

**Петров Александр Александрович**

магистрант

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»

г. Тюмень, Тюменская область

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ  
ПРОГРАММНЫХ И АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ТЕХНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ  
В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

***Аннотация:** определение технических потерь электроэнергии является важной задачей, стоящей перед энергетическими компаниями. Технические потери возникают вследствие физических процессов передачи энергии по линиям электропередач и трансформаторам, и зависят от множества факторов, включая состояние оборудования, режим нагрузки сети и климатические условия. Цель настоящей статьи заключается в анализе существующих подходов к определению технических потерь электроэнергии, выявлении их преимуществ и недостатков, а также разработке новых методов и алгоритмов, позволяющих повысить точность расчетов и эффективность управления энергоресурсами.*

***Ключевые слова:** физика, практические занятия, компьютерные и коммуникационные технологии, реальные процессы и явления на Земле.*

В настоящее время в электроэнергетике Российской Федерации в условиях рыночных отношений наблюдается рост требований, предъявляемых к экономичности работы электрических сетей. Данные требования способствуют совершенствованию теоретических и практических методов расчёта параметров режима электрических сетей. К таким параметрам, в частности, относятся потери активной мощности (электроэнергии), уточнение уровня которых позволяет повысить точность обоснования нормативов потерь при передаче по электрическим сетям. С внедрением цифровых технологий и платформенных решений в электроэнергетике растет спрос на разработку специализированных программных

продуктов, с заложенными в них инновационными методами расчета, позволяющими производить поиск оптимальных вариантов проектирования вновь строящихся и модернизируемых энергосистем.

В связи с этим целью данной работы является анализ видов и величины потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям, а также нормативных методов их расчета.

В укрупненной структуре потерь электроэнергии потери разделены на составляющие, исходя из их физической природы и специфики методов определения их количественных значений.

Фактические потери электроэнергии включают:

1. Технические: вызваны физическим нагревом элементов сети при передаче электричества [1].
2. Собственные нужды подстанций: затраты на работу оборудования и обслуживание сотрудников.
3. Погрешности измерений: недоучёт и отклонения приборов учёта.
4. Коммерческие: связаны с кражами, некорректными показаниями счётчиков и проблемами контроля потребления.

Определение потерь важно для расчета баланса электроэнергии, установления тарифов и оценки экономической эффективности электросетей.

Методы расчёта потерь подразделяются на два типа: детерминированные, основываются на расчётах фиксированного режима сети, считая потери постоянными на протяжении периода; вероятностно-статистические используют статистический анализ и вероятность распределения нагрузок.

К детерминированным методам относятся:

- метод поэлементного расчета. Формирование исходной информации осуществляется на основе данных телеизмерений. Основная сложность связана с необходимостью установки устройств телеметрии у каждого потребителя, что осложняет реализацию расчетов в реальном времени. Тем не менее, автоматизированный расчет обеспечивает максимальную точность, поскольку учитывает динамику изменений параметров сети;

- 
- метод по времени наибольших потерь;
  - метод средних нагрузок. Используется среднее значение нагрузок сети для вычисления потерь. Результат приближается к реальной картине, но менее детализирован по сравнению с методом небольших потерь;
  - метод характерных суток. Основывается на анализе реальных измерений суточных графиков нагрузки зимой и летом. Дает точные данные, так как фиксирует потребление непосредственно диспетчерами;
  - метод обобщенных параметров сети. Потери рассчитываются на основе суммарной протяженности и числа линий, общей мощности системы, указанных в проектах или статистике. Подходит для быстрого предварительного анализа больших участков сети [2].

Вероятностно-статистические методы основаны на рассмотрении нагрузки как случайного процесса. Основные подходы:

- регрессионный анализ: строится зависимость потерь от ряда переменных. Преимуществом является выявление закономерностей, недостатком в свою очередь ограниченная точность измерений и отсутствие одновременных замеров на всех объектах [3];
- корреляционный анализ: выявляет связь потерь с основными факторами. Уравнение корреляции помогает установить ключевые причины потерь, но требует значительных вычислительных ресурсов и не даёт конкретных рекомендаций по снижению потерь;
- метод случайной выборки: применим для подсчета общих потерь на основе выборочного анализа отдельных линий. Требует большого объёма выборки для достижения требуемой точности.

Относительные потери электроэнергии в большинстве стран считаются удовлетворительными, если не превышают 4–5%. Максимально допустимый уровень потерь – 10%, однако в России они достигают порядка 13% от общего объёма поставляемой электроэнергии [4]. Анализ данных показывает, что наиболь-

шие потери наблюдаются именно в распределительных сетях низкого напряжения (СН1, СН2 и НН), тогда как в высоковольтных сетях (110 кВ) они соответствуют нормам.

Фактические показатели потерь по разным регионам сильно различаются: от 13 до 30%. Например, в Амурских электрических сетях общие потери составили 16,74%, причем большую часть (15,53%) составляли технологические потери. Важно отметить, что наиболее значительные технологические потери приходятся на низкий класс напряжения (15,23%), в то время как на высокое напряжение (4,19%) потери минимальны.

Структура потерь следующая: 77,52% занимают нагрузочные потери, большая доля которых приходится на уровень напряжения СН2. Технологические потери распределяются следующим образом: 71% – на линии электропередач, 29% – на трансформаторы [5].

Исследование показало, что в среднем потери в распределительных сетях напряжением 1–35 кВ значительно выше, чем в сетях высокого напряжения (110 кВ). Разница достигает 27,7%.

Таким образом, подтверждено предположение, что снижение класса напряжения ведет к увеличению технологических потерь электроэнергии.

На основании выполненного обзора литературных источников были построены лепестковые диаграммы, отражающие отпуск активной электроэнергии в сеть (рис. 1.) и распределение значений потерь активной электрической энергии (рис. 2), для филиала АО «Россети Юг» – «Ростовэнерго» по месяцам за 2023 г. для сетей с уровнем напряжения ВН (110 кВ) и СН (1 – 35 кВ).



Рис. 1. Отпуск активной электроэнергии в сеть, выраженной в тыс. МВт·ч, для филиала ПАО «Россети Юг» – «Ростовэнерго», по месяцам за 2023 г.: 1- сети с уровнем напряжения ВН (110 кВ); 2- сети с уровнем напряжения СН1 и СН2 (1 – 35 кВ)



Рис. 2. Распределение значений потерь активной электрической энергии, выраженных в процентах от отпуска в сеть, по месяцам для филиала ПАО «Россети Юг» – «Ростовэнерго» за 2023 г.: 1 – сети с уровнем напряжения ВН (110 кВ); 2 – сети с уровнем напряжения СН1 и СН2 (1 – 35 кВ)

Анализ показал, что потери в распределительных сетях с уровнем напряжения СН2 (1–20 кВ) существенно выше, чем в сетях с уровнем напряжения СН1 (35 кВ). Медианное значение потерь в сетях СН2 превышает аналогичный показатель в сетях СН1 на 64,7%. Это подтверждает предварительный вывод о концентрации основных потерь в сетях СН2. Следовательно, исследование методов оценки и расчета технических потерь в распределительных сетях СН2 является

актуальным и важным направлением исследований. Для получения наиболее достоверных результатов рекомендуется применять детерминированные методы расчета.

### *Список литературы*

1. Fourie J.W., Calmeyer J.E. A statistical method to minimize electrical energy losses in a local electricity distribution network // 2004 IEEE Africon. 7th Africon Conference in Africa (IEEE Cat. No. 04CH37590). – V. 2. – pp. 667–673.

2. Грачева Е.И. Потери электроэнергии в низковольтных сетях / Е.И. Грачева. – Казань: КГЭУ, 2004. – 127 с. EDN QMIOJP

3. Федоров О.В. Аспекты ресурсобеспечения новых технологических укладов: монография / О.В. Федоров. – М.: ИНФРА-М, 2017. – 166 с. DOI 10.12737/21202. EDN WWJHNV

4. Бохмат И.С., Воротницкий В.Э., Татаринев Е.П. Снижение коммерческих потерь в электрических системах / И.С. Бохмат, В.Э. Воротницкий, Е.П. Татаринев // Электрические станции. – 1998. – № 9.

5. Рыбак А.Е., Михальченко И.Н. Структурный анализ потерь электроэнергии в распределительных сетях на примере филиала ОАО «ДРСК» «Амурские электрические сети» / А.Е. Рыбак, И.Н. Михальченко // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: сборник трудов седьмой всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – 2013. – С. 206–212. EDN SAKUYR