

Д.А. Пазов, В.В. Милюшин, Е.Ю. Пузина

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

УСТРОЙСТВА КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ НА ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ

Аннотация. В данной работе выполнен анализ информации по имеющимся на участках со сложным профилем устройствах компенсации реактивной мощности на одной из российских железных дорог. Сложность профиля связана с наличием на участках значительных уклонов, протяженных уклонов, длинных межподстанционных зон. Как правило, при увеличении грузопотока система тягового электроснабжения таких участков требует усиления. Одним из эффективных средств усиления являются устройства продольной и поперечной компенсации реактивной мощности.

В целях выбора месторасположения и оптимального способа включения компенсирующих устройств, а также их полезной мощности приходится выполнять моделирование системы тягового электроснабжения в программно-вычислительных комплексах специализированного назначения. В ходе оценки результатов многовариантных расчетов удается решить указанную задачу, однако, всегда остаются некоторые сомнения в совершенной оптимальности выбранного варианта усиления.

В рамках данной работы проведён анализ профиля пути отдельных участков Восточно-Сибирской железной дороги и установленных на них устройств компенсации реактивной мощности. По результатам анализа даны рекомендации по повышению энергоэффективности работы систем тягового электроснабжения с помощью устройств компенсации реактивной мощности. Предложены следующие конкретные пути решения указанной выше проблемы:

1. Обязательно должно производиться внимательное изучение профиля пути исследуемых участков и применение рекомендаций по использованию устройств поперечной компенсации и устройств продольной компенсации в зависимости от значения и протяженности подъемов на межподстанционной зоне, их длин и сочетания этих факторов.

2. Приоритетно применять регулируемые устройства компенсации реактивной мощности вместо нерегулируемых компенсирующих устройств.

Ключевые слова: устройства компенсации реактивной мощности, профиль пути, продольная компенсация.

D.A. Puzov, V.V. Milyushin, E.Yu. Puzina

Irkutsk State Transport University, t. Irkutsk, Russia

REACTIVE POWER COMPENSATION DEVICES AND THEIR APPLICATION ON ELECTRIFIED RAILWAYS

Annotation. In this paper, the analysis of information on reactive power compensation devices available on sections with a complex profile on one of the Russian railways is carried out. The complexity of the profile is associated with the presence of significant slopes, long slopes, and long substation zones in the sections. As a rule, with an increase in cargo traffic, the traction power supply system of such sections requires strengthening. One of the effective means of amplification are devices for longitudinal and transverse compensation of reactive power.

In order to choose the location and the optimal way to turn on compensating devices, as well as their useful power, it is necessary to perform modeling of the traction power supply system in specialized software and computing complexes. During the evaluation of the results of multivariate calculations, it is possible to solve this problem, however, there are always some doubts about the perfect optimality of the selected amplification option.

Within the framework of this work, the analysis of the track profile of individual sections of the East Siberian Railway and reactive power compensation devices installed on them was carried out. Based on the results of the analysis, recommendations are given to improve the energy efficiency of traction power supply systems using reactive power compensation devices. The following specific ways of solving the above problem are proposed:

1. A careful study of the path profile of the studied sections and the application of recommendations on the use of transverse compensation devices and longitudinal compensation devices must be carried out, depending on the value and length of the ascents in the inter-substation zone, their lengths and a combination of these factors.

2. It is a priority to use adjustable reactive power compensation devices instead of unregulated compensating devices.

Keywords: reactive power compensation device, profile

Введение

При росте грузонапряженности железнодорожного транспорта с пропуском тяжеловесных поездов [1-4], а также при организации скоростного движения на электрифицированных участках железных дорог, наиболее эффективным способом повышения уровня напряжения в контактной сети при максимальных тяговых нагрузках [5-10] являются устройства компенсации реактивной мощности.

Устройства компенсации в свою очередь делятся на устройства продольной компенсации (УПК) и устройства поперечной компенсации реактивной мощности (УКРМ). Общим назначением данных устройств является повышение энергоэффективности системы тягового электроснабжения (СТЭ) [11-13]. Однако, при этом, каждый вид этих устройств имеет свое основное назначение: подъем уровня напряжения в контактной сети (УПК), либо уменьшение потерь мощности в системе тягового электроснабжения (УКРМ).

Описание проблемной ситуации и постановка задачи

Выбор мощности и месторасположения устройств компенсации реактивной мощности в СТЭ достаточно часто осуществляется методом подбора с помощью программно-вычислительных комплексов, таких как Кортэс или Fazonord. При этом, приходится выполнять многовариантные расчеты [14-15], создавая и корректируя модели СТЭ с учетом применяемых компенсирующих устройств. Процесс в отдельных случаях занимает достаточно много времени и, при этом, открытым остается вопрос о том, насколько оптимальным является конечное принятое решение о месторасположении данных устройств.

Считаем, что конкретное место установки устройств компенсации реактивной мощности определяется в большей мере сложностью профиля пути отдельного участка. Поэтому представляется полезным и актуальным выполнить анализ тех участков российских железных дорог, которые отличаются сложным профилем, и достаточно насыщены действующими устройствами компенсации.

На первом этапе проясним, что собой представляют и какие задачи решают различные виды исследуемых устройств.

Устройства продольной компенсации

УПК предназначены для повышения напряжения в тяговой сети 27,5 кВ путем снижения её комплексного сопротивления (рис. 1). Они включаются последовательно с выводами понижающего трансформатора тяговой подстанции или с проводами контактной сети 27,5 кВ.

Расположение УПК зависит от схемы питания и секционирования участка, его нагрузки, режимов напряжения в контактной сети. При консольном питании тяговой сети от тяговой подстанции наиболее эффективно включение УПК в отсосе тяговой подстанции. Индуктивное сопротивление УПК равно сумме входного индуктивного сопротивления системы внешнего электроснабжения и индуктивного сопротивления трансформатора ТП. В этом случае происходит полная компенсация предвключенного индуктивного сопротивления до шин 27,5 кВ одной фазы связанной с отсосом.

Если включение УПК в отсос подстанции недостаточно, то можно включить второе УПК в фазу плеча питания, где необходимо повысить напряжение. При необходимости еще

больше поднять напряжение, УПК включают последовательно с контактной сетью, например, на посту секционирования.



Рис. 1. Устройство продольной компенсации реактивной мощности

Устройства поперечной компенсации реактивной мощности

УКРМ (рис. 2) предназначено для компенсации реактивной мощности и фильтрации высших гармоник в контактной сети переменного тока

Устройство компенсации реактивной мощности устанавливается на постах секционирования для снижения потерь мощности в системе тягового электроснабжения (СТЭ) и поддержания напряжения в контактной сети путем компенсации реактивной составляющей тягового тока. УКРМ включается по телеуправлению при снижении напряжения в контактной сети до предельно допустимого уровня (от 22 до 23 кВ), а при увеличении напряжения до нормальных значений (от 24 до 25 кВ) автоматически возвращается в исходное состояние. В нормальном режиме работы устройство фильтрует третью гармонику промышленной частоты в контактной сети.

Принцип действия УКРМ основан на включении конденсаторной батареи параллельно нагрузке контактной сети, имеющей индуктивный характер. Последовательно с конденсаторной батареей устанавливается реактор, который ограничивает токи переходных процессов в конденсаторах и шунтирует токи высших гармоник, улучшая качество электроэнергии в контактной сети.



Рис. 2. Устройство поперечной компенсации реактивной мощности

Анализ профиля пути ряда участков Восточно-Сибирской железной дороги и установленных на них устройств, компенсирующих реактивную мощность

Выполнен анализ информации о профиле пути ряда участков Восточно-Сибирской железной дороги (ВСЖД) и установленных на них устройствах компенсации реактивной мощности: это, например, участки Зяба-Хребтовая (рис. 3 и табл. 1) и Ук-Делюр (рис. 4 и табл. 2).

На основании анализа выявлены принципы, согласно которым устанавливаются компенсирующие устройства на участках. Допустим, если на участке имеются подъёмы от 7,0 до 8,5 промилей и протяжённость межподстанционной зоны не превышает 40 км, то на таком участке достаточно будет установить УКРМ в нагруженное плечо. Например, участок Зяба-Кежемская, имеется уклон 8,5 промилей и его протяжённость составляет 39,9 км, соответственно на данном участке достаточно будет установить УКРМ в правое плечо.

Также, если зона имеет большую протяжённость (больше 40 км) или значительный уклон 14-15 промилей, то устанавливается УПК, зачастую в отсасывающую линию. На рис. 4 представлен профиль пути участка Ук-Делюр. Исходя из данных табл. 2, на участке Ук-Делюр на подстанции Тулюшка установлено УПК в отсасывающую линию, и оно работает в два направления на довольно большие по протяжённости межподстанционные зоны (МПЗ).

В случае, когда накладывается значительная протяжённость и внушительный уклон порядка 10 промилей, то приходится устанавливать и УКРМ и УПК. Например, на участке Ук-Нижнеудинск (табл. 2) протяжённость составляет 47,3 км и имеется внушительный уклон протяженностью 10,3 км, поэтому устанавливается УКРМ и УПК совместно.

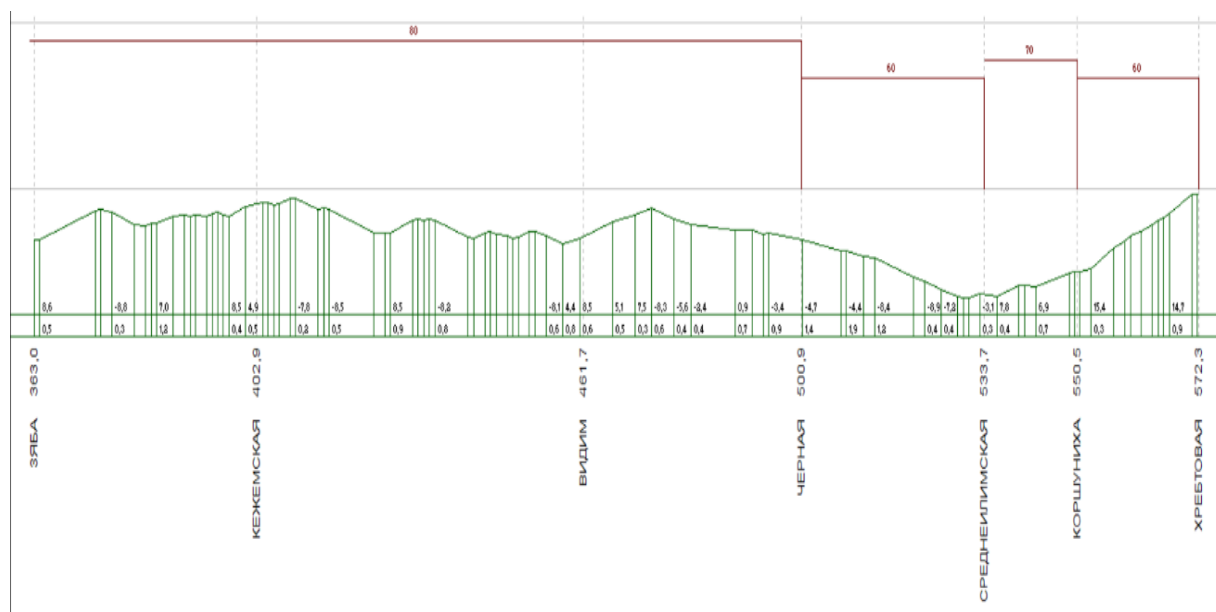


Рис.3. Профиль пути участка Зяба-Хребтовая

Участок	КУ		УПК		УПК отсос	Подъём, % (длина, км)		Протяженность участка, км
	Левое	Правое	Левое	Правое		Левое	Правое	
Зяба	–	3000	–	–	–	–	+8,5 (10)	39,9
Кежемская	–	3600	–	–	14400	+8,5 (3)	+8,5 (2)	58,8
Видим	–	3000	–	–	14400	+8,5 (6)	+8,5 (6)	39,2
Чёрная	–	–	–	–	14400	+7,5 (3)	+5,7 (2)	49,6
Коршуниха	–	–	–	–	14400	+7,8 (4)	+15.4 (4)	
Хребтовая	–	–	–	–	14400	+14,7 (4)	–	21,8

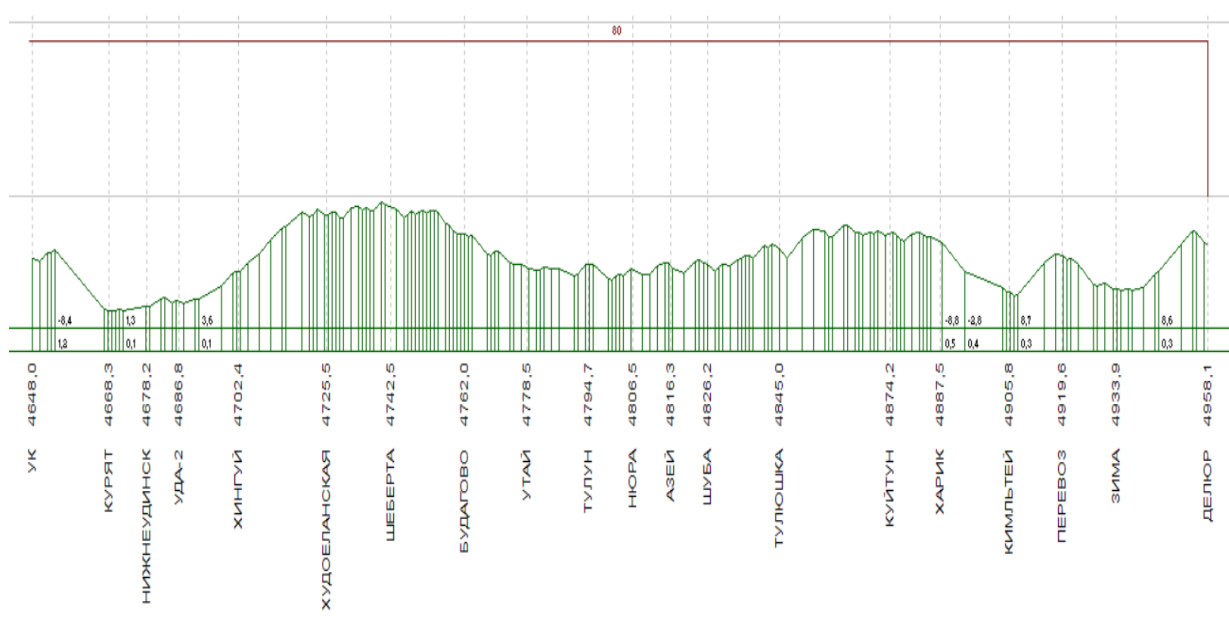


Рис. 4. Профиль пути участка Ук-Делюр

Аналогичные закономерности прослеживаются практически на каждом из рассмотренных участков.

Также, по итогам анализа данных участков напрашивается предложение по внедрению на подстанции регулируемого УКРМ вместе обычного нерегулируемого устройства поперечной компенсации. Обосновывается это тем, что тяжеловесные поезда массами 7100 и 6000 тонн, при внедрении которых необходима компенсация реактивной мощности и подъем уровня напряжения в контактной сети, ходят не так часто, а именно несколько раз в сутки. УПК же работает в постоянном режиме и, вследствие этого, происходит перекомпенсация, а она сказывается негативно на уровне напряжения в контактной сети. УКРМ имеет свойство автоматически поднимать его, если это необходимо и понижать его, это более рационально, по нашему мнению, устанавливать именно регулируемое УКРМ.

Сведения о профиле пути участка Ук – Делюр

Участок	КУ		УПК		УПК отсос	Подъём, % (Длина, км)		Протяженность участка, км
	Левое	Правое	Левое	Правое		Левое	Правое	
УК	–	–	–	–	14400	–	8,2 (2)	30,2
НИЖНЕУДИНСК	3600	3600	–	–	14400	+8,4 (12)	+10,3 (1)	47,3
ХУДОЕЛАНСКАЯ	3600	–	–	–	14400	+6,3 (2)	+9,2 (2)	37
БУДАГОВО	–	5000	–	–	–	+10,2 (1)	+9,5 (2)	44,5
НЮРА	–	5000	–	–	12800	+8,6 (4)	+9,5 (1)	38,5
ТУЛЮШКА	–	–	–	–	12800	+9,5 (1)	+9,2 (4)	42,5
ХАРИК	–	5000	–	–	–	+10,3 (1)	+8,7 (7)	46,4
ЗИМА	3600	–	–	–	–	+8,9 (4)	+8,3 (3)	24,2
ДЕЛЮР	–	–	–	–	–	+8,9 (2)	–	11

При внимательном анализе участков ВСЖД со сложным профилем выявлен такой проблемный участок, как Суховская-Байкальск, профиль пути которого представлен на рис. 5. При всей его сложности пути, на подстанциях недостаточно устройств КРМ.

Для проверки этой гипотезы выполнено моделирование графика движения поездов в программном комплекте КОРТЭС для данного участка, на основании результатов которого выявлено, что необходимо установить УПК мощностью 14400 кВАр на тяговой подстанции Слюдянка, а также УКРМ мощностью 4615 кВАр в левое плечо и УПК мощностью 14400 кВАр на тяговой подстанции Байкальск. Результаты расчёта представлены на рис. 6.

Можем наблюдать, что до установки устройств КРМ на данных подстанциях уровень напряжения опускался до 18,31 кВ, что недопустимо, после установки устройств КРМ минимальный уровень напряжения в контактной сети поднялся до 21,45 кВ, что уже является нормой, следовательно, поезда будут проходить по данному участку без проблем. Сведения о профиле пути и установленных устройствах компенсации реактивной мощности, включая рекомендованные по результатам настоящего проведенного исследования, сведены в табл. 3.

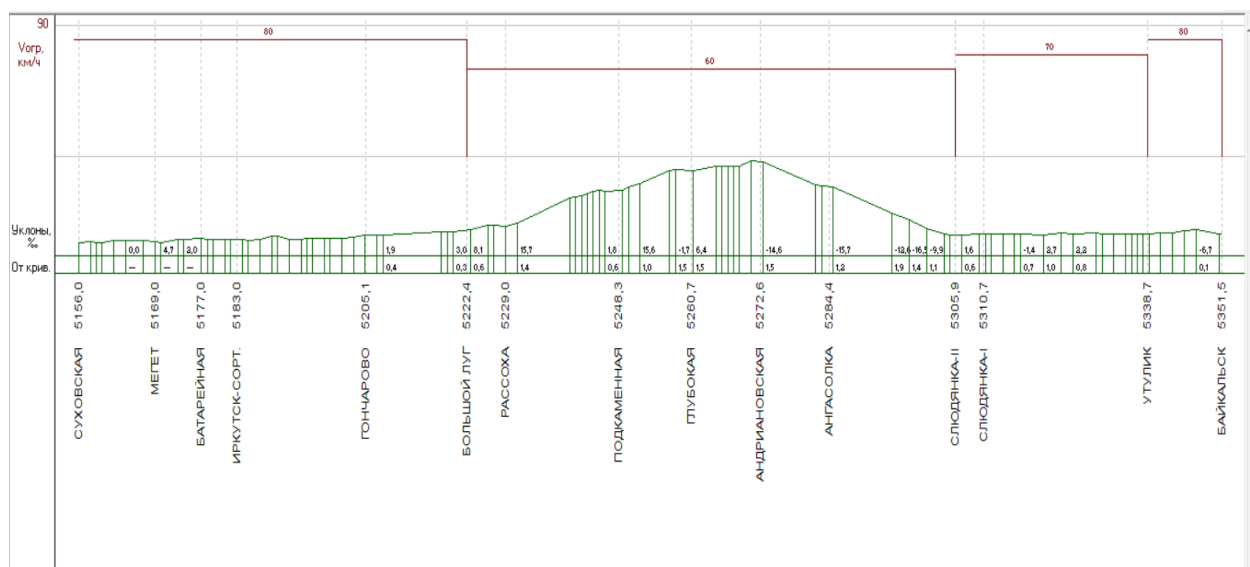


Рис. 5. Профиль пути участка Суховская – Байкальск

До установки дополнительных устройств КРМ:			После установке дополнительных устройств КРМ:		
Основные характеристики рабочего режима участка СУХОВСКАЯ - БАЙКАЛЬСК			Основные характеристики рабочего режима участка СУХОВСКАЯ - БАЙКАЛЬСК		
Время расчета, мин: начало	0;	продолж. 1440; шаг 1,0	Время расчета, мин: начало	0;	продолж. 1440; шаг 1,0
Температура воздуха, °С	20		Температура воздуха, °С	20	
Использованы графики движ. путей	1-го, 2-го		Использованы графики движ. путей	1-го, 2-го	
Расход энергии: активн., кВт·ч	477770;	потери в тяг. сети 6818 (1,4%)	Расход энергии: активн., кВт·ч	486000;	потери в тяг. сети 7314 (1,5%)
реактивн., квар·ч	167547		реактивн., квар·ч	-56666	
Ограничив. коэф. нагрузки	1,82	(доп. 2,0 1 мин) ЗЧЗ АНДРИАНОВСКАЯ	Ограничив. коэф. нагрузки	1,31	(доп. 1,5 10 мин) ЗЧЗ СЛЮДЯНКА
темпер. трансформ., °С	77	(доп. 95° масл.) ЗЧЗ АНДРИАНОВСКАЯ	темпер. трансформ., °С	84	(доп. 95° масл.) ЗЧЗ СЛЮДЯНКА
Напряжения, кВ: минимальное	18,31*	2-й путь зоны СЛЮДЯНКА - БАЙКАЛЬСК поезд № 4 на km 5330,33 в 355 мин	Напряжения, кВ: минимальное	21,45	2-й путь зоны СЛЮДЯНКА - БАЙКАЛЬСК поезд № 4 на km 5330,33 в 355 мин
среднее 3-мин	21,24	2-й путь зоны СЛЮДЯНКА - БАЙКАЛЬСК поезд № 4 на km 5330,33	среднее 3-мин	23,67	1-й путь зоны АНДРИАНОВСКАЯ - СЛЮДЯНКА поезд № 41 на km 5292,70
Огр. темпер., °С: в конт. сети	28	(доп. 95° 20 мин) Ф1 ЗЧЗ БАЙКАЛЬСК	Огр. темпер., °С: в конт. сети	27	(доп. 95° 20 мин) Ф2 ЗЧЗ СЛЮДЯНКА
в отсасывающей линии	32	(доп. 90° 20 мин) ЗЧЗ БАЙКАЛЬСК	в отсасывающей линии	28	(доп. 90° 20 мин) ЗЧЗ БАЙКАЛЬСК

Рис. 6. Результаты расчёта

Таблица 3

Сведения о профиле пути и установленных устройствах компенсации реактивной мощности на участке Суховская – Байкальск

Участок	КУ		УПК		УПК отсос	Подъём, % (Длина, км)		Протяженность участка, км
	Левое	Правое	Левое	Правое		Левое	Правое	
УК	–	–	–	–	14400	–	8,2 (2)	30,2
НИЖНЕУДИНСК	3600	3600	–	–	14400	+8,4 (12)	+10,3 (1)	47,3
ХУДОЕЛАНСКАЯ	3600	–	–	–	14400	+6,3 (2)	+9,2 (2)	37
БУДАГОВО	–	5000	–	–	–	+10,2 (1)	+9,5 (2)	44,5
НЮРА	–	5000	–	–	12800	+8,6 (4)	+9,5 (1)	38,5
ТУЛЮШКА	–	–	–	–	12800	+9,5 (1)	+9,2 (4)	42,5
ХАРИК	–	5000	–	–	–	+10,3 (1)	+8,7 (7)	46,4
ЗИМА	3600	–	–	–	–	+8,9 (4)	+8,3 (3)	24,2
ДЕЛЮР	–	–	–	–	–	+8,9 (2)	–	11

Заключение

Таким образом, выполненные исследования позволили дать следующие рекомендации:

1. Необходимо внимательно изучать профиль пути участка и следовать рекомендациям по использованию УКРМ и УПК в зависимости от значения и протяженности подъемов на МПЗ, их длин и сочетания этих факторов.
2. Оптимально применять регулируемые УКРМ.

Соблюдение данных рекомендаций, на наш взгляд, может существенно сократить объем работы по многовариантному моделированию СТЭ, выполняемых с целью их усиления, в случае применения устройств компенсации реактивной мощности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Puzina E.Yu., Cherniga M.Yu., Khudonogov I.A. Strengthening the power supply system of electrified railways, taking into account the use of interval control devices. 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020. 2020. С. 9271385.
2. Xiaozhou Zhu, Minwu Chen, Shaofeng Xie and Jie Luo, "Research on new traction power system using power flow controller and Vx connection transformer," 2016 IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT), Birmingham, pp. 111–115, 2016.
3. Шевердин И.Н., Шаманов В.И., Трофимов Ю.А. Влияние тяжеловесных поездов на рельсовые цепи и АЛС. Автоматика, связь, информатика. 2004. № 8. С.24.
4. Пузина Е.Ю. Усиление системы тягового электроснабжения участка Чуро – Таксимо ВСЖД. Транспорт: наука, образование, производство. Труды международной научно-практической конференции. 2016. С. 306-310.
5. I.A.Khudonogov, E.Yu Puzina., A.G.Tuigunova. Summarized Diagnostic Parameter for Condition Assessment of Power Transformer Windings Insulation,"2019 IEEE Proceedings – Russian Automation Conference, RusAutoCon 2019. С.8867610.
6. H. Kalathiripi and S. Karmakar, "Fault analysis of oil-filled power transformers using spectroscopy techniques," 2017 IEEE 19th International Conference on Dielectric Liquids (ICDL), Manchester, pp. 1–5, 2017.
7. Пультяков А.В., Трофимов Ю.А., Скоробогатов М.Э. Комплексные решения по повышению устойчивости работы устройств автоматической локомотивной сигнализации на участках с электротягой переменного тока. Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2015. Т 1. С. 328-332.
8. Каимов Е.В., Оленцевич В.А., Власова Н.В. Проблемы формирования, развития и реконструкции элементов инфраструктурного комплекса железных дорог. Образование – Наука – Производство. Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). В 2-х томах. Чита. 2022. С. 288-296.
9. Антипина О.В., Распутина Е.А. Инновационное развитие предприятий железнодорожного транспорта. Экономический альманах. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции "Экономика структурных преобразований : проблемы и перспективы развития". Выпуск № 7. 2020. С. 194-198.
10. Шаманов В.И., Трофимов Ю.А. Асимметрия тяговых токов под катушками АЛС. Автоматика, связь, информатика. 2008. № 11. С. 37-39.
11. Крюков А.В., Куцкий А.П., Черепанов А.В. Улучшение качества электроэнергии в сетях 110-220 кВ, питающих тяговые подстанции. Электроэнергетика глазами молодежи-2017. Материалы VIII Международной научно-технической конференции. 2017. 318-321.
12. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Куцкий А.П. Моделирование несинусоидальных режимов систем тягового электроснабжения, оснащенных установками компенсации реактивной мощности. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018. № 1 (57). С. 72-79.
13. Макашева С.И. Оценка синусоидальности кривых напряжения высоковольтной линии автоблокировки. Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2019. № 4 (21). С. 88-91.
14. Филиппов Д.М., Ступицкий В.П., Лобанов О.В. Проблемы диагностики параметров контактной сети. Молодая наука Сибири. 2021. № 2(12). С. 125-131.
15. Ступицкий В.П., Худоногов И.А., Тихомиров В.А., Лобанов О.В. Расчет несущей способности металлической решетчатой опоры контактной сети при кручении верхней части методом конечных элементов в САПР FEMAP/ Транспорт Урала. 2021. № 1 (68). С 99-102.

REFERENCES

1. Puzina E.Yu., Cherniga M.Yu., Khudonogov I.A. Strengthening the power supply system of electrified railways, taking into account the use of interval control devices. 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020. 2020. C. 9271385.
2. Xiaozhou Zhu, Minwu Chen, Shaofeng Xie and Jie Luo, "Research on new traction power system using power flow controller and Vx connection transformer," 2016 IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT), Birmingham, pp. 111–115, 2016.
3. Sheverdin I.N., Shamanov V.I., Trofimov Yu.A. Influence of heavy trains on track circuits and ALS. Automation, communication, informatics. 2004. No. 8. P.24.
4. Puzina E.Yu. Strengthening of the traction power supply system of the Churo – Taksimo section of the VSZHD. Transport: science, education, production. Proceeding of the International scientific and practical conference. 2016. pp. 306-310.
5. I.A.Khudonogov, E.Yu Puzina., A.G.Tuigunova. Summarized Diagnostic Parameter for Condition Assessment of Power Transformer Windings Insulation, "2019 IEEE Proceedings – Russian Automation Conference, RusAutoCon 2019. C.8867610.
6. H. Kalathiripi and S. Karmakar, "Fault analysis of oil-filled power transformers using spectroscopy techniques," 2017 IEEE 19th International Conference on Dielectric Liquids (ICDL), Manchester, pp. 1–5, 2017.
7. A. V. Pult'yakov, Yu. A. Trofimov, and M. E. Skorobogatov, Russ. Integrated solutions to improve the stability of the operation of automatic locomotive signaling devices in areas with AC electric traction. Transport infrastructure of the Siberian region. 2015. T 1. S. 328-332.
8. Kaimov E.V., Olentsevich V.A., Vlasova N.V. Problems of formation, development and reconstruction of the elements of the infrastructure complex of railways. Education - Science - Production. Materials of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference (with international participation). In 2 volumes. Chita. 2022. S. 288-296.
9. Antipina O.V., Rasputina E.A. Innovative development of railway transport enterprises. Economic almanac. Proceedings of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference "Economics of Structural Transformations: Problems and Prospects of Development". Issue No. 7. 2020. P. 194-198.
10. Shamanov V.I., Trofimov Yu.A. Asymmetry of traction currents under ALS coils. Automation, communication, informatics. 2008. No. 11. S. 37-39.
11. Kryukov A.V., Kutsiy A.P., Cherepanov A.V. Improving the quality of electricity in 110-220 kV networks supplying traction substations. Electric power industry through the eyes of youth-2017. Proceedings of the VIII International Scientific and Technical Conference. 2017. 318-321.
12. V. P. Zakaryukin, A. V. Kryukov, and A. P. Kutsy, Acoust. Modeling of non-sinusoidal modes of traction power supply systems equipped with reactive power compensation units. Modern technologies. System analysis. Modeling. 2018. No. 1 (57). pp. 72-79.
13. Makasheva S.I. Estimation of the sinusoidality of the voltage curves of the high-voltage auto-blocking line. Transport of the Asia-Pacific region. 2019. No. 4 (21). pp. 88-91.
14. Filippov D.M., Stupitsky V.P., Lobanov O.V. Problems of diagnosing the parameters of the contact network. Young science of Siberia. 2021. No. 2(12). pp. 125-131.
15. Stupitsky V.P., Khudonogov I.A., Tikhomirov V.A., Lobanov O.V. Calculation of the bearing capacity of a metal lattice support of a contact network during torsion of the upper part by the finite element method in CAD FEMAP / Transport of the Urals. 2021. No. 1 (68). From 99-102.

Информация об авторах

Пазов Дмитрий Анатольевич – студент гр. СОД.1-20-1, специальность «Системы обеспечения движения поездов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, email: pazov_2016@mail.ru

Милушин Владислав Владимирович – студент гр. СОД.1-20-1, специальность «Системы обеспечения движения поездов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, email: vlad.milushin1@mail.ru

Пузина Елена Юрьевна – к. т. н., доцент кафедры Электроэнергетика транспорта, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск.

Authors

Dmitriy Anatol'evich Pazov – student g. SOD.1-20-1, specialty "Train traffic management Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: pazov_2016@mail.ru

Vladislav Vladimirovich Milyushin – student g. SOD.1-20-1, specialty "Train traffic management Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: vlad.milushin1@mail.ru

Elena Yur'evna Puzina – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. at the Subdepartment of Electric Power Industry of Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk.