

УДК 621.311:658.562

Иванов С.А., магистрант гр. ЭПмз-221 (КузГТУ)  
Научный руководитель Захарова А.Г., д.т.н., профессор (КузГТУ)  
г. Кемерово

## РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРОДСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 0,4-10 КВ

Проблема снижения потерь электроэнергии в городских распределительных сетях является актуальной на протяжении многих лет. В настоящее время мало где в широких масштабах затрагивается данная проблема. Не всегда предлагаются реальные механизмы снижения потерь, а чаще создаются нормативные документы, где описываются требования для электросетевых организаций, которых они же и должны придерживаться. Из-за сложности расчета в данное время большое внимание уделяется разработке методик нормирования потерь электрической энергии и подходов к повышению энергоэффективности электросетевого комплекса [1].

Традиционно принято рассматривать структуру потерь в целях их снижения, а также предусматривать проведение организационно-технических мероприятий, таких как модернизация подстанций, генерирующих станций и сетей в целом. На рис. 1 представлена укрупненная структура фактических потерь электроэнергии.



Рис 1. Структура фактических потерь электроэнергии

Если смотреть более широко, то рассмотрение этой структуры носит экономический характер. Поэтому для анализа фактических потерь следу-

ет учитывать экономические критерии. С технической стороны, потери – разность между отпущенной и поставленной конечному потребителю электроэнергии. С экономической точки зрения, потери – та электрическая энергия, которая не была зафиксирована конечным потребителем. Если потребитель получил электроэнергию и ее не зафиксировал (не заплатил за ее использование), то в экономическом отношении это также будет являться потерями [2].

В целях оценки уровня потерь был проведен первичный статистический анализ потерь электрической энергии в городских распределительных сетях 0,4-10 кВ г. Кемерово. Были получены интервальные оценки для средних потерь электроэнергии на уровне значимости  $\alpha=0,05$ . Границы доверительного интервала определялись по формулам (1) и (2):

$$P(\bar{x} - \varepsilon < M[x] < \bar{x} + \varepsilon) = 1 - l, \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{s}{\sqrt{n}} t_{1-\frac{\alpha}{2}}(n-1). \quad (2)$$

где  $S$  – среднеквадратичное отклонение;  $n$  – объем выборки;  $t_{1-\frac{\alpha}{2}}(n-1)$  –

квантиль распределения Стьюдента.

Были проанализированы данные по потерям электроэнергии в электрических сетях г. Кемерово за период 2017–2021 гг. Ниже представлены результаты статистической обработки данных с указанием доверительных интервалов для измеряемых параметров. На рис. 2 приведены полигоны частот распределения потерь электроэнергии г. Кемерово.

Полученные расчеты доверительных интервалов показывают, что средние потери за год сохраняются с данной точностью в пределах доверительного интервала. Для определения наиболее эффективных мероприятий по снижению потерь электроэнергии необходимо знать, где и по какой причине они возникают. В связи с этим основной задачей расчета и анализа потерь является определение их основной структуры, нахождение конкретных источников потерь и оценка возможностей их снижения до экономически обоснованных величин.

Подстанции 10/0,4 кВ в городских распределительных сетях г. Кемерово находятся в удовлетворительном состоянии. Но, для улучшения качества передачи электроэнергии, нужно проводить ряд технических и организационно-технических мероприятий, включая расчет потерь и их сравнение с допустимыми значениями.

Было рассмотрено несколько вариантов энергоэффективной реконструкции сети подстанций, которые можно применять как отдельно друг от друга, так и в совокупности [3].

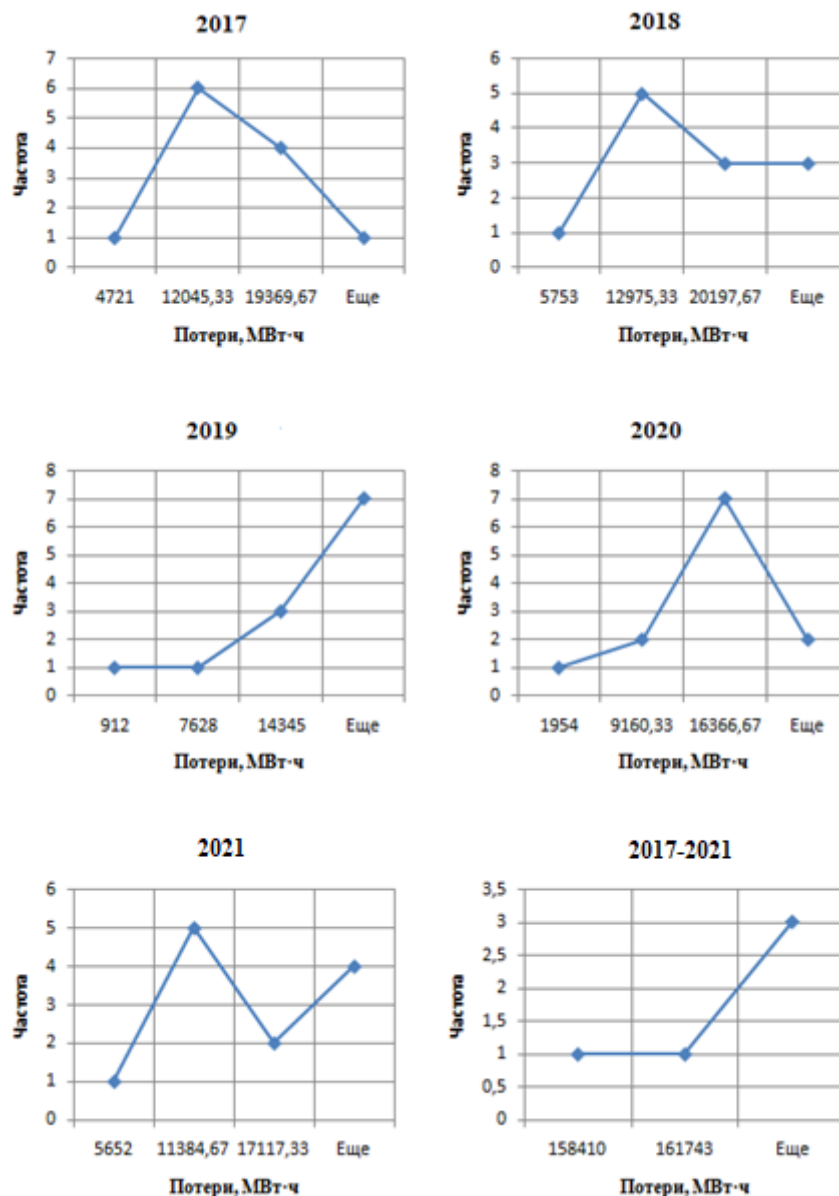


Рис. 2. Полигоны частот распределения потерь в городских сетях г. Кемерово

### 1. Реконструкция РУ-10 кВ.

В городских трансформаторных подстанциях установлены ячейки 10 кВ, в которых находятся выключатели нагрузки с механическим приводом, заземляющие ножи, токоведущие части (шины) и изоляторы. Все переключения совершаются вручную на месте их расположения. Предохранители установлены только на вводных ячейках трансформаторов. Такое электрооборудование стоит уже более 40 лет и износило свой ресурс. Для надежности системы, безопасности переключений и защиты подключенного оборудования, вместо ячеек 10 кВ принято решение об установке комплектного распределительного устройства РМб в трансформаторные подстанции.

2. Замена масляных трансформаторов на герметичные энергоэффективные трансформаторы серии ТМГэ.

Данные трансформаторы имеют самый низкий уровень потерь холостого хода и короткого замыкания из всех серийно выпускаемых силовых трансформаторов общего назначения. Они также имеют сниженный уровень скорректированной звуковой мощности. Таким образом, трансформаторы данной серии являются энергосберегающими и малошумными.

3. Замена силовых масляных кабелей 10 кВ и 0,4 кВ на кабели из сшитого полиэтилена.

В настоящее время силовые кабели в данной сети эксплуатируются более 40 лет и показатель удельного активного сопротивления достаточно высок. Поэтому одно из технических мероприятий будет заключаться в замене кабеля АСБ 3/95 на АПвП 3/95 на стороне высокого напряжения с активным сопротивлением, которое в два раза меньше эксплуатируемого кабеля. Характеристики кабеля АПвП позволяют прокладывать данную марку кабеля без предварительного прогрева при температуре не ниже  $-14^{\circ}\text{C}$ . Алюминиевые жилы АПвП могут долгое время выдерживать температуру до  $+90$  градусов по Цельсию, без вреда для конструкции кабеля. Гарантия на кабель составляет пять лет, срок эксплуатации достигает тридцати лет.

4. Установка приборов учета электроэнергии.

Для контроля и учета электрической энергии будет реализована цифровая подстанция, которая будет обеспечивать информационную среду для сетевой организации. Также цифровая подстанция будет оборудована для комфортной работы персонала с целью обеспечения дистанционного управления энергосистемы центрального района города Кемерово.

5. Установка компенсирующего устройства на стороне РУ-0,4 кВ.

Вариантом компенсации реактивной мощности в распределительных сетях г. Кемерово выбрана групповая компенсация, она включает в себя установку КУ на секцию шин 0,4 кВ.

6. Замена низковольтных рубильников на автоматические выключатели.

Для наглядной демонстрации эффективности замены кабельных линий и установки компенсирующих устройств была смоделирована схема в программном комплексе RastrWin для каждой секции шин в нормальном режиме. Для расчета параметров сети были рассчитаны параметры кабельных линий (активного и реактивного сопротивления), трансформаторов (активного и реактивного сопротивления, проводимость), компенсирующих устройств (проводимость шунта).

На основе однолинейной принципиальной схемы электроснабжения сети подстанции для I и II секции шин была создана расчетная модель исследуемого объекта до проведения технических мероприятий (рис. 3).

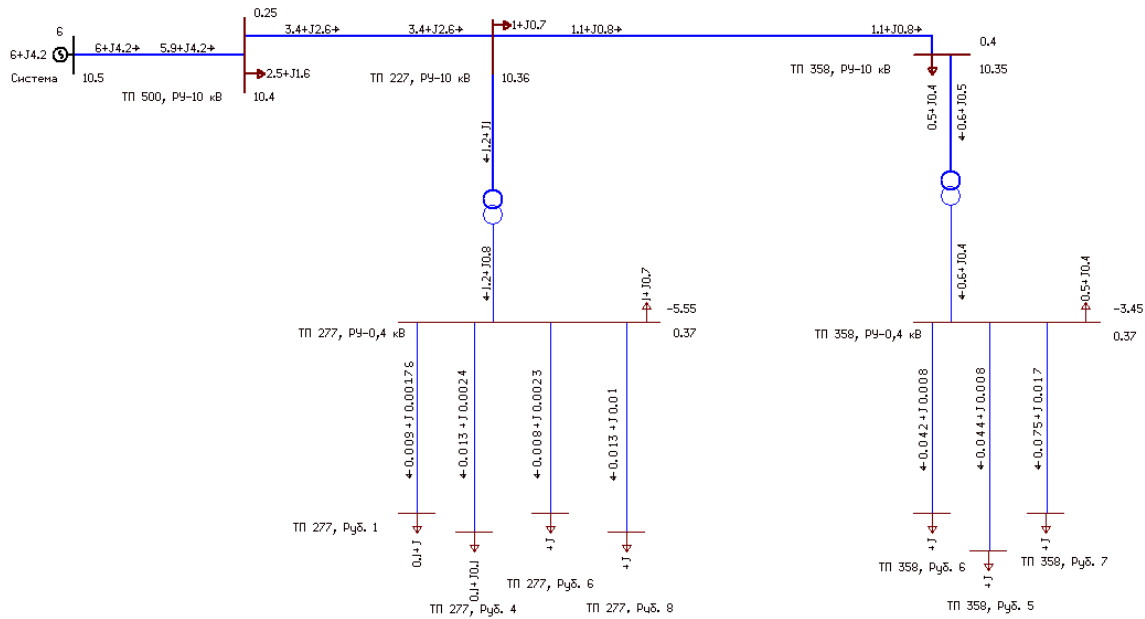


Рис.3. Модель-схема сети подстанций

После проведения технических мероприятий значения активного и реактивного сопротивления кабельных линий уменьшились почти вдвое. Показатели потерь холостого хода трансформаторов стали меньше, что доказывает его энергоэффективность. Установка компенсирующего устройства на стороне РУ-0,4 кВ оказала положительное воздействие и снижение напряжения по всей сети почти минимально.

Сумма потерь до проведения технических мероприятий составляет 116 901 кВт·ч. Сумма технических потерь, рассчитанных согласно приказа Минэнерго России № 326 от 30.12.2008 [4], составляет 57 638 кВт·ч, что в два раза меньше показателей потерь до проведения технических мероприятий. Это доказывает эффективность замены устаревшего оборудования и кабельных линий.

После внедрения мероприятий система стала более надежной, автоматизированной и энергоэффективной. Как показали расчеты, внедрение данных мероприятий требует привлечения инвестиций. В целом, по всем участкам сети общий срок окупаемости составляет до 13 лет, что достаточно много. Но если учесть нерегулируемые затраты, такие, как затраты на обслуживание подстанции и затраты на восстановление сети после аварии, то срок окупаемости может значительно уменьшиться и составить около 6 лет. Также реконструированная сеть не требует постоянного обслуживания, а гарантийный срок основного оборудования (РМб, трансформаторы, кабели из сшитого полиэтилена) составляет от 30 лет и более. Поэтому можно сделать вывод, что внедрение мероприятий является выгодной инвестицией для данной системы, которая открывает дополнительные возможности по ее модернизации и расширению.

## Список литературы:

1. Железко, Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко. – М.: ЭНАС, 2009. – 455 с.
2. Балакин, А.П. Инструменты повышения экономической эффективности инноваций в электросетевом комплексе на основе применения активно-адаптивных элементов сетей: дис ... канд. экон. наук: 08.00.05: защищена 16.06.2015 / А.П. Балакин. – Смоленск, 2015. – 167 с.
3. Бурман, А. П. Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем / А. П. Бурман, Ю. К. Розанов, Ю. Г. Шакарян. – М. : МЭИ, 2012. – 336 с.
4. Приказ Министерства энергетики Российской Федерации № 326. Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации, работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям [Текст]: утвержден 30.12.2008. – 28 с.

## Информация об авторах:

Иванов Сергей Александрович, студент гр. ЭПмз-221, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, [lihicev@gmail.com@mail.ru](mailto:lihicev@gmail.com)

Захарова Алла Геннадьевна, д.т.н., профессор, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, [zaharovaag@kuzstu.ru](mailto:zaharovaag@kuzstu.ru)