

УСИЛЕНИЕ СИСТЕМ ТЯГОВОГО И ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА УЧАСТКЕ ЗИМА – ГОНЧАРОВО ПРИ ВНЕДРЕНИИ СИСТЕМ ИНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Аннотация. В данной статье на основании результатов компьютерного моделирования и расчета параметров режимов работы систем тягового и внешнего электроснабжения предложено выполнить их необходимое техническое перевооружение на участке Восточно-Сибирской железной дороги Зима – Гончарово для обеспечения пропуска тяжеловесных поездов с применением технологий «виртуальной сцепки» и системы микропроцессорной автоблокировки с тональными рельсовыми цепями и централизованным размещением аппаратуры в шкафном варианте (АБТЦ-МШ), согласно перспективных размеров движения на 2025 год.

Рассмотрены четыре варианта усиления систем внешнего и тягового электроснабжения на исследуемом участке. Необходимо отметить, что все они являются комбинированными, так как использование средств усиления систем электроснабжения в индивидуальном порядке не позволило обеспечить заданную пропускную способность участка. Во всех рассмотренных вариантах усиления предлагается включение в параллельную работу тягового трансформатора на подстанции Залари, так как проблему загруженности данной тяговой подстанции не представляется возможным решить каким-либо другим способом.

В результате анализа и сравнения предлагаемых вариантов определено, что наиболее оптимальным вариантом для двух систем АБТЦ-МШ и «виртуальная сцепка» является вариант, использующий такие средства усиления как установка КУ; включение в параллельную работу дополнительного тягового трансформатора; установка УПК; установка ПС; монтаж третьей цепи линии электропередачи 110 кВ. Именно такой вариант обеспечивает лучшие значения минимального напряжения на всех межподстанционных зонах и требует включения в параллель трансформатора только на одной тяговой подстанции.

Ключевые слова: пропускная способность, силовые трансформаторы, система тягового электроснабжения, система внешнего электроснабжения, система интервального регулирования, виртуальная сцепка.

STRENGTHENING OF TRACTION AND EXTERNAL POWER SUPPLY SYSTEMS FOR THE SECTION ZIMA - GONCHAROVO DURING THE INTRODUCTION OF SYSTEMS OF INTERVAL REGULATION

Abstract. In this article, based on the results of computer modeling and calculation of the parameters of the operating modes of traction and external power supply systems, it is proposed to carry out their necessary technical re-equipment on the section of the East Siberian Railway Zima - Goncharovo to ensure the passage of heavy trains using "virtual coupling" technologies and the system microprocessor-based automatic blocking with tone track circuits and centralized placement of equipment in a cabinet version (ABTTs-MSh), according to the prospective traffic dimensions for 2025.

Four options for strengthening the systems of external and traction power supply in the study area are considered. It should be noted that all of them are combined, since the use of means of strengthening power supply systems on an individual basis did not allow to provide the specified throughput of the site. In all considered options for amplification, it is proposed to include a traction transformer at the Zalari substation in parallel operation, since the problem of loading this traction substation cannot be solved in any other way.

As a result of the analysis and comparison of the proposed options, it was determined that the most optimal option for the two systems ABTTs-MShch and "virtual coupling" is the option using such amplification means as the installation of a KU; inclusion in parallel operation of an additional traction transformer; installation of the CPC; installation of PS; installation of the third circuit of the 110 kV transmission line. It is this option that provides the best values of the minimum voltage at all inter-substation zones and requires the transformer to be connected in parallel at only one traction substation.

Keywords: capacity, power transformers, traction power supply system, external power supply system, interval control system, virtual coupling

Введение

По мере развития экономики увеличиваются объемы перевозимых грузов, а, значит, необходимо повышать пропускную и провозную способность железных дорог [1-4]. Для этого разрабатываются и внедряются мероприятия по увеличению скоростей движения и весовых норм поездов, создаются новые электровозы большей мощности, внедряются мероприятия по диагностике и автоматизированному управлению устройствами систем электроснабжения, по рациональному использованию энергоресурсов [5-9].

В данной работе рассмотрен участок Зима – Гончарово на предмет необходимости технического перевооружения устройств электроснабжения с целью осуществления пропуска поездов согласно перспективным размерам движения на 2025 год.

На данном участке к 2024 году планируется внедрение и ввод в эксплуатацию системы интервального регулирования на базе системы микропроцессорной автоблокировки с тональными рельсовыми цепями и централизованным размещением аппаратуры в шкафном варианте (АБТЦ-МШ). При вводе ее в эксплуатацию минимальный интервал попутного следования поездов в четном направлении может составлять от 4 до 8 минут, и соответственно для реализации потребуются кардинальные меры по усилению не только системы тягового электроснабжения, но и системы внешнего электроснабжения.

Принцип работы систем «виртуальная сцепка» и АБТЦ-МШ

«Виртуальная сцепка» (ВСЦ) – это виртуальное соединение поездов по радиоканалу, следующих друг за другом в попутном направлении пакетом под управлением одного головного ведущего локомотива и одного или нескольких ведомых в режиме автоматического управления на минимальном межпоездном расстоянии.

Основной задачей новой технологии является сокращение межпоездного интервала и значительное повышение пропускной способности железнодорожных линий [10-13]. Среди ожидаемых преимуществ ВСЦ технологии:

- увеличение пропускной способности линии без необходимости строительства новых путей;
- сокращение межпоездного интервала;
- оптимальное использование станционных путей;
- отсутствие необходимости в длинных поездах и возможность использования групп коротких поездов.

Достоинством технологии на основе АБТЦ-МШ является то, что наличие на локомотивах аппаратуры с каналом фазоразностной модуляции (АЛС-ЕН) обеспечивает максимальное сближение поездов. К преимуществам технологии, основанной на использовании рельсовых цепей тональной частоты (АБТЦ-МШ), можно отнести:

- невысокую стоимость строительства;
- возможность реализации в достаточно короткий срок;
- невысокую стоимость бортового оборудования (КЛУБ-У, БЛОК);
- серийно выпускаемое оборудование;
- наличие контроля излома рельса.

Недостатками этой технологии являются:

- точность позиционирования положения подвижного состава до длины рельсовой цепи;
- наличие напольного оборудования и кабельных сетей, требующих периодического обслуживания и ремонта;
- невозможность передачи на локомотив дополнительной информации, об ограничениях скорости, изменения погодных условий и др.

Описание проблемной ситуации и постановка задачи

Участок Зима – Гончарово отличается сложным профилем пути, с затяжным подъемом в районе тяговых подстанций Делюр, Залари, Головинская, Жаргон в четном направлении: на межподстанционной зоне (МПЗ) Зима – Делюр максимальная высота уклона составляет 9,5

%, на МПЗ Залари – Головинская – уклон 10,1 ‰, а также на МПЗ Головинская – Жаргон – уклон 9,6 ‰.

Необходимость усиления системы тягового электроснабжения на данном участке можно обосновать:

- сложным профилем пути;
- перспективными размерами движения на 2025 год.

Еще одним немаловажным фактором, требующим оценки необходимости дополнительного усиления системы тягового электроснабжения (СТЭ) на данном участке, является реализация технологии интервального регулирования на базе АБТЦ-МШ.

Профиль пути исследуемого участка показан на рис. 1.

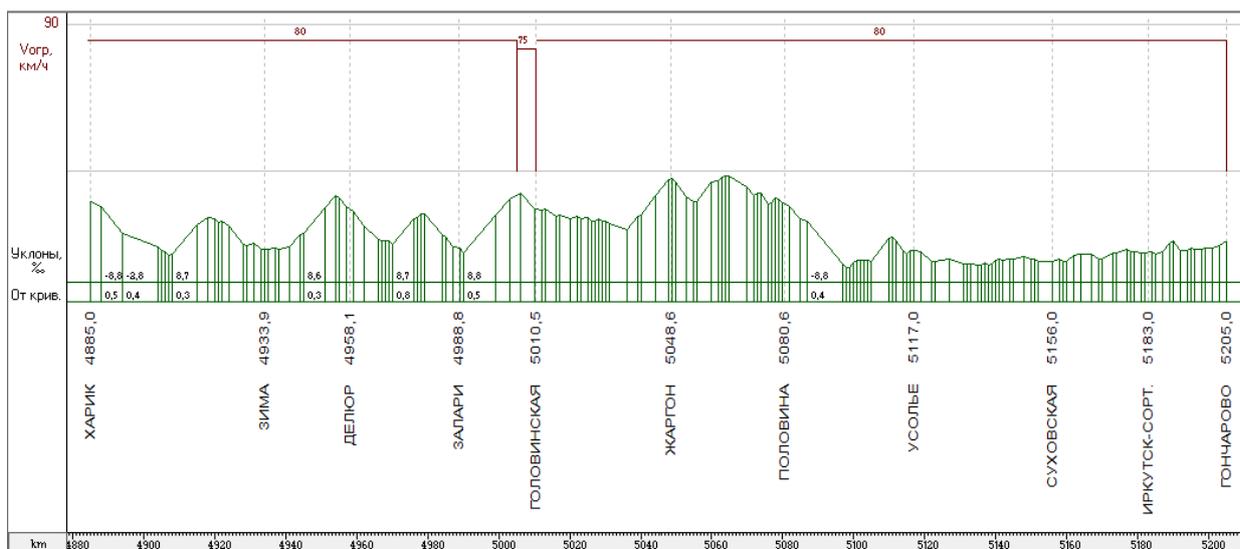


Рис. 1. Профиль пути участка Зима – Гончарово

Схема расположения тяговых подстанций, постов секционирования и пунктов параллельного соединения показана на рис. 2.

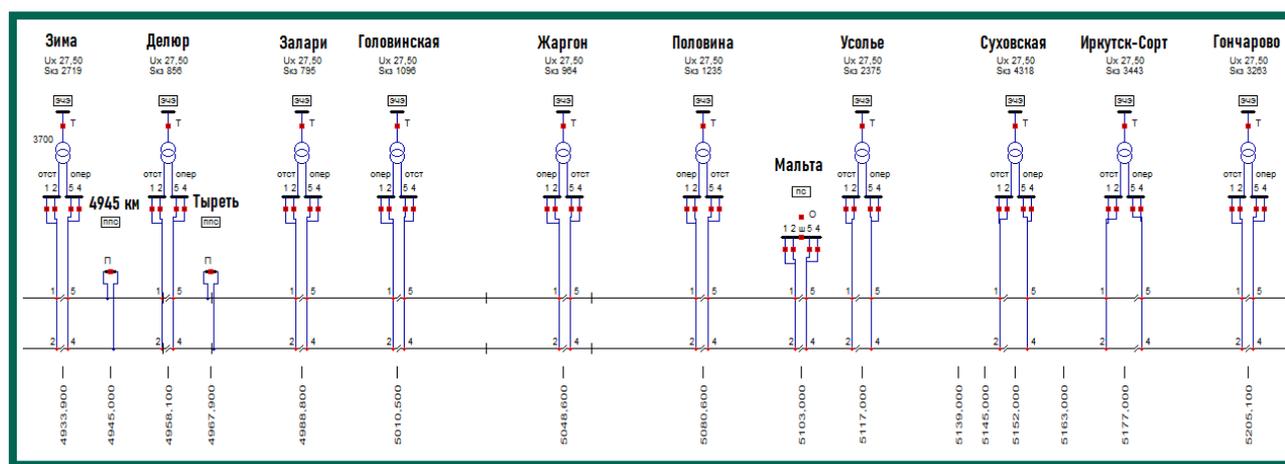


Рис. 2. Схема питания участка Зима – Гончарово

Для расчета параметров режимов работы системы внешнего электроснабжения (СВЭ) и СТЭ использован метод моделирования систем электроснабжения [14-15] в программном комплексе Fazonord. Для этого смоделированы следующие графики движения:

– с учетом системы АБТЦ-МШ пакет, состоящий из шести поездов весом 6300 т с межпоездным интервалом 6 минут в четном направлении и поездов весом 3000 т с межпоездным интервалом 12 минут в нечетном направлении (рис. 3);

– с учетом системы ВСЦ пакет, состоящий из шести поездов весом 7100 т с межпоездным интервалом 6 и 8 минут в четном направлении и поездов весом 3000 т с межпоездным интервалом 12 минут в нечетном направлении (рис. 4).

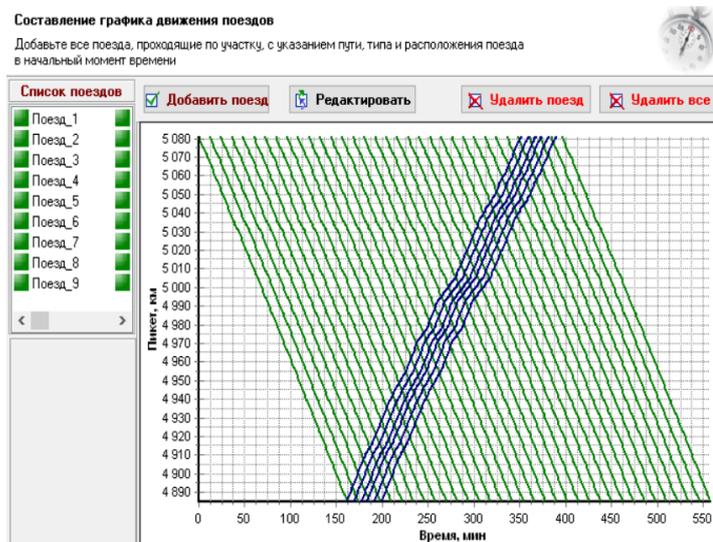


Рис. 3. Моделируемый график движения с учетом системы ВСЦ

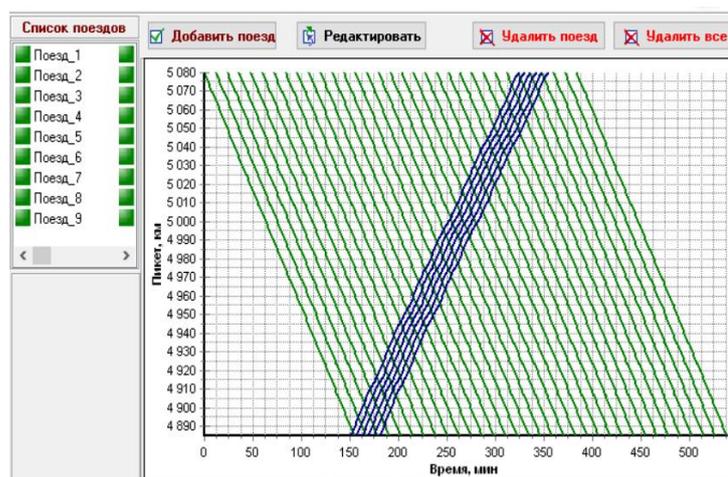


Рис. 4. Моделируемый график движения с учетом системы АБТЦ-МШ

Результаты расчета до усиления СТЭ и СВЭ с учетом применения систем ВСЦ и АБТЦ-МШ представлены в таблицах 1, 2, 3.

Таблица 1 – Полученные данные в нормальном режиме с учетом систем ВСЦ и АБТЦ-МШ

Вид режима	Направление поезда (четное, нечетное)	Минимальное напряжение в контактной сети U_{\min} , кВ		Максимальный ток прово- дов контактной сети $I_{\text{КС max}}$, А	
		ВСЦ	АБТЦ-МШ	ВСЦ	АБТЦ-МШ
Нормальный режим без усиления	Четное	17,363	6,136	733,13	759,01
	Четное	17,368	6,898	679,11	763,71
	Четное	19,429	9,756	656,20	879,69
	Нечетное	18,568	10,640	407,86	233,64
	Нечетное	19,888	11,452	479,79	296,84
	Нечетное	21,113	17,032	441,67	367,49

Таблица 2 – Коэффициенты загрузки силовых трансформаторов тяговых подстанций в нормальном режиме с учетом систем ВСЦ и АБТЦ-МШ

Наименование тяговой подстанции	Коэффициент загрузки силовых трансформаторов тяговых подстанций k_3	
	ВСЦ	АБТЦ-МШ
Зима	1,8	1,55
Делюр	1,9	2,8
Залари	1,8	3,2
Головинская	1,8	2,1
Жаргон	1,8	2,2
Половина	1,4	1,8
Усолье	1,7	2,3
Суховская	1,3	1,01
Иркутск-Сорт.	1,2	0,9
Гончарово	0,97	0,9

Таблица 3 – Показатели несимметрии напряжения в нормальном режиме с учетом систем ВСЦ и АБТЦ-МШ

Тяговая подстанция	$K_{2u} \text{ mid, \%}$		$K_{2u} \text{ max, \%}$		$T1, \%$		$T2, \%$	
	ВСЦ	АБТЦ-МШ	ВСЦ	АБТЦ-МШ	ВСЦ	АБТЦ-МШ	ВСЦ	АБТЦ-МШ
Зима	0,65	0,67	2,14	3,26	0,3	0,3	0	0
Делюр	1,83	1,9	6,35	11,37	39,4	39,7	2,1	6,3
Залари	1,77	1,94	5,72	12,07	29,7	26,3	4,2	10
Головинская	1,59	1,72	4,77	8,86	27	25,3	3,3	6,6
Жаргон	0,77	0,87	3,21	3,38	3,6	8,8	0	0
Половина	0,52	0,62	1,81	2,46	0	0,6	0	0
Усолье	0,36	0,4	1,41	1,96	0	0	0	0
Суховская	0,13	0,14	0,52	0,48	0	0	0	0
Иркутск-Сорт.	0,14	0,14	0,42	0,38	0	0	0	0
Гончарово	0,1	0,1	0,14	0,14	0	0	0	0

В ходе расчета получены значения параметров режимов работы систем внешнего и тягового электроснабжения без усиления с учетом системы АБТЦ-МШ. Видим, что напряжение на токоприемнике при нормальном режиме работы в четном направлении составляет 6,136 кВ, а в нечетном направлении 10,640 кВ, что значительно выходит за пределы минимально допустимых значений. Также с учетом системы ВСЦ видим, что напряжение на токоприемнике при нормальном режиме работы в четном направлении составляет 17,363 кВ, а в нечетном направлении 18,568 кВ. Можно отметить, что ток в контактной сети и ток воздушных линий в обоих случаях, хоть и не превышает предельно допустимых значений, однако близится к ним.

Коэффициент загрузки силовых трансформаторов тяговых подстанций с учетом системы АБТЦ-МШ превышает допустимое значение на пяти тяговых подстанциях Делюр, Залари, Головинская, Жаргон и Усолье, а при системе ВСЦ стремятся к максимально допустимому значению, но не превышают его.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что необходимо усиление не только системы тягового электроснабжения, но СВЭ.

Предложения по усилению системы тягового электроснабжения

Для увеличения напряжения в КС и уменьшения коэффициента загрузки тяговых трансформаторов возможно использовать несколько способов усиления СТЭ [16-18], таких как:

1. Включение в параллельную работу дополнительного тягового трансформатора;
2. Установка устройства продольной компенсации реактивной мощности;
3. Установка устройства поперечной компенсации реактивной мощности;

4. Монтаж поста секционирования на МПЗ;
5. Установка пункта параллельного соединения на МПЗ;
6. Монтаж усиливающего провода в тяговой сети;
7. Монтаж экранирующего провода в тяговой сети.

Включение дополнительного тягового трансформатора в параллельную работу позволит снизить загруженность уже установленного на подстанции трансформатора, а также увеличить напряжение в контактной сети.

Установка нового устройства емкостной поперечной компенсации реактивной мощности (КУ) позволит снизить потери электроэнергии и мощности в СТЭ, поднять напряжение в КС, а также уменьшить коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности в питающей линии. Для достижения более существенного эффекта по повышению напряжения в КС возможно использование устройств продольной емкостной компенсации реактивной мощности (УПК).

Полученные в ходе дальнейшего моделирования результаты оценки параметров режима работы СТЭ и СВЭ показали, что использование индивидуальных способов усиления систем внешнего и тягового электроснабжения на рассматриваемом участке малоэффективно и не позволяет обеспечить заданные размеры движения с учетом внедрения новых систем интервального регулирования. Поэтому принято решение о необходимости применения комбинированного усиления систем внешнего и тягового электроснабжения. Проанализированы следующие способы комбинированного усиления.

В варианте №1 предлагается:

1. Установка УПК номинальной мощностью 14400 МВАр на ТП Делюр, Залари, Головинская и Половина.

2. Включение в параллельную работу дополнительных тяговых трансформаторов ТДТНЖ-40000/115/27,5-У1 на ТП Зима, Залари, Головинская, Половина.

В варианте №2 предлагается:

1. Установка КУ номинальной мощностью 6,9 МВАр на ТП Делюр, Залари, Головинская и Половина.

2. Включение в параллельную работу дополнительных тяговых трансформаторов ТДТНЖ-40000/115/27,5-У1 на ТП Зима, Залари, Головинская, Половина.

В варианте №3 предлагается:

1. Установка КУ номинальной мощностью 5800 кВАр на ТП Головинская.

2. Включение в параллельную работу дополнительных тяговых трансформаторов ТДТНЖ-40000/115/27,5-У1 на ТП Делюр, Залари, Половина.

3. Установка УПК мощностью от 9600 кВАр до 14400 кВАр на ТП Делюр, Залари, Половина, Жаргон.

В варианте №4 предлагается:

1. Установка КУ номинальной мощностью 7800 кВАр на ПС Тыреть и ТП Половина.

2. Включение в параллельную работу дополнительного тягового трансформатора ТДТНЖ-40000/115/27,5-У1 на ТП Залари.

3. Установка УПК мощностью от 9600 кВАр до 19200 кВАр на ТП Делюр, Залари, Половина.

4. Установка ПС на МПЗ Делюр-Залари.

5. Монтаж ЛЭП 110 кВ от ПС Новозиминская до ТП Головинская.

Результаты расчета нормального режима работы СТЭ и СВЭ по всем четырем предложенным вариантам усиления с учетом ВСЦ представлены в таблицах 4, 5, а при системе АБТЦ-МШ представлены в таблицах 6, 7.

Сравнительная диаграмма минимальных напряжений на всех МПЗ в четном и нечетном направлениях и сравнительная диаграмма коэффициентов загрузки трансформаторов на всех ТП на участке до усиления СТЭ и после усиления представлены на рисунках 5 – 8.

Таблица 4 – Сравнение напряжения и тока КС, ВЛ в различных комбинированных вариантах усиления модели в нормальном режиме с учетом системы ВСЦ

Режимы	Параметры				
	Минимальное напряжение в контактной сети U_{\min} , кВ		Максимальный ток проводов контактной сети $I_{\text{КС max}}$, А		Максимальный ток проводов ВЛ $I_{\text{ВЛ}}$, А
	четный	нечетный	четный	нечетный	
Нормальный режим без усиления схемы	17,363	18,568	733,13	407,86	468
Вариант №1	22,417	23,505	526,39	208,39	246
Вариант №2	20,159	21,632	585,33	231,14	369
Вариант №3	21,618	22,335	659,17	499,97	332
Вариант №4	22,175	23,708	623,16	440,97	276

Таблица 5 – Коэффициенты загрузки трансформаторов в нормальном режиме при различных комбинированных вариантах усиления модели с учетом системы ВСЦ

Режимы	ТП									
	Зима	Де-люр	Залари	Голо-винская	Жар-гон	Поло-вина	Усолье	Сухов-ская	Ирк-Сорт	Гонча-рово
Без усиления схемы	1,835	1,915	1,875	1,84	1,895	1,44	1,765	1,27	1,19	0,97
Вариант №1	0,95	1,99	0,54	1,66	1,18	1,59	0,86	1,00	0,97	1,00
Вариант №2	0,87	1,45	0,84	0,93	1,76	0,84	1,52	1,06	1,01	0,91
Вариант №3	1,36	1,71	1,34	1,18	1,84	1,92	1,43	1,05	0,97	0,93
Вариант №4	0,77	1,22	1,40	1,07	1,98	1,48	1,04	1,04	0,97	0,93

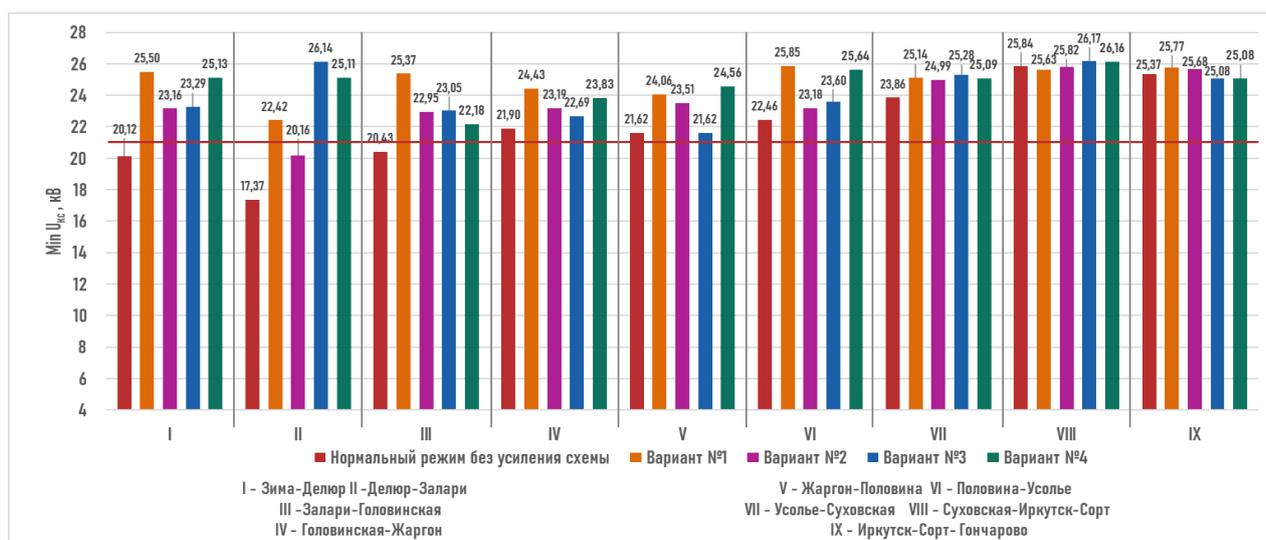


Рис. 5. Сравнительная диаграмма значений минимальных напряжений в КС при комбинированных вариантах усиления при моделировании системы ВСЦ

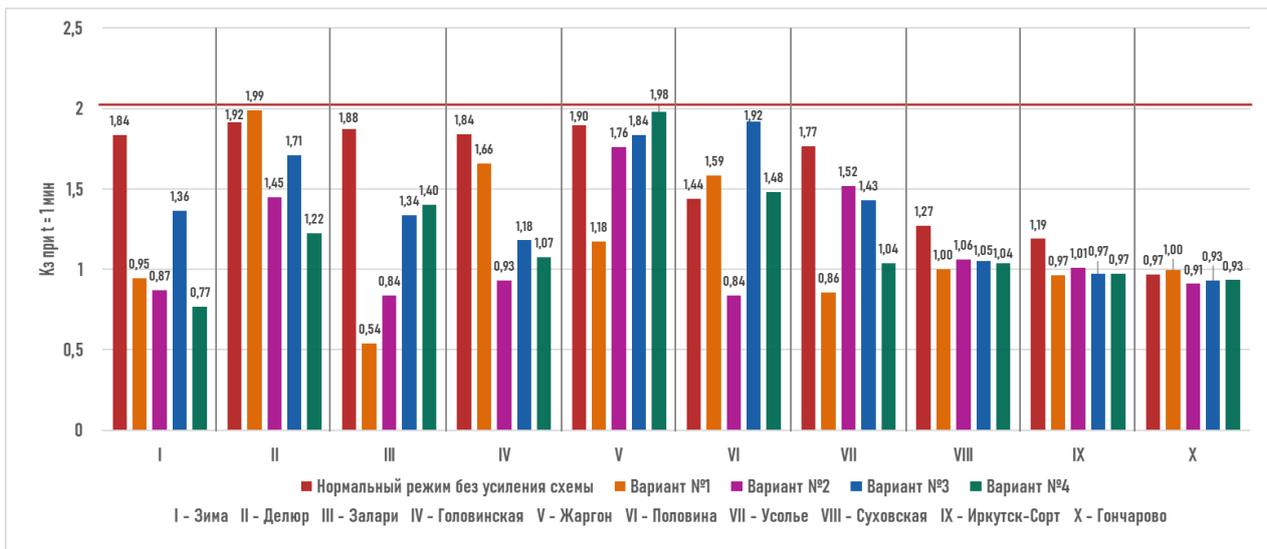


Рис. 6. Сравнительная диаграмма значений коэффициента загрузки тяговых трансформаторов при комбинированных вариантах усиления при моделировании системы ВСЦ

Таблица 6 – Сравнение напряжения и тока КС, ВЛ в различных комбинированных вариантах усиления модели в нормальном режиме с учетом системы АБТЦ-МШ

Режимы	Параметры				
	Min U, кВ		Max Iкс, А		Max Iвл.А
	четный	нечетный	четный	нечетный	
Без усиления схемы	6,136	10,640	759,01	233,64	723
Вариант №1	21,445	23,934	494,53	209,39	341
Вариант №2	18,348	19,176	688,07	514,96	396
Вариант №3	21,269	22,818	420,78	222,4	368
Вариант №4	22,023	22,964	653,85	315,71	280

Таблица 7 – Коэффициенты загрузки трансформаторов в нормальном режиме при различных комбинированных вариантах усиления модели с учетом системы АБТЦ-МШ

Режимы	ТП									
	Зима	Делюр	Залари	Головинская	Жаргон	Половина	Усолье	Суховская	Ирк.-Сорт	Гончарово
Без усиления схемы	1,55	2,8	3,2	2,1	2,2	1,8	2,3	1,01	0,97	0,99
Вариант №1	1,10	0,90	1,36	1,18	1,54	1,58	0,88	0,99	0,97	1,00
Вариант №2	0,78	1,56	1,03	0,96	1,97	1,00	1,92	1,01	0,97	0,99
Вариант №3	0,78	1,24	1,67	1,12	1,72	1,57	0,88	1,18	1,06	1,04
Вариант №4	1,36	1,75	1,57	1,23	1,76	1,94	1,56	1,18	1,06	1,04

По полученным данным видно, что в первом варианте присутствует *наибольший эффект по разгрузке СТ*, также не требуется усиление СВЭ, из минусов – не лучшие показатели по напряжению в КС на некоторых МПЗ, к тому же он *требует установки 4-х трансформаторов* в параллельную работу, что довольно дорого. Второй вариант усиления не оказал положительного эффекта, как с учетом системы АБТЦ-МШ, так и при системе ВСЦ: напряжение ниже

минимально допустимого значения, коэффициенты загрузки силовых трансформаторов тяговых подстанций находятся на границе максимально допустимых значений, а коэффициенты несимметрии и вовсе превышают допустимые значения на некоторых ТП. Из плюсов третьего варианта – достаточный эффект по разгрузке трансформаторов, не требуется усиление СВЭ, из минусов – *напряжение близко к минимально допустимому значению 21 кВ*. Четвертый вариант показывает *лучшие результаты по напряжению КС на всех МПЗ*, требует установки *только одного трансформатора* и в достаточной мере разгружает подстанции на тяжелых подъемах.

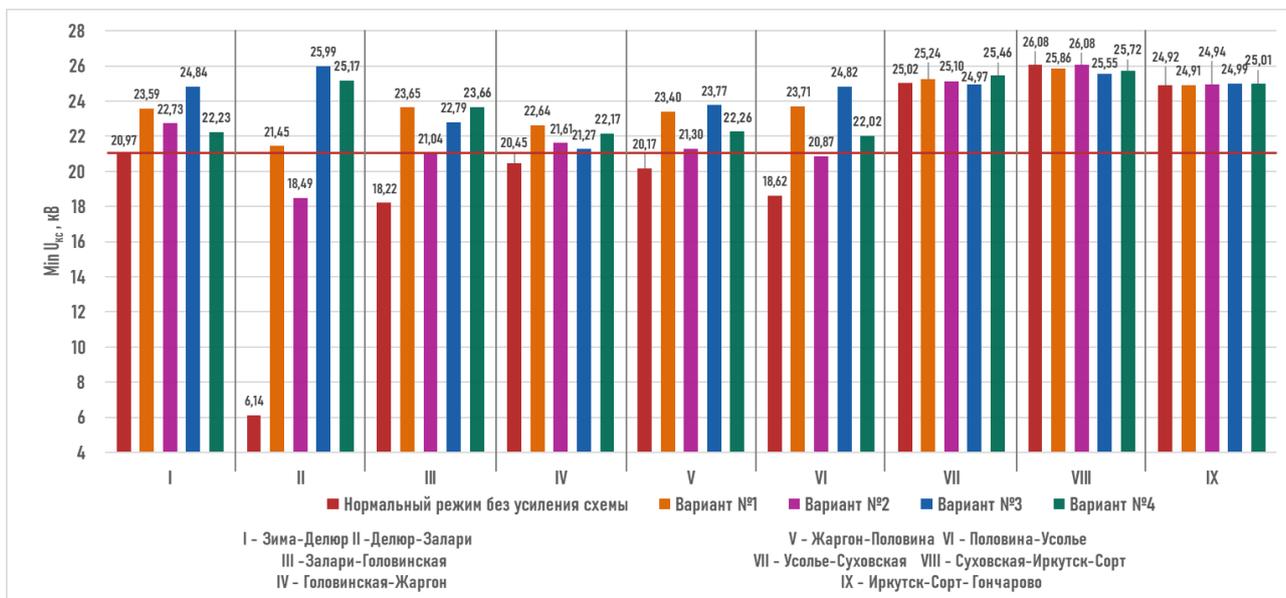


Рис. 7. Сравнительная диаграмма значений минимальных напряжений в КС при комбинированных вариантах усиления при моделировании системы АБТЦ-МШ

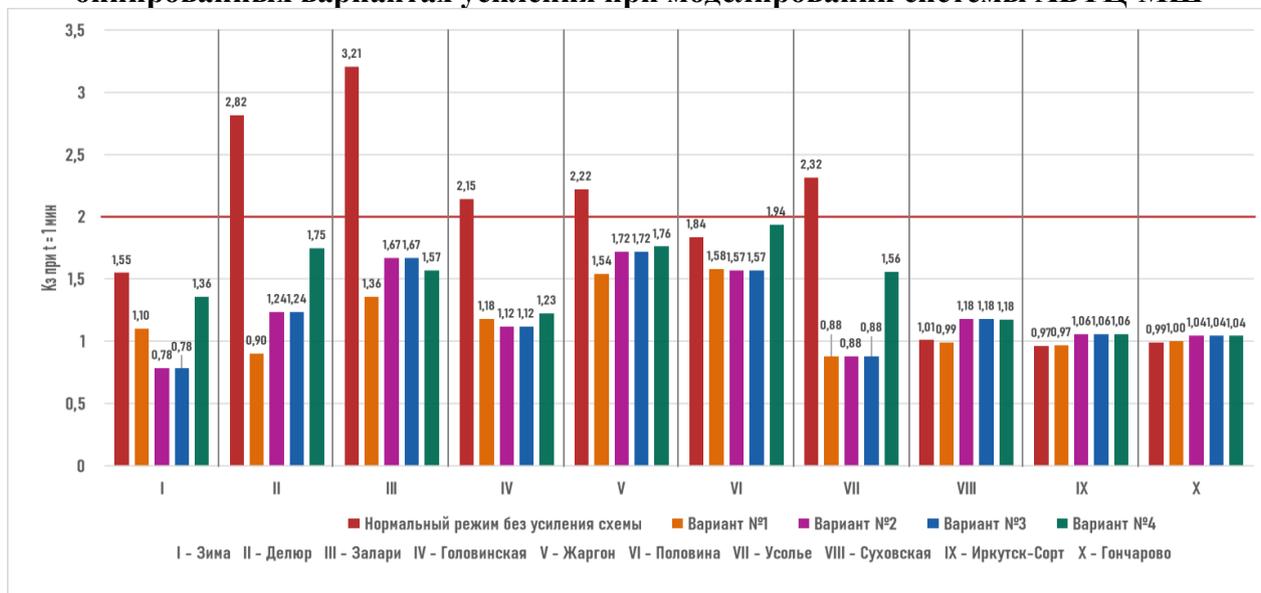


Рис. 8. Сравнительная диаграмма значений коэффициента загрузки тяговых трансформаторов при комбинированных вариантах усиления при моделировании системы АБТЦ-МШ

Сравнение предложенных вариантов усиления показало, что наиболее оптимальным вариантом для двух систем АБТЦ-МШ и ВСЦ является вариант №4, так как обеспечивает лучшие значения минимального напряжения на всех МПЗ и требует включения в параллель силовых трансформаторов только на одной подстанции.

Заключение

В процессе моделирования СТЭ и ВСЭ на участке Зима – Гончарово с учетом пропуска поездов по перспективным размерам движения на 2025 год определено, что для увеличения пропускной способности данный участок нуждается в усилении систем тягового и внешнего электроснабжения, так как она имеет определенные проблемы при пропуске интенсивного пакета поездов с интервалом 6 мин, а именно – низкое напряжение в контактной сети. Данные проблемы могут быть решены только при использовании комбинированных вариантов усиления.

Три из четырех предложенных вариантов позволяют обеспечить необходимую пропускную способность, но наиболее оптимальным вариантом усиления является четвертый вариант: установка КУ номинальной мощностью 7800 кВАр на ПС Тыреть и ТП Половина; включение в параллельную работу дополнительного тягового трансформатора ТДТНЖ-40000/115/27,5-У1 на ТП Залари; установка УПК мощностью от 9600 кВАр до 19200 кВАр на ТП Делюр, Залари, Половина; установка ПС на МПЗ Делюр-Залари; монтаж ЛЭП 110 кВ от ПС Новозиминская до ТП Головинская. Именно этот вариант обеспечивает лучшие значения минимального напряжения на всех МПЗ и требует включения в параллель силового трансформатора только на одной ТП. Таким образом, данный вариант усиления рекомендуется для внедрения на исследуемом участке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. Пузина Е.Ю., Туйгунова А.Г., Худоногов И.А. Системы мониторинга силовых трансформаторов тяговых подстанций. Иркутск, 2020. – 184 с.
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, FarEastCon 2020. 2020. С. 9271385.
4. Cherepanov A., Kutsiy A. Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation// International Russian Automation Conference, RusAutoCon2018. С.8501734.
5. Жоглик И.В., Пузина Е.Ю. Автоматизированная интеллектуальная система непрерывного компьютерного контроля и диагностики силового оборудования. Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2015. С.104-109.
6. Levin S.E., Chebotnyagin L.M, Suslov K.V., Potapov V.V. Protection selection against lightning overvoltages in wind energy installations in Eastern Siberia. Res electricae Magdeburgenses. 2013.T.52. С. 49-51.
7. Пузина Е.Ю. Целесообразность применения системы мониторинга силовых трансформаторов. Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2013. С.167-171.
8. Королева А.В., Аршинов С.А. К вопросу об энергосбережении на метрополитене. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 11 (82). С.283-288.
9. Воинова Д.В., Пузина Е.Ю. Повышение эффективности функционирования энергетических объектов муниципальной инфраструктуры. Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2016. С.170-175.
10. Шевердин И.Н., Шаманов В.И., Трофимов Ю.А. Влияние тяжеловесных поездов на рельсовые цепи и АЛС. Автоматика, связь, информатика. 2004. № 8. С.24.
11. Черепанов А.В., Куцкий А.П., Есауленко А.С. Применение технологии виртуальной

цепки для поездов повышенной массы. Молодая наука Сибири. 2020. № 2 (8). С. 191-199.

12. Yue Han, Qiang Gao, Xuebin Li. Research on the Application of Modern Power System Based on Automatic Control Technology. 2015. 4th International Conference on Modeling and Simulation (MAS), IEEE, 2015.

13. C. Li, L. Zhang, J. Sheng and D. Chen, "Research on intelligent load transfer strategy based on distribution automation", 2016 China International Conference on Electricity Distribution (CICED), Xi'an, pp. 13, 2016.

14. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Степанов А.Д. Экспериментальная проверка математических моделей электрических систем, построенных на основе фазных координат // Вестник ИрГТУ. № 4. 2004. С. 152-157.

15. Воропай Н.И., Уколова Е.В., Герасимов Д.О., Суслов К.В., Ломбарди П., Комарнишки П. Исследование мультиэнергетического объекта методами имитационного моделирования. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. № 12 (143). С.157-168.

16. 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.

17. Ilyushin P., Suslov K. Operation of automatic transfer switches in the networks with distributed generation// 2019 IEEE Milan PowerTech. 2019. С. 8810450.

18. Grigoriev N.P., Klykov M.S., Tikhomirov V.A., Trofimovich P.N. Reduction of electrical energy losses of power transformer of 25 kV traction substations. IOP Conferens Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 760. С. 012060.

REFERENCES

1. 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.

2. Puzina E.Yu., Tuigunova A.G., Khudonogov I.A. Monitoring systems for power transformers of traction substations. Irkutsk, 2020. –184 p.

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, FarEastCon 2020. 2020. С. 9271385.

4. Cherepanov A., Kutsiy A. Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation// International Russian Automation Conference, RusAutoCon2018. С.8501734.

5. Zhoglik I.V., Puzina E.Yu. Automated smart system for power equipment continuous computer control and diagnostics. Production and energy consumption efficiency enhancing in conditions of Siberia: proceedings of All-Russia research-to-practice conference with participation of international researches, Irkutsk, V.2, pp. 105–110, 2015.

6. Levin S.E., Chebotnyagin L.M, Suslov K.V., Potapov V.V. Protection selection against lightning overvoltages in wind energy installations in Eastern Siberia. Res electricae Magdeburgenses. 2013.T.52. С. 49-51.

7. Puzina E.Yu. Expediency of employing power transformers monitoring system, Irkutsk: IrGTU, vol.2, pp. 167-171, 2013.

8. Koroleva A.V., Arshinov S.A. On the issue of energy saving in the subway. Bulletin of the Irkutsk State Technical University. 2013. No. 11 (82). pp.283-288.

9. Voinova D.V., Puzina E.Yu. Improving the efficiency of the functioning of energy facilities of the municipal infrastructure. Increasing the efficiency of production and use of energy in Siberia. Materials of the All-Russian scientific-practical conference with international participation. 2016. P.170-175.

10. 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.

11. Cherepanov A.V., Kutsyy A. P., Esaulenko A. S. Application of virtual coupling technology for high-mass trains. *Young Science of Siberia*. 2020. No. 2 (8). pp. 191-199.
12. Yue Han, Qiang Gao, Xuebin Li. Research on the Application of Modern Power System Based on Automatic Control Technology. 2015. 4th International Conference on Modeling and Simulation (MAS), IEEE, 2015.
13. C. Li, L. Zhang, J. Sheng and D. Chen, "Research on intelligent load transfer strategy based on distribution automation", 2016 China International Conference on Electricity Distribution (CICED), Xi'an, pp. 13, 2016.
14. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V., Stepanov A.D. Experimental verification of mathematical models of electrical systems based on phase coordinates // *Bulletin of ISTU*. No. 4. 2004. S. 152-157.
15. Voropai N. I., Ukolova E.V., Gerasimov D O., Suslov K.V., Lombardi P., Komarnitsky P.
The study of a multi-energy object by simulation methods. *Bulletin of the Irkutsk State Technical University*. 2018. Vol. 22. No. 12 (143). pp. 157-168.
16. Cherepanov A.V., Kutsyy A. P. The use of controlled reactive power sources in traction power supply systems. *Bulletin of the Irkutsk State Technical University*. 2016. Vol. 20. No. 9 (116). pp. 103-110.
17. Piyushin P., Suslov K. Operation of automatic transfer switches in the networks with distributed generation// 2019 IEEE Milan PowerTech. 2019. C. 8810450.
18. Grigoriev N.P., Klykov M.S., Tikhomirov V.A., Trofimovich P.N. Reduction of electrical eergy losses of power transformer of 25 kV traction substations. *IOP Conferens Series: Materials Science and Engineering*. 2020. № 760. C. 012060.

Информация об авторах

Ефимова Анастасия Сергеевна - студент гр. СОД.1-17-2, специальность «Системы обеспечения движения поездов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск e-mail: Thank.1999@mail.ru

Пузина Елена Юрьевна – к. т. н., доцент кафедры Электроэнергетика транспорта, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, к. т. н., доцент кафедры электроснабжения и электротехники, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, e-mail: lena-rus05@mail.ru

Information about the authors

Efimova Anastasia Sergeevna – student g. SOD.1-17-2, specialty "Train traffic management Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: Thank.1999@mail.ru

Puzina Elena Yur'evna – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. at the Subdepartment of Electric Power Industry of Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. at the Subdepartment of Power Supply and Electrical Engineering, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: lena-rus05@mail.ru;