

Научная статья  
УДК 621.316.1  
EDN CCSCQX

## Анализ потерь в электрической сети напряжением 10 кВ

**Анастасия Максимовна Козлова<sup>1</sup>**, студент магистратуры

**Научный руководитель – Палина Павловна Проценко<sup>2</sup>**, доцент

<sup>1,2</sup>Дальневосточный государственный аграрный университет, Амурская область, Благовещенск, Россия

<sup>1</sup>[kozlovaanastasia@internet.ru](mailto:kozlovaanastasia@internet.ru), <sup>2</sup>[procenko-palina@yandex.ru](mailto:procenko-palina@yandex.ru)

**Аннотация.** Произведен анализ уровня и структуры электроэнергетических потерь в электрической сети с помощью учебной версии программы для расчета и анализа потерь РАП-10-ст. Исследование позволило определить структуру потерь электроэнергии напряжением 10 кВ на примере фрагмента электрической схемы, состоящей из четырех фидеров (111, 113, 114 и 116) подстанции СК-1 «Космодроме Восточный». В результате исследования были предложены направления по сокращению потерь электрической энергии, а также выявлены их достоинства и недостатки.

**Ключевые слова:** электрическая сеть, потери, потери холостого хода, фидер

**Для цитирования:** Козлова А. М Анализ потерь в электрической сети напряжением 10 кВ // Актуальные исследования молодых ученых – результаты и перспективы : материалы науч.-практ. конф. (Благовещенск, 8 февраля 2024 г.). Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2024. С. 229–236.

## Analysis of losses in a 10 kV electrical network

**Anastasia M. Kozlova<sup>1</sup>**, master's student

**Scientific supervisor – Palina P. Protsenko<sup>2</sup>**, Associate Professor

<sup>1,2</sup>Far Eastern State Agrarian University, Amur region, Blagoveshchensk, Russia

**Abstract.** In this article, the analysis of the level and structure of electric power losses in the electric grid was carried out using the training version of the program for calculating and analyzing losses RAP-10-art. The study allowed us to determine the structure of electricity losses with a voltage of 10 kV using the example of a fragment of an electrical circuit consisting of four feeders (111, 113, 114 and 116) of the substation SK-1 "Vostochny Cosmodrome". As a result of the research, directions for reducing electrical energy losses were proposed, as well as their advantages and disadvantages were identified.

**Keywords:** electrical network, losses, no-load losses, feeder

**For citation:** Kozlova A. M. Analiz poter' v elektricheskoy seti napryazheniem 10 kV [Analysis of losses in a 10 kV electrical network]. *Aktual'nye issledovaniya molodykh uchenykh – rezul'taty i perspektivy* : materialy nauch.-prakt. konf. (Blagoveshchensk, 8 fevralya 2024 g.). Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyy GAU, 2024, pp. 229–236. (in Russ.).

Снижение потерь электроэнергии в сетях электропередачи является одним из основных направлений энергосбережения. В зависимости от уровня потерь электроэнергии можно сделать выводы о необходимости проведения мероприятий по повышению энергоэффективности и энергосбережению, а также о масштабах их реализации [1].

В связи с развитием энергетики устанавливаются следующие закономерности, связанные с ростом потерь энергии в электрических сетях. Основными проявлениями этого являются: постоянное увеличение нагрузок электрической сети, связанное с ростом нагрузок потребителей и снижением динамики повышения пропускной способности сети [2].

Одно из основных понятий в расчете потерь электроэнергии являются фактические, они же называются отчетные потери электрической энергии в электрических сетях, которые, таким образом, вычисляются из разности, поступившей в сеть и отпущенной из сети электроэнергии потребителя [3].

В работе основное внимание уделяется потерям нагрузки и потерям холостого хода.

Потери холостого хода содержат в себе постоянные потери электрической энергии в силовых трансформаторах (автотрансформаторах), компенсирующих устройствах (синхронных и тиристорных компенсаторах и батареях конденсаторов), в изоляции кабелей, в том числе и в устройствах присоединения высокочастотной связи (ВЧ-связи) [4].

Нагрузочные потери – это те потери, которые включают в себя потери в силовых трансформаторах, трансформаторах тока, проводах линий электропередач, токоограничивающих реакторах. Потери для этих элементов

зависят от передаваемой по ним мощности [4, 5].

Технические потери в сети электроснабжения 10 кВ рассчитываются ежемесячно для каждого района электрической сети (РЭС). Полученные за год значения затем суммируются. Полученные значения используются для расчета плановых потерь электроэнергии на следующий год [5, 4].

Наиболее трудоемким процессом является расчет потерь электрической энергии в электрических сетях напряжением 10 кВ. Для проведения расчетов было разработано большое количество программ, таких как RastrWin, РАП-10-ст, Inor XL и т.д. В данной работе была применена учебная версия программы РАП-10-ст, которая была разработана для расчета технических потерь и их нормативных характеристик в электрических сетях напряжением 6...20 и 0,4 кВ.

Программа РАП-10-ст позволяет определить [5]:

– потоки реактивной, активной мощности, потери активной мощности и электрической энергии на участках фидеров 6–20 кВ с указанием их части в процентах в суммарных потерях в фидере [6];

– структуру суммарных потерь электрической энергии в сетях районно электрических сетях и приливных электростанциях (ПЭС) отдельно по напряжениям 6, 10, 20, 0,4 кВ, обусловленности потерь (нагрузочные, холостого хода в трансформаторах и изоляции кабельных линий) [6];

– потери электрической энергии от транзита электрической энергии по сетям напряжением 6–20 кВ [6].

В данной программе можно рассчитать потери электрической энергии двумя методами.

*Первый метод* – метод средних нагрузок, заключается в том, что если известен отпуск электроэнергии в узлах сети или на головных участках фидеров за расчетный период [5];

*Второй метод* – метод расчетных суток, когда расчет потерь проводят за расчетные сутки месяца [5].

Ввод схем в программу РАП-10-ст значительно облегчается благодаря

набору справочников, которые можно редактировать по мере необходимости.

В качестве исходных данных использован фрагмент схемы электрической сети напряжением 10 кВ состоящей из четырех фидеров (111, 113, 114 и 116) подстанции СК-1 «Космодром Восточный». Исходная схема представлена на рисунке. Значения отпуска электрической энергии по фидерам были заданы за расчетный месяц [5].

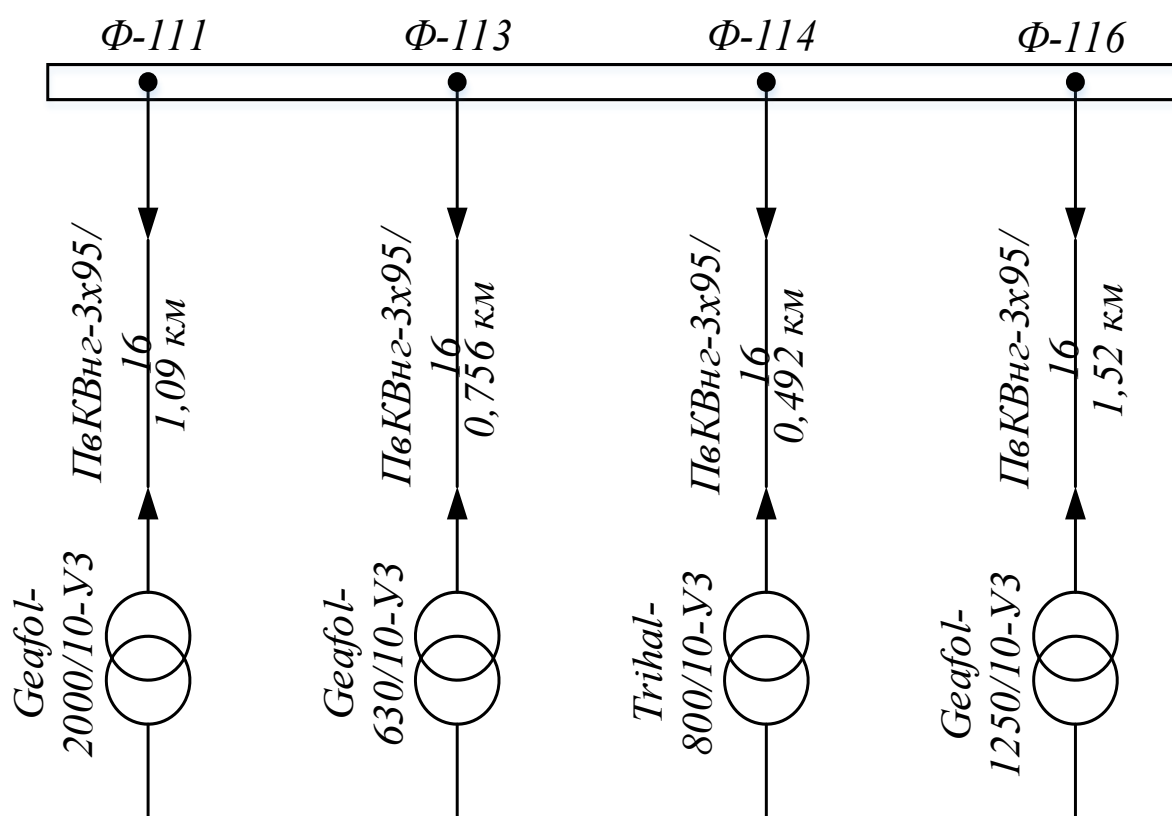


Рисунок – Исходная схема

Результаты расчета потерь электроэнергии в программе РАП-10-ст для всех рассматриваемых фидеров приведены в таблице.

Из результатов расчета, приведенного из таблицы видно, что нагрузочные потери намного меньше потерь холостого хода [5].

Это говорит о том, что средняя нагрузка фидеров 10 кВ значительно ниже соответствующего уровня, а относительные потери мощности

значительно превышают оптимальные уровни из-за значительного вклада потерь холостого хода при низкой нагрузке.

**Таблица – Результаты расчета потерь электрической энергии при фактической загрузке трансформаторов**

Фидер	Отпуск электроэнергии, тыс. кВт·ч	Потери электроэнергии, тыс. кВт·ч					Потери электроэнергии, % от отпуска			Кратность превышения нормы по потерям холостого хода
		нагрузочные			холостого хода в трансформаторах	суммарные	нагрузочные в линиях	холостого хода в трансформаторах	суммарные	
		в линиях	в трансформаторах	суммарные						
Фидер 111	37,513	0,004	0,009	0,013	2,679	0,092	0,03	7,39	7,42	6,30
Фидер 113	46,556	0,004	0,070	0,074	1,080	0,064	0,16	2,46	2,61	6,30
Фидер 114	60,058	0,005	0,096	0,100	1,576	0,041	0,17	2,69	2,86	6,30
Фидер 116	95,007	0,036	0,125	0,161	1,890	0,128	0,17	2,12	2,29	5,03

Кроме того, фактические потери мощности в этом случае значительно превышают расчетные значения, поскольку диэлектрические свойства изоляции обмоток и выводов ухудшаются в течение срока службы трансформатора, в результате чего фактические потери холостого хода оказываются еще выше [5].

В таблице показано, что большую долю потерь электрической энергии в данных фидерах занимают потери холостого хода. Основное направление снижения потерь в данном случае является уменьшением потерь холостого хода [5].

В исходной схеме приведены номинальные мощности трансформаторов 10/0,4 кВ в единицах полной мощности (кВА) и длины кабельных линий в километрах.

Снижение потерь холостого хода можно следующими способами:

– заменить недогруженные трансформаторы на трансформаторы меньшей мощности. При применении этого способа уменьшаются потери холостого хода, благодаря этому уменьшаются и суммарные потери; [1].

– замена трансформаторов на трансформаторы с магнитопроводом из аморфного металлического сплава. С помощью использования магнитопровода из аморфного сплава в трансформаторах повышаются электрические характеристики и уменьшаются потери холостого хода более чем в 2 раза; [5].

В результате анализа потерь электроэнергии, проведенного в сетях напряжением 10 кВ было выявлено, что для фидеров 10 кВ свойственно низкое потребление электрической энергии, приводящее к высокому уровню потерь холостого хода и, в результате, повышению относительных потерь электрической энергии [5].

В результате этого были выявлены альтернативные направления по снижению потерь при понижении потребления электрической энергии в фидерах сети [5].

### **Список источников**

1. Садыкова Ф. М. Анализ потерь электрической энергии и пути их снижения в городских электрических сетях г. Махачкалы. Нормирование технологических потерь электрической энергии // Системные технологии. 2014. № 4 (13). С. 90–95.

2. Григорьева Т. А. Анализ потерь электрической энергии и пути их снижения в городских электрических сетях г. Якутск. Нормирование технологических потерь электрической энергии // Инициативы молодых – науке и производству : сборник статей V Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и студентов, (Пенза, 30 июня 2023 г.). Пенза : Пензенский государственный аграрный университет, 2023. С. 129–132. EDN [SSNVZW](#)

3. Воротницкий В. Э., Заслонов С. В., Калинин М. А., Паринов И. А., Туркина О. В. Методы и средства расчета, анализа и снижения потерь электрической энергии при ее передаче по электрическим сетям. Москва,

2006. С. 99–100.

4. Грачева Е. И., Ишбулатова Г. Ф. Влияние структурных и режимно-атмосферных факторов на потери электроэнергии в распределительных сетях // Энергетика и энергосбережение: теория и практика : сборник материалов I всероссийской научно-практической конференции, (Кемерово, 03–05 декабря 2014 г.). Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, 2014. С. 38. EDN [UTBDBZ](#)

5. Мусорина О. С., Шведов Г. В. Анализ потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях 6-10 кВ // Энергосбережение теория и практика : труды 10-й Международной школы-семинара молодых ученых и специалистов, (Москва, 19–23 октября 2020 г.). Курск : Университетская книга, 2020. С. 154–157. EDN [HXVKLN](#)

6. Огонеров К. Л. Учет динамической кратковременной несимметрии нагрузки в сетях 0,4 кВ при анализе нагрузочных потерь электроэнергии // The Open University : [сайт]. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/132416459.pdf> (дата обращения: 21.02.2024).

## References

1. Sadykova F. M. Analiz poter' elektricheskoy energii i puti ikh snizheniya v gorodskikh elektricheskikh setyakh g. Makhachkaly. Normirovanie tekhnologicheskikh poter' elektricheskoy energii [Analysis of electric energy losses and ways to reduce them in urban electric networks of Makhachkala. Norming of technological losses of electric energy]. *Sistemnye tekhnologii*, 2014;4(13):90–95. (in Russ.).

2. Grigorieva T. A. Analiz poter' elektricheskoy energii i puti ikh snizheniya v gorodskikh elektricheskikh setyakh g. Yakutsk. Normirovanie tekhnologicheskikh poter' elektricheskoy energii [Analysis of electric energy losses and ways of their reduction in city electric networks of Yakutsk. The setting of technological losses of electric energy]. *Iniitsiativy molodykh – nauke i proizvodstvu : sbornik statey V Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh i studentov, (Penza, 30 iyunya 2023 g.)*. Penza : Penzenskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2023, pp. 129–132. (in Russ.). EDN [SSNVZW](#)

3. Vorotnitskiy V. E., Zaslouov S. V., Kalinkina M. A., Parinov I. A., Turkina O. V. Metody i sredstva rascheta, analiza i snizheniya poter' elektricheskoy energii pri ee peredache po elektricheskim setyam [Methods and means of calculation, analysis and reduction of electric power losses during its transmission through power grids]. Moscow, 2006. pp. 99–100. (in Russ.).

4. Gracheva E. I., Ishbulatova G. F. Vliyanie strukturnykh i rezhimno-atmosferynykh faktorov na poteri elektroenergii v raspredelitel'nykh setyakh [Influence of structural and mode-atmospheric factors on power losses in distribution grids]. *Energetika i energosberezhenie: teoriya i praktika : sbornik materialov I vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, (Kemerovo, 03–05*

---

*dekabrya 2014 g.*). Kemerovo: Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet im. T. F. Gorbacheva, 2014, pp. 38. (in Russ.). EDN [UTBDBZ](#)

5. Musorina O. S., Shvedov G. V. Analiz poter' elektroenergii v raspredelitel'nykh elektricheskikh setyakh 6–10 kV [Analysis of power losses in 6–10 kV distribution networks]. *Energoberezhenie teoriya i praktika : trudy 10-y Mezhdunarodnoy shkoly-seminara molodykh uchenykh i spetsialistov, (Moskva, 19–23 oktyabrya 2020 g.)*. Kursk : Universitetskaya kniga, 2020, pp. 154–157. (in Russ.). EDN [HXVKLN](#)

6. Ogonerov K. L. Uchet dinamicheskoy kratkovremennoy nesimmetrii nagruzki v setyakh 0,4 kV pri analize nagruzochnykh poter' elektroenergii [Consideration of dynamic short-term load asymmetry in 0.4 kV networks when analyzing load losses of electric power]. *Core.ac.uk*. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/132416459.pdf> (Accessed 21 February 2024). (in Russ.).

© Козлова А. М., 2024

Статья поступила в редакцию 26.01.2024; одобрена после рецензирования 14.02.2024; принята к публикации 06.03.2024.

The article was submitted 26.01.2024; approved after reviewing 14.02.2024; accepted for publication 14.02.2024.