

А. П. Куцкий, И.А. Пахомов

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ В ВОПРОСАХ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ТЯГОВЫХ СЕТЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Аннотация. В статье приведен анализ мероприятий снижения потерь и расхода электрической энергии за счет применения таких технических мероприятий, как: изменение схем секционирования контактной сети, использование двух тяговых трансформаторов в параллельной работе, применение устройств компенсации реактивной мощности. Расчеты проводились для реального участка Транссибирской магистрали, состоящего из 3 тяговых подстанций.

По итогам работы сделаны выводы о целесообразности применения этих методов, приведено общее сравнение и конкретные значения по экономии электрической энергии.

Ключевые слова: качество электрической энергии, тяговая сеть, локомотив, потери электрической энергии, активная мощность, реактивная мощность.

A. P. Kutsyi, I.A. Pakhomov

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

TECHNICAL APPROACHES TO REDUCING LOSSES ELECTRIC ENERGY IN ALTERNATING CURRENT TRACTION NETWORKS

Аннотация. The article provides an analysis of the reduction of losses and consumption of electrical energy due to the application of some possible technical measures, such as: changing the partitioning schemes of the contact network, the use of two traction transformers in parallel operation, the use of reactive power compensation devices. Calculations were carried out for a real section of the Trans-Siberian Railway, consisting of 3 traction substations.

Based on the results of the work, conclusions are drawn about the expediency of using these methods, a general comparison and specific values for saving electrical energy are given.

Ключевые слова: quality of electric energy, traction network, locomotive, loss of electric energy, active power, reactive power.

Введение

Расчет потерь энергии в системе электроснабжения железных дорог представляет собой достаточно сложную задачу ввиду непостоянства пространственного положения поездов по отношению к тяговым подстанциям и неравномерного потребления мощности на тягу.

Увеличение потерь энергии в тяговой сети при пропуске поездов должно учитываться в составе технологических потерь, входящих в условные, которые определяются разностью показаний счетчиков электроэнергии на тяговых подстанциях и электроподвижном составе. Условные потери образуются при протекании суммарного тока, потребляемого электроподвижным составом, по стационарным устройствам электроснабжения, включая тяговые подстанции, контактную сеть и рельсы [1, 2].

Доля условных потерь в общем энергопотреблении от первичной энергосистемы значительна, обычно не менее 10-12%, а в ряде случаев она достигает 25-30%.

Энергосберегающие мероприятия в тяговых сетях железнодорожного транспорта

Перечень мероприятий и технических модернизаций для снижения электрических потерь в тяговых сетях железнодорожного транспорта имеют обширный перечень задач и мероприятий [3-6]. Одними из которых являются:

1. Применение двухсторонней схемы питания контактной сети при использовании узловой и параллельной схемы секционирования.

При проектировании контактной сети обычно используют узловую схему секционирования. Параллельные схемы имеют наибольшую эффективность при расположении на горно-перевальных

участках с интенсивной рекуперацией и значительной разницей потребления между четным и нечетным направлением двухпутного участка. В настоящее время имеется значительная разница в грузообороте в восточном и западном направлениях.

2. Параллельная работа тяговых трансформаторов в режиме наибольшей нагрузки

Гарантированной границей работы одного трансформатора по критерию минимума потерь являются 60% номинальной мощности трансформатора. При нагрузке трансформатора более 60 % необходимо включать два трансформатора на параллельную работу. Граница работы одного тягового трансформатора подстанций железной дороги должна уточняться по конкретным параметрам трансформатора.

Для снижения общих потерь в системах электроснабжения железных дорог возможна организация параллельной работы тяговых трансформаторов с помощью диспетчерского контроля или применением автоматики включения трансформаторов на параллельную работу.

3. Компенсация реактивной мощности

Оптимальная настройка и определение места установки продольных и параллельных устройств компенсации реактивной мощности позволит уменьшить реактивное потребление не только в тяговых сетях, но и во всей системе электроснабжения [7,8]. Современные технологии управления и автоматизации позволяют применять устройства компенсации с возможностью регулирования источника емкостной реактивной мощности (ступенчатые или плавные устройства компенсации). На участках с малым уровнем нагрузки применение мощных компенсирующих устройств может вызвать эффект перекомпенсации и увеличить общие потери электроэнергии.

Анализ применения предложенных методов

Анализ будет проводиться для одного участка Транссибирской магистрали, состоящей из 3 тяговых подстанций (ТП). Все сравнения приводятся при одном и том же суточном графике движения.

Результаты расчетов при сравнении узловой и параллельной схемы секционирования контактной сети представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчётов параллельной и узловой схем секционирования контактной сети

Участок	Схема питания	Расход энергии		Потери в тяговой сети кВт·ч (%)	Потери в трансформаторах, кВт·ч			Суммарные потери, кВт·ч
		W _a , кВт·ч	W _p , кВтАр·ч		нагр.	х.х.	сумм.	
ТП 1 – ТП 2	Узл.	628197	519381	17589 (2,8)	3091,6	4536	7627,6	25216,6
	Парал.	628656	518596	16345 (2,6)	3090,4	4536	7626,4	23971,4
ТП 2 – ТП 3	Узл.	1056122	1291591	53862 (5,1)	9469,4	7848	17317,4	71179,4
	Парал.	1058945	1286830	49770 (4,7)	9440,7	7848	17288,7	67058,7
Всего по ЭЧ	Узл.	1684319	1810972	71451 (4,2)	12561	12384	24945	96396
	Парал.	2312975	1805426	66115 (2,9)	12531,1	12384	24915,1	91030,1

Из таблицы 1 видно, что применение параллельной схемы секционирования положительно сказывается на снижении общих потерь электроэнергии. Годовой экономический эффект представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Эффективность параллельной схемы секционирования контактной сети по сравнению с узловой

Участок	Разница потерь, кВт·ч	Годовой экономический эффект	
		кВт·ч	Тыс. руб.
ТП 1 – ТП 2	1244	454060	1216
ТП 2 – ТП 3	4092	686993	1841
Итого по ЭЧ	5336	1493580	4002

Результаты расчета потерь электроэнергии рассматриваемого участка при включении одного и двух трансформаторов в параллельную работу представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчётов узловой схемы питания контактной сети с одним и двумя включенных в работу трансформаторами

Участок	Количество включенных трансформаторов	Расход энергии		Потери в тяговой сети кВт·ч (%)	Потери в трансформаторах, кВт·ч			Суммарные потери, кВт·ч
		W _a , кВт·ч	W _p , кВАр·ч		нагр.	х.х.	сумм.	
ТП 1 – ТП 2	1	628197	519381	17589 (2,8)	3091,6	4536	7627,6	25216,6
	2	633061	526508	16025 (2,7)	2581,5	6048	8629,5	26354,5
ТП 2 – ТП 3	1	1056122	1291591	53862 (5,1)	9469,4	7848	17317,4	71179,4
	2	1093061	1324110	53453 (5,0)	6502,4	12528	19030,4	73683,4
Всего по ЭЧ	1	1684319	1810972	71451 (4,2)	12561	12384	24945	96396
	2	1726122	1850618	69478 (4,0)	9083,9	18576	27659,9	95137,9

Применение устройств компенсации для снижения потерь качества электрической энергии.

Для решения проблем наличия потерь электрической энергии в большинстве практических случаев необходимо комплексно применять различные методы [9-12]. В рамках данного исследования предлагается применить комплекс следующих мер по снижению потерь в электроэнергетических сетях тягового назначения:

- параллельная работа двух трансформаторов на тяговой подстанции;
- установка параллельной компенсации на посту секционирования Q_п=3000 кВАр.;
- установка продольной компенсации в отсос тяговой подстанции.

Анализ применения предложенных мер продемонстрирован в таблице 4. Сравнительная эффективность значения потерь электрической энергии показана в таблице 5.

Таблица 4 – Результаты расчётов различных схем питания контактной сети при различных средствах усиления

Участок	Расход энергии		Потери в тяговой сети		Минимальное напряжение	Вариант усиления
	Активный, кВт·ч	Реактивный, кВАр·ч	кВт·ч	%	кВ	
ТП 1 – ТП 2	628197	519381	17589	2,8	20,85	Без усиления
	633061	526508	16025	2,7	21,42	Параллельная работа трансформаторов
	634275	528377	17760	2,8	21,45	УПК в линии отсоса
	636101	160186	12086	1,9	21,75	КУ на ПС
ТП 2 – ТП 3	1056122	1291591	53862	5,1	18,82	Без усиления
	1093061	1324110	53453	5,0	19,96	Параллельная работа трансформаторов
	1164053	1383076	55875	4,8	20,41	УПК в линии отсоса
	1124580	387643	42734	3,8	20,76	КУ на ПС
Всего по ЭЧ	1684319	1810972	71451	4,2	18,82	Без усиления
	1726122	1850618	69478	4,0	19,96	Параллельная работа трансформаторов
	1798328	1911453	73634	4,1	20,41	УПК в линии отсоса
	1760681	547829	54820	3,1	20,76	КУ на ПС

Таблица 5 – Сравнительная эффективность усиления узловой схемы питания контактной сети

Вид усиления	Разница потерь, кВт·ч	Годовой экономический эффект	
		кВт·ч	тыс. рублей
КУ на ПСК Q = 3000 кВАр	16631	6070315	16268
УПК в отсосе ТП	Увеличение на 2183	796795	2135

Выводы

По результатам работы, можно сделать следующие выводы применимые к рассматриваемому участку:

1. Из результатов расчёта видно, что параллельная схема питания контактной сети более эффективна, поскольку значительно уменьшает потери в тяговой сети. Годовой экономический эффект при данной схеме составляет 1493580 кВт·ч, а в переводе в денежный эквивалент составляет 4002,794 тыс. рублей.

2. Из результатов расчёта видно, что параллельная работа двух трансформаторов уменьшает потери в тяговой сети на 3%. Годовой экономический эффект при данной схеме составляет 720145 кВт·ч, а в переводе в денежный эквивалент составляет 1929 тыс. рублей.

3. Как видно из таблицы при установке УПК возрастает и активное и реактивное электропотребление, и как следствие численно повышаются потери электроэнергии в тяговой сети. При установке КУ немного меньше возрастает активное электропотребление, реактивное значительно уменьшается (приблизительно в 3 раза по суммарному реактивному потреблению). За счёт большого уменьшения реактивного электропотребления снижаются потери активной энергии. Годовой экономический эффект при этом составляет 16268 тыс. рублей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. Пузина Е.Ю. Оценка потенциала повышения энергоэффективности системы тягового электроснабжения Абаканской дистанции электроснабжения // Транспорт: наука, образование, производство: сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУПС, 2017. С. 149-153.
3. 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).
4. 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).
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. Капранов П.А.. 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.
8. 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.
9. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Черепанов А.В. Управление качеством электроэнергии в системах электроснабжения железных дорог. Иркутск: ИрГУПС, 2015, 180 с. интеллектуальных сетей (SMART GRID). Иркутск: ИрГУПС, pp: 412.
10. Пузина Е.Ю. Усиление системы тягового электроснабжения участка Ния - Киренга Восточно-Сибирской железной дороги // Электрификация, инновационные технологии, скоростное и высокоскоростное движение на железнодорожном транспорте (Электрификация и развитие инфраструктуры энергообеспечения тяги поездов железнодорожного транспорта): материалы VI Междунар. симпозиума "ELTRANS-2011". СПб.: Изд-во ПГУПС, 2013. С. 464-468.
11. 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.
12. Cherepanov A., Kutsiy A. Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation // RusAutoCon: International Russian Automation Conference, Sochi, 2018. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501734

REFERENCES

1. Cherepanov A.V., Kutsiy 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.
2. Puzina E.Yu. Assessment of the potential for improving the energy efficiency of the heavy power supply system of the Abakan power supply distance // Transport: science, education, production: collection of scientific tr. International scientific-practical conf. Rostov-on-Don: Publishing House of RSUPS, 2017. pp. 149-153.
3. Kutsiy A.P., Ovechkin I.S., Galkov A.A. Increasing the throughput capacity of the Yakurim – Kirenga section to provide traction for twin electric rolling stock weighing 14200 tons. Electronic scientific journal // Young Science of Siberia. 2022, № 2(16).

4. Kutsyi 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 weight of 7,100 tons. Electronic scientific journal // Young Science of Siberia. 2022, № 2(16).

5. Voronina E.V., Kutsyi 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., Kutsyi 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. Kapranov P.A. 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

8. Puzina E.Yu. Strengthening of 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. Proceedings of the Sixth International Symposium "Eltrans-2011". 2013. pp. 464-468.

9. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V., Cherepanov A.V. Quality management of electric energy in railway power supply systems. Irkutsk: IrGUPS, 2015, 180 p. intellectual networks (INTELLECTUAL NETWORK). Irkutsk: IrGUPS, p.: 412.

10. Puzina E.Yu. Strengthening of the traction power supply system of the Niya - Kirenga section of the East Siberian Railway // Electrification, innovative technologies, high-speed and high-speed movement on railway transport (electrification and development of the infrastructure of power supply of traction trains of the railway transport): materials of the International. The symposium "ELTRANS-2011". St. Petersburg: Publishing House of PSUPS, 2013. pp. 464-468.

11. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V., Kutsyi 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.

12. Cherepanov A., Kutsyi A. Modeling of traction power supply systems for the operation of large-capacity trains // RusAutoCon: International Conference on Russian Automation, Sochi, 2018. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501734

Информация об авторах

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

Пахомов Илья Андреевич – студент группы СОД.3-23-1, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: kutsyi_ap@irgups.ru.

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

Ilya Andreevich Pakhomov - student of the SOD.3-23-1, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: kutsyi_ap@irgups.ru .