

ВЫБОР МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

В.Г. Дерзкий, доктор техн. наук, В.Ф. Скиба, аспирант,

Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины, г. Киев

Введение

Фактические потери электроэнергии при ее передаче в распределительных сетях (РЭС) – интегральный показатель эффективности работы энергопередающей компании. От величины потерь электроэнергии зависят:

- себестоимость передачи и распределения электроэнергии;
- уровень напряжения в наиболее удаленной точке сети в режиме максимальных нагрузок;
- степень отклонения от оптимальных схемы электрической сети и режима ее работы;
- коэффициент запаса по передаваемой мощности наиболее загруженной контролируемой магистральной линии, питающей РЭС;
- величина розничных тарифов на электроэнергию;
- напряженность энергетического баланса облэнерго;
- степень полезного использования отпущенной с Энергорынка электроэнергии;
- объем фонда материального поощрения работников РЭС, облэнерго;
- расход топлива в генерирующих компаниях.

Поэтому естественно стремление снижать фактические потери электроэнергии при ее передаче и распределении с помощью мероприятий по снижению потерь, например, таких:

- для сетей 0,38–10 кВ: замена марки изношенных (перегруженных) проводов; изменение длины линий; отключение старых или подключение новых линий к распределительным трансформаторам (РТ); изменение числа участков разветвленных линий; переход на систему «глубокий ввод» 10/0,4 кВ в целях снижения длины линий 0,38 кВ; перевод линий на более высокое напряжение; замена недогруженных (перегруженных) или подключение новых РТ; выбор количества, мощности и мест установки компенсирующих устройств (КУ) и др;
- для сетей 35–154 кВ: развитие сетей 35–154 кВ в целях приближения центров питания к потребителям и снижения длины фидеров 10 кВ; перевод линий на более высокое напряжение; проверка эффективности внедрения однотрансформаторных

подстанций 35–154 кВ с автоматическим резервированием по сети 10 кВ в целях снижения потерь холостого хода и повышения надежности электроснабжения; замена (отключение) недогруженных (перегруженных) трансформаторов; снижение расхода электроэнергии на СН подстанций; установка КУ и др.

Мероприятия по снижению потерь достаточно дороги, поэтому желательно знать:

1. До какой величины в каждом конкретном случае надо снижать потери электроэнергии?

2. Что является критерием эффективности мероприятий по снижению потерь?

В настоящее время расчеты сравнительной эффективности различных вариантов мероприятий и выбора наиболее приемлемого из них (решается, по сути, оптимизационная задача) производится с помощью стоимостных показателей (приведенных затрат, прибыли). Однако отсутствует детальный анализ влияния мероприятий по снижению потерь на показатели надежности электроснабжения, качества электроэнергии, экономичность передачи и распределения электроэнергии, что можно осуществить лишь в процессе компьютерного моделирования при определенных условиях.

Постановка задачи

Структура фактических потерь электроэнергии при ее передаче в распределительных сетях может быть представлена в виде

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{факт}} = \Delta \mathcal{E}_{\text{норм}} + \Delta \mathcal{E}_{\text{сверх}} \quad (1)$$

где $\Delta \mathcal{E}_{\text{факт}}$, $\Delta \mathcal{E}_{\text{норм}}$, $\Delta \mathcal{E}_{\text{сверх}}$ – фактические, нормативные, сверхнормативные потери электроэнергии соответственно.

В формуле (1) фактические потери электроэнергии – это отчетные потери, определяемые с помощью счетчиков как разница между поступлением электроэнергии в сети и полезным отпуском (реализацией) энергии собственным потребителям и транзитом энергии в соседние структуры.

Нормативные потери – граничный показатель экономичности передачи и распределения электроэнергии при выполнении определенных регламентированных условий эксплуатации [1]. Норматив-

ные потери определяются расчетным путем и используются при формировании розничных тарифов на электроэнергию.

В качестве регламентирующих условий эксплуатации в работе приняты следующие:

а) наличие баланса активной электроэнергии в часы максимума нагрузки:

$$\mathcal{E}_{nc} = \mathcal{E}_{no} + \mathcal{E}_{транз} + \Delta\mathcal{E}_{факт} \quad (2)$$

где \mathcal{E}_{nc} – поступление электроэнергии в сети РЭС на всех классах напряжения; \mathcal{E}_{no} – полезный отпуск электроэнергии собственным потребителям; $\mathcal{E}_{транз}$ – транзит электроэнергии в соседние структуры; $\Delta\mathcal{E}_{факт}$ – фактические потери электроэнергии;

б) согласно ГОСТ 13109–97 не менее 95% нерегулярных случайных колебаний фазных напряжений в контролируемых узлах должны находиться в интервале $\pm 5\%$ (рис. 1):

$$\rho(-5\%U_{ном} \leq \delta U \leq +5\%U_{ном}) \geq 0,95; \quad (3)$$

в) число кратковременных отключений $N_{отк}$ продолжительностью не более $T_{отк}$ часов в год не должно превышать согласованные с потребителями заданные значения $N_{зад}, T_{зад}$:

$$\frac{N_{отк}}{N_{зад}} \leq \frac{T_{отк}}{T_{зад}} \quad (4)$$

г) коэффициент запаса по передаваемой активной мощности наиболее загруженной контролируемой магистральной линии (сечения) РЭС не должен быть меньше нормативного значения 0,2:

$$k_{зан} = \frac{P_{np} - \bar{P} - \delta P}{\bar{P}} \geq 0,2, \quad (5)$$

где P_{np} – предел статической устойчивости; \bar{P} – среднее значение перетока мощности по межсистемной линии электропередачи в расчетный период; δP – нерегулярные случайные колебания перетока мощности.

Сверхнормативные (дополнительные) потери в формуле (1) вызываются нарушениями технологии передачи и распределения электроэнергии в условиях эксплуатации, такими, например, как:

- случайная несимметрия токовой нагрузки фаз линий [2];
- износ оборудования (линий, трансформаторов) [3];
- потоки избыточной реактивной мощности [3];
- потоки неучтенной, неоплаченной электроэнергии, обусловленные несанкционированным отбором [3];
- неполнофазные режимы работы линий электропередачи [4];
- аварийные переключения в распределительной сети [5];
- недоучет потребления электроэнергии из-за погрешностей измерительного комплекса [6] и др.

Эти нарушения ухудшают основное назначение распределительных сетей: надежное, качественное и экономичное электроснабжение потребителей, нарушают Закон Украины «Про электроэнергетику» [8] и вызывают экономический ущерб.

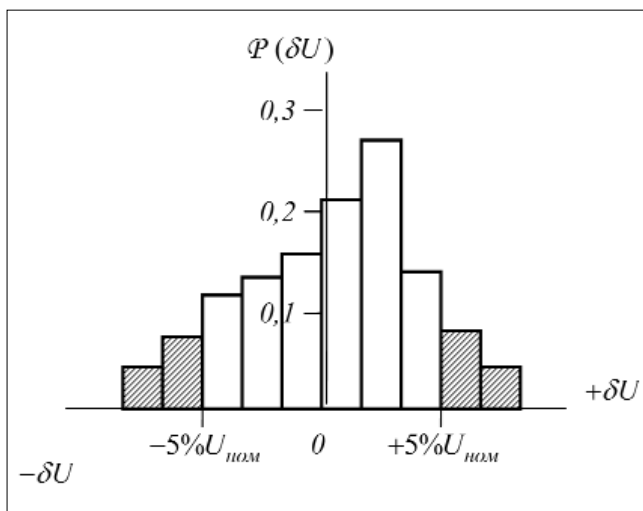


Рис. 1. Гистограмма случайной величины отклонения фазных напряжений в контролируемом узле нагрузки

Алгоритм выбора мероприятий по снижению потерь

1. Выявить нарушения технологии передачи и распределения электроэнергии в РЭС: например, степень износа оборудования зависит от срока его эксплуатации; состояние источников реактивной мощности определяет величину потоков избыточной реактивной мощности и т. д.

2. С помощью программного комплекса проработать влияние нарушений технологии передачи и распределения электроэнергии на величину потерь электроэнергии.

3. С помощью таблицы (см. ниже) выбрать адекватные мероприятия, вставить их в расчетную схему и провести с помощью программного комплекса расчеты режима сети до выполнения условий (2)–(5). В этом случае, согласно (1), будут скомпенсированы сверхнормативные потери $\Delta\mathcal{E}_{сверх}$ и величина фактических потерь $\Delta\mathcal{E}_{факт}$ станет приблизительно равна нормативным потерям $\Delta\mathcal{E}_{факт} \approx \Delta\mathcal{E}_{норм}$.

Условия проведения расчетов

1. Нагрузка сети задается не средними мощностями, а средними фазными токами.

2. Линии могут содержать в общем случае три, две или одну фазу.

3. Расчетный режим сбалансирован.

4. Часть информации (например, токовая нагрузка фаз линий, сопротивление линий, напряжение в узлах нагрузки и др.) представлена в вероятностном виде.

5. Ввод графической информации и компьютерное моделирование производится с помощью специализированного программного обеспечения EnergyLocator.

Программное обеспечение

Таблица

Причины сверхнормативных потерь электроэнергии и мероприятия по их снижению

№ п/п	Причина сверхнормативных потерь электроэнергии	Мероприятие по снижению сверхнормативных потерь электроэнергии
1	Износ оборудования (линий, трансформаторов и др.)	Замена физически изношенных: • стальных проводов на сталеалюминиевые; • трансформаторов на новые и др.
2	Систематическая и вероятностная несимметрия токовой нагрузки фаз линий	Симметрирование нагрузки фаз линий: • периодическое перераспределение нагрузок между фазами; • установка симметрирующих тиристорных устройств; • замена нулевого провода на провод большего сечения
3	Потоки избыточной реактивной мощности	Установка регулирующих и компенсирующих устройств: • БСК; • трансформаторов с РПШ; • шунтирующих реакторов; • СК
4	Несанкционированный отбор электроэнергии	• АСКУЭ БП; • биллинг; • социальная норма потребления электроэнергии
5	Неполнофазные режимы работы линий электропередачи	Замена нулевого провода на провод большего сечения
6	Аварийные переключения в распределительной сети	В зависимости от категории потребителей: • АПВ; • АВР; • резервные перемычки; • петлевые схемы; • переход на систему «глубокий ввод» 10/0,4 кВ
7	Недоучет потребления электроэнергии из-за погрешностей измерительного комплекса	Учет погрешностей элементов измерительного комплекса (ТГ и ТН) в зависимости от нагрузки [6]

Моделирование случайных процессов, применяемых к исследованию режимов работы электросети – это немалый объем вычислительных задач, для решения которых создавалось специализированное программное обеспечение EnergyLocator. Помимо создания алгоритмов моделирования, одной из главных целей разработчиков было также и создание привычной для инженеров и специалистов отрасли программной среды, взаимодействие с которой было бы максимально удобным и продуктивным. Для этого при разработке EnergyLocator использовались только проверенные временем и хорошо зарекомендовавшие себя наработки в области создания интерфейсов программного обеспечения. Также учитывалась специфика работы отделов энергопередающих компаний, занимающихся режимными расчетами.

EnergyLocator – это интегрированный графический, аналитический и расчетный программный комплекс, способный помочь сотрудникам энергопередающих компаний автоматизировать значительный объем работ, связанных с расчетами режимов работы электросетей. Программа позволяет:

- провести пофидерный поэлементный расчет потокораспределения в электросетях;
- выявить долю потерь электроэнергии при ее передаче конечным потребителям;
- выявить уязвимые места в схемах электросетей, где могут нарушаться нормативные режимы эксплуатации электроэнергетического оборудования;
- выявить участки электросети, где качество передаваемой электроэнергии не соответствует регламентированным условиям;
- помочь спланировать и обосновать мероприятия по снижению потерь.

Среди графических возможностей программы:

- интерфейс программы (рис. 2), обладающий удобной навигацией по дереву схем электросетей, параметрам элементов электросетей, учетной информации и событиям элементов электросетей;

- удобный редактор схем электросетей со встроенной базой данных элементов электроэнергетического оборудования;

- журнал сообщений и ошибок, выявленных в результате редактирования, анализа и расчета.

Программа автоматически анализирует схему на наличие необходимой для расчета информации, а также выполнит проверку на:

- соответствие напряжений и направлений токов в узлах схем электросети;

- наличие замкнутых контуров в схемах электросети.

EnergyLocator обладает возможностью производить следующие типы расчетов:

- расчет установившегося режима с учетом случайной несимметрии нагрузки фаз линий, износа оборудования, избыточных потоков реактивной мощности;

- расчет реальных объемов потребленной населением электроэнергии;

- расчет объема несанкционированного отбора электроэнергии;

- проверка качества электроэнергии (по напряжению) и отсутствия нарушений электроснабжения потребителей по вине электропоставщика.

При всех типах расчетов учитываются переключения в схемах электросетей, если таковые были отмечены в таблице событий

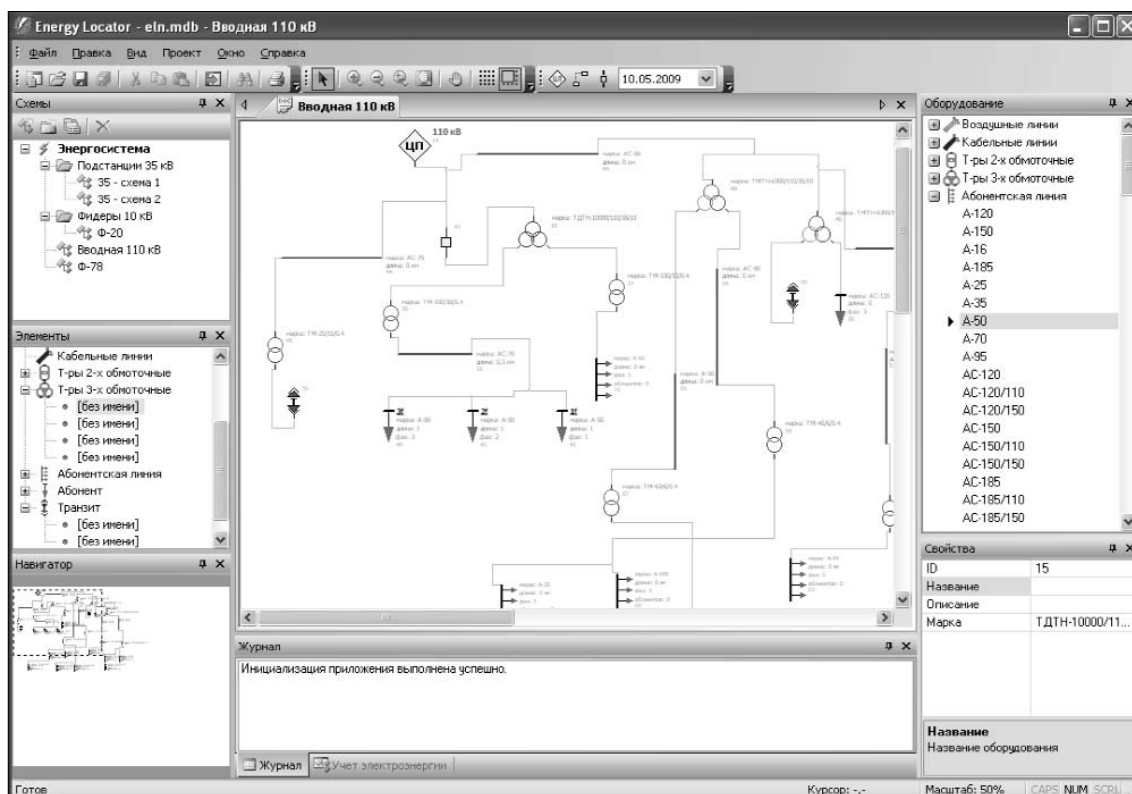


Рис. 2. Интерфейс программы EnergyLocator

соответствующих элементов электросети.

Практически отсутствует ограничение на количество центров питания в схемах электросетей, т.е. с помощью программы Energy Locator могут быть рассчитаны схемы электросетей любой сложности даже с большим количеством центров питания и переключений в расчетном периоде.

ВЫВОДЫ

1. Снижение потерь электроэнергии достигается исключительно с помощью целенаправленных мероприятий по компенсации определенных нарушений технологии передачи и распределения электроэнергии, вызывающих сверхнормативные потери электроэнергии.
2. Критерием эффективности мероприятия по снижению потерь электроэнергии является надежное, качественное и экономичное электроснабжение потребителей, которое обеспечивается

при нормативном значении потерь электроэнергии на ее передачу и распределение.

3. Использование только стоимостных показателей (прибыли, приведенных затрат) при выборе мероприятий по снижению потерь не гарантирует надежное, качественное и экономичное электроснабжение потребителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольстрем В.А., Кузнецов Ю.Л. Справочник по экономии топливно-энергетических ресурсов. – Киев: Техніка, 1985.
2. Держкий В.Г., Скиба В.Ф. Моделирование несимметрии нагрузки фаз линий в расчетах потерь электроэнергии при ее передаче в условиях неопределенности // Энергосбережение-Энергетика-Энергоаудит. – 2007. – №6.
3. Держкий В.Г., Скиба В.Ф. Обоснование уровня нормативных потерь электроэнергии в распределительных сетях //

Энергетические сети и системы. – 2007. – №6.

4. Держкий В.Г., Скиба В.Ф. Потери электроэнергии и напряжения в сетях 0,38 кВ при неполнофазных режимах работы в условиях неопределенности // Энергетика та електрифікація. – 2008. – № 8.

5. Держкий В.Г., Скиба В.Ф. Влияние переключений в сетях 10(6) кВ на величину технических потерь электроэнергии // Энергосбережение-Энергетика-Энергоаудит. – 2008. – № 6.

6. Лях В.В., Квицинський А.О. Оцінка втрат електроенергії при влаштуванні обліку з використанням вимірювальних трансформаторів // Новини енергетики. – 2002. – № 7.

7. Железко Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях. – М.: Энергоатомиздат, 1989.

8. Закон України "Про електроенергетику" (редакція від 11.05.2005).