

ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА УЧАСТКЕ КИРЕНГА – СЕВЕРОБАЙКАЛЬСК ПРИ ПРОПУСКЕ ПАКЕТА ПОЕЗДОВ МАССОЙ 7100 ТОНН

Аннотация. В настоящее время, Правительство Российской Федерации, вместе с руководством ООО «РЖД», видит в Байкало-Амурской магистрали стратегическое положение и огромный технико-экономический потенциал, который будет востребован в обозримом будущем [1]. Следует отметить, что расширение инфраструктурных объектов и увеличение объема перевозок на магистрали положительно повлияют на экономическое развитие Сибири, Дальнего Востока и территорий крайнего севера.

Приведенные факторы обосновывают необходимость проведения разностороннего анализа существующей инфраструктуры и возможных вариантов ее модернизации, включая систему тягового электроснабжения. В связи с вышеизложенным, увеличение пропускной способности электрифицированного участка Киренга - Северобайкальск является важной и актуальной темой.

В работе приведен анализ некоторых возможных методов увеличения пропускной способности на участке Киренга-Северобайкальск. Для ее достижения автором были поставлены следующие задачи:

- определение способов повышения пропускной способности на участке Киренга-Северобайкальск;
- анализ эффективности возможных методов для усиления системы электроснабжения с напряжением 2х25 кВ;
- модернизация участка Киренга-Северобайкальск для обеспечения проезда тяжеловесных поездов весом 7100 тонн.

Объектом исследования является пропускная способность участка железной дороги Киренга-Северобайкальск.

Предметом исследования являются методы и способы повышения пропускной способности трехпроводной автотрансформаторной системы тягового электроснабжения с напряжением 2х25 кВ на участке железной дороги Киренга-Северобайкальск.

Ключевые слова: график движения, пропускная способность, Кортэс, напряжение, движение поездов.

INCREASING THE CAPACITY OF THE TRACTION ELECTRIC POWER SUPPLY SYSTEM IN THE KIRANGA - SEVEROBAIKALSK SECTION WHEN A PACKAGE OF 7,100-TON TRAINS IS PASSED

Abstract. At present, the Government of the Russian Federation, together with the management of Russian Railways LLC, sees in the Baikal-Amur Mainline a strategic position and a huge technical and economic potential that will be in demand in the foreseeable future. It should be noted that the expansion of infrastructure facilities and an increase in the volume of traffic on the highways will positively affect the economic development of Siberia, the Far East and the territories of the Far North.

The above factors justify the need for a comprehensive analysis of the existing infrastructure and possible options for its modernization, including the traction power supply system. In connection with the foregoing, increasing the capacity of the Kirenga-Severobaikalsk electrified section is an important and relevant topic.

The paper presents an analysis of some possible methods for increasing the throughput capacity in the Kirenga-Severobaikalsk section. To achieve it, the following tasks were set by the author:

- determination of ways to increase throughput at the Kirenga-Severobaikalsk section;
- analysis of the effectiveness of possible methods for strengthening the power supply system with a voltage of 2х25 кВ;
- modernization of the Kirenga-Severobaikalsk section to ensure the passage of heavy trains weighing 7100 tons.

The object of the study is the capacity of the Kirenga-Severobaikalsk railway section.

The subject of the research is the methods and means of increasing the capacity of a three-wire autotransformer system of traction power supply with a voltage of 2х25 кВ on the section of the Kirenga-Severobaikalsk railway.

Keywords: traffic schedule, capacity, Cortes, voltage, train traffic.

Введение

Программа модернизации Байкало-Амурской магистрали и Транссибирской магистрали заложена в долгосрочный план развития железнодорожной инфраструктуры до 2025 года [1]. Станции Улак и Февральск предназначены для обслуживания крупных месторождений угля (Эльгинский и Огоджинский) и являются подъездными станциями. Без надлежащего развития Байкало-Амурской магистрали месторождения не смогут быть успешно развиты.

Главная причина, по которой строят вторые пути Байкало-Амурской магистрали - чрезмерная загруженность существующей инфраструктуры. Например, ежедневно через станцию Тында проходит более 2000 вагонов. Второй путь позволит увеличить и ускорить доставку грузов из центральной России и Сибири на Дальний Восток и обратно. Плюс – это еще и большая транзитная магистраль. В настоящее время существующая Транссибирская магистраль, построенная еще в период царской России, не справляется с объемом товаров, перемещаемых из Китая в Европу, загруженность достигает 100%. Проект расширения Байкало-Амурской магистрали включает строительство второй ветки магистрали на большей части пути, частичную электрификацию и замену подвижного состава. По прогнозам, потребность в перевозках по Байкало-Амурской магистрали к 2025 году достигнет около 100 миллионов тонн грузов [1].

В настоящее время ведутся работы по строительству дополнительных путей и реконструкции станций на нескольких участках Байкало-Амурской магистрали и Транссибирской магистрали. Необходимо проанализировать и предложить возможные варианты повышения пропускной и провозной способности электрифицированного участка Лена – Таксимо, в данной работе рассмотрена часть этого участка Киренга – Северобайкальск.

Описание участка Киренга - Северобайкальск

Участок Киренга – Северобайкальск является сложным горно-перевальным участком железной дороги, электрифицированным по системе 2х25 кВ. На участке расположено 5 тяговых подстанций от Киренги до Северобайкальска. Профиль пути участка представлен на рисунке 1.

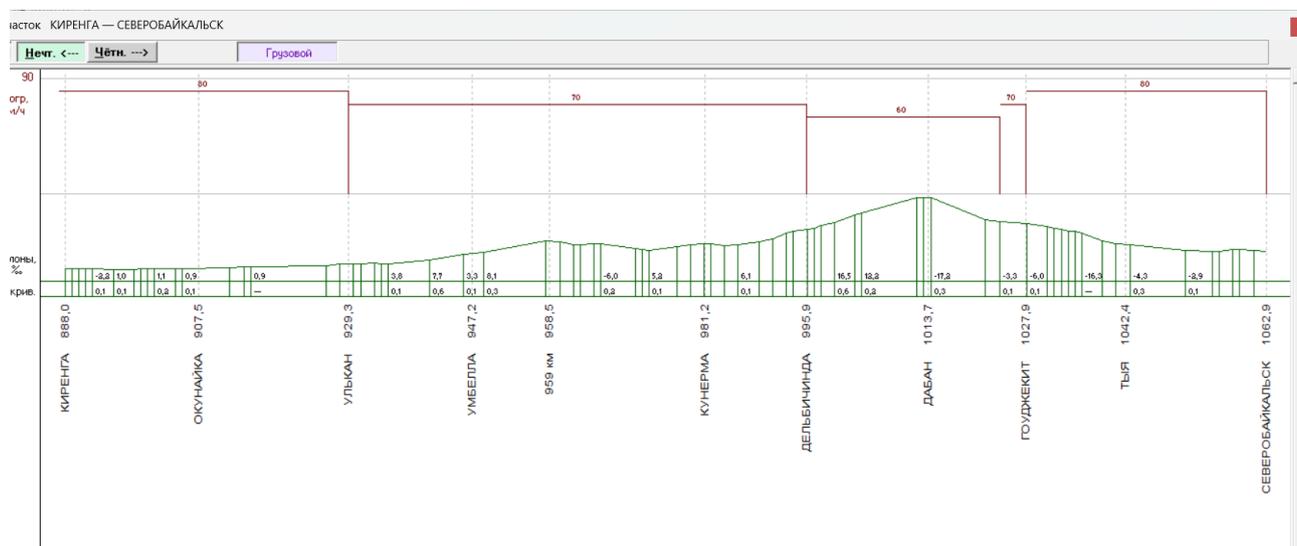


Рис. 1 – Профиль пути участка Киренга – Северобайкальск

В таблице 1 приведены расположение и расстояния между тяговыми подстанциями (далее – ТП). На рисунке 2 изображена схема питания и секционирования тяговой сети рассматриваемого участка.

Таблица 1 – Расположение и название тяговых подстанций

| Название тяговой подстанции | Расположение, км | Расстояние между ТП, км |
|-----------------------------|------------------|-------------------------|
| Киренга | 890,6 | 0 |
| Улькан | 930,5 | 39,9 |
| Кунерма | 981,4 | 50,9 |
| Дабан | 1014,9 | 33,5 |
| Северобайкальск | 1064,2 | 49,3 |

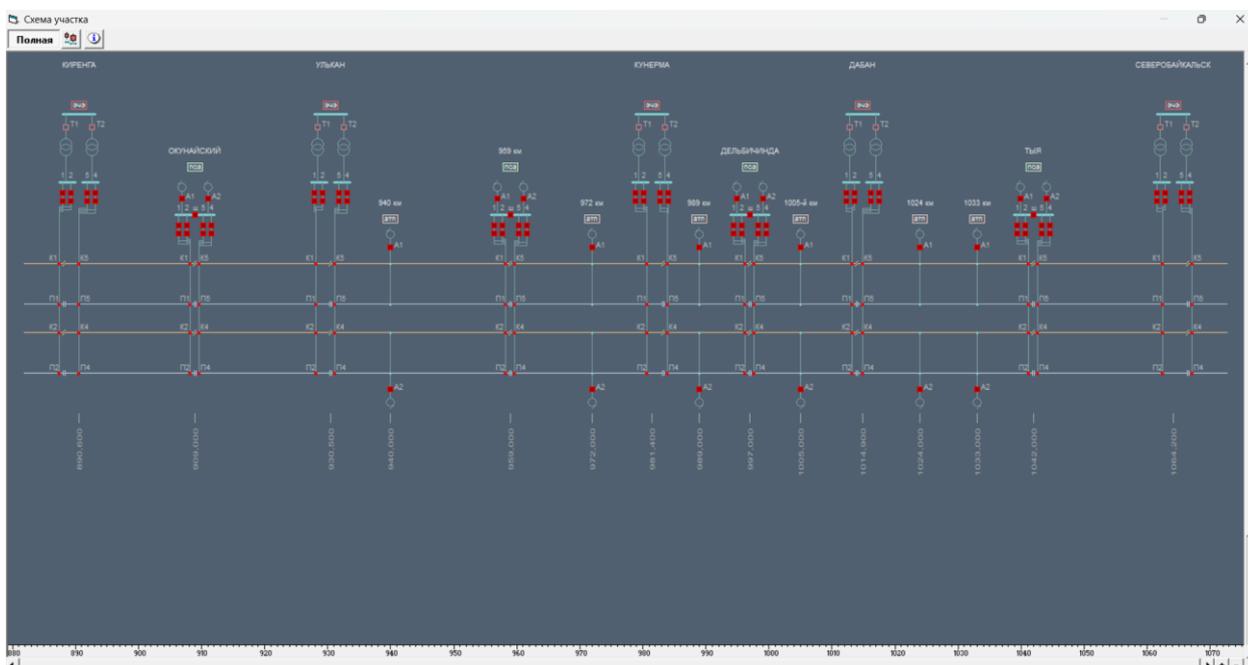


Рис. 2 – Схема питания и секционирования тяговой сети участка Киренга – Северобайкальск

На рисунке 3 изображены параметры тяговых подстанций участка Киренга – Северобайкальск.

| Параметры тяговых подстанций | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|------------|-----------|-----------------------|-------------|--------|------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------|----------|--------------------------------|
| Основные КЧ (поперечн.) УПК (продольн.) Дополнит. | | | | | | | | | | | | | |
| Наименование подстанции | Плечо | Фаза плеча | Скв. МВ·А | Тип трансформатора | Колево вкл. | Шхв. В | КЧ на шинях КС Полезн. | УПК в КС – Qном | УПК в ПП – Qном | УПК в фазе – Qном | Sр. МВ·А | Sн. МВ·А | Принадлежность к энергосистеме |
| КИРЕНГА | левое | отст | 513 | ОРДТНЖ-25000/110-81У1 | 1 | 27500 | - | - | - | - | - | - | - |
| | правое | опер | | ОРДТНЖ-25000/110-81У1 | 1 | 27500 | - | - | - | - | - | - | - |
| УЛЬКАН | левое | отст | 753 | ОРДТНЖ-25000/220-79У1 | 1 | 27500 | - | - | - | - | - | - | - |
| | правое | опер | | ОРДТНЖ-25000/220-79У1 | 1 | 27500 | - | - | - | - | - | - | - |
| КУНЕРМА | левое | отст | 681 | ОРДТНЖ-25000/220-79У1 | 1 | 27500 | - | - | - | - | - | - | - |
| | правое | опер | | ОРДТНЖ-25000/220-79У1 | 2 | 27500 | - | - | - | - | - | - | - |
| ДАБАН | левое | отст | 670 | ОРДТНЖ-25000/220-79У1 | 2 | 27500 | - | - | - | - | - | - | - |
| | правое | опер | | ОРДТНЖ-25000/220-79У1 | 1 | 27500 | - | - | - | - | - | - | - |
| СЕВЕРОБАЙКАЛЬСК | левое | отст | 686 | ОРДТНЖ-25000/220-79У1 | 1 | 27500 | - | - | - | - | - | - | - |
| | правое | опер | | ОРДТНЖ-25000/220-79У1 | 1 | 27500 | - | - | - | - | - | - | - |

Рис. 3 – Параметры тяговых подстанций

Результаты тягового расчета для планируемых масс поездов 7100 тонн

В соответствии с графиком достижения целевых показателей инвестиционного проекта "Модернизация железнодорожной инфраструктуры Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей с развитием пропускных и провозных способностей» в конце 4-го квартала 2024 года провозная способность на рассматриваемом участке должна составлять 51,2 млн. тонн в год в грузовом направлении, а масса подвижного состава – до 7100 тонн.

Результаты тягового расчета подвижного состава массой 7100 тон в нечетном и четном направлениях приведены на рисунках 4 и 5. Для осуществления движения грузового состава в

четном направлении необходимо включить два тяговых локомотива в электроподвижной состав, а в нечетном три.

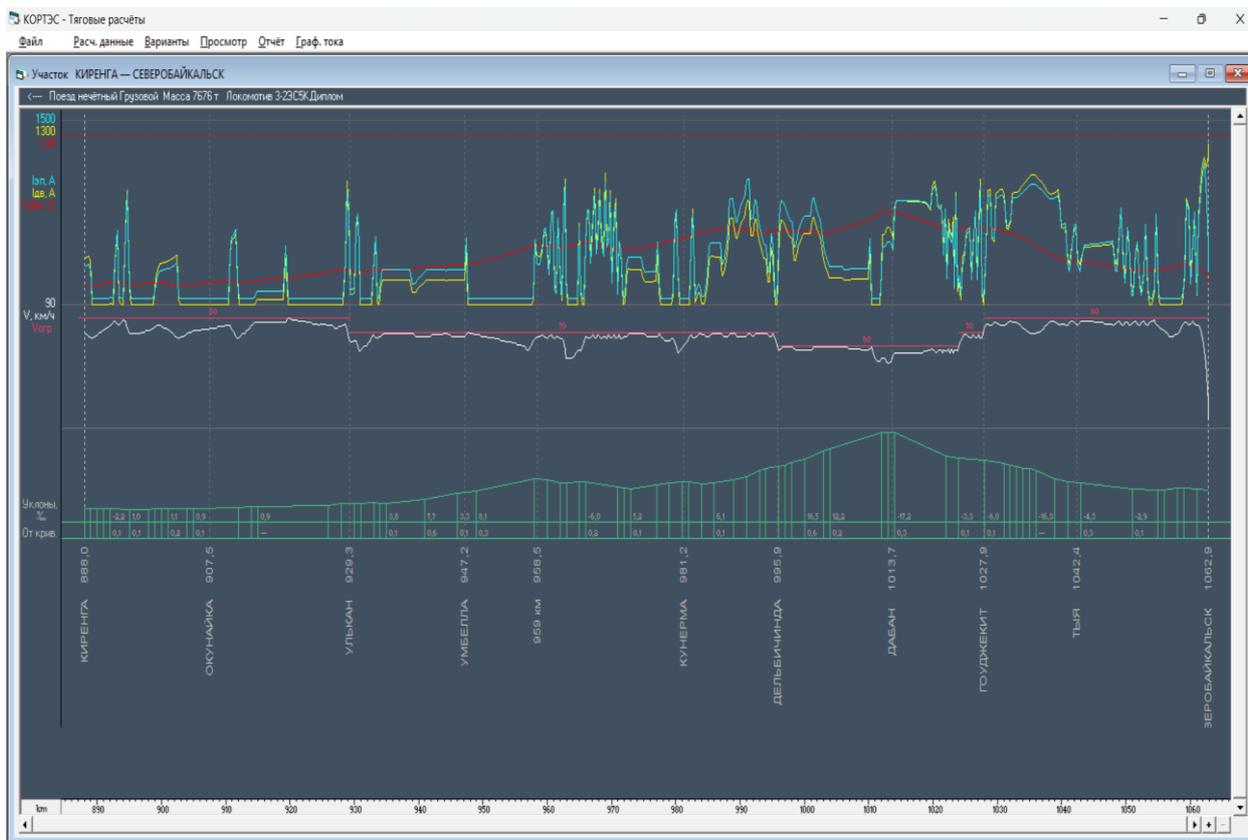


Рис. 4 – Результаты тягового расчета состава массой 7100 тонн в нечетном направлении

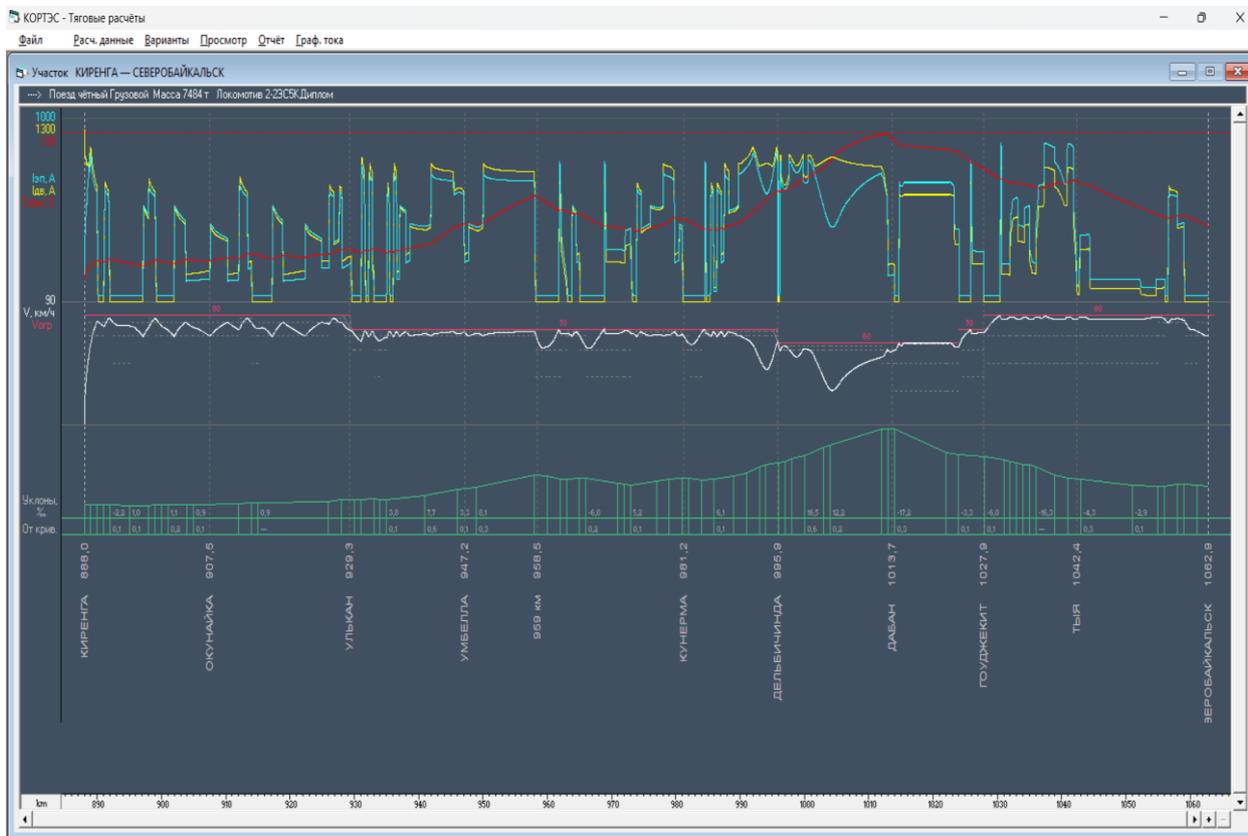


Рис. 5 – Результаты тягового расчета состава массой 7100 тонн в четном направлении

Анализ планируемой пропускной способности

В соответствии с планируемыми объемами грузоперевозок на рассматриваемом участке, которые на конец 2024 года должны составлять 51,2 млн. тонн в год при массах поездов до 7100 тонн, необходимо провести анализ пропускной способности рассматриваемого участка Киренга – Северобайкальск, получить значения рассматриваемых критериев и предложить возможные варианты усиления системы для достижения требуемой пропускной способности [1].

В качестве используемого суточного графика движения выбран график состоящий из 43 пар поездов массой 7100 тонн, который отвечает максимальным требованиям инвестиционного проекта на 2024 год. Если обеспечить пропускную способность в соответствии с предложенным, наиболее тяжелым, графиком движения, то можно утверждать, что остальные случайные или пакетные графики движения смогут быть обеспечены мощностями рассматриваемой системы электроснабжения [2-4].

Для определения необходимости проведения мероприятий по усилению системы электроснабжения рассматриваемого участка, необходимо провести моделирование планируемого суточного графика движения поездов на рассматриваемом участке с текущими электроэнергетическими объектами тяговой инфраструктуры.

Результаты моделирования приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Основные характеристики рабочего режима участка

| | | |
|--------------------------------|----------|---|
| Время расчета, мин: начало | 0; | продолж. 1440; шаг 1,0 |
| Температура воздуха, °С | 20 | |
| Использованы графики движ. | путей | 1–го, 2–го |
| Расход энергии: активн., кВт·ч | 960876; | потери в тяг. сети 37996 (4,0%) |
| реактивн., квар·ч | 1235668; | потери х.х. АТ 4296 кВт·ч |
| Огр. коэфф. нагрузки ЭЧЭ | 2,30 | (доп. 2,0 1 мин) СЕВЕРОБАЙКАЛЬСК (лев. пл.) |
| темпер. трансформ., °С | 81 | (доп. 95° масл.) Дабан (прав. пл.) |
| Огр. коэфф. нагрузки АТП | 0,86 | (доп. 1,5 10 мин) 1005–й км (2–й путь) |
| темпер. автотрансформ., °С | 65 | (доп. 95° масл.) ОКУНАЙСКИЙ (1–й путь) |
| Напряжения, кВ: минимальное | 16,63 | 1–й путь зоны ДАБАН – СЕВЕРОБАЙКАЛЬСК поезд № 21 на км 1062,06 в 364 мин |
| среднее 3–мин | 18,04 | 1–й путь зоны ДАБАН – СЕВЕРОБАЙКАЛЬСК поезд № 19 на км 1047,22 |
| Огр. темпер., °С: в тяг. сети | 39 | (доп. 95° 20 мин) К5 ЭЧЭ ДАБАН |
| в отсасывающей линии | 23 | (доп. 90° 20 мин) ЭЧЭ ДАБАН |

Таблица 3 – Минимальные напряжения на токоприёмниках локомотивов

| Межподстанционная зона | Путь | Uэ, В | | Поезд №, на км |
|-------------------------|------|--------|-------|----------------|
| | | миним. | 3–мин | |
| Киренга – Улькан | 1–й | 21,94 | 23,03 | № 17, 892,62 |
| | 2–й | 21,23 | 22,72 | № 28, 890,90 |
| Улькан – Кунерма | 1–й | 20,30 | 21,09 | № 49, 968,04 |
| | 2–й | 19,84 | 20,56 | № 44, 953,28 |
| Кунерма – Дабан | 1–й | 21,31 | 21,60 | № 75, 990,17 |
| | 2–й | 20,95 | 21,27 | № 72, 1001,58 |
| Дабан - Северобайкальск | 1–й | 16,63 | 18,04 | № 19, 1047,22 |
| | 2–й | 17,70 | 18,51 | № 14, 1017,88 |

По результатам проведенных расчетов видно, что на участках Улькан – Кунерма и Дабан – Северобайкальск показатель напряжения на токоприемнике имеет значительное отклонение в меньшую сторону от минимально–допустимого значения, на 1047 км участка Дабан – Северобайкальск напряжение опускается до 16,63 кВ. Как видно из рисунка 6, пониженный уровень напряжения вызван наличием горно-перевального участка в зонах тяговых подстанций.

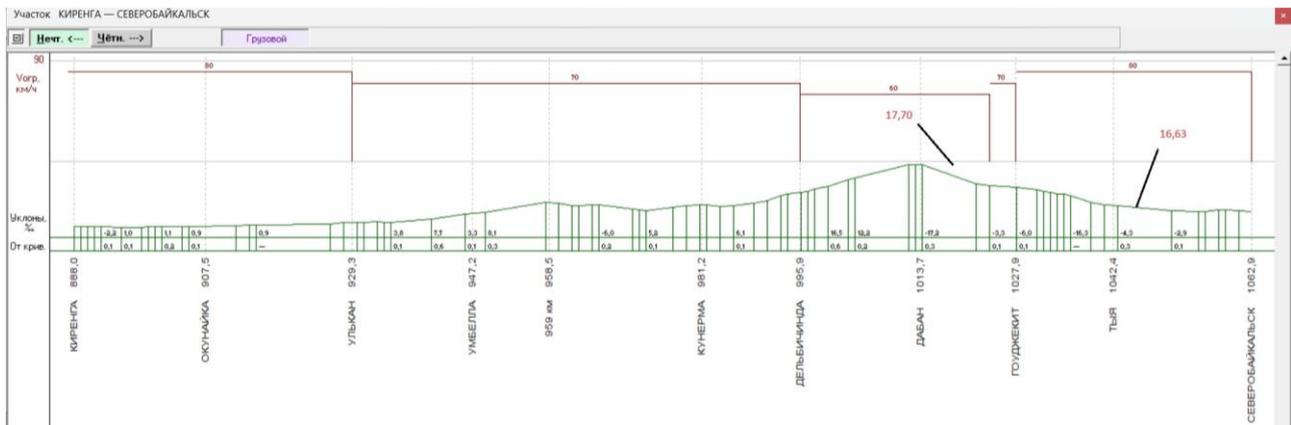


Рис. 6 – Минимальные значения напряжений на рассматриваемом участке

Для достижения планируемых показателей перевозочного процесса, необходимо рассмотреть организационные мероприятия и возможные способы технического усиления, определить параметры объектов тяговой инфраструктуры и места их установки при необходимости [5-13].

Технические способы повышения пропускной способности

Включение в параллельную работу двух тяговых трансформаторов

В существующей системе электроснабжения участка Киренга – Северобайкальск, в зоны с пониженным уровнем напряжения уже установлены в параллельную работу два тяговых трансформатора на каждом плече питания.

Для полноты проведения исследования необходимо определить значительность влияния установки одного или двух тяговых трансформаторов в параллельную работу.

Результаты такого сравнения по значениям напряжения приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Эффективность влияния двух трансформаторов в параллельной работе на напряжение

| Межподстанционная зона | Путь | Один ТТ U_{min} , кВ | Два ТТ U_{min} , кВ |
|------------------------|------|---------------------------|--------------------------|
| Киренга – Улькан | 1-й | 21,94 | 21,97 |
| | 2-й | 21,23 | 21,26 |
| Улькан – Кунерма | 1-й | 20,30 | 21,64 |
| | 2-й | 19,84 | 20,92 |
| Кунерма – Дабан | 1-й | 21,31 | 21,34 |
| | 2-й | 20,95 | 20,97 |
| Дабан-Северобайкальск | 1-й | 16,63 | 19,78 |
| | 2-й | 17,70 | 20,43 |

Следует отметить, что при наличии только одного тягового трансформатора, в момент пуска коэффициент достигает значения 2,30, что так же является сверх допустимым.

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод о том, что наличие двух тяговых трансформаторов является эффективным способом повышения пропускной способности на сложных и грузонапряженных участках [3,6,7].

Параллельная схема секционирования контактной сети двухпутного участка

Результаты сравнения существующей (узловой) и параллельной схемы секционирования контактной сети приведены в таблицах 5.

Таблица 5 – Сравнение эффективности параллельной и узловой схем секционирования контактной сети по напряжению

| Межподстанционная зона | Путь | Узловая схема Uэ, В миним. | Параллельная схема Uэ, В миним. |
|-------------------------|------|----------------------------------|--|
| Киренга – Улькан | 1–й | 21,94 | 22,04 |
| | 2–й | 21,23 | 21,39 |
| Улькан – Кунерма | 1–й | 20,30 | 20,75 |
| | 2–й | 19,84 | 20,26 |
| Кунерма – Дабан | 1–й | 21,31 | 21,32 |
| | 2–й | 20,95 | 21,15 |
| Дабан – Северобайкальск | 1–й | 16,63 | 17,02 |
| | 2–й | 17,70 | 17,77 |

Применение параллельной схемы секционирования позволило повысить напряжение на токоприемниках. Повышение напряжения оказалось не единственным обоснованием применением параллельной схемы на рассматриваемом участке. Существенно снизились потери в тяговой сети, в среднем на 11000 кВт·ч за сутки.

Установка устройств параллельной компенсации реактивной мощности (КУ)

На участках Улькан – Кунерма и Дабан – Северобайкальск наблюдается значительная величина реактивной мощности, необходимо провести исследование и подобрать оптимальные мощности устройств и места их установки. Установим КУ мощностью 4615 к Вар на шины КС Кунерма (л.п.), Дабан (п.п.), Северобайкальск (л.п.). Результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты исследования представлены в таблице

| Межподстанционная зона | Путь | Без КУ Uэ, В миним. | Ку Uэ, В миним. |
|----------------------------------|--------------|---------------------------|-----------------------|
| Киренга – Улькан | 1–й | 21,94 | 21,95 |
| | 2–й | 21,23 | 21,24 |
| Улькан – Кунерма | 1–й | 20,30 | 20,77 |
| | 2–й | 19,84 | 20,20 |
| Кунерма – Дабан | 1–й | 21,31 | 21,35 |
| | 2–й | 20,95 | 20,98 |
| Дабан-Северобайкальск | 1–й | 16,63 | 17,56 |
| | 2–й | 17,70 | 18,41 |
| Расход реактивной энергии, кВАр | Весь участок | 1235668 | 956290 |
| Потери в тяговой сети, кВт·ч (%) | Весь участок | 37996 (4,0%) | 34297 (3,5%) |

Применение КУ значительно повысило уровень напряжения, а также уменьшила потери в тяговой сети за счет снижения тяговых реактивных токов, которые создает локомотив. При установке КУ мощностью 4615 кВАр, в сети остается еще значительная часть реактивной мощности. КУ целесообразно применять при больших мощностях тягового состава, так как происходит компенсация именно тягового реактивно–индуктивного тока [7,8,11,12,13].

Установка устройств продольной компенсации реактивной мощности (УПК)

Для повышения напряжения на шинах тяговой подстанции при системе питания 2*25 кВ эффективно применение УПК в питающем и контактном проводе, при этом сопротивление

УПК выбирается таким образом, чтобы оно равнялось 1/3 сопротивления сети и трансформатора [7,8,11,12,13].

Проведем моделирование применения УПК (3200 кВАр) для рассматриваемого участка по следующим вариантам, результаты представлены в таблице 7:

- вариант 1 – без УПК;
- вариант 2 – УПК на шинах КС ТП Кунерма (л.п.), ТП Дабан (п.п.), ТП Северобайкальск (л.п.).

Таблица 7 – Результаты применения УПК

| Межподстанционная зона | Путь | Вариант 1 Uэ, В миним. | Вариант 2 Uэ, В миним. |
|----------------------------------|--------------|------------------------------|------------------------------|
| Киренга – Улькан | 1-й | 21,94 | 21,96 |
| | 2-й | 21,23 | 21,25 |
| Улькан – Кунерма | 1-й | 20,30 | 21,08 |
| | 2-й | 19,84 | 20,45 |
| Кунерма – Дабан | 1-й | 21,31 | 21,32 |
| | 2-й | 20,95 | 20,96 |
| Дабан – Северобайкальск | 1-й | 16,63 | 18,80 |
| | 2-й | 17,70 | 19,52 |
| Расход реактивной энергии, кВАр | Весь участок | 1235668 | 1246864 |
| Расход активной энергии, кВт | Весь участок | 960876 | 969604 |
| Потери в тяговой сети, кВт·ч (%) | Весь участок | 37996 (4,0) | 37044 (3,8) |
| Перегрузка АТП | Весь участок | – | – |

Применение комплекса технических мер для достижения необходимой пропускной способности

Проанализировав эффективность применения различных технических мер по повышению пропускной способности, сделав выводы о степени влияния и недостаточной эффективности при применении мер по отдельности, возникает необходимость применение комплексного подхода по модернизации тяговой сети.

Для анализа эффективности будем производить подключение усиливающих устройств по порядку:

- 1 – модернизация КС на участке Киренга-Северобайкальск (замена ПБСМ-95 на М-95). Создание параллельной схемы секционирования контактной сети;
- 2 – установка УПК на шинах КС ТП Кунерма (л.п.), ТП Дабан (п.п.), ТП Северобайкальск (л.п.);
- 3 – установка КУ на шинах КС ТП Кунерма (л.п.), ТП Дабан (п.п.), ТП Северобайкальск (л.п.). Установка второго трансформатора ТП Кунерма, ТП Дабан, ТП Северобайкальск;
- 4 – установка второго трансформатора ТП Кунерма, ТП Дабан, ТП Северобайкальск;
- 5 – установка КУ на шинах КС ТП Кунерма (л.п.), ТП Дабан (п.п.), ТП Северобайкальск (л.п.).

Полученные результаты приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты применения комплекса мер по повышению необходимой пропускной способности

| Участок | Расход энергии | | Минимальное напряжение, кВ | Вариант усиления |
|-------------------------|----------------|-----------------|----------------------------|------------------|
| | полной, кВАр·ч | активной, кВт·ч | | |
| Киренга-Северобайкальск | 1576144 | 960876 | 16,63 | Без усиления |
| | 1571799 | 959418 | 17,02 | 1 |
| | 1589227 | 969604 | 18,80 | 2 |
| | 1388989 | 985244 | 20,34 | 3 |
| | 1599712 | 975435 | 19,78 | 4 |
| | 1377489 | 975934 | 17,56 | 5 |

Заключение

- Из-за сложности горно-перевального участка Киренга – Северобайкальск необходимо предусматривать последовательное соединение нескольких локомотивов.

- При массе состава 7100 тонн в нечетном направлении необходимо включать в состав 3 локомотива, а при четном движении 2 локомотива.

- Повышение масс поездов необходимо для обеспечения требуемых объемов грузоперевозок в соответствии с инвестиционным проектом Правительства Российской Федерации.

- Рассмотрены и проанализированы различные варианты использования технических средств для повышения пропускной способности. Наибольшую эффективность на повышение пропускной способности оказала установка двух ТТ в параллельную работу и использование КУ.

- Существующая схема системы электроснабжения участка Киренга – Северобайкальск не способна обеспечить пропускную способность по требуемому и перспективному графику движения поездов.

- Применение отдельных способов усиления не приводит к требуемым показателям пропускной способности, необходимо использовать комплексный подход и оценивать эффективность устройств по технико-экономическим показателям, срокам эксплуатации оборудования, влиянию на потери активной энергии.

- В ходе анализа применения технических устройств для обеспечения требуемой пропускной способности, выбран следующий комплекс усиления: установка КУ на шинах КС ТП Кунерма (л.п.), ТП Дабан (п.п.), ТП Северобайкальск (л.п.). Установка второго трансформатора ТП Кунерма, ТП Дабан, ТП Северобайкальск.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Распоряжение правительства Российской Федерации от 28 апреля 2021 г. № 1100-р. «Паспорт инвестиционного проекта «Модернизация железнодорожной инфраструктуры Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей с развитием пропускных и провозных способностей (второй этап)»»

2. Пузина Е.Ю., Перельгин В.М. 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. Усиление системы тягового электроснабжения участка Чуро-Таксимо ВСЖД /Транспорт: наука, образование, производство: труды Международной научно- практической конференции. - Ростов-на-Дону: Изд-во РГУПС, 2016. - С. 306-310.

4. П.А. Капранов. Реконструкция районов электрических сетей с целью снижения потерь мощности. / П.А. Капранов, Е.Ю. Пузина. / Изд.: Ростовский государственный университет путей сообщения (Ростов-на-Дону). 2020. - 113-116 с.

5. 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.

6. Воронина Е.В., Куцкий А.П. Повышение качества электрической энергии в системах электроснабжения железных дорог // Молодая наука Сибири. 2021. № 2 (12). С. 118-125.

7. Куцкий А.П., Овечкин И.С., Галков А.А. Повышение пропускной способности участка Якурим - Киренга для обеспечения тяги сдвоенных электроподвижных составов массой 14200 тонн // Электронный научный журнал "Молодая наука Сибири". 2022. № 2(16), доступно на: <https://ojs.irgups.ru/index.php/mns/article/view/778>.

8. Куцкий А.П., Овечкин И.С., Галков А.А. Повышение пропускной способности участка Якурим - Киренга для обеспечения графика движения поездов с максимальной массой 7100 тонн. // Электронный научный журнал "Молодая наука Сибири". 2022. № 2(16), доступно на: <https://ojs.irgups.ru/index.php/mns/article/view/777>.

9. Пузина Е.Ю. Усиление системы тягового электроснабжения участка Ния-Киренга ВСЖД/ Электрификация и развитие инфраструктуры энергообеспечения тяги поездов на железнодорожном транспорте. материалы Шестого Международного симпозиума "Элтранс-2011". 2013. С. 464-468.

10. 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.

11. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Черепанов А.В. Управление качеством электроэнергии в системах электроснабжения железных дорог. Иркутск: ИрГУПС, 2015, 180 с. и интеллектуальных сетей (SMART GRID). Иркутск: ИрГУПС, pp: 412.

12. 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.

13. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Куцкий А.П. Моделирование несинусоидальных режимов систем тягового электроснабжения, оснащенных установками компенсации реактивной мощности//Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018. № 1 (57). С. 72-79.

REFERENCES

1. Decree of the Government of the Russian Federation No. 1100-r dated April 28, 2021. "Passport of the investment project "Modernization of the railway infrastructure of the Baikal-Amur and Trans-Siberian railway with the development of access and carrying capacity (second stage)""

2. Puzina E.Yu., Perelygin V.M. 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: Publishing House of RSUPS, 2013.-pp. 176-178.

3. Strengthening of the traction power supply system of the Churo-Taksimo section of the VSZHD /Transport: science, education, production: proceedings of the International Scientific and Practical Conference. - Rostov-on-Don: Publishing House of RSUPS, 2016. - pp. 306-310.

4. P.A. Kapranov. Reconstruction of areas of electric networks in order to reduce power losses. / P.A. Kapranov, E.Yu. Puzina. / Ed.: Rostov State University of Railways (Rostov-on-Don). 2020. - 113-116 p.

5. Voronina E.V., Kutsy A.P. Modernization of the track and increasing the capacity of a single-track electrified section of the Yakurim – Kirenga railway // Molodaya nauka Sibiri. 2021. No. 3 (13). pp. 196-204.

6. Voronina E.V., Kutsy A.P. Improving the quality of electric energy in the power supply systems of railways // Molodaya nauka Sibiri. 2021. No. 2 (12). pp. 118-125.

7. Kutsiy A.P., Ovechkin I.S., Galkov A.A. Increasing the throughput capacity of the Yakurim - Kirenga section to provide traction for dual electric rolling stock weighing 14200 tons // Electronic scientific journal "Young Science of Siberia". 2022. No. 2(16), available at: <https://ojs.irgups.ru/index.php/mns/article/view/778>.

8. 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 7100 tons. // Electronic scientific journal "Young science of Siberia". 2022. No. 2(16), available at: <https://ojs.irgups.ru/index.php/mns/article/view/777>.

9. Puzina E.Yu. Strengthening the traction power supply system of the Nia-Kirenga section of the VSZHD/ Electrification and development of the infrastructure for power supply of train traction on railway transport. materials of the Sixth International Symposium "Eltrans-2011". 2013. pp. 464-468.

10. Cherepanov A.V., Kutsy A.P., Hisamov A.R. Influence of modes of external power supply systems on the capacity of traction power supply system // Transport infrastructure of the Siberian region. 2019. Vol. 2. pp. 8-14.

11. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V., Cherepanov A.V. Quality management of electric energy in railway power supply systems. Irkutsk: IrGUPS, 2015, 180 p. of intelligent networks (SMART GRID). Irkutsk: IrGUPS, pp: 412.

12. Cherepanov A.V., Kutsyy A.P. The use of controlled reactive power sources in traction power supply systems. Bulletin of Irkutsk State Technical University. 2016. Vol. 20. No. 9(116). pp. 103-110.

13. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V., Kutsyy A.P. Modeling of non-sinusoidal modes of traction power supply systems equipped with reactive power compensation units//Modern technologies. System analysis. Modeling. 2018. No. 1 (57). pp. 72-79.

Информация об авторах

Куцый Антон Павлович – начальник МНЦ УНИР, старший преподаватель каф. ЭТ, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск e-mail: kutsyi_ap@irgups.ru

Бураев Булат Борисович – студент гр. СОД.1-18-2, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск

Information about the authors

Kutsyi Anton Pavlovich – Head of the UNIR Research Center, senior lecturer of the Faculty. ET, Irkutsk State Transport University, Irkutsk e-mail: kutsyi_ap@irgups.ru

Buraev Bulat Borisovich – student gr. SOD.1-18-2, Irkutsk State Transport University, Irkutsk.