

А.П. Куцый, А.Ю. Бардушко

Иркутский государственный университет путей сообщения. Иркутск, Российская Федерация

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УСИЛИВАЮЩЕГО И ЭКРАНИРУЮЩЕГО ПРОВОДОВ ДЛЯ РЕАЛЬНОГО УЧАСТКА ВСЖД В РАЗНЫХ РЕЖИМАХ ПРОПУСКА ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ПОЕЗДОВ

Аннотация. В данной работе приводятся результаты анализа эффективности при модернизации тяговой подвески за счет применения усиливающего и экранирующего проводов. Расчеты проводились для реального участка ВСЖД, имеющего горно-перевальный профиль пути при трех режимах работы пропуска поездов: фактический, в технологическое «окно» и интенсивный.

Ключевые слова: тяговая сеть, система тягового электроснабжения, усиливающий провод, экранирующий провод, напряжение.

A.P. Kutsyi, A.Y. Bardushko

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF REINFORCING AND SHIELDING WIRES FOR A REAL SECTION OF THE VSZHD IN DIFFERENT MODES OF PASSAGE OF HEAVY TRAINS

Abstract. This paper presents the results of the analysis of efficiency in the modernization of the traction suspension due to the use of reinforcing and shielding wires. The calculations were carried out for a real section of the VSZHD, which has a mountain-pass profile of the track with three modes of operation for passing trains: actual, in the technological "window" and intensive.

Keywords: traction network, traction power supply system, reinforcing wire, shielding wire, voltage.

Характеристики режима работы рассматриваемого участка

В работе рассматривается двухпутный участок, состоящий из 4 тяговых подстанций (ТП). Питание тяговой сети осуществляется по системе электроснабжения 2х25 кВ. Параметры межподстанционных зон (МПЗ) указаны в таблице 1. Отличительными особенностями системы 2х25 кВ является наличие в МПЗ на расстоянии 7 - 15 км автотрансформаторов (понижают напряжение с 50 кВ до 25 Кв, питающего провода, который, совместно с контактным, является линией электропередачи для автотрансформаторов, а также использование однофазных трансформаторов с расщепленной обмоткой для обеспечения питания тяговой сети.

Таблица 1 – Характеристики рассматриваемого участка

Наименование межподстанционной зоны	Длина зоны, км	Питающее напряжение, кВ	Система электроснабжения
ТП1-ТП2	71	110	2Х25
ТП2-ТП3	67	110	2Х25
ТП3-ТП4	57	110	2Х25

Анализ пропускной способности проводится для трех режимов работы:

- Фактический;
- Интенсивный (с тяжеловесными поездами) [1,2];
- В технологическое окно [3].

Результаты расчета параметров режима при фактических (существующих на данный момент) массах поездов представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты расчета параметров СТЭ при фактических условиях работы

МПЗ	ТП	k пер. тр.	W полн., кВт·А·ч	W акт., кВт·ч	U min, кВ		Нагрев проводов конт. подвески, °С			W а., кВт·ч		W р., кВАр·ч	
					1 путь	2 путь	1 путь	2 путь	Отс.	левое	правое	левое	правое
ТП1-ТП2	ТП1	1,44	260404	245748	22,75	22,76	45	42	42	0	120871	0	36095
	ТП2	0,71					46	42	40	124876	93237	50034	5636
ТП2-ТП3	ТП2	0,71	196931	153935	22,86	22,27	46	42	40	124876	93237	50034	5636
	ТП3	1,17					41	43	40	69493	70440	73605	47408
ТП3-ТП4	ТП3	1,17	164323	129301	24,13	23,28	41	43	40	69493	70440	73605	47408
	ТП4	1,11					41	42	40	58861	0	53999	0

Как видно из таблицы 1, при фактическом режиме работы рассматриваемого участка условия пропуска поездов выполняются. Значение напряжения, температур нагрева и загрузки тяговых трансформаторов удовлетворяют необходимым условиям.

Расчет параметров режима работы СТЭ при интенсивном графике движения поездов и работы в «окно»

Согласно с методикой проверки пропускной способности «Программа расчета пропускной способности электрифицированных железных дорог», разработанной ВНИИЖТом, для проверки пропускной способности в периоды интенсивной работы используется пакетный график - пропуск смешанного пакета в направлении большего токопотребления (четное) из поездов повышенного веса (7100т) и среднего веса (6000т) с интервалом 10 мин (каждый третий поезд - тяжелый) и пакета из поездов средней массы (6000т) с интервалом 10 мин в направлении меньшего токопотребления (нечетное). При этом система тягового электроснабжения должна обеспечивать устойчивую работу при минимальном интервале 10 мин.

Результаты расчетов параметров рассматриваемого участка в режиме интенсивного движения и работы в «окно» показаны в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Результаты расчета параметров СТЭ в интенсивные периоды работы

МПЗ	ТП	k пер. тр.	W полн., кВт·А·ч	W акт., кВт·ч	U min, кВ		Нагрев проводов конт. подвески, °С			W а., кВт·ч		W р., кВАр·ч	
					1 путь	2 путь	1 путь	2 путь	Отс.	левое	правое	левое	правое
ТП1-ТП2	ТП1	1,13	107482	88123	19,7	19,26	52	50	42	0	41735	0	20363
	ТП2	1,33					53	47	43	32593	33148	34833	27715
ТП2-ТП3	ТП2	1,33	87851	67256	19,24	18,43	53	47	43	32593	33148	34833	27715
	ТП3	2,08					44	49	41	26998	31288	32035	22066
ТП3-ТП4	ТП3	2,08	73889	57471	20,4	20,36	44	49	41	26998	31288	32035	22066
	ТП4	1,84					43	43	40	26184	0	24374	0

Таблица 4 – Результаты расчета параметров СТЭ при работе в окно

МПЗ	ТП	k пер. тр.	W полн., кВт·А·ч	W акт., кВт·ч	U min, кВ		Нагрев проводов конт. подвески, °С			W а., кВт·ч		W р., кВАр·ч	
					1 путь	2 путь	1 путь	2 путь	Отс.	левое	правое	левое	правое
ТП1-ТП2	ТП1	0,85	69570	54818	-	22,6	46	53	40	0	22169	0	6163
	ТП2	0,64					41	47	41	22826	12589	22884	10458
ТП2-ТП3	ТП2	0,64	62381	47255	-	19,69	41	47	41	22826	12589	22884	10458
	ТП3	1,83					42	41	41	20303	28127	24358	20439
ТП3-ТП4	ТП3	1,83	64433	49919	-	21,71	42	41	41	20303	28127	24358	20439
	ТП4	1,49					42	44	40	21792	0	20301	0

По итогам проведенных расчетов и анализа полученных данных, установлено, что СТЭ рассматриваемого участка не обеспечивает допустимых параметров режима работы при пропуске поездов в интенсивные периоды и в технологическое «окно». Напряжение в контактной сети опускается ниже допустимого 21 кВ. Наибольшее падение напряжения наблюдается в межподстанционной зоне ТП2 – ТП3, т.к. для нее напряжение в контактной сети ниже 21 кВ как в интенсивные периоды работы, так и при работе в технологическое окно. Кроме того, на ТП3 наблюдается перегрев тягового трансформатора.

Применение усиливающего и экранирующего проводов для обеспечения необходимой пропускной способности

Для повышения пропускной способности электрифицированного участка железной дороги существует ряд технических и организационных способов, применение которых эффективно сказывается на энергоэффективности и качестве электрической энергии [4-7]. В данной работе рассмотрена возможность усиления тяговой сети за счет применения усиливающего и экранирующего проводов по отдельности и в совокупности.

Усиливающим проводом контактной сети называется провод, электрически соединённый с контактной подвеской, служащий для снижения общего электрического сопротивления контактной сети.

Экранирующим проводом называется провод, расположенный на опорах контактной сети железной дороги и имеющий соединения с тяговой рельсовой сетью или со специальными заземлителями [8] и предназначенный для снижения магнитного влияния тяговой сети железной дороги на линии связи и снижения потерь напряжения в тяговой сети.

На рисунке 1 представлена схема расположения проводов на опоре контактной сети.

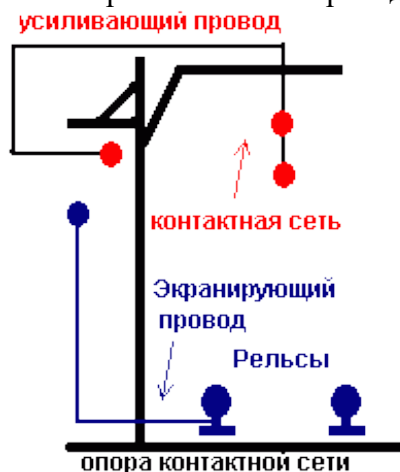


Рис. 1. Схема расположения усиливающего и экранирующего проводов на опоре контактной сети

Достоинства применения усиливающего и экранирующего проводов:

- снижение потерь электроэнергии;
- снижение опасных индуктивных влияний на смежные сооружения примерно в два раза;
- снижение потенциала рельсов (повышение электробезопасности) примерно в два раза;
- снижение сопротивления тяговой сети примерно в два раза (стабилизация уровня напряжения даже при больших токах, возможность увеличения расстояний между подстанциями при новом строительстве).

В таблицах 5 – 10 представлены результаты расчета параметров режима СТЭ рассматриваемого участка после применения, усиливающего и экранирующего проводов по отдельности и в совокупности. Расчеты проводились для режимов интенсивной работы и работы в технологическое окно.

Таблица 5 – Результаты расчета параметров СТЭ в интенсивные периоды после подвеса усиливающего провода

МПЗ	ТП	k пер. тр.	W полн., кВт·А·ч	W акт., кВт·ч	U min, кВ		Нагрев проводов конт. подвески, °С			W а., кВт·ч		W р., кВтАр·ч	
					1 путь	2 путь	1 путь	2 путь	Отс.	левое	правое	левое	правое
ТП1-ТП2	ТП1	2,39	88441	78305	20,97	20,7	51	50	41	0	43589	0	10825
	ТП2	2,57					45	46	43	34716	34861	30286	21334
ТП2-ТП3	ТП2	2,57	87782	68265	19,75	19,38	45	46	43	34716	34861	30286	21334
	ТП3	2,17					44	46	41	26880	31851	32427	21453
ТП3-ТП4	ТП3	2,17	73788	57909	20,86	20,92	44	46	41	26880	31851	32427	21453
	ТП4	1,98					43	43	41	26058	0	24277	0

Таблица 6 – Результаты расчета параметров СТЭ при работе в окно после подвеса усиливающего провода

МПЗ	ТП	k пер. тр.	W полн., кВт·А·ч	W акт., кВт·ч	U min, кВ		Нагрев проводов конт. подвески, °С			W а., кВт·ч		W р., кВтАр·ч	
					1 путь	2 путь	1 путь	2 путь	Отс.	левое	правое	левое	правое
ТП1-ТП2	ТП1	1,87	75920	70953	-	23,85	47	53	40	0	22620	0	4364
	ТП2	1,17					44	41	41	24669	13161	16330	2077
ТП2-ТП3	ТП2	1,17	62323	48279	-	20,98	44	41	41	24669	13161	16330	2077
	ТП3	1,9					42	49	41	19653	28239	24020	19743
ТП3-ТП4	ТП3	1,9	64429	50505	-	22,27	42	49	41	19653	28239	24020	19743
	ТП4	1,63					42	43	41	22266	0	20261	0

Таблица 7 – Результаты расчета параметров СТЭ в интенсивные периоды после подвеса экранирующего провода

МПЗ	ТП	k пер. тр.	W полн., кВт·А·ч	W акт., кВт·ч	U min, кВ		Нагрев проводов конт. подвески, °С			W а., кВт·ч		W р., кВтАр·ч	
					1 путь	2 путь	1 путь	2 путь	Отс.	левое	правое	левое	правое
ТП1-ТП2	ТП1	2,35	88268	77649	20,44	20,08	55	52	41	0	42476	0	12226
	ТП2	2,53					53	48	43	35173	34537	29750	21684
ТП2-ТП3	ТП2	2,53	87876	67986	19,57	19,07	53	48	43	35173	34537	29750	21684
	ТП3	2,1					44	49	41	27263	31578	32063	21707
ТП3-ТП4	ТП3	2,1	73869	57812	20,58	20,65	44	49	41	27263	31578	32063	21707
	ТП4	1,9					43	44	40	26234	0	24277	0

Таблица 8 – Результаты расчета параметров СТЭ при работе в технологическое окно после подвеса экранирующего провода

МПЗ	ТП	k пер. тр.	W полн., кВт·А·ч	W акт., кВт·ч	U min, кВ		Нагрев проводов конт. подвески, °С			W а., кВт·ч		W р., кВтАр·ч	
					1 путь	2 путь	1 путь	2 путь	Отс.	левое	правое	левое	правое
ТП1-ТП2	ТП1	1,76	48621	46999	-	23,39	47	55	40	0	21678	0	3697
	ТП2	1,17					41	48	40	25322	13125	16148	2106
ТП2-ТП3	ТП2	1,17	62352	47989	-	20,28	41	48	40	25322	13125	16148	2106
	ТП3	1,85					43	54	41	20236	28250	24118	20039
ТП3-ТП4	ТП3	1,85	64464	50400	-	22,01	43	54	41	20236	28250	24118	20039
	ТП4	1,56					42	45	40	22150	0	20154	0

Таблица 9 – Результаты расчета параметров СТЭ в интенсивные периоды после подвеса усиливающего и экранирующего проводов

МПЗ	ТП	k пер. тр.	W полн., кВт·А·ч	W акт., кВт·ч	U min, кВ		Нагрев проводов конт. подвески, °С			W а., кВт·ч		W р., кВтАр·ч	
					1 путь	2 путь	1 путь	2 путь	Отс.	левое	правое	левое	правое
ТП1-ТП2	ТП1	1,38	92082	82064	22,27	22,23	49	44	47	0	45430	0	7674
	ТП2	1,43					47	45	48	36634	36678	34094	21978
ТП2-ТП3	ТП2	1,43	96314	74700	22,47	21,9	47	45	48	36634	36678	34094	21978
	ТП3	1,45					44	46	49	32889	33806	41006	21556
ТП3-ТП4	ТП3	1,45	77010	60195	22,2	22,17	44	46	49	32889	33806	41006	21556
	ТП4	1,01					42	42	41	26390	0	26475	0

Таблица 10 – Результаты расчета параметров СТЭ при работе в технологическое окно после подвеса усиливающего и экранирующего проводов

МПЗ	ТП	k пер. тр.	W полн., кВт·А·ч	W акт., кВт·ч	U min, кВ		Нагрев проводов конт. подвески, °С			W а., кВт·ч		W р., кВтАр·ч	
					1 путь	2 путь	1 путь	2 путь	Отс.	левое	правое	левое	правое
ТП1-ТП2	ТП1	0,95	49344	47848	-	24,06	44	48	40	0	21051	0	6742
	ТП2	0,73					40	45	41	26797	13381	18798	2099
ТП2-ТП3	ТП2	0,73	66845	51589	-	22,6	40	45	41	26797	13381	18798	2099
	ТП3	1,31					42	49	47	25144	30113	30518	19983
ТП3-ТП4	ТП3	1,31	66782	52148	-	23,12	42	49	47	25144	30113	30518	19983
	ТП4	0,82					41	42	40	22034	0	21736	0

Заключение

Проведенный расчет режима работы системы тягового электроснабжения показал, что подвес усиливающего провода показывает лучшие результаты по сравнению с экранирующим (выше напряжение в контактной сети, ниже перегрузка трансформаторов), однако для того, чтобы обеспечить требуемую пропускную способность необходимо осуществлять одновременный подвес усиливающего и экранирующего проводов. Следует заметить, что применение экранирующего провода эффективней влияет на снижение коэффициента перегрузки тяговых трансформаторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Повышение пропускной способности участка Якурим - Киренга для обеспечения графика движения поездов с максимальной массой 7100 тонн // Куцкий А.П., Овечкин И.С., Галков А.А. Молодая наука Сибири. 2022. № 2 (16). С. 166-174.
2. Моделирование ремонтных режимов работы системы электроснабжения участка Юрты - Нижнеудинск при реализации систем интервального регулирования // Пузина Е.Ю. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2022. № 3 (75). С. 181-194.
3. Анализ ремонтных режимов работы системы электроснабжения участка Тайшет - Тулун Восточно-Сибирской железной дороги // Пузина Е.Ю., Худоногов И.А. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2021. № 1 (69). С. 223-234.
4. Анализ мероприятий по уменьшению потерь электрической энергии в системе тягового электроснабжения // Куцкий А.П., Сальникова Д.В., Кузнецов К.Е. Молодая наука Сибири. 2022. № 3 (17). С. 112-118.
5. Анализ эффективности применения организационных и технических способов повышения пропускной способности тяговой сети двухпутного горно-перевального участка // Куцкий А.П., Овечкин И.С., Галков А.А. Молодая наука Сибири. 2022. № 3 (17). С. 56-63.
6. Управление режимами систем электроснабжения железных дорог на основе технологий интеллектуальных сетей (smart grid) / Г.О. Арсентьев, Ю.Н. Булатов, А.В. Крюков [и др.] / Под редакцией А.В. Крюкова. Иркутск: Ир-ГУПС, 2019. 414 с.

7. Развитие пропускной способности лимитирующего участка Чукша-Торея-Огневка // Кузубов Д.И., Пузина Е.Ю. Молодая наука Сибири. 2022. № 3 (17). С. 88-97.
8. Анализ эксплуатационного контроля состояния жестких поперечин контактной сети // Лобанов О.В., Ступицкий В.П., Астраханцев Л.А. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2022. № 1 (73). С. 153-162.

REFERENCES

1. Increasing the capacity of the Yakurim - Kirenga section to ensure the schedule of trains with a maximum weight of 7100 tons // Kutsyy A.P., Ovechkin I.S., Galkov A.A. Molodaya nauka Sibiri. 2022. No. 2 (16). pp. 166-174.
2. Modeling of repair modes of operation of the power supply system of the Yurt - Nizhneudinsk site during the implementation of interval control systems // Puzina E.Yu. Modern technologies. System analysis. Modeling. 2022. No. 3 (75). pp. 181-194.
3. Analysis of repair modes of operation of the power supply system of the Taishet - Tulun section of the East Siberian Railway // Puzina E.Yu., Khudonogov I.A. Modern technologies. System analysis. Modeling. 2021. No. 1 (69). pp. 223-234.
4. Analysis of measures to reduce electric energy losses in the traction power supply system // Kutsyy A.P., Salnikova D.V., Kuznetsov K.E. Molodaya nauka Sibiri. 2022. No. 3 (17). pp. 112-118.
5. Analysis of the effectiveness of the application of organizational and technical methods to increase the capacity of the traction network of a double-track mining and transshipment section // Kutsyy A.P., Ovechkin I.S., Galkov A.A. Molodaya nauka Sibiri. 2022. No. 3 (17). pp. 56-63.
6. Management of modes of railway power supply systems based on smart grid technologies / G.O. Arsentiev, Yu.N. Bulatov, A.V. Kryukov [et al.] / Edited by A.V. Kryukov. Irkutsk: Ir-GUPS, 2019. 414 p.
7. Development of the capacity of the limiting section Chuksha-Toreya-Ognevka // Kuzubov D.I., Puzina E.Yu. Young science of Siberia. 2022. No. 3 (17). pp. 88-97.
8. Analysis of operational control of the state of rigid crossbars of the contact network // Lobanov O.V., Stupitsky V.P., Astrakhantsev L.A. Modern technologies. System analysis. Modeling. 2022. No. 1 (73). pp. 153-162.

Информация об авторах

Куцкий Антон Павлович – старший преподаватель кафедры «Электроэнергетика транспорта», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: kutsyi_ap@irgups.ru

Бардушко Александр Юрьевич – студент группы СОД.1-21-1, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: aleksandr.bardushko@yandex.ru

Information about the authors

Kutsyi Anton Pavlovich – Senior lecturer of the Department of «Electric Power Engineering of Transport», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: kutsyi_ap@irgups.ru

Bardushko Alexander Yuryevich – student of the group SOD.1-21-1, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: aleksandr.bardushko@yandex.ru