

И.С. Овечкин, Ю.Н. Макаренко, А.В. Черепанов

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

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УСТРОЙСТВ АВТОБЛОКИРОВКИ УЧАСТКА ВОСТОЧНОГО ПОЛИГОНА

Аннотация. В настоящее время актуальной проблемой в системах электроснабжения устройств автоблокировки на грузонапряженных участках железных дорог, электрифицированных на переменном токе, является несоответствие показателей качества электроэнергии требованиям государственных стандартов. Особенно остро данная проблема проявляется в связи с высокой чувствительностью к качеству электрической энергии микропроцессорной техники системы автоблокировки с тональными рельсовыми цепями в микропроцессорных шкафах (АБТЦ-МШ), которую планируют внедрить на отдельных участках Восточного полигона к концу 2024 года. Из-за несоответствия показателей качества электроэнергии ГОСТ происходят отказы данной системы, что в свою очередь приводит к простоям поездов и, соответственно, является недопустимым.

В статье приведено описание системы электроснабжения устройств автоблокировки одного из участков Восточного полигона. Представлены результаты замеров показателей качества электроэнергии на двух постах электрической централизации исследуемого участка. Результаты предоставлены Дорожной электротехнической лабораторией Восточно-Сибирской железной дороги. Выявлено несоответствие измеренных показателей требованиям стандарта.

Произведена разработка модели системы электроснабжения устройств автоблокировки исследуемого участка в ПК Fazonord. Модель призвана упростить процесс анализа отклонений показателей качества электроэнергии от допустимых значений и ускорить процесс разработки технических решений по уменьшению отклонений значений проблемных показателей от допустимых. Целью работы являлась проверка корректности модели путем сравнения значений суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения, измеренных экспериментально, с значениями, полученными по результатам моделирования. Выявлено что, значения, полученные при моделировании, отличаются от значений, измеренных ДЭЛ следующим образом: максимальное отклонение равно 4,9%, что ниже допустимой технической погрешности 5%. Поэтому следует заключить, что разработанная модель в полной мере описывает все процессы, протекающие в системе электроснабжения устройств автоблокировки и может применяться для дальнейшей разработки технических решений по нормализации значений проблемных показателей качества электроэнергии.

Ключевые слова: качество электроэнергии, система электроснабжения устройств автоблокировки, модель, оценка корректности модели.

I. S. Ovechkin, Y.N. Makarenko, A.V. Cherepanov

Irkutsk State Transport University, t. Irkutsk, Russia

DEVELOPMENT OF A MODEL OF THE POWER SUPPLY SYSTEM FOR AUTO-LOCKING DEVICES OF THE EASTERN POLYGON SITE

Abstract. Currently, an urgent problem in the power supply systems of auto-locking devices on load-stressed sections of railways electrified with alternating current is the discrepancy between the electricity quality indicators and the requirements of state standards. This problem is particularly acute due to the high sensitivity to the quality of electrical energy of the microprocessor technology of the auto-locking system with tonal rail circuits in microprocessor cabinets (ABTC-MS), which is planned to be implemented in certain sections of the Eastern landfill by the end of 2024. Due to the discrepancy between the indicators of the quality of electricity GOST, failures of this system occur, which in turn leads to downtime of trains and, accordingly, is unacceptable.

The article describes the power supply system for auto-locking devices of one of the sites of the Eastern polygon. The results of measurements of electricity quality indicators at two posts of electrical centralization of the studied site are presented. The results were provided by the Road Electrotechnical Laboratory of the East Siberian Railway. The discrepancy of the measured indicators with the requirements of the standard was revealed.

The development of a model of the power supply system for auto-locking devices of the studied area in the PC Fazonord was carried out. The model is designed to simplify the process of analyzing deviations of electricity quality indicators from acceptable values and speed up the process of developing technical solutions to reduce deviations of problematic indicators from acceptable values. The aim of the work was to verify the correctness of the model by

comparing the values of the total coefficient of the harmonic components of the voltage measured experimentally with the values obtained from the simulation results. It was revealed that the values obtained during modeling differ from the values measured by the DEL as follows: the maximum deviation is 4.9%, which is below the permissible technical error of 5%. Therefore, it should be concluded that the developed model fully describes all the processes occurring in the power supply system of auto-locking devices and can be used for further development of technical solutions to normalize the values of problematic indicators of electricity quality.

Keywords: power quality, power supply system of auto-locking devices, model, model correctness assessment.

Введение

В настоящее время качество электрической энергии в воздушных линиях (ВЛ), питающих устройства автоблокировки (АБ), особенно с учетом пропуска тяжеловесных поездов, не удовлетворяет нормам ГОСТ 32144–2013 [1-4]. Это в свою очередь приводит к недопустимым отказам и, следовательно, к простоям поездов. Также, ввиду внедрения на отдельных участках Восточного полигона к 30.12.2024 года системы автоблокировки с тональными рельсовыми цепями в микропроцессорных шкафах (АБТЦ-МШ) [5], построенной на микропроцессорной базе, требования к качеству электроэнергии ужесточаются, так как микропроцессорная техника очень чувствительна к качеству электроэнергии и имеет высокую стоимость.

Ускорить процесс анализа и разработки технических решений по нормализации проблемных показателей качества электроэнергии позволяет использование программно-вычислительных комплексов (ПВК). ПВК подразумевают создание визуальной модели исходной системы [6-14], где для каждого блока модели имеется своя математическая зависимость, с наибольшей точностью описывающая все процессы генерации, распределения и преобразования электрической энергии. В данной работе приведены основные этапы создания модели и оценка достоверности полученных данных на основании сравнения значений показателей качества электроэнергии, измеренных на действующих объектах, и значений, полученных по результатам моделирования.

Описание системы электроснабжения устройств автоблокировки участка ЗМ-ЧР

Основное питание устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) рассматриваемого участка Восточного полигона – ЗМ-ЧР, организовано от воздушной линии (ВЛ) СЦБ 6 кВ, расположенной на отдельных опорах. Резервное электроснабжение устройств СЦБ выполнено от ВЛ продольного электроснабжения (ПЭ) 10 кВ, расположенной на опорах контактной сети с полевой стороны.

Марки проводов ВЛ СЦБ 6 кВ и ПЭ 10 кВ, а также их протяженность для участка ЗМ-ЧР приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Марки проводов и их протяженность для участка ЗМ – ЧР

Участок	ВЛ СЦБ 6 кВ		ВЛ ПЭ 10 кВ	
	Марка провода	Протяженность, км	Марка провода	Протяженность, км
ЗМ – ДЛ	АС-50	18	СИП-50	18
	АСБ-3×16	0,3	АСБ-3×70	0,15
ДЛ – ТР	АСБ-3×16	0,35	АСБ-3×70	0,3
	АС-35	10	АС-70	10
	АСБ-3×16	0,6	АСБ-3×35	0,18
ТР – ЗЛ			АСБ-3×50	0,15
	АСБ-3×16	0,6	АСБ-3×50	0,15
	АС-35	20	АС-70	20
	АВВГ-3×180	0,07	АВВГ-3×180	0,11
ЗЛ – ГЛ	ААБ-3×50	0,103	АСБ-3×25	0,26
			ААБ-3×120	0,05
	ААБ-3×50	0,058	АСБ-3×50	1,36
ЗЛ – ГЛ	АС-35	20	АС-70	20
	ААБ-3×50	0,1	АСБ-3×25	0,06
ГЛ – ЗБ	ААБ-3×50	0,08	АСБ-3×50	0,05

	АС-35	22	АС-70	21
	АСБ-3×70	0,3	АСБ-3×16	0,27
ЗБ – ЖР	АСБ-3×70	0,545	АСБ-3×70	0,07
	АС-35	16	АС-70	16
	АСБ-3×70	0,1	АСБ-3×50	0,085
ЖР – ГР	АСБ-3×70	0,1	АСБ-3×120	0,09
	АС-35	12	АС-50	13
	АСБ-3×50	0,08	АСБ-3×70	0,03

На основании информации, приведенной в табл. 1, видим, что для линии СЦБ 6 кВ в основном используются ВЛ марки АС-35 и АС-50. Для присоединения ВЛ СЦБ к ЗРУ–6 кВ применяют кабельные линии марки АСБ-3×16(50, 70), АВВГ-3×180 и ААБ-3×50.

Для ВЛ ПЭ 10 кВ используются провода марки СИП-50 и АС-70. Для соединения ЗРУ-10 кВ с линией ПЭ применяют кабельные линии АСБ-3×25(35, 50, 70, 120), АВВГ-3×180 и ААБ-3×120.

Результаты замеров существующих показателей качества электроэнергии

На рис. 1 и в табл. 2, 3 представлены результаты замеров показателей качества электроэнергии на постах электрической централизации (ЭЦ) станций ДЛ и ЗМ. Результаты предоставлены Дорожной электротехнической лабораторией Восточно-Сибирской железной дороги (ДЭЛ ВСЖД).

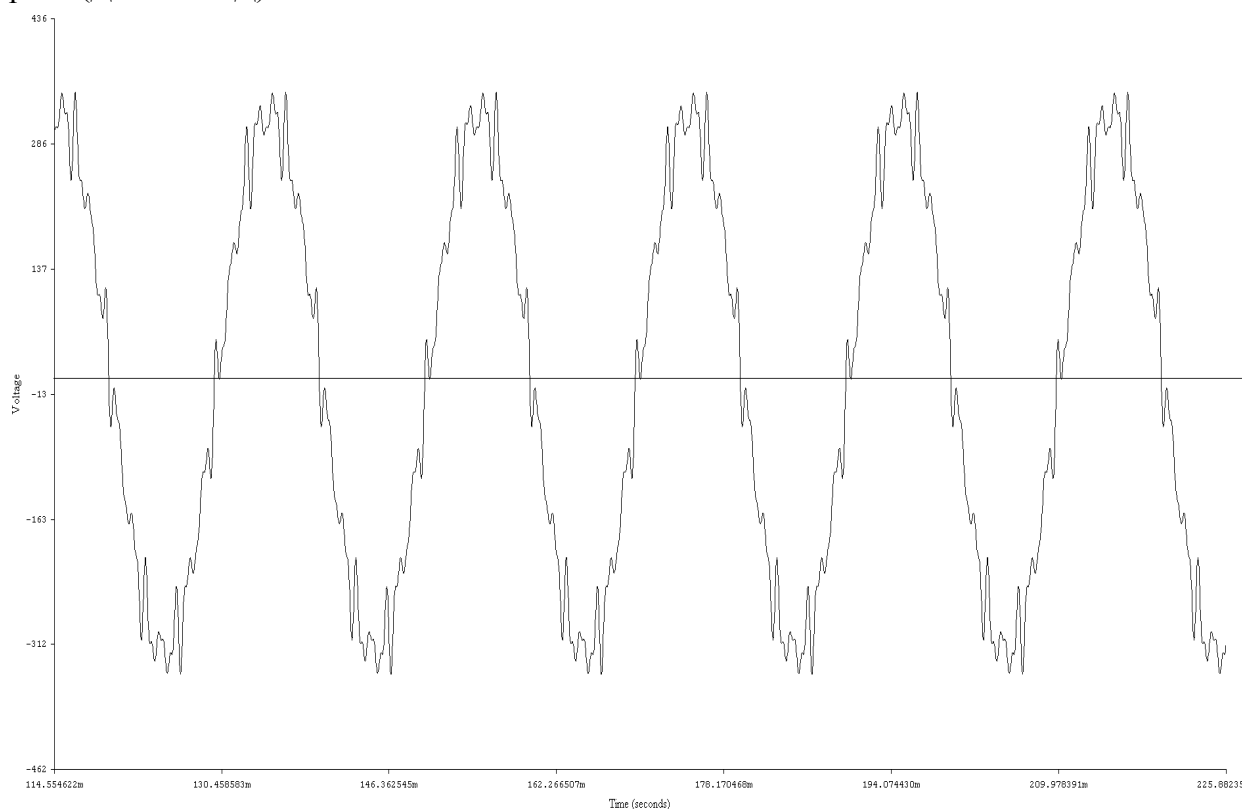


Рис. 1. Осциллограмма напряжения на посту ЭЦ станции ДЛ

Таблица 2 – Значения медленного изменения напряжения на посту ЭЦ станции ЗМ

Фаза	Время измерения, %	Пороговое нижнее значение, В/%	Пороговое верхнее значение, В/%
А	100	187/-15%	242/+10%
	95	198/-10%	242/+10%
В	100	187/-15%	242/+10%
	95	198/-10%	242/+10%
С	100	187/-15%	242/+10%
	95	198/-10%	242/+10%

Таблица 3 – Значения суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения в течение 100% времени измерения на посту ЭЦ станции ЗМ

Напряжение	Мин. значение, %	Среднее, %	Максимальное, %
U_A	4,9	7,488	10,2
U_B	7,5	11,719	14,8
U_C	11,5	14,869	17,4

По результатам замеров показателей качества электроэнергии можно заключить, что наблюдается существенное искажение синусоиды напряжения на посту ЭЦ станции ДЛ, имеет место эффект «двойного перехода синусоиды напряжения через ноль». Отрицательное медленное отклонение напряжения на посту ЭЦ станции ЗМ для всех трех фаз в течение 100% времени измерения выходит за допустимый предел -10% [1] и составляет -15%. Значения суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения в течение 100% времени измерения на посту ЭЦ станции ЗМ для напряжений фаз В и С превышают допустимый предел 12% [1] и равны 14,8 %, 17,4 % соответственно.

На основании несоответствия показателей качества электроэнергии допустимым значениям, регламентируемых ГОСТ 32144–2013, необходимо разработать комплекс мероприятий, обеспечивающих достижение проблемными показателями нормативных значений.

Создание модели системы электроснабжения устройств автоблокировки

Для разработки модели системы электроснабжения устройств автоблокировки использованы следующие элементы:

- ЛЭП АС-300 двухцепная;
- автотрансформатор 2х200-220/110;
- ЛЭП АС-120+грозотрос;
- ЛЭП АС-120;
- ЛЭП АС-35 (ВЛ СЦБ 6 кВ);
- ЛЭП АС-70 (ВЛ ПЭ 10 кВ);
- тяговый трансформатор ТДТНЖ-40000/110/27,5;
- районный трансформатор ТДТН-20000/110/35/10;
- участки контактной сети с ВЛ ПЭ 10 кВ “контактная сеть двухпутная и ВЛ ПЭ 10 кВ, М-120 + 2МФ-100 + АС-70; М-120 + МФ-100 + АС-70; ПБСМ-95 + МФ-100 + АС-70”;
- RLC-ветви (КУ; УПК; ПС; АКГ);
- вольтодобавочный трансформатор ВДТ–10–200 (ПАРН);
- трансформаторы серии ТМ, класс напряжения ВН–6(10) кВ, НН–0,23;0,4(0,4) кВ;

На рис. 2 представлен фрагмент расчетной схемы, на котором изображен блок, моделирующий ВЛ СЦБ 6 кВ.

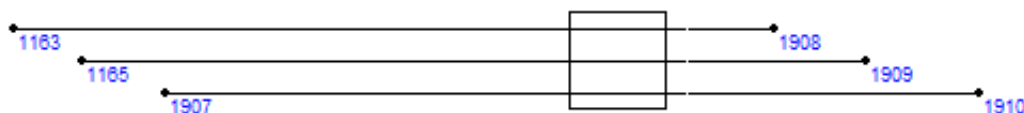


Рис. 2. Модель ВЛ СЦБ 6 кВ

ВЛ СЦБ 6 кВ представлена проводом АС – 50, который расположен на отдельно стоящей опоре (рис. 3) с параметрами, которые приведены на рис. 4.

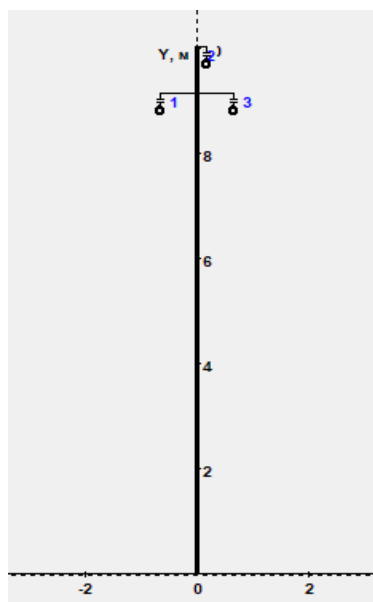


Рис. 3. Сечение модели ВЛ СЦБ 6 кВ

ЛЭП	Ст-ал,с-м	Ал,медн.	Стальные				
Кол-во л	3	0	0				
Номер пр	Ом/км	Рад.,см	X, м	Y, м	S,кв.мм	См/км	Марка
1	0,6	0,48	-0,65	8,9	56	0	АС-50
2	0,6	0,48	0	9,8	56	0	АС-50
3	0,6	0,48	0,65	8,9	56	0	АС-50
	Узлов+1	В начале		См/м	Длина,км		
Кол-во	7	3		0,0100	1		
Узлы	Заземл.	Узел 1	Узел 2	Узел 3	Узел 4	Узел 5	Узел 6
Кол-во	0	1	1	1	1	1	1
Номера	0	1	2	3	4	5	6
Нач.знач	Фаза 1	Модуль1	Фаза 2	Модуль2	Фаза 3	Модуль3	Фаза 4
<							

Рис. 4. Параметры модели ВЛ СЦБ 6 кВ

На рис. 5 представлен фрагмент расчетной схемы, на котором изображен блок, моделирующий контактную сеть и ВЛ ПЭ 10 кВ, расположенную на опоре контактной сети с полевой стороны. Приведен пример контактной сети М – 120 + МФ – 100 и ВЛ ПЭ 10 кВ, выполненной проводом АС – 70.

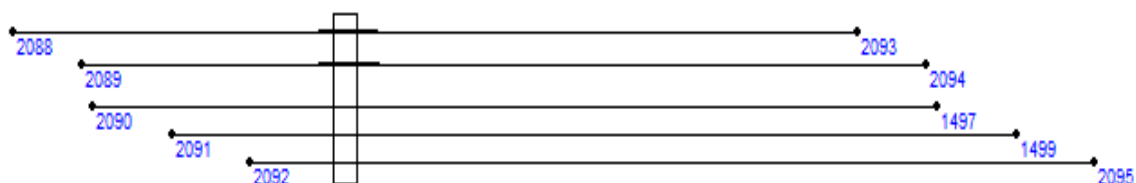


Рис. 5. Объединенная модель контактной сети и ВЛ ПЭ 10 кВ

Сечение модели приведено на рис. 6, а параметры – на рис. 7.

На рис. 8 представлен фрагмент расчетной схемы, на котором изображено питание ВЛ СЦБ 6 кВ и ВЛ ПЭ 10 кВ от районного трансформатора.

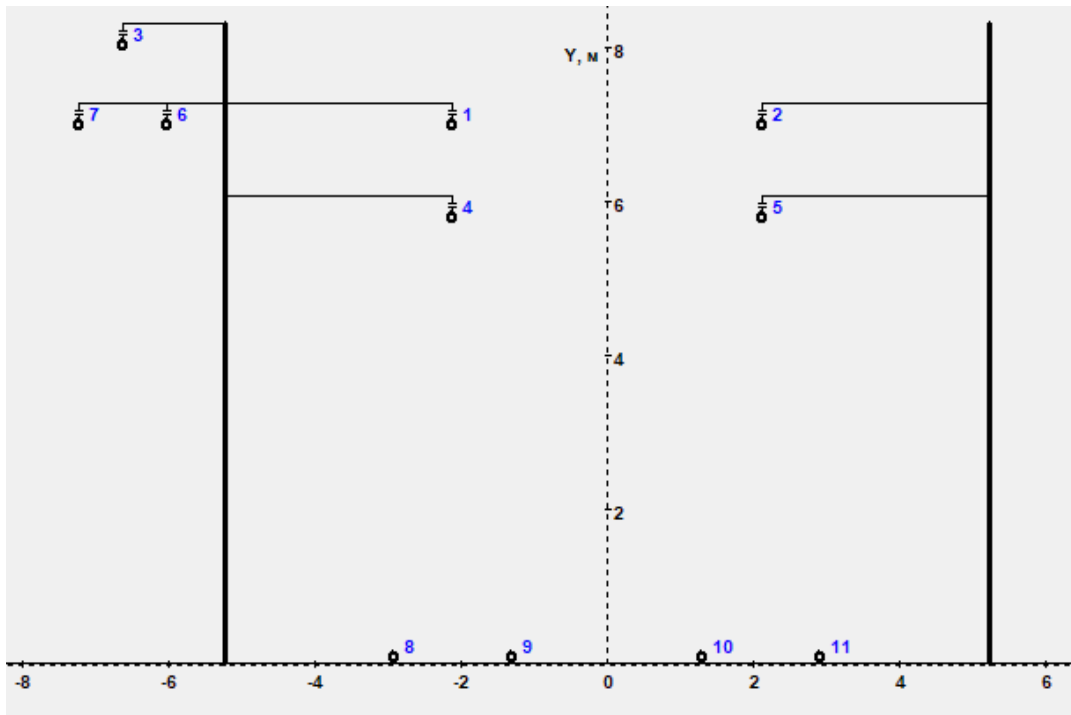


Рис. 6. Сечение объединенной модели контактной сети и ВЛ ПЭ 10 кВ

К/с	Ст-ал,с-м	Ал,медн.	Ст.,рельс				
Кол-во п	3	4	4				
Номер пр	Ом/км	Рад.,см	X, м	Y, м	S,кв.мм	См/км	Марка
1	0,158	0,7	-2,1	7	117	0	М-120
2	0,158	0,7	2,1	7	117	0	М-120
3	0,428	0,57	-6,6	8,03	70	0	АС-70
4	0,177	0,62	-2,1	5,8	100	0	МФ-100
5	0,177	0,62	2,1	5,8	100	0	МФ-100
6	0,428	0,57	-6	7	70	0	АС-70
7	0,428	0,57	-7,2	7	70	0	АС-70
8	0,2	11,1	-2,9	0,12	8290	0,5	Р-65
9	0,2	11,1	-1,3	0,12	8290	0,5	Р-65
10	0,2	11,1	1,3	0,12	8290	0,5	Р-65
11	0,2	11,1	2,9	0,12	8290	0,5	Р-65
	Узлов+1	В начале		См/м	Длина,км		
Кол-во	11	5		0,0100	1		
Узлы	Заземл.						
Кол-во	8						

Рис. 7. Параметры объединенной модели контактной сети и ВЛ ПЭ 10 кВ

Питание ВЛ СЦБ 6 кВ осуществляется от районного трансформатора, в данном примере, ТДТН–20000/110/35/10, далее от РУ 10 кВ осуществляется трансформация по уровню напряжения 10/0,23 кВ с помощью трансформатора ТМ–400/10/0,23 с дальнейшим повышением 0,23/6 кВ благодаря трансформатору СЦБ ТМ–320/0,23/6. Далее с помощью фидера СЦБ «Восток» напряжение подается в линию СЦБ 6 кВ, выполненную проводом АС – 50.

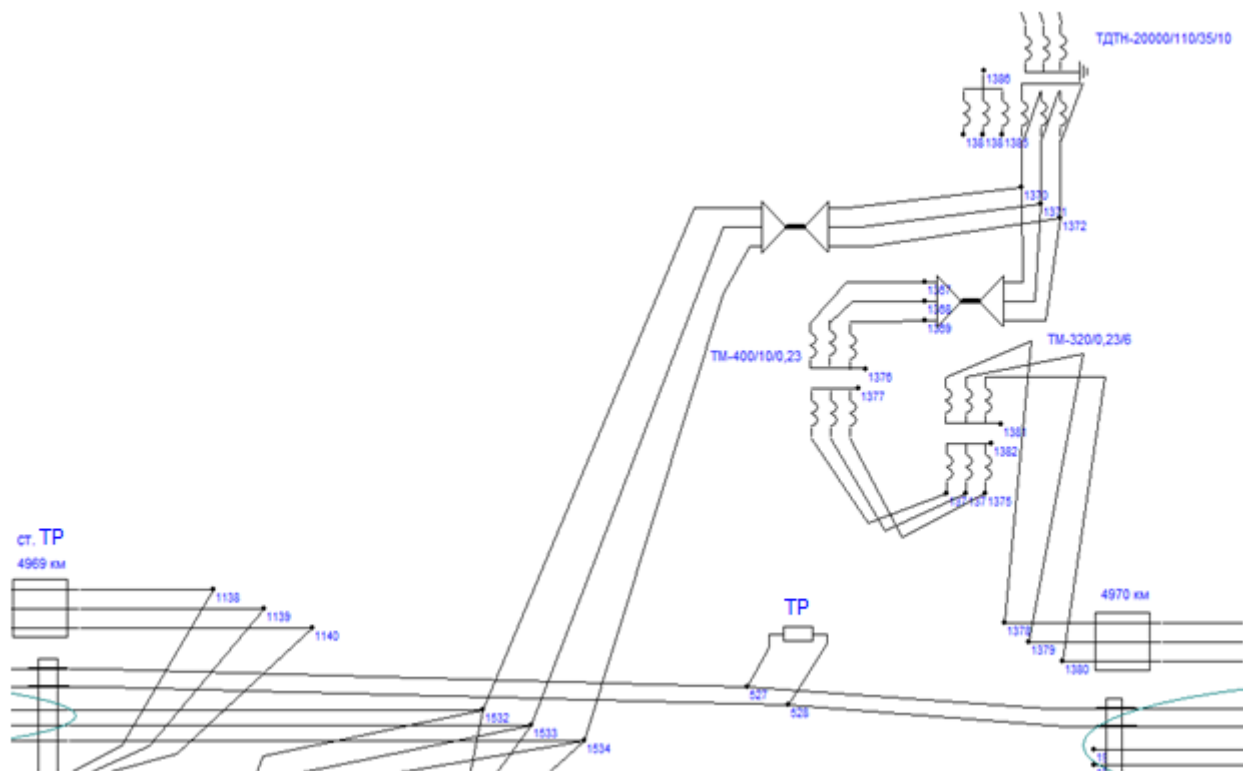


Рис. 8. Фрагмент схемы питания ВЛ СЦБ 6 кВ и ВЛ ПЭ 10 кВ от районного трансформатора

На рис. 9 представлен фрагмент расчетной схемы, на котором изображено питание ВЛ СЦБ 6 кВ от тягового трансформатора.

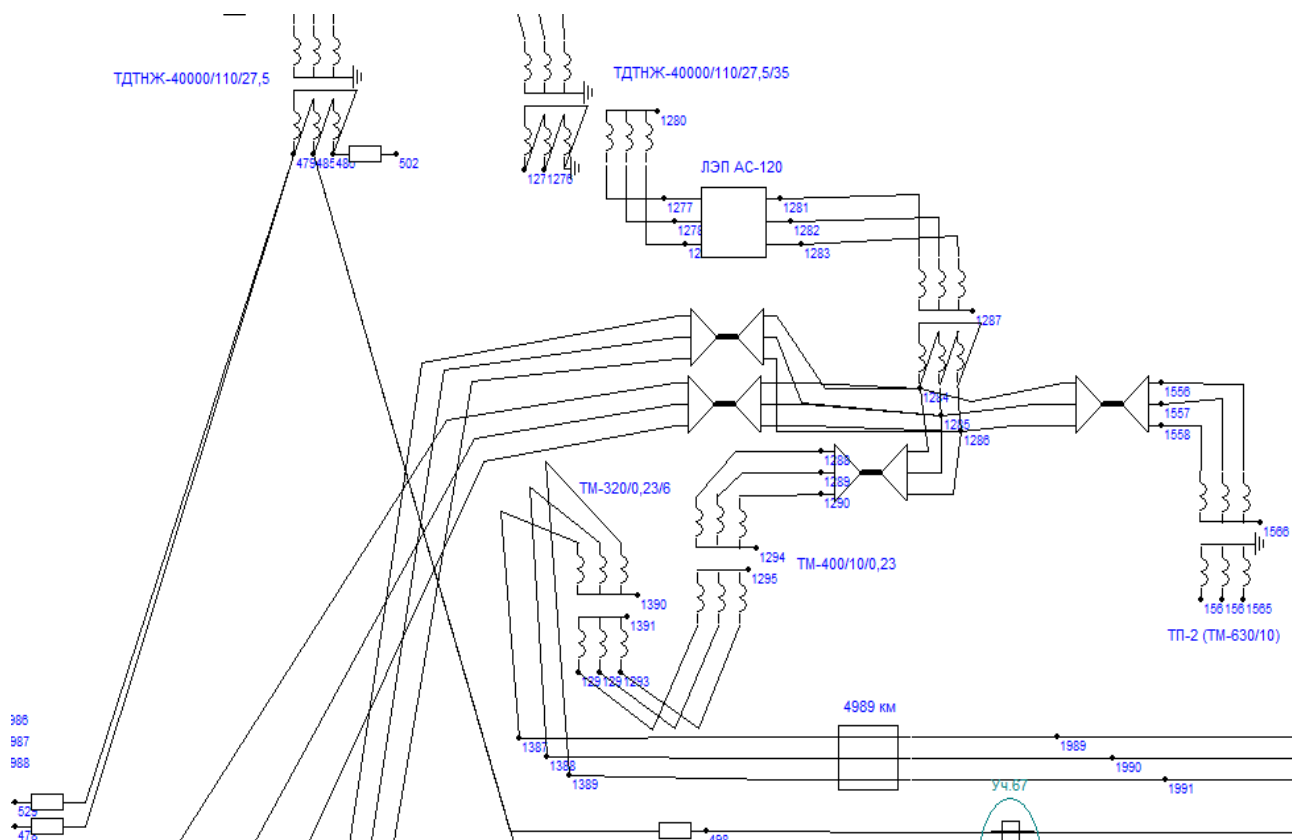


Рис. 9. Фрагмент схемы питания ВЛ СЦБ 6 кВ и ВЛ ПЭ 10 кВ от районного трансформатора

Данная модель отличается от предыдущей тем, что питание ВЛ 6 кВ и ВЛ 10 кВ осуществляется от тягового трансформатора ТДТНЖ–40000/110/27,5/35 и тем, что напряжение к РУ 10 кВ подается от РУ 35 кВ через трансформатор ТМ – 4000/35/10.

На рис. 10 представлен фрагмент расчетной схемы, на котором изображено подключение однофазных и трехфазных потребителей к ВЛ СЦБ 6 кВ и ВЛ ПЭ 10 кВ соответственно.

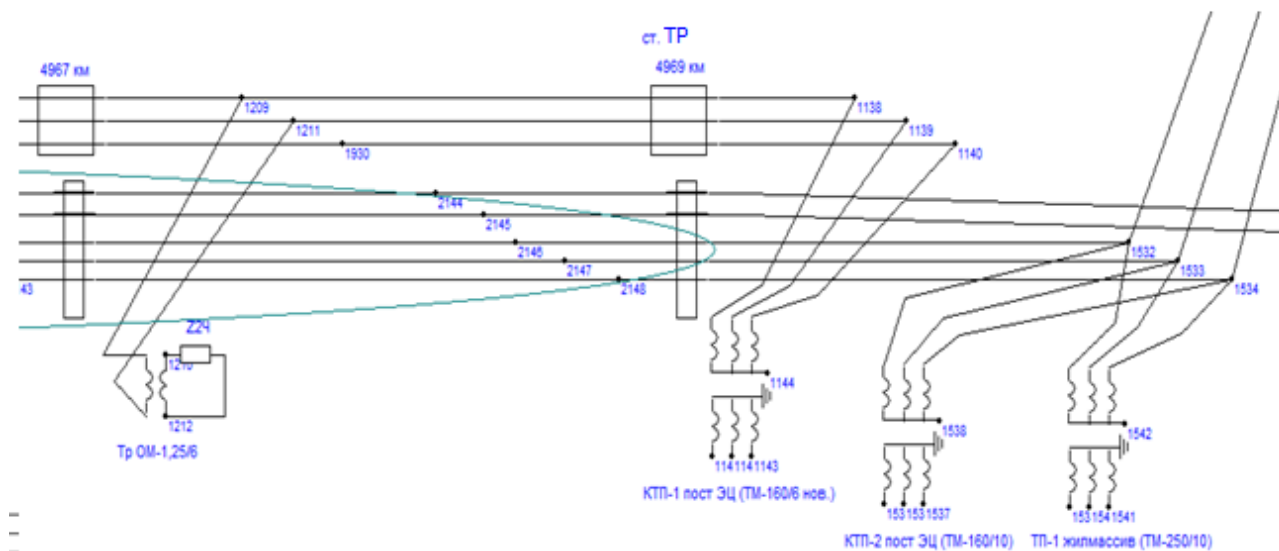


Рис. 10. Фрагмент схемы питания ВЛ СЦБ 6 кВ и ВЛ ПЭ 10 кВ от районного трансформатора

Однофазный потребитель, в данном случае – это сигнальная точка, которая подключается к двум фазам ВЛ СЦБ 6 кВ.

Расчет суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения в течение 100% времени измерения на посту ЭЦ станции ЗМ

В дальнейшем для анализа достоверности модели произведем сравнение значений суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}$, в течение 100% времени измерения на посту ЭЦ станции ЗМ, полученных по результатам замеров ДЭЛ, с значениями, рассчитанными в ПК Fazopord на базе разработанной модели.

Полученные результаты расчета представлены в табл. 4.

Таблица 4 – Значения суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения на посту ЭЦ станции Зима

Фаза	Рассчитанное значение $K_{U(n)}$, %
А	10,9
В	13,84
С	14,73

Из результатов, представленных в табл. 4, видим, что суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения для фаз В и С превышает предельное значение 12% [1].

В табл. 5 представлены значения суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения на посту ЭЦ станции ЗМ, измеренные ДЭЛ и полученные по результатам моделирования.

Таблица 5 – Сравнение значений суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения

Фаза	Значение $K_{U(n)}$, %		δ , %
	По замерам ДЭЛ	По результатам моделирования	
А	10,2	10,7	4,9
В	14,8	14,24	3,78
С	17,4	16,73	3,85

Из результатов, представленных в табл. 5, видим, что значения суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения, полученные по результатам моделирования, имеют максимальное отклонение, равное 4,9% от значений, измеренных экспериментально работниками ДЭЛ ВСЖД, что ниже допустимой технической погрешности 5%. Поэтому, приходим к заключению, что разработанная модель в полной мере описывает все процессы, протекающие в системе электроснабжения устройств автоблокировки и пригодна к дальнейшему исследованию подобных систем электроснабжения, и, при необходимости, к разработке мероприятий по нормализации проблемных показателей качества электроэнергии в данных системах.

Заключение

В данной работе произведена разработка модели системы электроснабжения устройств автоблокировки участка Восточного полигона ЗМ - ЧР в ПК Fazonord. Модель призвана упростить процесс анализа отклонения показателей качества электроэнергии от допустимых значений и ускорить процесс разработки технических решений по нормализации значений проблемных показателей. Целью работы выступала проверка корректности модели путем сравнения значений суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения, измеренными ДЭЛ, с значениями, полученными по результатам моделирования. Выявлено что, значения, полученные при моделировании, отличаются от значений, измеренных ДЭЛ, в пределах допустимой технической погрешности 5%, а именно максимальное отклонение равно 4,9%.

Таким образом, можно утверждать, что разработанная модель в полной мере описывает все процессы, протекающие в системе электроснабжения устройств автоблокировки и может применяться для дальнейшей разработки технических решений по приведению значений проблемных показателей качества электроэнергии в данных системах к допустимым значениям, что, в свою очередь, позволит существенно повысить надежность и безопасность перевозочного процесса и улучшить технико-экономические показатели работы не только системы тягового электроснабжения, но и конкретной железной дороги в целом [15-20].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Туйгунова, А.Г. О переводе питания СЦБ с 27,5 кВ на нетяговую обмотку на тяговой подстанции переменного тока / А.Г. Туйгунова, И.А. Худоногов, Е.Ю. Пузина // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2018. - № 4 (60). - С. 93-98.
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. Пузина Е.Ю. Оценка потенциала повышения энергоэффективности системы тягового электроснабжения Абаканской дистанции электроснабжения / Транспорт: наука, образование, производство: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: Изд-во РГУПС, 2017. – С. 154-157.
4. Пузина Е.Ю. Усиление системы тягового электроснабжения участка Ния-Киренга Восточно-Сибирской железной дороги. Электрификация и развитие инфраструктуры

- энергообеспечения тяги поездов на железнодорожном транспорте. Материалы Шестого Международного симпозиума “Элтранс-2011”. 2013. С. 464-468.
5. 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, FarEastCon2020. 2020. С. 9271385.
 6. Keyvan Firuzi, Mehdi Vakilian, B. Toan Phung, Trevor R. Blackburn, "Partial Discharges Pattern Recognition of Transformer Defect Model by LBP & HOG Features," Power Delivery IEEE Transactions on, vol. 34, no. 2, pp. 542–550, 2019.
 7. Черепанов А.В., Куцкий А.П. Использование управляемых источников реактивной мощности в системах тягового электроснабжения. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. Т. 20. № 9 (116). С. 103-110.
 8. Черепанов А.В., Куцкий А.П., Хисамов А.Р. Влияние режимов систем внешнего электроснабжения на пропускную способность системы тягового электроснабжения. Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2019. Т. 2. С. 8-14.
 9. Куцкий А.П., Овечкин И.С., Галков А.А. Повышение пропускной способности участка Якурим-Киренга для обеспечения графика движения поездов с максимальной массой 7100 т. Молодая наука Сибири. 2022. № 2 (16). С. 166-174.
 10. Куцкий А.П., Овечкин И.С., Галков А.А. Повышение пропускной способности участка Якурим-Киренга для обеспечения тяги сдвоенных электроподвижных составов массой 14200 т. Молодая наука Сибири. 2022. № 2 (16). С. 137-149.
 11. Овечкин И.С. Оценка эффективности применения комплектных распределительных устройств для тяговых подстанций. Молодая наука Сибири. 2021. № 2 (12). С. 181-194.
 12. Пузина Е.Ю. Усиление системы тягового электроснабжения участка Якурим-Звездная ВСЖД / Транспорт-2013: труды международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: Изд-во РГУПС, 2013. – С. 176-178.
 13. Распутина А.В., Еремеева К.Е., Распутин В.С. Социотехноприродные системы АПК России: подходы к методологии оптимальных моделей. Global and Regional Research. 2020. Т. 2. № 2. С. 146-157.
 14. Воронина Е.В., Куцкий А.П. Модернизация пути и повышение пропускной способности однопутного электрифицированного участка железной дороги Якурим-Киренга. Молодая наука Сибири. 2021. № 3 (13). С. 196-204.
 15. Пузина Е.Ю., Барыкина Ю.Н. Бенчмаркинг: основные понятия и процесс реализации. Экономический альманах. Иркутский национальный исследовательский технический университет. Иркутск, 2015. С. 147-150.
 16. 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.
 17. Овечкин И.С., Поляков М.М. Изменение сигнала на выходе линейного колебательного контура при приближении частоты к резонансной//Молодая наука Сибири. 2021. No 2 (12). С. 372-382.
 18. Овечкин И.С., Миронов Б.М. Формирование сигналов произвольной формы с применением микропроцессорного стенда SDK-1.1. Молодая наука Сибири. 2022. № 3 (17). С. 142-150.
 19. Овечкин И.С. Автоматизация тяговых подстанций ВСЖД с применением SCADA-системы. Молодая наука Сибири. 2022. № 3 (17). С. 104-112.
 20. Лундалин А.А., Пузина Е.Ю., Худоногов И.А. Направления развития релейной защиты и автоматики в российских электрических сетях. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. № 2 (62). С. 77-85.
 21. Есауленко А.С., Ступицкий В.П., Тихомиров В.А., Лобанов О.В. К повышению надежности устройств контактной сети. Молодая наука Сибири. 2021. № 2 (12). С. 200-205.

22. 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.
23. Сольская И.Ю., Русакова О.И., Меркулов А.С., Головань С.А., Зиборева О.Ю., Бородавко Л.С., Астраханцева А.С., Басова А.В., Халетская С.А., Яковлева Н.В. Инфраструктурные аспекты управления социально-экономическими системами. Иркутский государственный университет путей сообщения. Иркутск, 2022.

REFERENCES

1. Tuigunova A. G., Khudonogov I. A., Puzina E. Yu. On the transfer of the power supply of the SCB from 27.5 kV to a non-traction winding at an AC traction substation// Modern technology. Systemanalysis. Modeling. 2018. no. 4 (60). Pp. 93-98.
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. 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, FarEastCon2020. 2020. С. 9271385.
4. Puzina E.Yu. Strengthening of the traction power supply system of the Niya-Kirenga section of the East Siberian Railway. Electrification and development of power supply infrastructure for train traction on railway transport. Materials of the Sixth International Symposium "Eltrans-2011". 2013. pp. 464-468.
5. Puzina E. Yu. Assessment of the potential for improving energy efficiency of the traction power supply system of the Abakan power supply distance / Transport: science, education, production: collection of scientific papers of the International scientific and practical conference. Rostov-on-don: RSUPS Publishing house, 2017, Pp. 154-157.
6. Keyvan Firuzi, Mehdi Vakilian, B. Toan Phung, Trevor R. Blackburn, "Partial Discharges Pattern Recognition of Transformer Defect Model by LBP & HOG Features," Power Delivery IEEE Transactions on, vol. 34, no. 2, pp. 542–550, 2019.
7. Cherepanov A.V., Kutsyi A.P. Use of controlled sources of reactive power in traction power supply systems. Bulletin of the Irkutsk State Technical University. 2016.Vol. 20.No. 9 (116). S. 103-110.
8. Cherepanov A.V., Kutsy A.P., Hisamov A.R. Influence of modes of external power supply systems on the capacity of the traction power supply system. Transport infrastructure of the Siberian region. 2019. Vol. 2. pp. 8-14.
9. Kutsy A.P., Ovechkin I.S., Galkov A.A. Increasing the capacity of the Yakurim-Kirenga section to ensure the schedule of trains with a maximum mass of 7,100 tons. The young science of Siberia. 2022. No. 2 (16). pp. 166-174.
10. Kutsy A.P., Ovechkin I.S., Galkov A.A. Increasing the throughput capacity of the Yakurim-Kirenga section to provide traction for twin electric rolling stock weighing 14200 tons. The young science of Siberia. 2022. No. 2 (16). pp. 137-149.
11. Ovechkin I.S. evaluation of the effectiveness of the use of complete switchgear for traction substations. The young science of Siberia. 2021. No. 2 (12). pp. 181-194.
12. Puzina E. Yu. Strengthening of the traction power supply system of the Yakurim-Zvezdnaya section of the VSZHD / Transport-2013: proceedings of the international scientific and practical conference. Rostov-on-don: RSUPS Publishing house, 2013, Pp. 176-178.
13. Rasputina A.V., Ereemeeva K.E., Rasputin V.S. Sociotechnological systems of the agroindustrial complex of Russia: approaches to the methodology of optimal models. Global and Regional Research. 2020. Vol. 2. No. 2. pp. 146-157.

14. Voronina E.V., Kutsy A.P. Modernization of the track and increasing the capacity of the single-track electrified section of the Yakurim-Kirenga railway. The young science of Siberia. 2021. No. 3 (13). pp. 196-204.
15. Puzina E.Yu., Barykina Yu.N. Benchmarking: basic concepts and implementation process. Economic almanac. Irkutsk National Research Technical University. Irkutsk, 2015. pp. 147-150.
16. 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.
17. Ovechkin I.S., Polyakov M.M. Signal change at the output of a linear oscillatory circuit when the frequency approaches the resonant//The young science of Siberia. 2021. No. 2 (12). pp. 372-382.
18. Ovechkin I.S., Mironov B.M. Arbitrary waveform generation using the SDK-1 microprocessor stand.1. Young science of Siberia. 2022. No. 3 (17). pp. 142-150.
19. Ovechkin I.S. Automation of traction substations of VSZHD using SCADA system. The young science of Siberia. 2022. No. 3 (17). pp. 104-112.
20. Lundalin A.A., Puzina E.Yu., Khudonogov I.A. Directions of development of relay protection and automation in Russian electric networks. Modern technologies. System analysis. Modeling. 2019. No. 2 (62). pp. 77-85.
21. Esaulenko A.S., Stupitsky V.P., Tikhomirov V.A., Lobanov O.V. To increase the reliability of contact network devices. Young science of Siberia. 2021. No. 2 (12). pp. 200-205.
22. 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. Pp. 328-332.
23. Solskaya I.Yu., Rusakova O.I., Merkulov A.S., Golovan S.A., Ziboreva O.Yu., Borodavko L.S., Astrakhantseva A.S., Basova A.V., Khaletskaya S.A., Yakovleva N.V. Infrastructural aspects of management of socio-economic systems. Irkutsk State University of Railway Transport. Irkutsk, 2022.

Информация об авторах

Овечкин Илья Сергеевич - аспирант, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: iliaov2015@mail.ru

Макаренко Юрий Николаевич – студент гр. СОД.1-20-1, специальность «Системы обеспечения движения поездов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск e-mail: makarenkaaa73@gmail.com

Черепанов Александр Валерьевич – к.т.н., доцент кафедры Электроэнергетика транспорта, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: smart_grid@mail.ru

Authors

Ilya Sergeevich Ovechkin – graduate student, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: iliaov2015@mail.ru

Makarenko Yuri Nikolaevich – student g. SOD.1-20-1, specialty "Train traffic management Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: makarenkaaa73@gmail.com

Cherepanov Aleksandr Valer'evich – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. at the Subdepartment of Electric Power Industry of Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: smart_grid@mail.ru