

Д.И. Кузубов<sup>1</sup>, Е.Ю. Пузина<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация

## РАЗВИТИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЛИМИТИРУЮЩЕГО УЧАСТКА ЧУКША-ТОРЕЯ-ОГНЕВКА

**Аннотация.** На действующих участках электрифицированных железных дорог в настоящее время в связи с увеличением объема грузоперевозок, выполняемых тяжеловесными поездами, выявляются лимитирующие участки, ограничивающие пропускную способность целых дистанций электроснабжения. Обычно это наблюдается при наличии на таких участках сложного горно-перевального профиля пути. Для Северного хода Восточно-Сибирской железной дороги характерно наличие в отдельных дистанциях электроснабжения подъемов величиной 10-17 промилей. Ярким примером такого участка является межподстанционная зона Чукуша-Огневка Вихоревской дистанции электроснабжения.

Целью исследований, проведенных авторами статьи, является развитие пропускной способности системы тягового электроснабжения на участке Чукуша-Огневка при существующем на 2022 год и перспективном графике движения поездов на 2025 год. На основании собранных данных по профилю пути и весовым нормам поездов выполнен тяговый расчет для определения нагрузок поездов на заданном участке. Для разных режимов выполнена проверка пропускной способности системы тягового электроснабжения с учетом заданных весовых норм поездов в четном и нечетном направлениях. При этом, выявлены лимитирующие участки и предложены меры по их усилению, такие как подвес усиливающего провода, установка устройства поперечной емкостной компенсации на посту секционирования, включение в параллельную работу силовых трансформаторов на тяговой подстанции, что требует установки дополнительного тягового трансформатора. Выбраны оптимальные мероприятия по усилению каждого лимитирующего участка.

**Ключевые слова:** контактная сеть, трансформатор, усиление, устройство продольной компенсации, электроподвижной состав.

D.I. Kuzubov<sup>1</sup>, E.Yu. Puzina<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, the Russian Federation

## DEVELOPMENT OF THE CAPACITY OF THE LIMITING SECTION CHUKSHA-TOREA-OGNEVKA

**Abstract.** On the existing sections of electrified railways, due to the increase in the volume of cargo transportation carried out by heavy trains, limiting sections are identified that limit the throughput of entire distances of power supply. This is usually observed when there is a complex mountain pass profile of the path in such sections. The Northern Passage of the East Siberian Railway is characterized by the presence of rises of 10-17 ppm in some distances of power supply. A striking example of such a section is the Chuksha-Ognevka intersubstation zone of the Vikhorevskaya power supply distance.

The purpose of the research carried out by the authors of the article is to develop the capacity of the traction power supply system on the Chuksha-Ognevka section with the existing train schedule for 2022 and the prospective train schedule for 2025. Based on the collected data on the track profile and weight norms of trains, a traction calculation was performed to determine the loads of trains on a given section. For different modes, the throughput capacity of the traction power supply system was checked, taking into account the specified weight norms of trains in even and odd directions. At the same time, limiting sections were identified and measures were proposed to strengthen them, such as hanging a reinforcing wire, installing a transverse capacitive compensation device at the sectioning post, including power transformers at a traction substation in parallel operation, which requires the installation of an additional traction transformer. Optimal measures were chosen to strengthen each limiting section.

**Keywords:** contact network, transformer, reinforcement, longitudinal compensation device, electric rolling stock.

### Введение

Открытое акционерное общество «Российские железные дороги» («РЖД») входит в тройку крупнейших в мире национальных железнодорожных компаний и является одним из

самых узнаваемых российских брендов, основой национальной транспортной системы. Услугами ОАО «РЖД» сегодня пользуются миллионы человек.

Пропускной способностью железнодорожной линии называется максимальное число поездов или пар поездов установленной массы и длины, которое может быть пропущено по данной линии в единицу времени (сутки, час) при имеющейся технической оснащённости, принятом типе графика и заданном числе поездов. Провозной способностью линии называется максимальный объём перевозок, который может быть освоен при данной пропускной способности, имеющемся числе локомотивов, вагонов, обеспеченности электроэнергией, топливом, кадрами и другими ресурсами.

Для проверки соответствия пропускной и провозной способностей необходимо для размеров движения, определяющих пропускную способность, рассчитать требуемые вагонный и локомотивный парки, число локомотивных бригад и т.д.

Различают понятия наличной, проектной и потребной пропускной способности.

Наличная - это пропускная способность, которая может быть реализована при существующей технической оснащённости линии. Потребной называется пропускная способность, которая должна быть обеспечена при заданных размерах пассажирского и грузового движения с резервом, определенным на направлении. Проектная - это та пропускная способность, которая может быть достигнута при осуществлении реконструктивных мер по условиям технической оснащённости.

Пропускная способность линии определяется по ее элементам: перегонам, станциям, устройствам электроснабжения, средствам связи по движению поездов, устройствам локомотивного и вагонного хозяйства и т.д. Поскольку указанные технические устройства работают в едином комплексе, необходимо рассчитать пропускную способность каждого из них. Результативной пропускной способностью для всей линии будет та, которая окажется наименьшей. Диспропорции в пропускной способности элементов быть не должно. При выявлении ограничивающего элемента решается вопрос усиления его за счет технического перевооружения или проведения организационных мер (изменение типа графика, внедрение передовых приемов труда и т. д.).

Прогнозируемый рост объемов грузовых перевозок, требует усиления пропускной способности основных направлений на основе устранения «узких мест» и создания необходимых резервов, обеспечения перевозок подвижным составом с исключением парков с истекшими сроками службы, коренной модернизации существующих объектов инфраструктуры, в частности, системы тягового электроснабжения (СТЭ) [1-7].

### Постановка проблемы

Двухпутный участок Чукша–Огневка электрифицирован по системе переменного тока напряжением 25 кВ. Исследуемый участок относится к Вихоревской дистанции электроснабжения (ЭЧ-8). Вихоревская дистанция электроснабжения Восточно-Сибирской железной дороги имеет протяженность 321 км, граница по основному направлению - Чуна, 140-й км и Речушка, 461-й км. В ее состав входит 8 тяговых подстанций (ЭЧЭ) и 5 дистанций контактной сети (ЭЧК). Для точности исследований необходимо нагрузить оба плеча тяговых подстанций, поэтому расширим границы участка от станции Чуна до станции Турма. Координаты основных элементов схемы питания участка Чуна–Турма представлены в таблице 1. Фазировка подстанций, данные об отстающем и опережающем плечах приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Координаты подстанций, ПС и ППС

| Тип объекта | Координаты оси, км | Наименование |
|-------------|--------------------|--------------|
| ЭЧЭ         | 140,600            | Чуна         |
| ЭЧЭ         | 178,200            | Чукша        |
| ПС          | 191,000            | Кешево       |
| ППС         | 217,000            | 217-ый км    |
| ЭЧЭ         | 225,400            | Огневка      |
| ЭЧЭ         | 248,100            | Турма        |

Таблица 2 – Фазировка подстанций

| Подстанция | Тип | Плечо |        |
|------------|-----|-------|--------|
|            |     | Левое | Правое |
| Чуна       | III | отст. | опер   |
| Чукша      | II  | отст. | опер   |
| Огневка    | I   | отст. | опер   |
| Турма      | I   | опер. | отст.  |

Информация по мощности короткого замыкания и тип установленного силового трансформатора на подстанции приведены в таблице 3. Информация по установленным УПК и КУ приведена в таблице 4. В таблице 5 приведены параметры отходящих от подстанции линий питающих фидеров и отсосов.

Таблица 3 – Мощность короткого замыкания и тип силового трансформатора

| Подстанция | Тип трансформатора | Мощность трехфазного короткого замыкания на вводе, МВА |
|------------|--------------------|--|
| Чуна       | ТДТНЖ-25000/110    | 807  |
| Чукша      | ТДТНЖ-40000/110    | 623  |
| Огневка    | ТДТНЖ-40000/110    | 878  |
| Турма      | ТДТНЖ-25000/110    | 890  |

Таблица 4 – Установленные УПК, КУ и их мощность

| Место установки на ТП | Мощность $Q_{\text{полезн}}$ , кВАр |              | УПК в фазе «С»                                |                                       |
|-----------------------|-------------------------------------|--------------|---|---------------------------------------|
|                       | Левое плечо                         | Правое плечо | Номинальная мощность, $Q_{\text{ном}}$ , кВАр | Номинальный ток, $I_{\text{ном}}$ , А |
| Чуна                  | -                                   | -            | -   | -                                     |
| Чукша                 | 3600                                | -            | 14400   | 2400                                  |
| Огневка               | 3600                                | -            | 19200   | 3200                                  |
| Турма                 | -                                   | -            | -   | -                                     |

Таблица 5 – Марки проводов и длина питающих линий

| Наименование п/ст | Линия | Длина, м | Марка провода |
|-------------------|-------|----------|---------------|
| Чуна              | 1 фкс | 0,08     | A-185         |
|                   | 2 фкс | 0,08     | A-185         |
|                   | 4 фкс | 3,0      | A-185         |
|                   | 5 фкс | 3,0      | A-185         |
|                   | Отсос | 0,4      | 2*A-185       |
| Чукша             | 1 фкс | 1,1      | 2*A-185       |
|                   | 2 фкс | 1,1      | A-185         |
|                   | 4 фкс | 0,4      | A-185         |
|                   | 5 фкс | 0,4      | 2*A-185       |
|                   | Отсос | 0,25     | 4*A-185       |
| Огневка           | 1 фкс | 0,23     | A-185         |
|                   | 2 фкс | 0,23     | A-185         |
|                   | 4 фкс | 6,5      | A-185         |
|                   | 5 фкс | 6,5      | A-185         |
|                   | Отсос | 0,25     | 3*A-185       |
| Турма             | 1 фкс | 2,1      | 2*A-185       |
|                   | 2 фкс | 2,1      | 2*A-185       |
|                   | 4 фкс | 0,5      | 2*A-185       |
|                   | 5 фкс | 0,5      | 2*A-185       |
|                   | Отсос | 0,15     | 3*A-185       |

Профиль пути представлен в соответствии с рисунком 1. На данном участке имеются тяжелые участки, а именно МПЗ Чукша–Огневка и МПЗ Огневка–Турма, из-за большой длины, подъема 14%, и большого содержания кривых малого радиуса на станции Огневка.

Схема питания Вихоревской дистанции электроснабжения представлена в соответствии с рисунком 2.

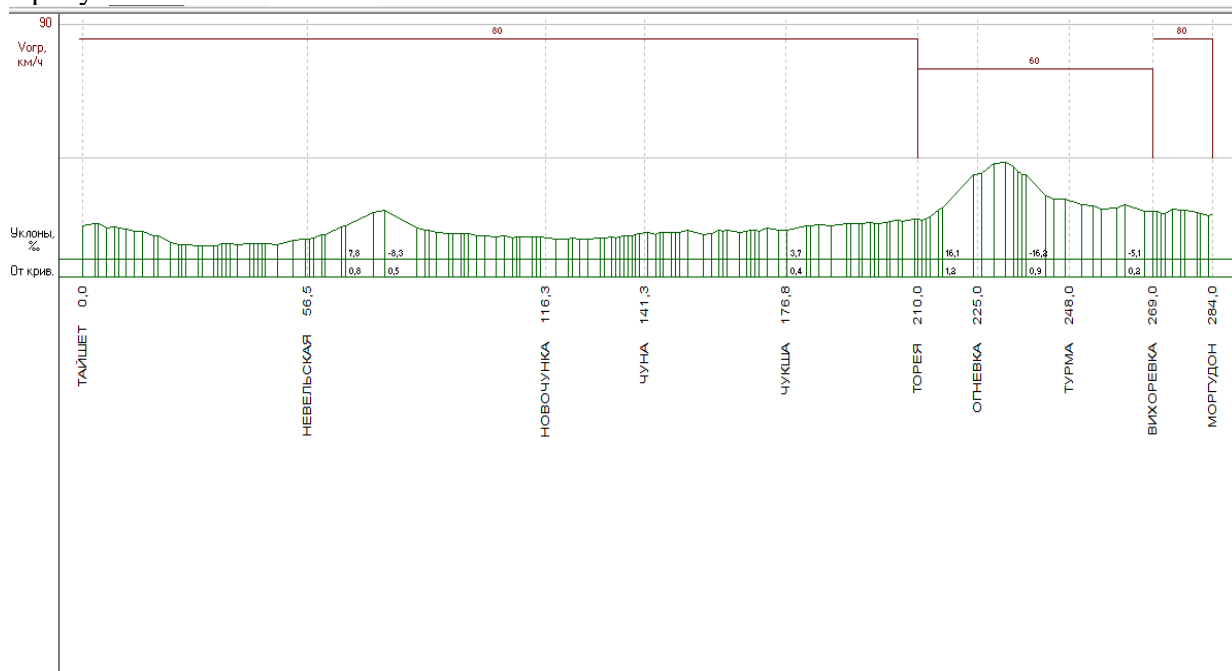


Рис. 1. Профиль пути участка

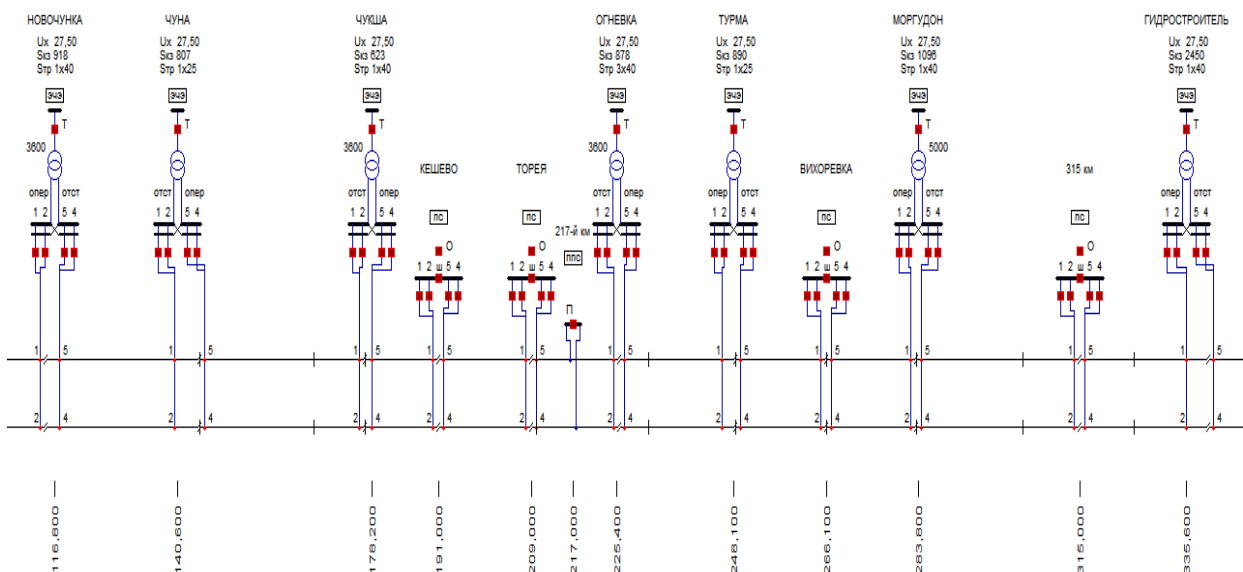


Рис. 2. Схема питания Вихоревской дистанции электроснабжения

Исходные данные для расчёта перспективной пропускной способности СТЭ приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Классификация поездов при перспективном графике движения

| Обозначение режима | Направление | Масса поезда, т | Количество поездов |
|--------------------|-------------|-----------------|--------------------|
| А                  | Четн        | 7100            | 48                 |
|                    |             | 5000            | 32                 |
|                    | Нечетн      | 6000            | 24                 |
|                    |             | 1500            | 56                 |
| 2                  | Четн        | 7100            | 48                 |
|                    | Нечетн      | 6000            | 24                 |
| 3                  | Четн        | 7100            | 48                 |

Выполнена проверка параметров режима работы существующей СТЭ при перспективных размерах движения на 2025 год с учетом организации трех графиков движения А, Б, В согласно [8-9], результаты внесены в таблицы 7-8.

Таблица 7 – Результаты расчета параметров режима работы СТЭ участка Чуна-Турма при перспективном графике движения

| Режим | Минимальный межпоездный интервал, $\Theta_{\min}$ , мин | Минимальное напряжение в контактной сети, $U_{\min}$ , кВ | Температура проводов контактной сети, $T_{КС}$ , °С | Расход активной электроэнергии, $W_{акт}$ , кВт*ч | Коэффициент загрузки трансформатора, $k_z$ |                  |        | Температура, °С |       |
|-------|---|---|---|---|--|------------------|--------|-----------------|-------|
|       |   |   |   |   | ТП   | Среднее значение | 10 мин | Обмоток         | Масла |
| А     | 14  | 20,18<br>Чукша-Огневка                                    | 90  | 294109  | Чуна                                       | 0,84             | 0,94   | 90              | 77    |
|       |   |   |   |   | Чукша                                      | 0,75             | 0,93   | 90              | 77    |
|       |   |   |   |   | Огневка                                    | 0,80             | 1,05   | 90              | 80    |
|       |   |   |   |   | Турма                                      | 0,62             | 0,91   | 80              | 65    |
| Б     | 12  | 21,46<br>Огневка-Турма                                    | 75  | 114574  | Чуна                                       | 0,38             | 0,53   | 90              | 77    |
|       |   |   |   |   | Чукша                                      | 0,40             | 0,71   | 90              | 77    |
|       |   |   |   |   | Огневка                                    | 0,47             | 0,81   | 90              | 80    |
|       |   |   |   |   | Турма                                      | 0,33             | 0,62   | 80              | 65    |
| В     | 12  | 22,59<br>Чуна-Чукша                                       | 68  | 53107   | Чуна                                       | 0,28             | 0,42   | 90              | 77    |
|       |   |   |   |   | Чукша                                      | 0,38             | 0,77   | 90              | 77    |
|       |   |   |   |   | Огневка                                    | 0,36             | 0,68   | 90              | 80    |
|       |   |   |   |   | Турма                                      | 0,17             | 0,43   | 80              | 65    |

Таблица 8 – Результаты расчета параметров режима работы СТЭ участка Чуна-Турма при перспективном графике движения с интервалом 10 минут

| Режим | Минимальный межпоездный интервал, $\Theta_{\min}$ , мин | Минимальное напряжение в контактной сети, $U_{\min}$ , кВ | Температура проводов контактной сети, °С | Расход активной электроэнергии, кВт*ч | Коэффициент загрузки трансформатора |                  |        | Температура, °С |       |
|-------|---|---|--|---------------------------------------|-------------------------------------|------------------|--------|-----------------|-------|
|       |   |   |  |                                       | ТП                                  | Среднее значение | 10 мин | Обмоток         | Масла |
| 1     | 10  | 18,3<br>Чукша-Огневка                                     | 107                                      | 275865                                | Чуна                                | 0,58             | 0,93   | 90              | 77    |
|       |   |   |  |                                       | Чукша                               | 1,06             | 1,31   | 90              | 77    |
|       |   |   |  |                                       | Огневка                             | 1,17             | 1,48   | 90              | 80    |
|       |   |   |  |                                       | Турма                               | 0,85             | 1,23   | 80              | 65    |
| 2     | 10  | 16,63<br>Чукша-Огневка                                    | 133                                      | 338113                                | Чуна                                | 1,06             | 0,81   | 95              | 90    |
|       |   |   |  |                                       | Чукша                               | 1,57             | 1,38   | 90              | 77    |
|       |   |   |  |                                       | Огневка                             | 1,71             | 1,55   | 90              | 80    |
|       |   |   |  |                                       | Турма                               | 1,54             | 1,33   | 80              | 65    |
| 3     | 10  | 19,19<br>Чукша-Огневка                                    | 112                                      | 226781                                | Чуна                                | 0,55             | 0,55   | 80              | 75    |
|       |   |   |  |                                       | Чукша                               | 1,08             | 1,11   | 90              | 77    |
|       |   |   |  |                                       | Огневка                             | 1,12             | 1,22   | 90              | 80    |
|       |   |   |  |                                       | Турма                               | 0,51             | 0,68   | 80              | 65    |

Из таблицы 7 видно, что имеется просадка напряжения на перегоне Чукша-Огневка на локомотиве до 20,18 кВ, что может привести к остановке поезда на данном перегоне. Из таблицы 8 следует, что участок Чуна-Турма не может обеспечить движение поездов с заданным интервалом 10 минут.

По приведенным результатам расчета можно сделать вывод, что на сегодняшний день Вихоревская дистанция электроснабжения, не способна пропускать тяжеловесные поезда в большом количестве с минимальным межпоездным-интервалом, имеются проблемы на не-

скольких участках, а именно: Чукша–Огневка, Огневка–Турма. Проблема заключается в большой просадке напряжения в тяговой сети, что при подъеме поезда в МПЗ Огневка–Турма и Чукша–Огневка впоследствии приводит к остановке поездов. Необходимо усиление данных участков различными способами [10-12]. Все возможные способы усиления рассмотрены ниже и выявлены оптимальные решения.

### Варианты усиления системы тягового электроснабжения участка Чукша-Турма

Проведя анализ нескольких способов усиления СТЭ участка Чуна - Турма, выявлено, что ни один из классических вариантов усиления СТЭ, применяемый по отдельности, не даст должного эффекта по пропускной способности. Соответственно, принято решение комбинировать такие варианты усиления, как:

- установка третьего силового трансформатора (СТ) мощностью 40000 МВА на ТП Огневка с целью включения двух СТ в параллельную работу;
- установка КУ мощностью 4,8 МВАр на ПС Торей на 209-ом км;
- подвес усиливающего провода А-185 с 210-го км по 225-й км длиной 16 км. Произведена проверка параметров режима работы СТЭ проблемных зон с учетом комбинированного способа усиления. Результаты расчета оформлены в таблицах 9 – 11.

Таблица 9 – Результаты расчета параметров режима работы СТЭ участка Чуна-Турма при перспективном графике движения при существующем графике движения после усиления СТЭ

| Режим | $\Theta_{\min}$ , мин | $U_{\min}$ , кВ             | $T_{КС}$ , °С | Wакт, кВт*ч | $k_3$   |                  |        | T, °С   |       |
|-------|-----------------------|-----------------------------|---------------|-------------|---------|------------------|--------|---------|-------|
|       |                       |                             |               |             | ТП      | Среднее значение | 10 мин | обмоток | масла |
| А     | 8                     | 24,61<br>Чукша -<br>Огневка | 60            | 131833      | Чуна    | 0,22             | 0,43   | 70      | 67    |
|       |                       |                             |               |             | Чукша   | 0,32             | 0,57   | 75      | 72    |
|       |                       |                             |               |             | Огневка | 0,23             | 0,51   | 70      | 67    |
|       |                       |                             |               |             | Турма   | 0,30             | 0,50   | 75      | 72    |
| Б     | 7                     | 25,81<br>Огневка-<br>Турма  | 48            | 64214       | Чуна    | 0,14             | 0,34   | 62      | 45    |
|       |                       |                             |               |             | Чукша   | 0,17             | 0,32   | 60      | 45    |
|       |                       |                             |               |             | Огневка | 0,14             | 0,35   | 62      | 45    |
|       |                       |                             |               |             | Турма   | 0,15             | 0,40   | 60      | 45    |
| В     | 6                     | 25,96<br>Чукша -<br>Огневка | 47            | 42812       | Чуна    | 0,10             | 0,28   | 55      | 40    |
|       |                       |                             |               |             | Чукша   | 0,15             | 0,24   | 50      | 40    |
|       |                       |                             |               |             | Огневка | 0,14             | 0,29   | 50      | 40    |
|       |                       |                             |               |             | Турма   | 0,08             | 0,32   | 45      | 40    |

Таблица 10 – Результаты расчета параметров режима работы СТЭ участка Чуна-Турма при перспективном графике движения при перспективном графике движения после усиления СТЭ

| Режим | $\Theta_{\min}$ , мин | $U_{\min}$ , кВ            | $T_{КС}$ , °С | Wакт, кВт*ч | $k_3$   |         |        | T, °С   |       |
|-------|-----------------------|----------------------------|---------------|-------------|---------|---------|--------|---------|-------|
|       |                       |                            |               |             | ТП      | среднее | 10 мин | обмоток | масла |
| А     | 10                    | 22,37<br>Чукша-<br>Огневка | 95            | 214586      | Чуна    | 0,41    | 0,67   | 80      | 77    |
|       |                       |                            |               |             | Чукша   | 0,60    | 0,94   | 90      | 77    |
|       |                       |                            |               |             | Огневка | 0,44    | 0,84   | 90      | 80    |
|       |                       |                            |               |             | Турма   | 0,54    | 1,12   | 80      | 65    |
| Б     | 9                     | 23,03<br>Чукша-<br>Огневка | 72            | 138656      | Чуна    | 0,26    | 0,54   | 65      | 60    |
|       |                       |                            |               |             | Чукша   | 0,43    | 0,79   | 90      | 77    |
|       |                       |                            |               |             | Огневка | 0,45    | 1,0    | 90      | 80    |
|       |                       |                            |               |             | Турма   | 0,33    | 0,81   | 80      | 65    |
| В     | 8                     | 23,48<br>Чукша-<br>Огневка | 69            | 108950      | Чуна    | 0,21    | 0,40   | 60      | 55    |
|       |                       |                            |               |             | Чукша   | 0,36    | 0,74   | 90      | 77    |
|       |                       |                            |               |             | Огневка | 0,26    | 0,53   | 90      | 80    |
|       |                       |                            |               |             | Турма   | 0,21    | 0,50   | 80      | 65    |

Таблица 11 – Результаты расчета параметров режима работы СТЭ участка Чуна-Турма при перспективном графике движения при перспективном графике движения после усиления СТЭ с минимальным межпоездным интервалом

| Режим | $\Theta_{\min}$ , мин | $U_{\min}$ , кВ            | $T_{КС}$ , °С | Wакт, кВт*ч | $K_3$   |         |        | T, °С   |       |
|-------|-----------------------|----------------------------|---------------|-------------|---------|---------|--------|---------|-------|
|       |                       |                            |               |             | ТП      | среднее | 10 мин | обмоток | масла |
| А     | 10                    | 22,11<br>Огневка-<br>Турма | 83            | 133484      | Чуна    | 0,46    | 0,64   | 90      | 77    |
|       |                       |                            |               |             | Чукша   | 0,54    | 0,92   | 90      | 77    |
|       |                       |                            |               |             | Огневка | 0,33    | 0,74   | 90      | 80    |
|       |                       |                            |               |             | Турма   | 0,58    | 0,96   | 80      | 65    |
| Б     | 9                     | 22,73<br>Огневка-<br>Турма | 79            | 62714       | Чуна    | 0,31    | 0,51   | 65      | 57    |
|       |                       |                            |               |             | Чукша   | 0,36    | 0,61   | 60      | 57    |
|       |                       |                            |               |             | Огневка | 0,26    | 0,68   | 65      | 80    |
|       |                       |                            |               |             | Турма   | 0,34    | 0,81   | 80      | 65    |
| В     | 8                     | 23,75<br>Чукша-Ог-<br>невк | 75            | 46511       | Чуна    | 0,21    | 0,41   | 60      | 52    |
|       |                       |                            |               |             | Чукша   | 0,31    | 0,43   | 65      | 75    |
|       |                       |                            |               |             | Огневка | 0,23    | 0,63   | 90      | 80    |
|       |                       |                            |               |             | Турма   | 0,20    | 0,44   | 80      | 65    |

По результатам расчета, приведенным в таблицах 9 – 11, видно, что при использовании предложенного выше комбинированного варианта усиления СТЭ участка Чуна – Турма удалось поднять напряжение на токоприемнике локомотива до 22,1 кВ и обеспечить минимальный межпоездной интервал 10 минут.

### Заключение

Расчеты пропускной способности СТЭ Вихоревской дистанции электроснабжения для существующего и перспективного графика движения поездов позволили сделать вывод о целесообразности усиления СТЭ участка Чукша - Торей - Огневка. Самым эффективным и экономически выгодным способом усиления участка Чукша - Огневка является:

- установка КУ номинальной мощностью 4.8 МВАр на ПС ст.Торей на 209-м км;
- подвес усиливающего провода А-185 с 210-й км по 226-й км длиной 16 км;
- установка третьего СТ на тяговой подстанции Огневка.

Данным способом усиления удалось добиться заданного 10-ти минутного межпоездного интервала в четном направлении при пропуске пакета поездов массой 7100 т. При этом, параметры силового трансформатора находятся в норме, контактная сеть не перегревается, все отходящие фидеры и провода отсасывающих линий так же не греются. Кроме того, отмечено, что при пропуске случайного графика движения поездов с перспективой на 2025 год наблюдаются минимальные потери электроэнергии [13]. Следовательно, предложенный способ усиления исследуемого участка существенно повысит энергоэффективность [14-18] Вихоревской дистанции электроснабжения.

### 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. Шевердин И.Н., Шаманов В.И., Трофимов Ю.А. Влияние тяжеловесных поездов на рельсовые цепи и АЛС. Автоматика, связь, информатика. 2004. № 8. С.24.

6. Черепанов А.В., Куцкий А.П., Есауленко А.С. Применение технологии виртуальной сцепки для поездов повышенной массы. Молодая наука Сибири. 2020. № 2 (8). С. 191-199.
7. 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.
8. Общие положения методики определения пропускной способности железнодорожных участков по устройствам тягового электроснабжения. Гипротранстэи ОАО «РЖД», 2005. – 19 с.
9. Правила тяговых расчётов для поездной работы. М.: Трансжелдориздат, 1989. – 153 с.
10. 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.
11. Pyushin P., Suslov K. Operation of automatic transfer switches in the networks with distributed generation// 2019 IEEE Milan PowerTech. 2019. С. 8810450.
12. Пузина Е.Ю. Оценка эффективности применения устройств компенсации реактивной мощности на тяговой подстанции Кежемская ВСЖД/Транспорт: наука, образование, производство: труды Международной научно-практической конференции.– Ростов-на-Дону: Изд-во РГУПС, 2016. – С. 229-233.
13. 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. С. 012060.
14. Королева А.В., Аршинов С.А. К вопросу об энергосбережении на метрополитене. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 11 (82). С.283-288.
15. 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.
16. 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: ИРННТУ, 2016. -Т.2. - С. 142-147.
17. Хомкалов Г.В., Берегова Г.М., Бовкун А.С. Разработка механизма управления энергоэффективностью предприятий. Проблемы социально-экономического развития Сибири. 2022. № 1(47). С. 64-70.
18. Будаков А.С. Общеотраслевые и неэкономические барьеры внедрения энергоэффективной политики на предприятиях. Экономические системы. 2022. Т. 15. № 1. С. 156-167.

## 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. 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.



6. 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.
7. 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.
8. General provisions of the methodology for determining the capacity of railway sections by traction power supply devices. *Giprotranstei of JSC "Russian Railways"*, 2005. – 19 p.
9. Rules of traction calculations for train work. Moscow: Transzheldorizdat, 1989. – 153 p.
10. 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.
11. Ilyushin P., Suslov K. Operation of automatic transfer switches in the networks with distributed generation// 2019 IEEE Milan PowerTech. 2019. C. 8810450.
12. Puzina E.Yu. Evaluation of the effectiveness of the use of reactive power compensation devices at the traction substation Kezhemskaya VSShD / Transport: science, education, production: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. - Rostov-on-Don: RGUPS Publishing House, 2016. - P. 229 -233.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. Bobrova Yu.M., Puzina E.Yu. The need to intensify energy conservation in Russia//Improving the efficiency of production and use of energy in Siberia/*Materials of the All-Russian scientific-practical. conf. with international participation*. - Irkutsk: IRNITU, 2016. - Vol. 2. - S. 142-147.
17. Khomkalov G.V., Beregova G.M., Bovkun A.S. Development of a mechanism for managing the energy efficiency of enterprises. *Problems of socio-economic development of Siberia*. 2022. No. 1(47). pp. 64-70.
18. Budakov A.S. Industry-wide and non-economic barriers to the implementation of energy policy at enterprises. *Economic systems*. 2022. V. 15. No. 1. S. 156-167.

#### **Информация об авторах**

*Кузубов Дмитрий Игоревич* - студент гр. СОД.1-17-1, специальность «Системы обеспечения движения поездов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск e-mail: [Kuzubovd@gmail.com](mailto:Kuzubovd@gmail.com)

*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: [lana-rus05@mail.ru](mailto:lana-rus05@mail.ru)

#### **Information about the authors**

*Kuzubov Dmitrii Igorevich* – student g. SOD.1-17-1, specialty "Train traffic management Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [Kuzubovd@gmail.com](mailto:Kuzubovd@gmail.com)

*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: [lana-rus05@mail.ru](mailto:lana-rus05@mail.ru);