологии интервального регулирования движения поездов.

Несмотря на существенный потенциал рекуперативного торможения на участках Восточного полигона [6–8], в особенности с учетом увеличения массы поездов и размеров движения [9], тяговые расчеты и оценка режимов работы СТЭ выполнены для варианта без рекуперативного торможения (для случая наибольшей загрузки тяговых подстанций) в соответствии с [10–12].

В качестве расчетного участка для апробации имитационной модели был выбран участок Аячи – Бамовская Забайкальской железной дороги протяженностью 187,2 км, включающий в себя четыре межподстанционные зоны (далее – МПЗ), получающие питание от шести тяговых подстанций (рис. 1). Тяговые расчеты выполнены для электровозов ЗЭС5К с поосным регулированием силы тяги для вождения поездов массой 6300 и 7100 т. В нечетном направлении к расчету приняты порожние поезда массой 3200 т. Описание участка Аячи – Бамовская представлены на рис. 1.

На основе тяговых расчетов были сформированы модели графиков движения поездов с учетом заданных весовых норм и межпоездных интервалов по следующим схемам, в которых «с» обозначает поезда массой 6300 т, «Н» – 7100 т:

- график 1 – пакетный пропуск 72 поездов по схеме «Н-с-с-с» в четном направлении с интервалом 10 мин с 72 поездами массой 3200 т в нечетном направлении (далее ГДП-1);
- график 2 – пакетный пропуск 72 поездов по схеме «Н-Н-Н-Н» в четном направлении с интервалом 10 мин с 72 поездами массой 3200 т в нечетном направлении (далее ГДП-2);
- график 3 – пакетный пропуск 80 поездов по схеме «Н-с-с-с» в четном направлении с интервалом 8 мин с 80 поездами массой 3200 т в нечетном направлении (далее ГДП-3);
- график 4 – пакетный пропуск 80 поездов по схеме «Н-Н-Н-Н» в четном направлении с интервалом 8 мин с 80 поездами массой 3200 т в нечетном направлении (далее ГДП-4).

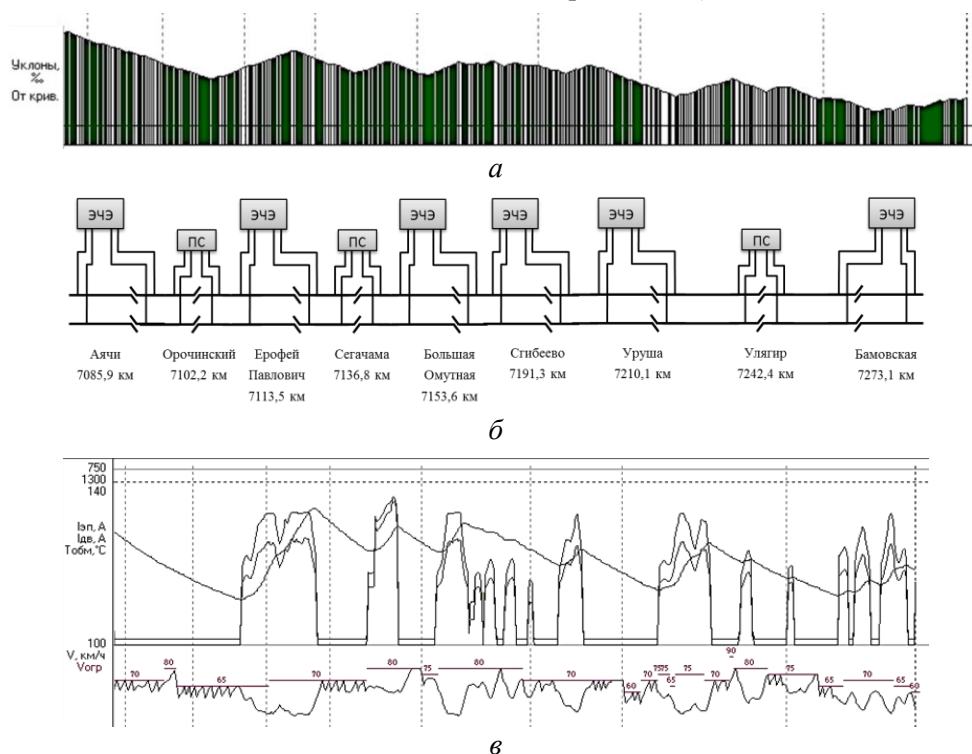


Рис. 1. Описание участка Аячи – Бамовская:

а – спрямленный профиль пути; б – схема расположения объектов системы тягового электроснабжения; в – результаты тяговых расчетов

Первые два расчетных графика (ГДП-1 и ГДП-2) соответствуют базовым размерам движения поездов. ГДП-3 и ГДП-4 соответствуют перспективным размерам движения поездов на 2025 год.

Затем были выполнены электрические расчеты работы СТЭ для представленных вариантов организации (графиков) движения поездов. В общем суточном электрическом расчете режимов работы СТЭ участка были определены расходы активной и реактивной энергии по тяговым подстанциям, потери энергии в трансформаторах и тяговой сети, нагрузки трансформаторов, нагрев проводов, напряжения на токоприемниках электропоездов (минимальные и трехминутные) и выявлены ограничивающие параметры СТЭ. Характеристики рабочего режима участка Аячи – Бамовская на примере организации движения поездов по ГДП-1 представлены в табл. 1.

Для выявления пиковых значений нагрузки тяговых подстанций были выполнены электрические поминутные расчеты мгновенных схем работы участка за сутки (всего 1440 расчетов). Пример результатов такого расчета для мгновенной схемы пикового момента (на 525-й минуте расчета) для случая с четырьмя поездами на подъеме в тяге в МПЗ Ерофей Павлович – Большая Омутная с наиболее сложным профилем пути на расчетном участке в четном направлении приведен на рис. 2.

Таблица 1

Основные характеристики рабочего режима участка Аячи – Бамовская при реализации ГДП-1

Параметр	Значение	Примечание
Расход энергии: – активной, кВт·ч	1 834 960	Потери в тяговой сети 39 763 кВт·ч (2,2 %)
– реактивной, квар·ч	737 457	
Ограничивающий коэффициент нагрузки	0,69	ЭЧЭ Большая Омутная (доп. знач. – 1,5 в течение 10 мин)
Температура трансформатора, °С	66	ЭЧЭ Большая Омутная (доп. знач. – 95 °С)
Минимальное напряжение, кВ	23,57	1-й путь зоны Ерофей Павлович – Большая Омутная, поезд № 5 на 7136,68 км (184 мин)
Ограничение по температуре, °С: – контактная сеть	53	Ф2 ЭЧЭ Большая Омутная (при допустимой температуре 95° в течение 20 мин) ЭЧЭ Большая Омутная (при допустимой температуре 90° в течение 20 мин)
– отсасывающая линия	49	

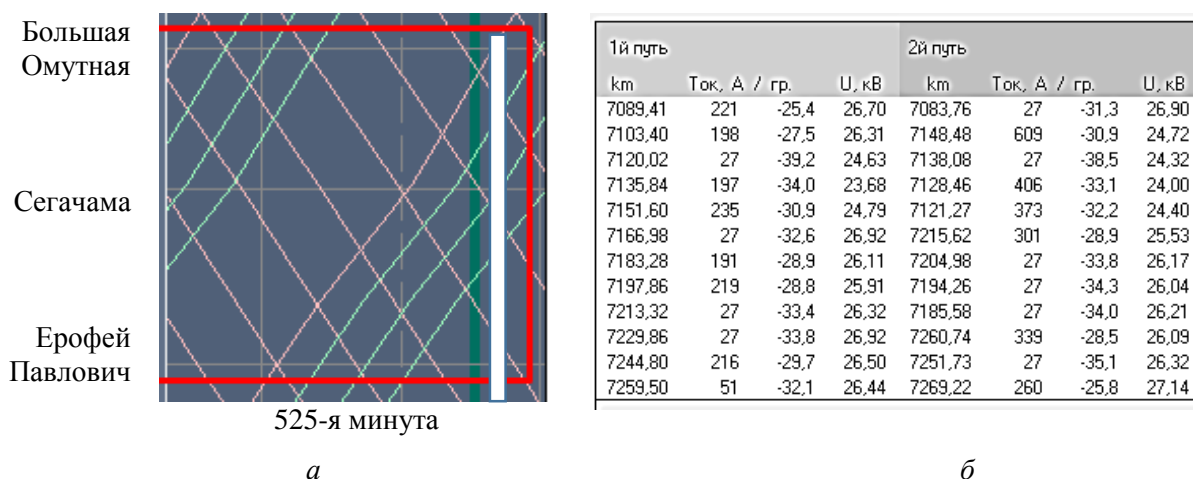


Рис. 2. Фрагмент графика движения поездов (а) и нагрузка мгновенной схемы (б) для 525-й минуты расчета

На основе полученных данных были определены пиковые мощности на тяговых подстанциях рассмотренной МПЗ на 525-й минуте расчета при пропуске пакета из четырех поездов (по схеме «Н-с-с») с интервалом 10 мин, которые составили для подстанции Ерофей Павлович – 17,0 МВт, для подстанции Большая Омутная – 34,3 МВт.

Аналогичные работы по определению пиковых моментов по мгновенным схемам были выполнены для трех других вариантов организации движения поездов. Результаты сведены в табл. 2.

На данных примерах видно, как изменяется пиковая мощность тяговых подстанций при переходе к перспективным размерам движения. Так, суммарная пиковая мощность по двум тяговым подстанциям на рассматриваемых минутах для варианта организации движения поездов по схеме «Н-с-с» при переходе к перспективным размерам движения увеличится на 2,5 %, для варианта организации движения поездов по схеме «Н-Н-Н-Н» – на 2,7 %.

Далее выполняется анализ значений лимитирующих параметров и проверка их изменения при различных вариантах усиления СТЭ с целью обеспечения нормальных условий работы участка.

Таблица 2

Результаты расчетов пиковых мощностей тяговых подстанций Ерофей Павлович и Большая Омутная (МВт)

Вариант расчета	Минута	ТП Ерофей Павлович	ТП Большая Омутная
По ГДП_1 на 72 пары = (18 пакетов × 4 (Н-с-с-с)) 10 мин интервал	525	17,0	34,3
По ГДП_2 на 72 пары = (18 пакетов × 4 (Н-Н-Н-Н)) 10 мин интервал	525	18,3	35,2
По ГДП_3 на 80 пар = (20 пакетов × 4 (Н-с-с-с)) 8 мин интервал	543	17,8	34,9
По ГДП_4 на 80 пар = (20 пакетов × 4 (Н-Н-Н-Н)) 8 мин интервал	543	18,8	36,1

К техническим решениям, направленным на усиление СТЭ, можно отнести следующие направления:

- техническое перевооружение тяговых подстанций с заменой эксплуатируемого силового оборудования на более мощное или установкой дополнительного силового оборудования (понижающие трансформаторы и автотрансформаторы с улучшенными перегрузочными характеристиками);
- снижение электрического сопротивления тяговой сети (увеличение сечения контактной подвески и питающих линий, изменение схем питания с сооружением постов секционирования, пунктов параллельного соединения, шунтирующих линий, увеличение мощности дроссель-трансформаторов);
- применение технических средств повышения напряжения (устройства стабилизации напряжения, в том числе устройства компенсации реактивной мощности);
- строительство дополнительных объектов СТЭ (пункты параллельного соединения, посты секционирования, автотрансформаторные пункты, тяговые подстанции и пункты питания, переход к распределенной системе тягового электроснабжения с активными постами секционирования).

В качестве апробации было выполнено имитационное моделирование для оценки загрузки тяговых подстанций однопутного участка Волочаевка II – Комсомольск-на-Амуре при его электрификации. Для этого была создана модель продольного профиля пути данного участка. Принято, что СТЭ переменного тока 27,5 кВ участка будет включать в себя шесть тяговых подстанций, на пяти из которых установлены по два понижающих трансформатора мощностью 25 МВ·А, а на одной – два понижающих трансформатора мощностью 40 МВ·А. В работе постоянно находится только один трансформатор. Перспективные графики движения поездов составлены из расчета 24 пар грузовых поездов и двух пар пассажирских, планируемых к реализации к 2025 г. Распределение грузовых поездов по количеству и массам приведено в табл. 3.

Таблица 3

Распределение грузовых поездов по количеству и массам

Масса поезда, т	Количество поездов по направлениям	
	Волочаевка II – Комсомольск-на-Амуре	Комсомольск-на-Амуре – Волочаевка II
7100	14	0
6300	4	6
4500	3	3
3000	1	1
1700	2	14

Расчет пиковых мощностей всех тяговых подстанций участка Волочаевка II – Комсомольск-на-Амуре выполнен поминутно за одни сутки. Пример полученных графиков пиковых мощностей для тяговых подстанций Болонь и Подали показан на рис. 3.

Фрагмент наибольшей суммарной мощности по двум тяговым подстанциям в данной МПЗ показан на рис. 4. В промежуток времени с 610-й по 620-ю минуту в МПЗ Болонь – Подали проходят в тяге три поезда массой 7100 т в четном направлении и один поезд массой 6300 т в нечетном направлении.

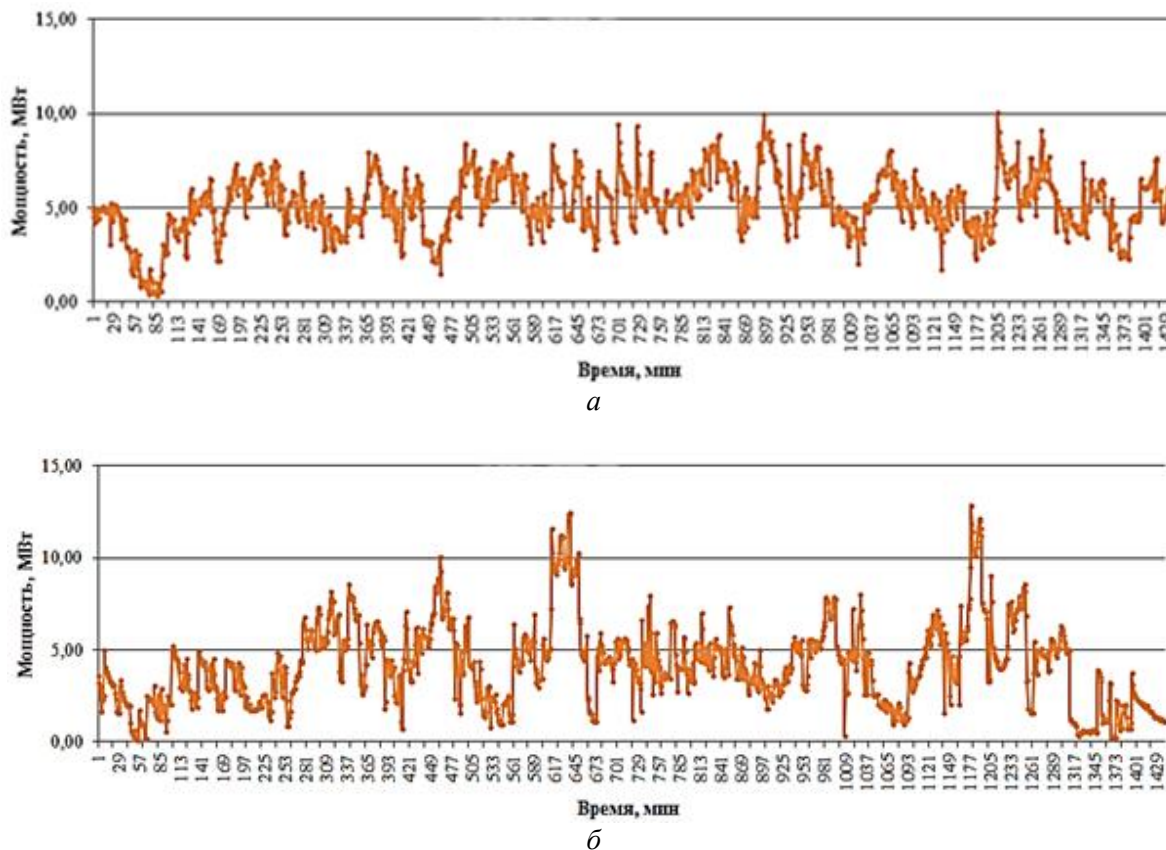


Рис. 3. Поминутные расчетные значения пиковых мощностей на тяговых подстанциях Болонь (а) и Подали (б)

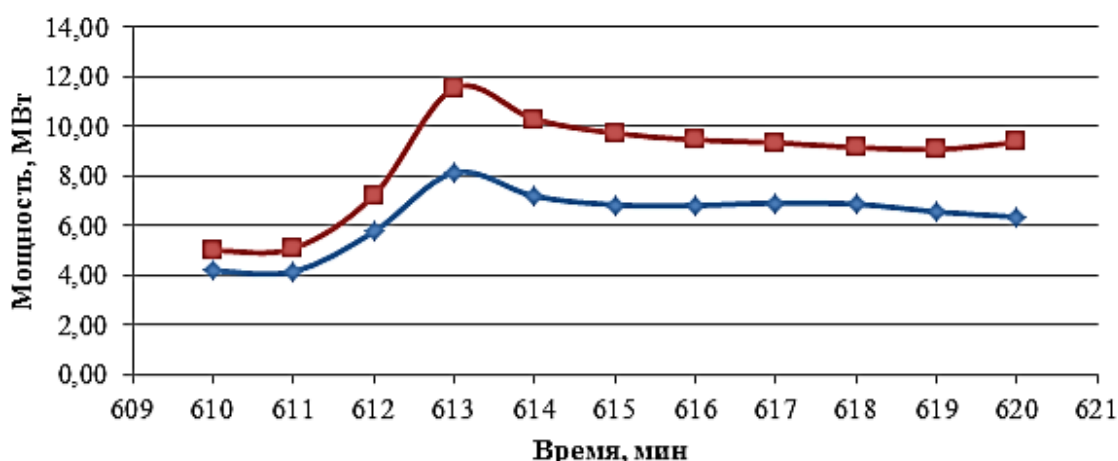


Рис. 4. Результаты расчета пиковых мощностей тяговых подстанций с 610-й по 620-ю минуту:

— на шинах ТП Болонь; — на шинах ТП Подали

Фрагмент схемы СТЭ и результаты определения токов и напряжений подстанций для «пиковой» 613-й минуты в МПЗ Болонь – Подали в момент прохождения в тяге трех поездов массой 7100 т в четном направлении и одного поезда массой 6300 т в нечетном направлении показан на рис. 5.

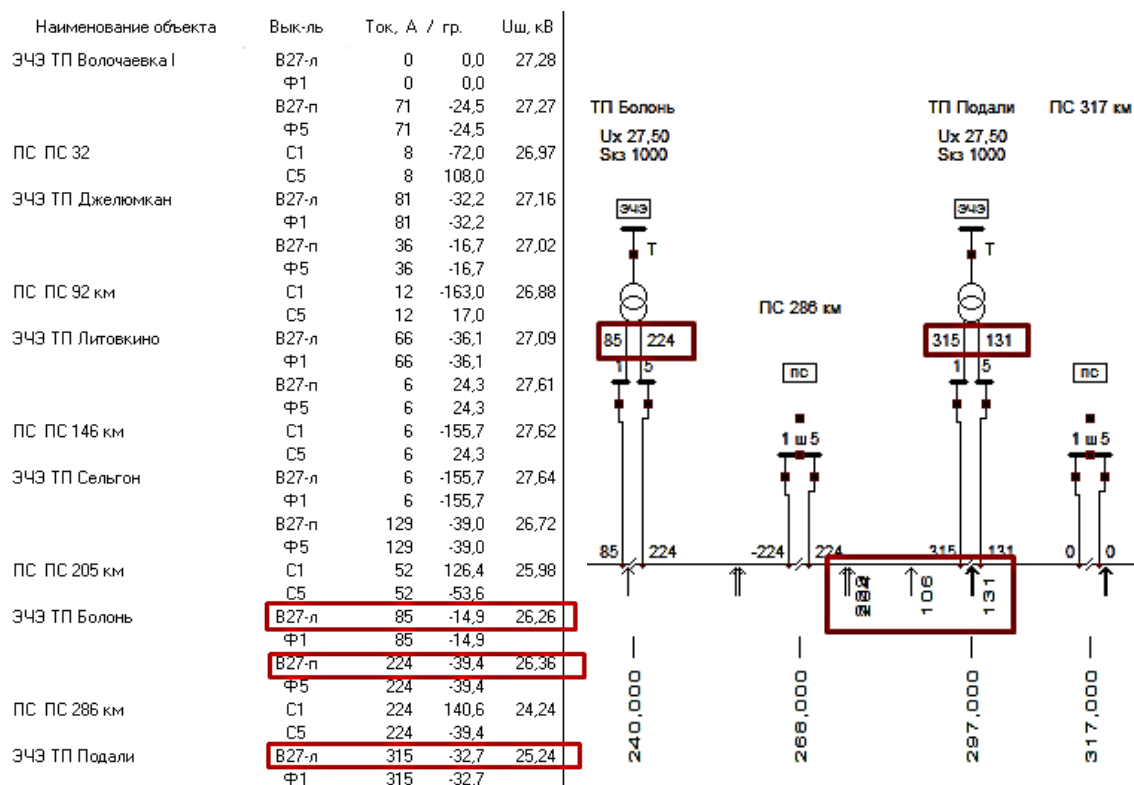


Рис. 5. Результаты электрического расчета для 613-й минуты в МПЗ Болонь – Подали при прохождении трех поездов массой 7100 т в четном направлении и одного поезда массой 6300 т в нечетном направлении

Выводы

По результатам проведенных исследований могут быть сделаны следующие выводы.

1 Предлагаемая имитационная модель совместной работы СТЭ и ЭПС позволяет локализовать энергообъекты, ограничивающие сквозное внедрение технологии интервального регулирования движения поездов на Восточном полигоне.

2 Разработанная имитационная модель позволяет определить влияния различных вариантов графика движения поездов на уровень загрузки трансформаторного оборудования тяговых подстанций и необходимость подключения резервного трансформатора. Так, например, выполненные по представленной модели расчеты показали, что при увеличении количества пар поездов с 72 до 80 (с 18 пакетов до 20 пакетов) для варианта с одним поездом наибольшей массы и тремя поездами средней массы внутри пакета пиковые мощности тяговых подстанций Ерофей Павлович и Большая Омутная возрастают на 4,7 и 1,7 % соответственно, для варианта с четырьмя поездами наибольшей массы в пакете пиковые мощности данных тяговых подстанций возрастают на 2,7 и 2,6 % соответственно. Изменение же состава пакетов с одного до четырех поездов наибольшей массы приводит к увеличению пиковых мощностей рассмотренных подстанций на 7,6 и 2,6 % соответственно при 72 парах поездов, и на 5,6 и 3,4 % соответственно при 80 парах поездов.

3 Представлены результаты апробации предлагаемой имитационной модели с различными режимами работы проектируемой СТЭ при различных размерах движения поездов для неэлектрифицированного однопутного участка железной дороги. Выполненные расчеты показали, что проектная схема электрификации участка Волочаевка II – Комсомольск-на-Амуре позволяет реализовать перспективные графики движения поездов.

4 Предлагаемая имитационная модель может быть использована не только для разработки мероприятий по усилению СТЭ для различных вариантов потребной пропускной способности участков, но также для следующих случаев:

- а) сравнение технико-экономических показателей различных вариантов усиления СТЭ для одного и того же участка железной дороги;
- б) оценка максимальной пропускной способности СТЭ при восстановлении графика движения поездов в послеаварийных ситуациях и в летний период при предоставлении «окон»;
- в) прогнозирование увеличения отгрузки продукции на основании рассмотренных вариантов усиления СТЭ железных дорог.

Список литературы

- 1 Указ Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 (ред. 19 июля 2018 г., 21 июля 2020 г.) «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» // Base.garant : [сайт]. – URL: <https://base.garant.ru/71937200> (дата обращения: 28.03.2023).
- 2 **Игин, В. Н.** Восточный полигон диктует условия тяге / В. Н. Игин // Локомотив. – 2021. – № 12 (780). – С. 6–8. – ISSN 0869-8147.
- 3 **Розенберг, Е. Н.** Интервальное регулирование движения поездов / Е. Н. Розенберг, А. А. Абрамов, В. В. Батраев // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 9. – С. 19–24. – ISSN 0044-4448.
- 4 **Оленцевич, В. А.** Эффективность внедрения интервального регулирования движения поездов по системе «виртуальная сцепка» на участке / В. А. Оленцевич, Р. Ю. Упырь, А. А. Антипина // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – Т. 66, № 2. – С. 182–189. – DOI 10.26731/1813-9108.2020.2(66).182–189.
- 5 **Розенберг, Е. Н.** Комплексный подход к решению задачи повышения пропускной способности / Е. Н. Розенберг, А. В. Озеров, И. А. Панферов // Автоматика, связь, информатика. – 2022. – № 8. – С. 2–6. – DOI 10.34649/AT.2022.8.8.001.
- 6 **Кейно, М. Ю.** Потенциал рекуперации электроэнергии на участках Восточного полигона РЖД / М. Ю. Кейно // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2021. – № 2 (27). – С. 3–8. – ISSN 2415-8658.
- 7 **Черемисин, В. Т.** Эффективность использования энергии рекуперации на железных дорогах постоянного и переменного тока : монография / В. Т. Черемисин, М. М. Никифоров, А. С. Вильгельм. – Омск : Омский государственный университет путей сообщения, 2018. – 216 с. – ISBN 978-5-94941-183-4.
- 8 **Вильгельм, А. С.** Влияние технологии перевозочного процесса на эффективность эксплуатации грузовых электровозов / А. С. Вильгельм, А. А. Комяков, А. Л. Каштанов // Известия Транссиба. – 2022. – № 3 (51). – С. 126–135. – ISSN 2220-4245.
- 9 **Никифоров, М. М.** Влияние массы составов и размеров движения поездов на эффективность ис-

References

- 1 Decree of the President of the Russian Federation of May 7, 2018 No. 204 (as amended on July 19, 2018, July 21, 2020) “On the national goals and strategic objectives of the development of the Russian Federation for the period until 2024” // Base.garant : [website]. – URL: <https://base.garant.ru/71937200> (date of access: 03/28/2023).
- 2 **Igin, V. N.** Eastern range dictates the conditions for traction / V. N. Igin // Lokomotiv. – 2021. – No. 12 (780). – P. 6–8. – ISSN 0869-8147.
- 3 **Rozenberg, E. N.** Interval control of train traffic / E. N. Rozenberg, A. A. Batraev, V. V. Abramov // Railway Transport. – 2017. – No. 9. – P. 19–24. – ISSN 0044-4448.
- 4 **Olentsevich, V. A.** Efficiency of implementation of interval regulation of train traffic according to the "virtual coupling" system on the section / V. A. Olentsevich, R. Yu. Upyr, A. A. Antipina // Modern technologies. System analysis. Modeling. – 2020. – Vol. 66, No. 2. – P. 182–189. – DOI 10.26731/1813-9108.2020.2(66).182–189.
- 5 **Rosenberg, E. N.** An integrated approach to solving the problem of increasing throughput capacity / E. N. Rosenberg, A. V. Ozerov, I. A. Panferov // Automation, communications, computer science. – 2022. – No. 8. – P. 2–6. – DOI 10.34649/AT.2022.8.8.001.
- 6 **Keino, M. Yu.** Electricity recovery potential in sections of the Eastern training ground of Russian Railways / M. Yu. Keino // Transport of the Asia-Pacific region. – 2021. – No. 2 (27). – P. 3–8. – ISSN 2415-8658.
- 7 **Cheremisin, V. T.** Efficiency of using recovery energy on direct and alternating current railways : monograph / V. T. Cheremisin, M. M. Nikiforov, A. S. Wilhelm. – Omsk : Omsk State Transport University, 2018. – 216 p. – ISBN 978-5-94941-183-4.
- 8 **Wilhelm, A. S.** Influence of transportation process technology on the operating efficiency of freight electric locomotives / A. S. Wilhelm, A. A. Komyakov, A. L. Kashtanov // News of the Transsib. – 2022. – No. 3 (51). – P. 126–135. – ISSN 2220-4245.
- 9 **Nikiforov, M. M.** The influence of the mass of trains and the size of train traffic on the efficiency

пользования энергии рекуперации на участках железных дорог переменного тока / М. М. Никифоров, А. С. Вильгельм // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов : материалы IV Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Омск, 2018. – С. 129–139. – ISBN 978-5-94941-216-9.

10 **Вильгельм, А. С.** Апробация расчетной модели системы тягового электроснабжения железных дорог постоянного тока для оценки потенциала энергоэффективности рекуперативного торможения / А. С. Вильгельм, В. И. Гутников, М. М. Никифоров // Известия Транссиба. – 2014. – № 1(17). – С. 50–57. – ISSN 2220-4245.

11 **Патент № 2641537 С2 Российская Федерация, МПК В60L 3/12, G01R 21/133, G06F 17/50.** Способ определения энергетических показателей движения поезда и системы тягового электроснабжения / А. С. Вильгельм, А. А. Комяков, В. Л. Незевак [и др.]. – № 2016119647 ; заявл. 20.05.2016 ; опубл. 18.01.2018 ; Бюл. № 2. – 18 с.

12 **Комяков, А. А.** Разработка алгоритма совместных тяговых и электрических расчетов с учетом характеристик и параметров участков и поезда / А. А. Комяков, А. С. Вильгельм, А. И. Шкулов // Известия Транссиба. – 2021. – № 3 (47). – С. 106–115. – ISSN 2220-4245.

of using recovery energy on sections of AC railways / M. M. Nikiforov, A. S. Wilhelm // Operational reliability of the locomotive fleet and increasing the efficiency of train traction : Materials of the IV All-Russian Scientific and Technical conference with international participation. – Omsk, 2018. – P. 129–139. – ISBN 978-5-94941-216-9.

10 **Wilhelm, A. S.** Approbation of a calculation model of the traction power supply system for DC railways to assess the energy efficiency potential of regenerative braking / A. S. Wilhelm, V. I. Gutnikov, M. M. Nikiforov // Izvestia Transsib. – 2014. – No. 1(17). – P. 50–57. – ISSN 2220-4245.

11 **Patent No. 2641537 C2 Russian Federation, IPC B60L 3/12, G01R 21/133, G06F 17/50.** A method for determining the energy indicators of train movement and traction power supply system / A. S. Wilhelm, A. A. Komyakov, V. L. Nezevak [et al.]. – No. 2016119647 ; application 05/20/2016 ; publ. 01/18/2018 ; Bul. No. 2. – 18 p.

12 **Komyakov, A. A.** Development of an algorithm for joint traction and electrical calculations, taking into account the characteristics and parameters of sections and the train situation / A. A. Komyakov, A. S. Wilhelm, A. I. Shkulov // Izvestia Transsib. – 2021. – No. 3 (47). – P. 106–115. – ISSN 2220-4245.

A. S. Vilgelm, M. M. Nikiforov

THE USE OF SIMULATION MODELING TO EVALUATE EFFICIENCY MAKES IT POSSIBLE TO STRENGTHEN TRACTION POWER SUPPLY SYSTEMS WITH INTERVAL REGULATION OF TRAIN MOVEMENT

Abstract. The paper proposes the structure of a simulation model, a traction power supply system operating in conjunction with electric rolling stock, to perform multivariate calculations of the capacity of railway sections due to plans for the implementation of a project for introducing interval control technology for train traffic. To test the proposed model, an assessment was made of the peak powers of traction substations during the implementation of various train schedules using interval control on a double-track electrified section of the railway for the existing configuration of the traction power supply system and options for its strengthening. Using the example of a single-track section, it is shown that the use of the proposed simulation model will make it possible to evaluate options for constructing a traction power supply system for non-electrified sections with various promising train transit schemes. The proposed simulation model can be used to compare the technical and economic indicators of various options for strengthening the traction power supply system, modeling post-emergency situations and assessing the capacity of the traction power supply system when restoring the train schedule, and determining the minimum possible intervals between trains.

Keywords: traction power supply system, train schedules, peak power, traction calculations, electrical calculations, interval control of train traffic.

For citation: Vilgelm, A. S. The use of simulation modeling to evaluate efficiency makes it possible to strengthen traction power supply systems with interval regulation of train movement / A. S. Vilgelm, M. M. Nikiforov // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2024. – No. 2. – P. 48–56. – DOI 10.46973/0201-727X_2024_2_48.

Сведения об авторах**Вильгельм Александр Сергеевич**

Омский государственный университет путей
сообщения (ОмГУПС),
кафедра «Подвижной состав электрических
железных дорог»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: vilgelm1987@yandex.ru

Никифоров Михаил Михайлович

Омский государственный университет путей
сообщения (ОмГУПС),
кандидат технических наук,
директор научно-исследовательского
института энергосбережения на
железнодорожном транспорте,
e-mail: nikiforovmm@mail.ru

Information about the authors**Vilgelm Alexander Sergeevich**

Omsk State Transport University (OSTU),
Chair «Electric Railways Rolling Stock»,
Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor,
e-mail: vilgelm1987@yandex.ru

Nikiforov Mikhail Mikhailovich

Omsk State Transport University (OSTU),
Candidate of Engineering Sciences,
Director of the Research Institute for Energy Saving
in Railway Transport,
e-mail: nikiforovmm@mail.ru