

УДК 621.311

Савина Наталья Викторовна

Амурский государственный университет

г. Благовещенск, Россия

E-mail: nataly-savina@mail.ru**Стрельцов Роман Игоревич**

Амурский государственный университет

г. Благовещенск, Россия

Savina Natalia Victorovna

Amur State University

Blagoveshchensk, Russia

E-mail: nataly-savina@mail.ru**Streltsov Roman Igorevich**

Amur State University

Blagoveshchensk, Russia

**ВЫБОР ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ****STUDY OF THE INFLUENCE OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES ON THE LEVEL
OF ELECTRICITY LOSSES IN ELECTRICAL NETWORKS WITH VOLTAGE 110-220 KV**

Аннотация. В статье предложен метод выбора инструментария, обеспечивающего максимальное снижение технологических потерь электроэнергии в электрических сетях при минимальных затратах. На основе структурного анализа выявлены очаги повышенных потерь электроэнергии, показана эффективность его применения на примере электрических сетей Приморского края.

Abstract. The article proposes a method for selecting tools that ensure maximum reduction of technological losses of electricity in electrical networks at minimal cost. Based on structural analysis, areas of increased electricity losses were identified. The effectiveness of its application is shown using the example of electrical networks in the Primorsky Territory.

Ключевые слова: мощность, потери, электроэнергия, эффективность, инновационные технологии, оптоэлектронные трансформаторы, инструментарий.

Key words: power, losses, electricity, efficiency, innovative technologies, optoelectronic transformers, tools.

Эффективность работы электрических сетей в значительной степени определяется уровнем потерь электроэнергии. В электрических сетях они возникают при транспорте и распределении электроэнергии. В развитых странах относительные потери электроэнергии составляют порядка 4-5%. Предельными являются потери на уровне 10%. Высокий уровень потерь в электрических сетях снижает их пропускную способность, энергоэффективность, приводит к повышенным эксплуатационным затратам и негативно влияет на прибыль элек-

тросетевых комплексов. При эксплуатации потери электрической энергии следует минимизировать. Однако решение этой проблемы связано с отсутствием методического подхода к выбору инструментария, обеспечивающего максимальное снижение потерь электроэнергии с минимальными затратами.

Целью работы является разработка метода выбора инструментария, обеспечивающего оптимальное снижение потерь электроэнергии в электрических сетях.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: структурный анализ технологических потерь электроэнергии; выбор инструментария для снижения технологических потерь электроэнергии в электрических сетях, обеспечивающего наибольший системный эффект; оценка эффективности принятого инструментария для снижения потерь электроэнергии.

Метод выбора инструментария для оптимального снижения технологических потерь электроэнергии в электрических сетях включает структурный анализ потерь электроэнергии; выявление очагов повышенных потерь; выбор технологий, организационных и технических мероприятий, направленных на снижение потерь электроэнергии; ранжирование выбранных технологий и мероприятий, обеспечивающее получение максимальной прибыли от снижения потерь электроэнергии; оценка эффективности выбранного инструментария.

Структурный анализ технологических потерь электроэнергии необходим для выявления очагов повышенных потерь. Он заключается в исследовании потерь по классам номинальных напряжений, по видам составляющих потерь электроэнергии, по типам оборудования, по качеству информационных потоков, по временным интервалам.

Покажем реализацию структурного анализа технологических потерь на примере Приморских электрических сетей напряжением 110-220 кВ. Для анализа выбран один из проблемных участков этих сетей, схема которого приведена на рис. 1. Рассматриваемый участок – это четыре источника питания: подстанция Владивосток, Восточная ТЭЦ, Артемовская ТЭЦ и Владивостокская ТЭЦ 2. В него входит 6 подстанций напряжением 220 кВ: Волна, Зеленый Угол, Аэропорт, Патрокл, Суходол и Русская. Также он включает 22 подстанции напряжением 110 кВ: 1Р, 2Р, Мингородок, Бурун, 2Р, Котельная, Чайка, Спутник, Промузел, Горностаи, Лазурная, Океан, Муравейка, Загородная, Улисс, Голдобин, Стройиндустрия, Амурская, Залив, Орлиная, 1Р/т и Голубинка.

Определение нагрузочных и потерь холостого хода осуществлялось с помощью программного вычислительного комплекса RastrWin3. Метрологическая составляющая потерь электроэнергии рассчитывалась по допустимой погрешности принятых в эксплуатации измерительных комплексов. Потери электроэнергии на собственные нужды определялись по нормативным значениям.

Структурный анализ технологических потерь электроэнергии в рассматриваемом участке электрической сети осуществлялся в следующем порядке: вначале проводился анализ технических потерь электроэнергии, затем метрологических и потерь электроэнергии на собственные нужды.

Результаты расчета технических потерь электроэнергии в электрических сетях напряжением 220 кВ приведены в табл. 1.

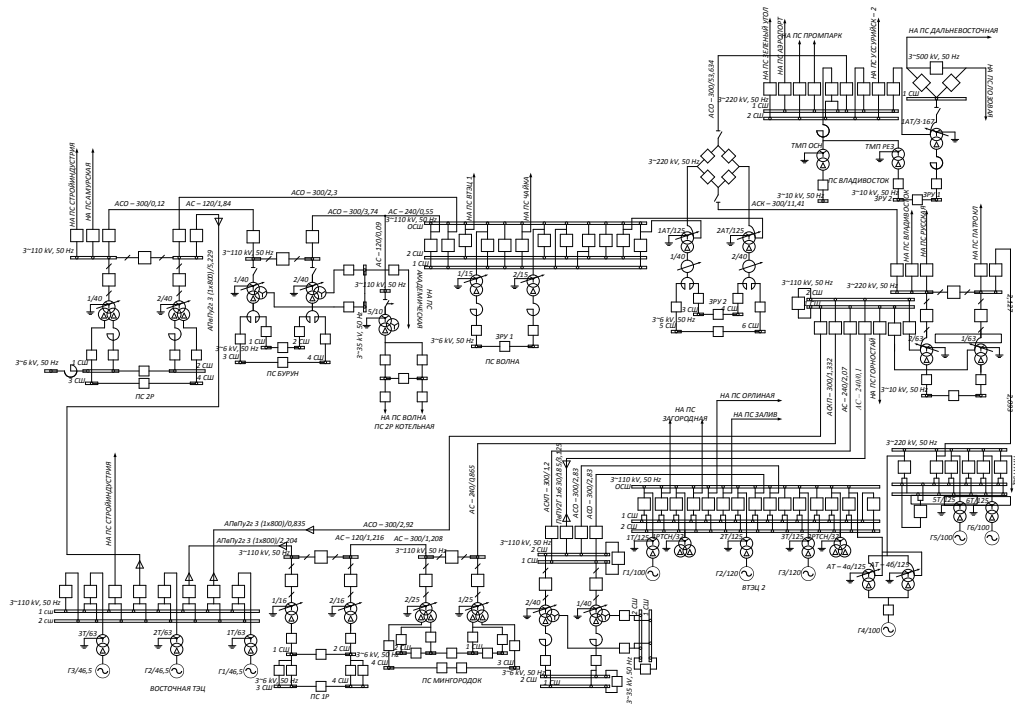
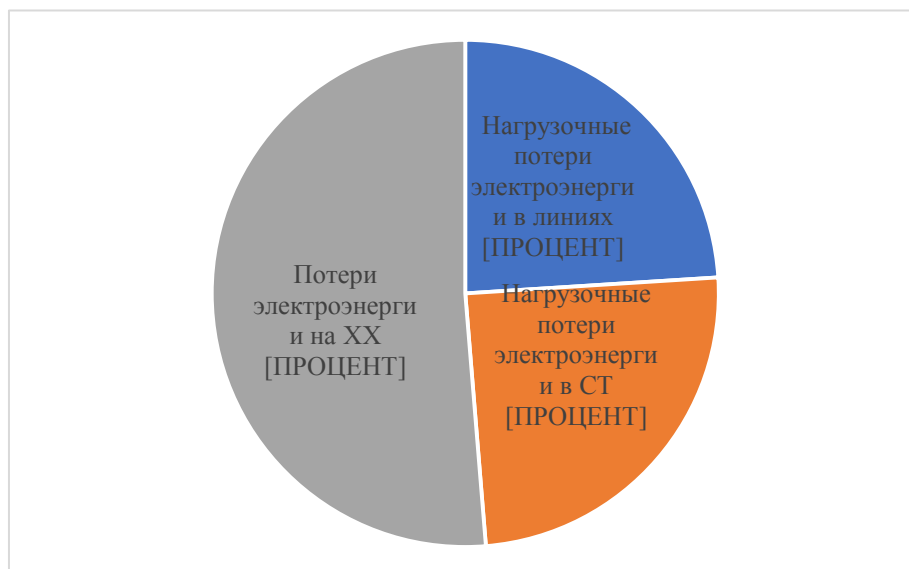


Таблица 1

Технические потери электроэнергии в сетях напряжением 220 кВ

Нагрузочные потери в силовых трансформаторах (СТ), МВт·ч	Нагрузочные потери в линиях, МВт·ч	Потери холостого хода (XX) в силовых трансформаторах, МВт·ч
0,613	0,595	1,272

Распределение потерь электроэнергии по элементам и составляющим технических потерь в сетях напряжением 220 кВ показано на рис. 2.



Как видно из рис. 2, в сетях напряжением 220 кВ преобладают потери в силовых трансформаторах – как нагрузочные, так и потери холостого хода (потери ХХ). Нагрузочные потери в линиях составляют 24% от суммарных технических потерь электроэнергии.

Аналогично проводится структурный анализ технических потерь электроэнергии в электрических сетях напряжением 110 кВ. Результаты расчета приведены в табл. 2.

Таблица 2

Технические потери электроэнергии в сетях напряжением 110 кВ

Нагрузочные потери в СТ, МВт·ч	Нагрузочные потери в линиях, МВт·ч	Потери ХХ в СТ, МВт·ч
2,656	2,9	2,249

На рис. 3 приведена структура технических потерь электроэнергии в сетях напряжением 110 кВ.

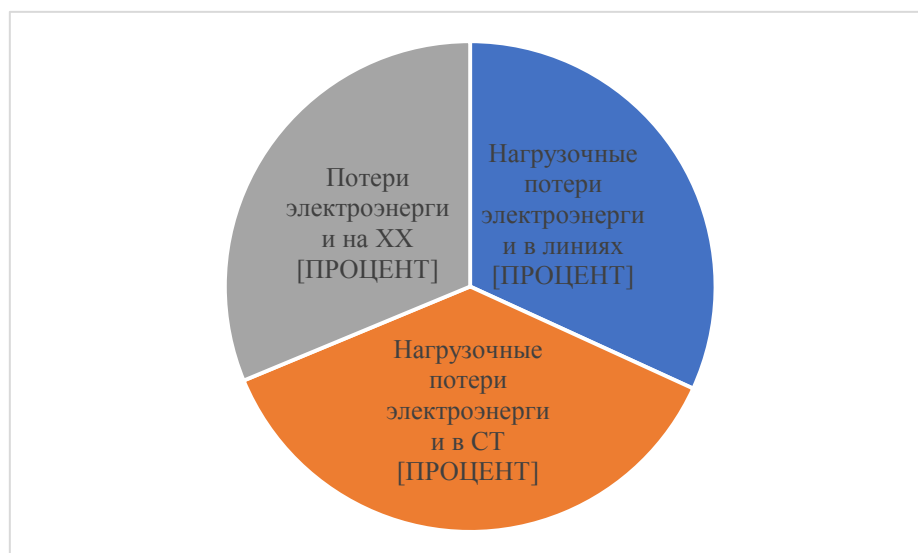


Рис. 3. Структура технических потерь электроэнергии в сетях напряжением 110 кВ.

Как видно из рис. 3, в сетях напряжением 110 кВ преобладают нагрузочные потери электроэнергии как в силовых трансформаторах, так и в линиях. Условно – постоянные потери (потери ХХ) составляют 31%.

Далее осуществляем структурный анализ технических потерь по классам номинальных напряжений.

В табл. 3 приведены значения технических потерь электроэнергии по классам номинального напряжения.

Таблица 3

Технические потери электроэнергии по классам номинальных напряжений

Номинальное напряжение, кВ	Технические потери, МВт·ч
220	2,48
110	7,195

На рис. 4 приведена структура технических потерь электроэнергии по классам номинальных напряжений.

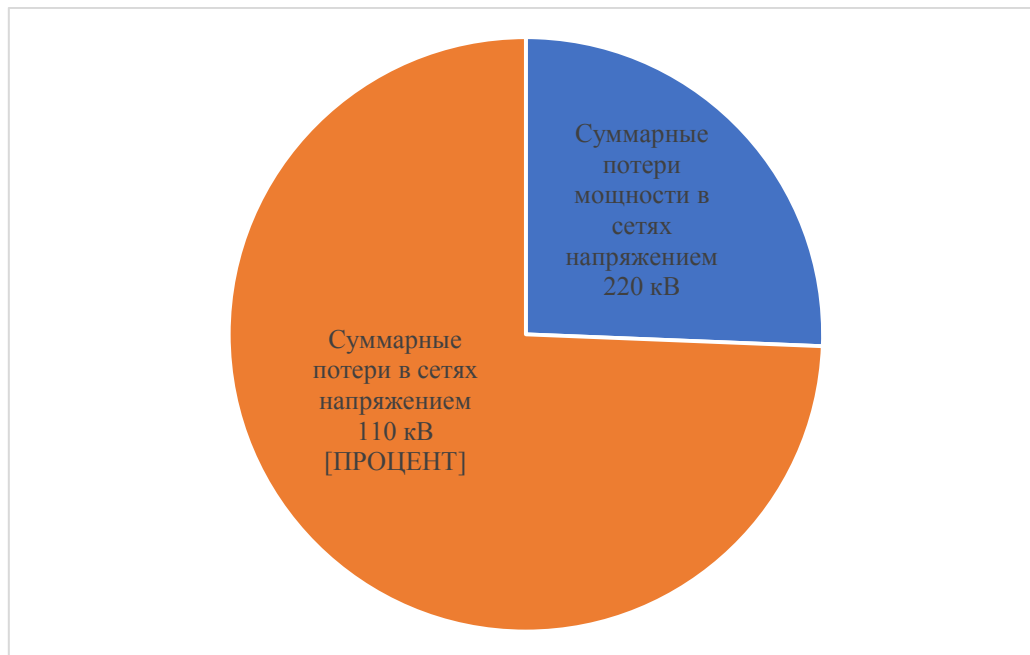


Рис. 4. Структура технических потерь электроэнергии по классам номинальных напряжений.

В результате структурного анализа выявлено, что очагами повышенных технических потерь являются технические потери в силовых трансформаторах и нагрузочные потери в линиях в сетях напряжением 110 кВ. Следовательно, необходимо выбирать технологии и мероприятия, обеспечивающие их максимальное снижение.

Следующим шагом рассчитаем метрологические потери в электрических сетях, обусловленные допустимой погрешностью системы учета электроэнергии, по следующей формуле [4]:

$$\Delta W_{\text{погр}} = 0,01 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_i^2 \cdot W_i^2 + \sum_{j=1}^n \delta_j^2 \cdot W_j^2}. \quad (1)$$

Результаты их расчета приведены в табл. 4.

Затем рассчитаем потери электроэнергии на собственные нужды по формуле [3]:

$$\Delta W_{\text{сн}} = \sum W_i \cdot K_i \cdot K_t, \quad (2)$$

где W_i – норма расхода электроэнергии на i -ю единицу оборудования собственных нужд подстанций; K – количество i -х единиц оборудования собственных нужд подстанций; K_t – температурный коэффициент.

Результаты их расчета в табл. 4.

Таблица 4

Потери электроэнергии на собственные нужды и потери, обусловленные допустимой погрешностью системы учета

Потери электроэнергии, обусловленные допустимой погрешностью системы учета, МВт·ч	Потери электроэнергии на собственные нужды подстанций, МВт·ч
14,276	0,425

Рассчитаем стоимость технологических потерь электроэнергии в рассматриваемом участке сети за год по выражениям, приведенным в [4] при стоимости 1 кВт·ч потерь электроэнергии, принятой по [7].

Результаты расчетов годовой стоимости технологических потерь электроэнергии в сетях рассматриваемого участка – в табл. 5.

Таблица 5

Годовая стоимость технологических потерь электроэнергии

Нагрузочные потери, тыс. руб./год	Потери ХХ, тыс. руб./год	Расход на СН, тыс. руб./год	Потери, обусловленные допустимой погрешностью системы учета, тыс. руб./год	Суммарные технологические потери в электрической сети, тыс. руб./год
37198,154	21287,253	2568, 801	86289,854	147344,062

Как показал структурный анализ, стоимость потерь электроэнергии велика, – следовательно, необходимо выбирать технологии и мероприятия для их минимизации.

Ранжирование технологий и мероприятий осуществлялось в соответствии с выявленными очагами и величиной потерь электроэнергии.

Наиболее эффективной для снижения технических потерь является технология FACTS второго поколения, реализуемая установкой статического синхронного компенсатора в узле, являющемся сенсором. Статический синхронный компенсатор – это источник реактивной мощности, за счет которого поддерживается заданный уровень напряжения и поток реактивной мощности, протекающей по сети адаптивно изменению параметров режима, а также обеспечивается требуемое качество электроэнергии. СТАТКОМ состоит из преобразователя напряжения с емкостным накопителем на стороне постоянного тока, трансформатора связи и системы управления. Управляется данное устройство с помощью биполярных транзисторов с изолированным затвором. Принцип действия данного устройства основан на изменении напряжения вентильной обмотки. Если напряжение сетевой обмотки больше напряжения вентильной, то СТАТКОМ потребляет реактивную мощность и работает в режиме выпрямителя, если меньше – отдает реактивную мощность и работает в режиме инвертора [1, 5, 6].

Из мероприятий наибольший эффект дает регулирование напряжения под нагрузкой силовыми трансформаторами в совокупности со СТАКОМом.

Далее в соответствии выбранным порядком ранжирования технологий и мероприятий для максимального снижения метрологических потерь электроэнергии на подстанциях предлагается использовать оптоэлектронные трансформаторы тока и напряжения.

В электромагнитных трансформаторах тока, применяемых в электрических сетях, присутствует не только основная погрешность, но и дополнительная, возникающая из-за

гармоник, не оптимальной загрузки вторичных цепей, их взаимного влияния и температуры. В оптических трансформаторах эти дополнительные погрешности компенсируются таким образом, чтобы они во всем рабочем диапазоне влияющих факторов находились в заданном классе точности. Для обеспечения точности измерений в соответствии с требованиями класса точности измерений 0,2s (расширенный диапазон в области малых погрешностей) в приборах применен метод цифровой компенсации температурной погрешности при малых значениях токов. С этой целью программой для расчета тока учитывается температурная зависимость чувствительности. Сигнальный процессор ежесекундно в онлайн-режиме считывает сигнал, пропорциональный температуре, измеренной оптоволоконным термометром, расположенным рядом с основным чувствительным волокном. На основе считанных сигналов процессор вычисляет значение силы тока в шине с учетом влияния температуры на чувствительный элемент [2].

Наибольший эффект для снижения стоимости расхода электроэнергии на собственные нужды подстанций можно получить, подключая к шинам низкого напряжения подстанции возобновляемые источники энергии. Они обеспечат системный эффект, так как от них будут получать питание не только собственные нужды, но и потребители данной подстанции в случае выделения части сети в остров, обеспечивающий изолированный от энергосистемы режим.

В соответствии с принятым методом выбора инструментария для оптимального снижения потерь электроэнергии был произведен расчет технологических потерь после реализации принятых технологий и мероприятий.

В первую очередь на подстанциях необходимо заменить измерительные трансформаторы на оптоэлектронные. В результате потери снизятся на 22,6% (5,581 МВт·ч). Регулирование напряжения статическими синхронными компенсаторами и устройствами РПН снизит потери на 3,6% (0,87 МВт·ч). Применение возобновляемых источников энергии позволит снизить потери на 1,74% (0,425 МВт·ч). Они будут эффективны только при комплексном использовании, в первую очередь для электроснабжения потребителей, и как дополнительный эффект – для собственных нужд подстанций.

Таким образом, выбранный инструментарий обеспечит снижение потерь электроэнергии на 6,876 МВт·ч, что составит снижение стоимости технологических потерь в год на 41561,294 тыс. рублей.

1. Едемский, С.Н. Использование устройства компенсации реактивной мощности СТАТКОМ в электроэнергетической системе / С. Н. Едемский, И. И. Пушкаренко, О. В. Тригуб // Энергобезопасность и энергосбережение – 2013. – №3. – С. 27-30.

2. Найденов, А.Д. Оптические трансформаторы тока // Вестник науки и образования – 2020. – №8. – С. 19-23.

3. РД 34.09.208 Инструкция по нормированию расхода электроэнергии на собственные нужды подстанций 35-500 КВ (Докипедия: РД 34.09.208 Инструкция по нормированию расхода электроэнергии на собственные нужды подстанций 35-500 КВ).

4. Савина, Н.В. Методы расчета и анализа потерь электроэнергии в электрических сетях – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2014. – 150 с.

5. Солонина, Н.Н. Новые технологии компенсации реактивной мощности / Н.Н. Солонина, К.В. Суслов, З.В. Солонина // Вестник ИрГТУ – 2016. – №5. – С. 135-143.

6 Тухватуллин, М.М. Анализ современных устройств FACTS, используемых для повышения эффективности функционирования электроэнергетических систем России // ЭСиК – 2015. – №3. – С. 41-46.

7. <http://www.drsk.ru/files/content/2023/121.pdf>.