

## УСИЛЕНИЕ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА УЧАСТКЕ БОЛЬШОЙ ЛУГ – СЛЮДЯНКА С УЧЕТОМ ПРОПУСКА СОЕДИНЕННЫХ ПОЕЗДОВ ПО СИСТЕМЕ «ВИРТУАЛЬНАЯ СЦЕПКА»

**Аннотация.** Целью данной работы является проверка необходимости усиления системы тягового электроснабжения (СТЭ) на участке Восточно-Сибирской железной дороги Большой Луг – Слюдянка для обеспечения пропуска поездов с применением технологии «виртуальной сцепки» (ВСЦ) согласно перспективным размерам движения на 2025 год. Выполнено моделирование СТЭ данного участка с последующим анализом пропускной способности. Система тягового электроснабжения на рассматриваемом участке оказалась не способна обеспечить необходимую пропускную способность, поэтому принято решение о рассмотрении вариантов усиления СТЭ.

В статье рассмотрены несколько вариантов усиления СТЭ на участке Большой Луг – Слюдянка, причем все они являются комбинированными, то есть с использованием нескольких способов усиления одновременно, так как использование их в индивидуальном порядке не позволяет обеспечить заданную пропускную способность согласно перспективным объемам грузоперевозок. Во всех рассмотренных вариантах усиления предлагается включение в параллельную работу тягового трансформатора на подстанции Подкаменная, так как проблему загруженности тяговой подстанции «Подкаменная» не представляется возможным решить каким-либо другим способом.

В результате анализа и сравнения предлагаемых вариантов определено, что наиболее оптимальным является комбинированный вариант с включением в параллель трансформаторов на ТП Подкаменная, усилением уже установленных КУ и УПК на ТП Рассоха и Андриановская соответственно, установка КУ на ТП Подкаменная и УПК – на ТП Слюдянка.

Также в статье кратко описаны преимущества и принцип работы технологии «виртуальной сцепки» и ее применимость на рассматриваемом участке.

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

A.D. Trumm<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

## REINFORCEMENT OF THE TRACTION POWER SUPPLY SYSTEM IN THE BOLSHOI LUG – SLYUDYANKA SECTION TAKING INTO ACCOUNT THE PASSAGE OF CONNECTED TRAINS THROUGH THE «VIRTUAL HITCH» SYSTEM

**Annotation.** The purpose of this article is to check the need to strengthen the traction power supply system (TPSS) on the section of the East Siberian Railway Bolshoy Lug - Slyudyanka to ensure the passage of trains using the "virtual hitch" technology (VHT) according to the perspective freight traffic for 2025. The TPSS of this section was simulated and the throughput was analyzed. The traction power supply system in this section was not able to provide the necessary throughput, therefore, it was decided to consider options for strengthening the TPSS.

The article considers several options for strengthening TPSS in the Bolshoy Lug - Slyudyanka section, all of which are combined, that is, using several ways of amplification at the same time, since their use on an individual basis also does not allow providing a given throughput according to promising volumes of freight transportation. In all the considered amplification options, it is proposed to include a traction transformer for parallel working at the Podkamennaya substation, since it is not possible to solve the problem of overload of the Podkamennaya traction substation (TS) in any other way.

As a result of the analysis and comparison of the proposed options, it was determined that the most optimal is the combined option with the turning of the transformer at the Podkamennaya TS for use in parallel, the reinforcement of the already installed quadrature compensation plant (QCP) and series capacitor plant (SCP) at the Rassokha and Andrianovskaya TS, respectively, the installation of the QCP at the Podkamennaya TS and the SCP – at the Slyudyanka TS.

The article also briefly describes the advantages and principle of operation of the "virtual hitch" technology and its applicability in the area under consideration.

**Keywords:** *reinforcement of the power supply system, system throughput, power transformers, traction power supply system, interval control system, virtual hitch*

## **Введение**

Одним из наиболее важных направлений развития железных дорог в России является оптимизация и увеличение пропускной способности [1, 2, 3, 4, 5], поскольку с каждым годом грузооборот на электрифицированном железнодорожном транспорте увеличивается, согласно стратегии его развития. В данной работе рассмотрен участок Большой Луг – Слюдянка на предмет необходимости усиления системы тягового электроснабжения с целью осуществления пропуска поездов согласно перспективным размерам движения на 2025 год.

Кроме того, на данном участке к 2023 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 реализация настолько малых межпоездных интервалов может потребовать кардинальных мер по усилению СТЭ, учитывая сложность профиля на участке Большой Луг – Слюдянка.

## **Принцип работы технологии «виртуальной сцепки»**

Интервальное регулирование – это разделение двух попутно следующих поездов межпоездным интервалом, который будет обеспечивать безопасность их движения, – является эффективным средством повышения пропускной способности железных дорог [6]. Основными видами систем интервального регулирования является полуавтоматическая блокировка, автоблокировка, автоматическая или локомотивная сигнализация непрерывного (АЛСН) и точечного (АЛСТ) типов, многозначная автоматическая локомотивная сигнализация (АЛС-ЕН).

Технология «виртуальной сцепки» является одним из видов систем интервального регулирования, в которой используются радиоканалы в сочетании с другими приборами, обеспечивающими безопасность движения. Основным принципом координатного регулирования движения поездов является отказ от проходных светофоров автоблокировки и передача на локомотив по радиоканалу допустимых параметров движения. Локомотивная аппаратура собирает информацию о количестве свободных впереди лежащих блок-участков, о маршруте движения по станции (наличие отклонений, типы стрелок), о показаниях светофоров по ходу движения состава, о временных ограничениях скорости и т.д.

На основании полученных данных система позволяет динамически изменять дистанцию между поездами в зависимости от их фактических скоростей движения и скоростных характеристик. По результатам опытной эксплуатации технологии виртуальной сцепки, согласно расчетам, это расстояние определено в 1500 – 2000 метров из соображений безопасности движения. Межпоездной интервал рассчитывается, исходя из условий соблюдения минимального расстояния между последовательно движущимися поездами с учетом скоростей их движения.

То есть технология «виртуальной сцепки» (далее по тексту – ВСЦ) – это движение пакета поездов на минимально безопасном расстоянии с отслеживанием информации между ними по цифровому радиоканалу. ВСЦ позволяет повысить производительность направления т/км в сутки на 10-15%, увеличить пропускную способность направления на 10-15%, уменьшить время формирования тяжеловесных и соединенных составов и время при обгонах в случае неисправности ЭПС в пути следования. Схема организации движения соединенных поездов на базе ВСЦ приведена на рис. 1.

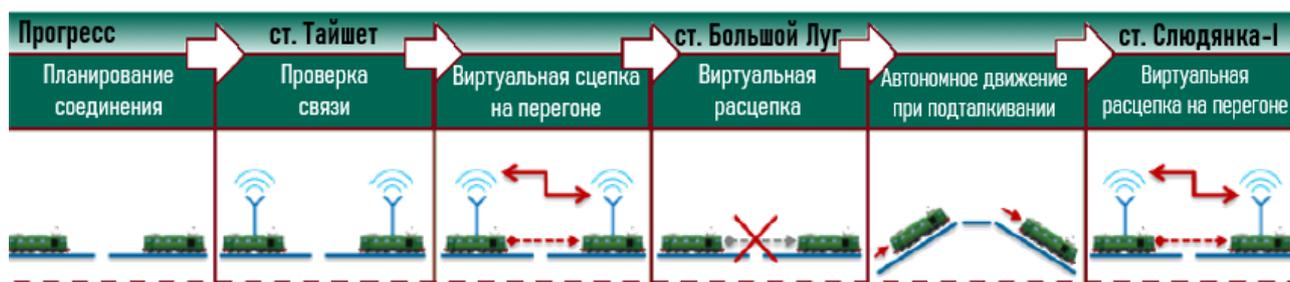


Рис. 1. Схема пропускания поездов на базе «виртуальной сцепки»

С применением технологии ВСЦ решаются проблемы, которые присущи соединенным поездам, и главным преимуществом становится обеспечение резерва пропускной способности участка за счет уплотнения графика движения поездов.

Режимы тяги и торможения синхронизируются по тому же принципу, что и у физически соединенного поезда, с помощью радиобмена модулями ИСАВП-РТ. Процесс синхронной работы показан на рис. 2.

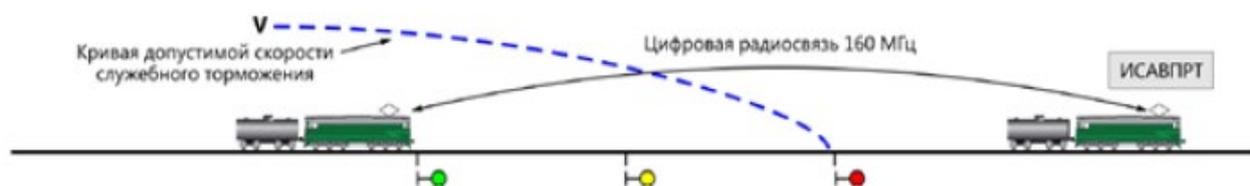


Рис. 2. Работа технологии «виртуальной сцепки» на базе аппаратуры ИСАВП-РТ

В течение 2019 года на магистрали, с участием ученых НИАС, проведен ряд испытаний, которые подтвердили возможность реализации технологии «виртуальной сцепки» в реальных условиях. В ноябре 2019 года успешно выполнена поездка составов на участке Большой Луг-Слюдянка-Большой Луг.

Внедрение данной технологии на рассматриваемом участке обеспечит более быстрый возврат локомотивов-толкачей со станции Слюдянка до станции Большой Луг, что освободит 24 нитки графика на этом участке в нечетном направлении. Еще одним важным эффектом внедрения ВСЦ станет ускоренное формирование соединенных поездов весом 12600-14200 т.

### Описание проблемной ситуации и постановка задачи

Участок Большой Луг – Слюдянка отличается сложным профилем пути, с затяжным подъемом в районе подстанций «Подкаменная» и «Андреановская» в четном направлении: на МПЗ Рассоха - Подкаменная максимальная высота уклона составляет 15,7% протяженностью 9 км, на МПЗ Подкаменная – Глубокая – 15,6% протяженностью 5 км, а также на МПЗ Глубокая – Андреановская – 15,3% протяженностью 2 км.

Согласно перспективным размерам движения на 2025 год, по данному участку в четном направлении должен проходить в интенсивный час пакет из четырех поездов массой 7100 т, двух – массой 6300 т, одного – 4200 т и еще одного массой 3000 т с интервалом 6 минут, а также в среднесуточном режиме – пакет грузовых поездов массой 7100, 6300, 4200, 3000 т с интервалом 17 минут – в четном направлении, и массой 4000, 3000, 1500 т – в нечетном.

Моделирование размеров движения и расчеты по определению параметров режима заданного участка произведены с помощью программного комплекса КОРТЭС. Профиль пути показан на рис. 3.

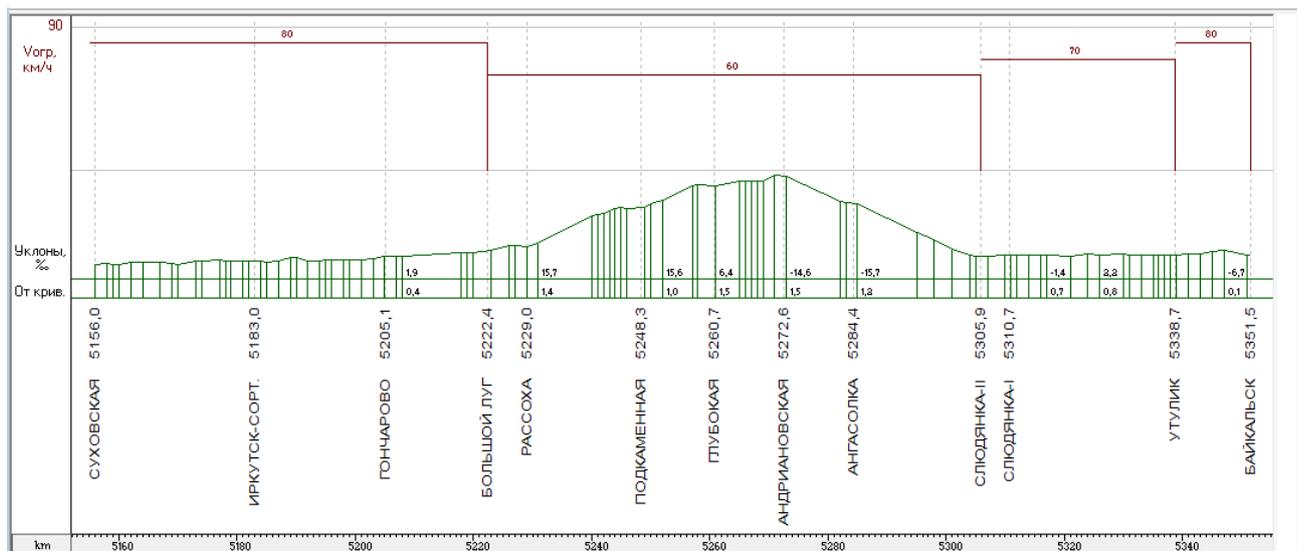


Рис. 3. Профиль пути участка Большой Луг – Слюдянка

Схема расположения тяговых подстанций, постов секционирования и пунктов параллельного соединения показана на рис. 4. Также на схеме можно увидеть, что на текущий момент на некоторых подстанциях и постах секционирования установлены устройства компенсации реактивной мощности – КУ на подстанции Рассоха и на ПС Глубокая мощностью 5000 кВАр, а также УПК в фазе С на подстанции Подкаменная с мощностью 19200 кВАр и на Андриановской с мощностью 14400 кВАр.

Моделируемый график движения показан на рис. 5. На графике можно увидеть пакет грузовых поездов в интенсивный час, состоящий из четырех поездов массой 7100 т, двух – массой 6300 т, одного – 4200 т, и еще одного – массой 3000 т с интервалом 6 минут в четном направлении, а также пакеты среднесуточного режима в четном и нечетном направлениях, которые представлены в виде средневзвешенного поезда массой 2408 т в нечетном направлении, и 5196 т – в четном.

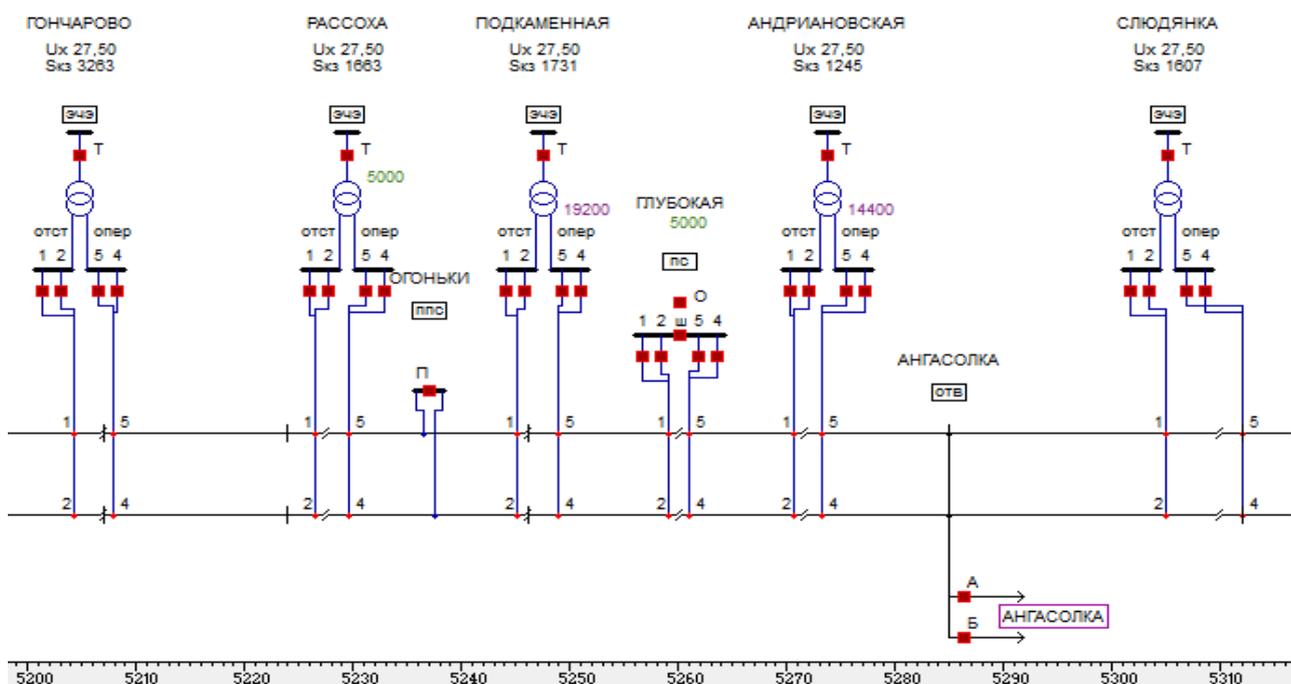


Рис. 4. Схема питания участка Большой Луг – Слюдянка

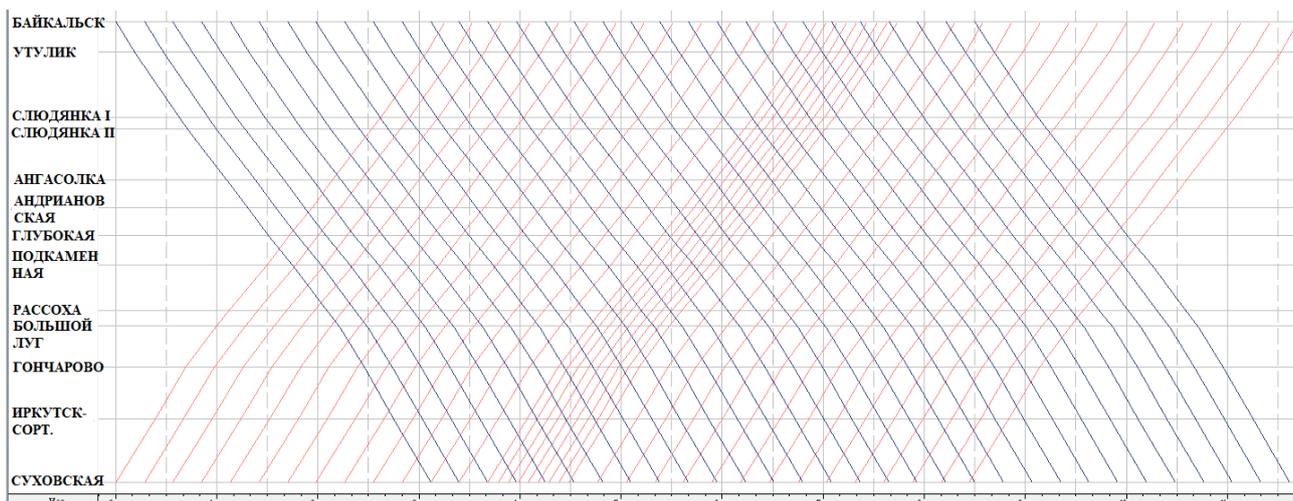


Рис. 5. Моделируемый график движения

По результатам расчета минимальное напряжение в КС составило 20,75 кВ на МПЗ «Андреиановская – Слюдянка», также были выявлены перегрузки тяговых трансформаторов на подстанциях Подкаменная и Андреиановская, коэффициенты загрузки составили 2,88 и 2,12 соответственно (допустимый коэффициент загрузки – 2). Кроме того, температура обмоток и масла тягового трансформатора на подстанции Подкаменная превышают норму и равны 176 и 108 градусов соответственно.

Полные результаты расчета параметров рабочего режима приведены в таблицах 1 и 2. Исходя из полученных результатов, принято решение о необходимости усилении СТЭ на данном участке.

Таблица 1

**Нагрузки трансформаторов тяговых подстанций**

Наименование подстанции	Коэффициент загрузки при T = 1 мин (K <sub>доп</sub> = 2)	Коэффициент загрузки при T = 10 мин (K <sub>доп</sub> = 1,5)	Температура обмотки трансформатора, °C	Температура масла в трансформаторе, °C
Гончарово	1,19	0,87	80	66
Рассоха	1,93	1,65	120	83
Подкаменная	2,88	2,45	176	109
Андреиановская	2,12	1,68	119	85
Слюдянка	1,08	0,96	83	67

Таблица 2

**Минимальные напряжения на токоприемниках локомотивов**

Межподстанционная зона	Путь	U <sub>э</sub> , кВ	
		Минимальное	трехминутное
Гончарово – Рассоха	1-й	22,94	23,63
	2-й	21,76	22,81
Рассоха – Подкаменная	1-й	20,95	21,47
	2-й	20,66	21,17
Подкаменная – Андреиановская	1-й	22,00	22,50
	2-й	21,72	22,17
Андреиановская - Слюдянка	1-й	21,87	22,03
	2-й	20,75	20,95

**Предложения по усилению системы тягового электроснабжения**

Для увеличения напряжения в КС и уменьшения коэффициентов загрузки тяговых трансформаторов возможно использовать несколько способов усиления СТЭ, 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. Установка 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 более равномерно распределить нагрузку на силовые трансформаторы подстанции и, соответственно, снизить загруженность уже установленного на подстанции трансформатора, а также увеличить напряжение в контактной сети. Снижение загрузки силовых трансформаторов будет способствовать продлению остаточного ресурса оборудования, повышению надежности работы аппаратуры тяговых подстанций и СТЭ в целом [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17].

Установка нового или усиление уже установленного устройства емкостной поперечной компенсации реактивной мощности (КУ) позволит снизить потери электроэнергии и мощности в СТЭ, поднять напряжение в КС, а также уменьшить коэффициент несимметрии токов и напряжений на тяговом трансформаторе и в питающей линии [18].

Для достижения более существенного эффекта по повышению напряжения в КС возможно использование устройств продольной емкостной компенсации реактивной мощности (УПК).

Исследование и моделирование указанных выше вариантов усиления СТЭ в индивидуальном порядке показывает, что использование только одного из способов усиления не позволяет обеспечить заданные размеры движения, поэтому далее будут рассмотрены комбинированные варианты усиления. Также определено, что проблему загруженности тяговой подстанции «Подкаменная» возможно решить только включением в параллельную работу дополнительного тягового трансформатора, поэтому данный способ усиления будет учтен во всех предлагаемых ниже вариантах.

В первом варианте усиления (вариант № 1) рассмотрим включение в параллельную работу трансформаторов ТДТНЖ-40000/110-71У1 на подстанциях Подкаменная и Андриановская, а также установку КУ в левое плечо на подстанции Подкаменная мощностью 5000 кВАр.

Во втором комбинированном варианте усиления СТЭ (вариант № 2) рассмотрим включение в параллель силового трансформатора только на одной подстанции – на Подкаменной, на ней же предлагается установить КУ на 5000 кВАр, а также на ТП Рассоха увеличить мощность имеющейся КУ с 5000 кВАр до 10000 кВАр, усилить УПК на ТП Андриановская, с уменьшением сопротивления с 2,5 Ом до 1,88 Ом, и дополнительно установить УПК в фазе С на ТП Ангасолка с сопротивлением 1,6 Ом.

В третьем варианте усиления (вариант № 3) предлагается также включение в параллель СТ на тяговой подстанции Подкаменная в комбинации с усилением КУ на ТП Рассоха с 5000 до 10000 кВАр, усилением УПК на ТП Андриановская, установкой КУ в левое плечо мощностью 5000 кВАр на ТП Подкаменная, и еще дополнительно установить УПК в фазу С на подстанции Слюдянка.

Результаты расчета параметров рабочего режима системы тягового электроснабжения по всем трем предложенным вариантам усиления приведены в таблице 3.

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 представлены на рис. 6 и рис. 7.

Параметры нормального режима работы СТЭ до и после усиления

Режим Параметры	До усиления		Вариант усиления № 1		Вариант усиления № 2		Вариант усиления № 3	
	Нечет	Чет	Нечет	Чет	Нечет	Чет	Нечет	Чет
Направление								
Min $U_{кв}$ , кВ	20,54	19,55	22,58	22,72	22,21	21,04	22,78	22,29
$U_{кв}$ при $T=3$ мин, кВ	20,97	19,92	21,47	21,63	22,40	21,32	23,19	22,88
Мах $K_3$ при $T= 1$ мин	2,88		1,68		1,73		1,73	
Мах $K_3$ при $T= 10$ мин	2,45		1,44		1,46		1,47	
Махтемп. обмотки СТ, °С	175		105		105		105	
Махтемп. масла в СТ, °С	109		76		77		75	
Расход электроэнергии СТЭ, кВАч	459110		492310		447016		493989	

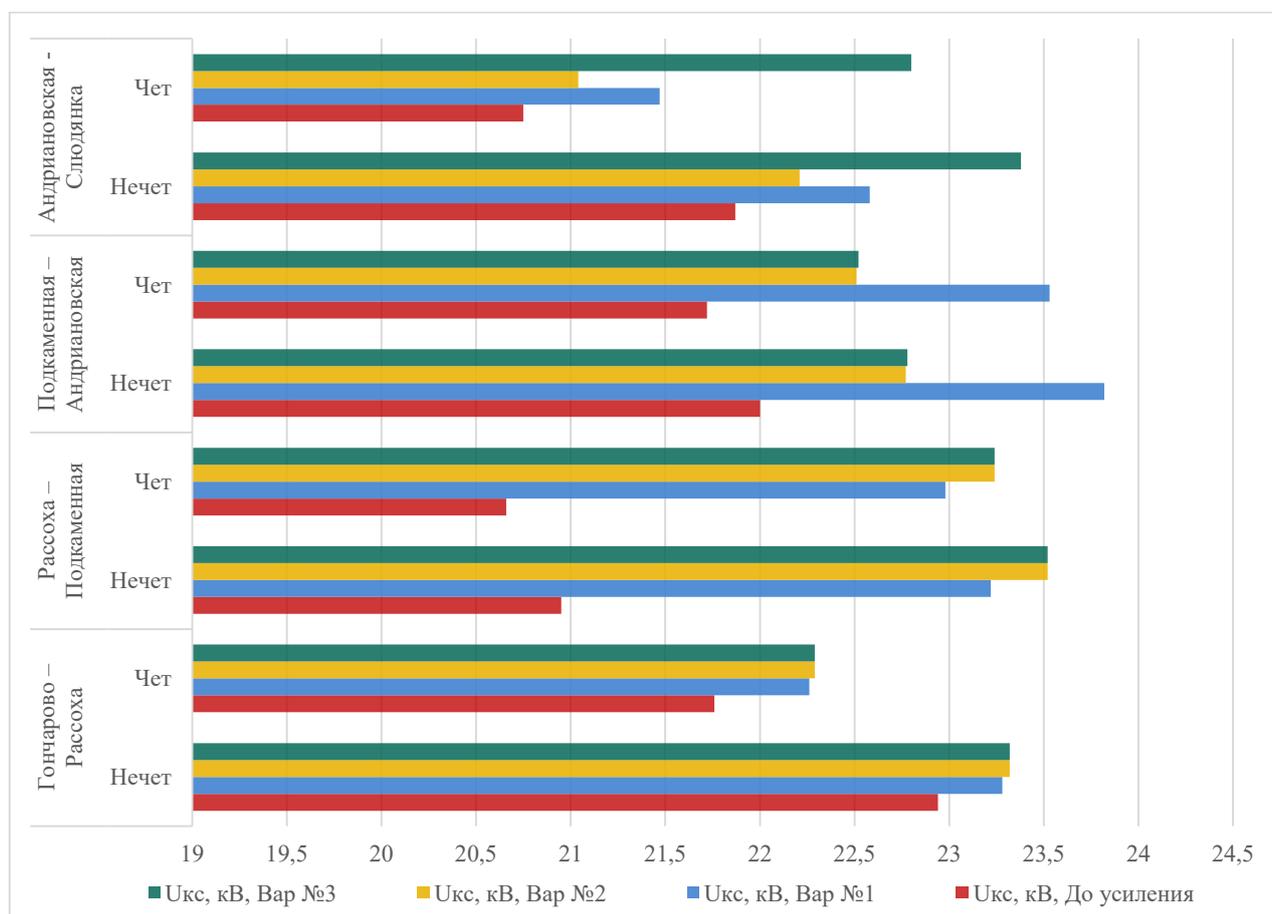
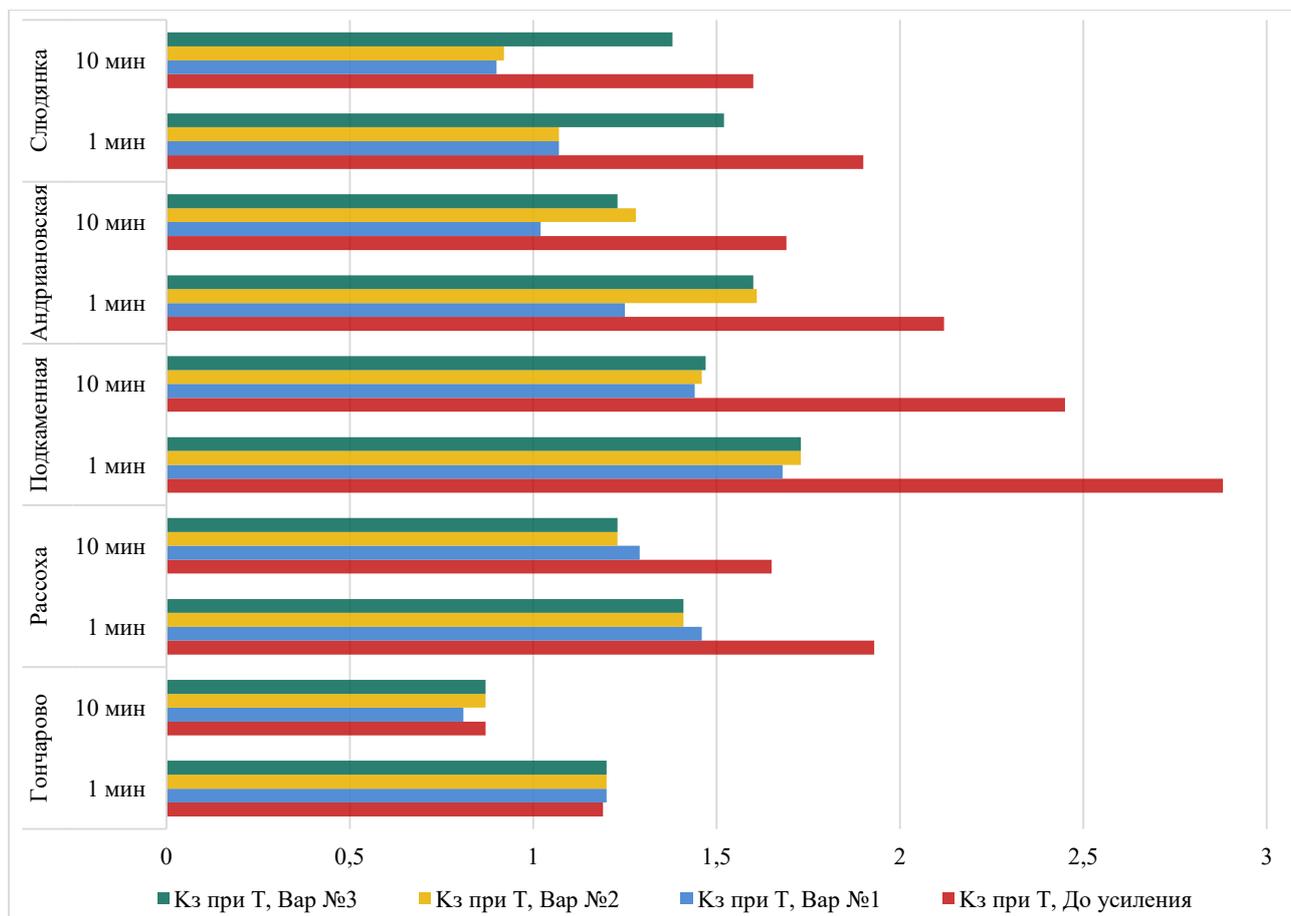


Рис. 6. Сравнительная диаграмма минимальных напряжений на МПЗ

Исходя из полученных результатов видно, что первый вариант усиления оказал наибольший эффект по разгрузке тяговых трансформаторов, но очевидны не лучшие показатели по трехминутному напряжению КС, к тому же такой вариант усиления требует установки двух дополнительных трансформаторов, а не одного, как в остальных вариантах.

Второй вариант усиления показывает лучшие результаты по расходу электроэнергии, однако минимальное напряжение в КС очень близко к предельному значению – 21,04 кВ (минимально допустимое значение напряжения – 21 кВ).



**Рис. 7. Сравнительная диаграмма коэффициентов загрузки трансформаторов на подстанциях при T=1 мин и T = 10 мин**

Третий вариант усиления является самым оптимальным, так как показатели по напряжению в КС в данном варианте являются наилучшими, в достаточной мере разгружены тяговые трансформаторы на подстанциях, также данный вариант, как и второй, допускает включение в параллель только одного дополнительного трансформатора на ТП Подкаменная.

### **Заключение**

В процессе моделирования СТЭ на участке Большой Луг – Слюдянка с учетом пропуска поездов по перспективным размерам движения на 2025 год определено, что для увеличения пропускной способности данный участок нуждается в усилении системы тягового электроснабжения, так как она имеет определенные проблемы при пропуске интенсивного пакета поездов с интервалом 6 мин, а именно – низкое напряжение в контактной сети, явные перегрузки тяговых трансформаторов на ТП Подкаменная и Андриановская (коэффициенты загрузки трансформатора выходят за допустимые пределы), и соответственно перегревы обмоток и масла в перегруженных трансформаторах. Данные проблемы могут быть решены только при использовании комбинированных вариантов усиления, причем в любом из них необходимо включение дополнительного трансформатора в параллель на ТП Подкаменная.

Все три предложенных варианта позволяют обеспечить необходимую пропускную способность, но наиболее оптимальным вариантом усиления является третий вариант, так как обеспечивает лучшие значения минимального и трехминутного напряжения на всех МПЗ и требует включение в параллель только одного трансформатора. Данный вариант усиления рекомендуется к практическому использованию на участке Большой Луг – Слюдянка, поскольку его реализация позволит как повысить пропускную способность участка, так и обеспечит минимизацию потерь электроэнергии в СТЭ в сравнении с другими вариантами, что в свою очередь обеспечит энергосбережение во всей системе электроснабжения [19, 20, 21].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лебедева О.А., Гозбенко В.Е., Пыхалов А.А., Мухопад Ю.Ф. Сравнительный анализ методов решения транспортных задач при оптимальном планировании перевозочного процесса. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2020. № 3 (67). С. 134-139.
2. 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.
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. Cherepanov A., Kutsiy A. Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation // International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2018. С.8501734.
5. Туйгунова А.Г., Худоногов И.А., Пузина Е.Ю. О переводе питания СЦБ с 27,5 кВ на нетяговую обмотку на тяговой подстанции переменного тока// Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018. № 4 (60). С. 93-98.
6. Черепанов А.В., Куцый А.П., Есауленко А.С. Применение технологии виртуальной сцепки для поездов повышенной массы. Молодая наука Сибири. 2020. № 2 (8). С. 191-199.
7. Пузина Е.Ю. Оценка остаточного ресурса тяговых трансформаторов Северного хода ВСЖД. Транспорт-2013: труды международной научно-практической конференции.–Ростов-на-Дону: Изд-во РГУПС, 2013.– С. 173-175.
8. Лундалин А.А., Пузина Е.Ю., Худоногов И.А., Кашковский В.В. Анализ надежности электроснабжения транспортных систем в зависимости от состояния устройств релейной защиты и автоматики. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. № 3 (63). С. 127-135.
9. Пузина Е.Ю., Алексеенко В.А. Анализ времени наработки до отказа измерительных трансформаторов//Транспорт-2010. Ч.2. 2010. С.307-309.
10. Алексеенко В.А., Пузина Е.Ю. Анализ повреждений измерительных трансформаторов на тяговых подстанциях ВСЖД// Транспортная инфраструктура Сибирского региона. Иркутск. 2009. Т.2. С. 4-9.
11. Пузина Е.Ю., Алексеенко В.А. Регрессионный анализ повреждаемости измерительных трансформаторов//Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Иркутск, 2010. С.421-423.
12. 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.
13. Y. Dang and W. Chen, "Design of Oil-Immersed Apparatus Oil Velocity Measure System Based on the Ultrasonic Wave Doppler Effect," 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), Palermo, pp. 1–4, 2018.
14. 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.
15. N. 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.
16. Ступицкий В.П., Худоногов И.А. Тихомиров В.А., Лобанов О.В. Определение остаточной несущей способности металлических конструкций контактной сети. Известия Транссиба. 2019. № 3 (39). С. 88-99.
17. Дроздов С.П., Подъячих С.В., Потапов В.В., Чеботнягин Л.М. Расчет остаточного ресурса изоляции обмоток масляного трансформатора. Вестник ИрГСХА. 2017. № 80. С. 155-163.

18. Солонина Н.Н., Суслов К.В., Солонина З.В. Новые технологии компенсации реактивной мощности. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. № 5 (112). С. 135-143.
19. Горбунова В.С., Пузина Е.Ю. Эффективность внедрения системы энергетического менеджмента в промышленных компаниях России. Транспортные системы и технологии. 2018. Т. 4. №1. С. 119-137.
20. Боброва Ю.М., Пузина Е.Ю. Необходимость активизации энергосбережения в России//Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири/ Материалы Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием. - Иркутск: ИРНИТУ, 2016. - Т.2. - С. 142-147.
21. 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 Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 760. С. 012060.

#### REFERENCES

1. Lebedeva O.A., Gozbenko V.E., Pyhalov A.A., Muhopad U.F. Comparative analysis of methods for solving transport problems with optimal planning of the transportation process. Modern technologies. System analysis. Modeling. 2020. no. 3 (67), Pp. 134-139.
2. 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.
3. 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.
4. Cherepanov A., Kutsiy A. Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation // International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2018. С.8501734.
5. 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. System analysis. Modeling. 2018. no. 4 (60). Pp. 93-98.
6. Cherepanov A.V., Kutsyi A.P., Esaulenko A.S. "Application of virtual hitch technology for high-mass trains". Young science of Siberia. 2020. no. 2 (8). Pp. 191-199.
7. Puzina E. Yu. Evaluation of the residual service life of the Northern route traction transformers East Siberian Railroad. Transport-2013: proceedings of the international scientific and practical conference. Rostov-on-don: RSUPS Publishing house, 2013, Pp. 176-178.
8. Lundalin A.A., Puzina E.Yu., Khudonogov I.A., Kashkovsky V.V. Analysis of the reliability of power supply of transport systems depending on the state of relay protection and automation devices. Modern technologies. System analysis. Modeling. 2019. No. 3 (63). Pp 127-135.
9. Puzina E.Yu., Alekseenko V.A. Analysis of the operating time to failure of measuring transformers // Transport-2010. Part 2. 2010.Pp. 307-309.
10. Alekseenko V.A., Puzina E.Yu. Analysis of damage to measuring transformers at traction substations of the ESR // Transport infrastructure of the Siberian region. Ir-Kutsk. 2009. Vol.2. Pp. 4-9.
11. Puzina E.Yu., Alekseenko V.A. Regression analysis of instrument transformer damage // Increasing the efficiency of energy production and use in Siberia. Irkutsk, 2010.Pp. 421-423.
12. 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.

13. Y. Dang and W. Chen, "Design of Oil-Immersed Apparatus Oil Velocity Measure System Based on the Ultrasonic Wave Doppler Effect," 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), Palermo, pp. 1–4, 2018.
14. 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.
15. 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.
16. Stupitskiy V. P., Khudonogov I. A., Tikhomirov V. A., Lobanov O. V. "Increase in reliability of diagnosing of the contact network bearer cable condition". Journal of Transsib Railway Studies. 2019 no. 3 (39). Pp 88-89
17. Drozdov S.P., Podyachykh S.V., Potapov V.V., Chebotnyagin L.M. "The calculation of the final isolation life of the oil transformer windings". Bulletin of the ISAU. 2017. no. 80. Pp 155-163.
18. Solonina N.N., Suslov K.V., Solonina Z.V. New technologies for compensation of reactive power. Bulletin of Irkutsk State Technical University. 2016. no. 5 (112). Pp 135-143.
19. Gorbunova V. S., Puzina E. Yu. Efficiency of introduction of the energy management system implementation in Russian industrial companies // Transport systems and technologies. 2018. Vol. 4. No. 1. Pp. 119-137.
20. Bobrova Yu.M., Puzina E.Yu. The need to activate energy saving in Russia // Increasing the efficiency of production and use of energy in Siberia / Materials of the All-Russian. scientific-practical conf. with int. participation. -Irkutsk: IRNITU, 2016. -T.2. - Pp. 142-147.
21. 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. C. 012060.

#### **Информация об авторах**

*Трумм Александр Дмитриевич* – студент гр. СОД.1-16-2, специальность «Системы обеспечения движения поездов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск. e-mail: alex1449tr@gmail.com

#### **Authors**

*Trumm Alexander Dmitrievich* – student g. SOD.1-16-2, specialty "Train traffic management Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: alex1449tr@gmail.com

#### **Для цитирования**

Трумм А.Д. Усиление системы тягового электроснабжения на участке Большой Луг – Слюдянка с учетом пропуска соединенных поездов по системе виртуальная сцепка [Электронный ресурс] / А.Д. Трумм // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. — 2021. — №1. — Режим доступа: <http://mnv.irkups.ru/toma/212-2021>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ. (дата обращения: \_\_\_\_\_)

#### **For citation**

Trumm A.D. Reinforcement of traction power supply systems in the Bolshoy Lug – Slyudyanka section, taking into account the passage of connected trains through the Virtual hitch system [Electronic resource] / A.D. Trumm// Young science of Siberia: electron. scientific journal-2021. — no. 1. — Access mode: <http://mnv.irkups.ru/toma/212-2021>, free. — Title from the screen. — Lang. rus., eng. (accessed: \_\_\_\_\_)