

СОВРЕМЕННЫЕ РАЗРАБОТКИ ПО РАСЧЕТУ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0,38–10 КВ

Для решения различных технологических задач электрических сетей необходимо регулярно выполнять множество расчетов. Наиболее трудоемкими являются расчеты распределительных электрических сетей 0,38–10 кВ, в том числе такие как определение технологического расхода электрической энергии при ее передаче [1, 2]. Данные расчеты требуют использования огромного объема топологической и режимной исходной информации. Упростить их реализацию позволяют современные компьютерные программы, которые с учетом стремительного развития технологий нуждаются в постоянном совершенствовании.



Д.В. КОВАЛЕВ,
м.т.н., генеральный директор
РУП «ОДУ»

В связи с регулярными изменениями режимов работы Белорусской энергосистемы возникает необходимость анализа потерь электроэнергии и разработки мероприятий по их снижению. Благодаря активной работе электросетевых подразделений по реализации организационных и технических мероприятий, а также сбытовых подразделений по совершенствованию систем расчетного и технологического учета электрической энергии в электрических сетях ГПО «Белэнерго» с 2010 года наблюдается ежегодное снижение потерь электроэнергии. По итогам 2016 года их величина составила 2,874 млрд кВт·ч, или 8,92 %, что ниже уровня потерь 2010 года (3,774 млрд кВт·ч) на 23,83 % (рис. 1).

Наибольшая эффективность мероприятий по снижению потерь достигается в распределительных сетях 0,38–10 кВ районов электрических сетей (РЭС), для которых ежегодно устанавливается соответствующее задание. В 2016 году перед РУП-облэнерго была поставлена задача обеспечить в каждом РЭС снижение потерь до уровня, не превышающего 10,9 %. На рисунке 2 представлена динамика снижения количества РЭС, потери электроэнергии в которых превышают 10,9 %.

Программное обеспечение «DWRES»

В рамках плановой деятельности по совершенствованию методического и программного обеспечения РУП «ОДУ» во взаимодействии с научно-исследовательской группой кафедры «Электрические системы» БНТУ были разработаны нормативный документ [3] и первая версия программного обеспечения «DWRES» [4], в которой реализованы нормативные требования по расчету потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях 0,38–10 кВ. Опытной промышленной эксплуатацией данного программного обеспечения завершилась в июне 2016 года, и начиная с июля того же года оно внедряется в Белорусской энергосистеме.

Основной целью внедрения «DWRES» является централизованный переход всей энергосистемы на единое программное обеспечение, позволяющее осуществлять наиболее точные расчеты потерь электроэнергии в элементах распределительной электрической сети 0,38–10 кВ для последующего анализа потерь, их структуризации, прогнозирования и нормирования, а также разработки соответствующих организационно-технических мероприятий по их снижению.



А.В. СОЛОВЕЙ,
м.т.н., заместитель начальника
службы электрических
режимов РУП «ОДУ»



М.И. ФУРСАНОВ,
д.т.н., профессор, заведующий
кафедрой «Электрические
системы» БНТУ

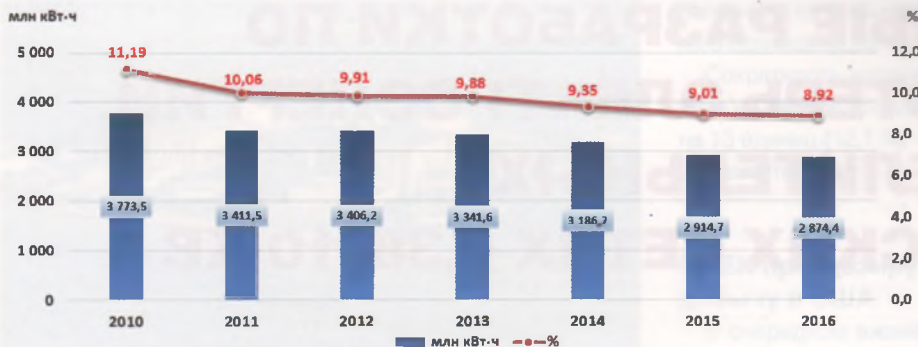


Рис. 1. Отчетные потери электроэнергии в электросетях 0,38–10 кВ ГПО «Белэнерго» за январь–декабрь 2010–2016 годов

Количество РЭС ГПО «Белэнерго» с уровнем отчетных потерь электроэнергии в сетях 0,38–10 кВ выше 10,9 %

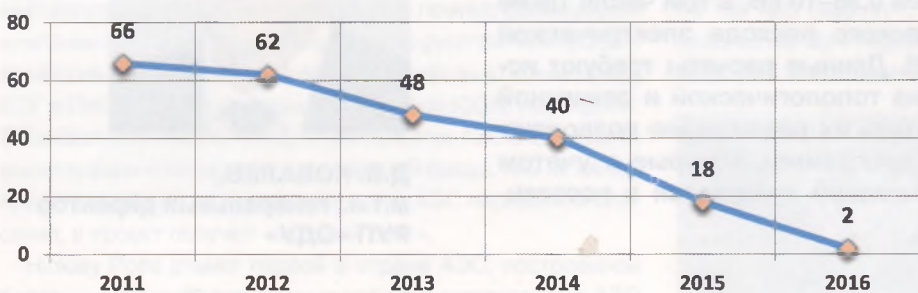


Рис. 2. Динамика снижения количества РЭС, потери электроэнергии в которых превышают 10,9 %

Для выполнения расчетов в первой версии «DWRES» необходимо единожды внести в базу данных исходную информацию по топологии сети 6–10 кВ и обобщенную информацию по сети 0,38 кВ. В дальнейшем требуется ежемесячно вводить обобщенную режимную информацию по каждому центру питания (головному участку распределительной линии 6–10 кВ – фидеру). Так как в отдельных РЭС эксплуатируется значительное (свыше 100) количество распределительных линий, то в программном обеспечении «DWRES» была предусмотрена возможность взаимодействия с АСКУЭ. Такое взаимодействие позволяет использовать не только обобщенную режимную информацию, но и фактические графики нагрузки, что, в свою очередь, дает возможность повысить точность расчетов. Одновременно с опытно-промышленной эксплуатацией первого варианта «DWRES» велась разработка более совершенной версии программного обеспечения, использующего в расчетах типовые и регистрируемые АСКУЭ графики нагрузок, а также пофазную топологическую информацию сети 0,38 кВ.

Использование регистрируемых АСКУЭ графиков нагрузки в распределительных электрических сетях вполне оправданно, так как применяемый в «DWRES» метод расчета потерь (метод средних нагрузок и коэффициента формы) является оценочным и в нестандартных для распределительных сетей случаях может давать результат с нежелательной погрешностью. Так как термин «распределительная сеть» подразумевает распределение электроэнергии от источника питания к потребителям, то под нестандартным случаем подразумевается наличие в сети 0,38–10 кВ источников малой генерации

(блок-станций), суммарная установленная мощность которых постоянно растет и по состоянию на 1 января 2017 года в сети 0,38–10 кВ уже составляет 390 МВт (190 блок-станций). Также к нестандартным случаям по режимам работы распределительной сети можно отнести исполнение сети 0,38–10 кВ в замкнутом виде или наличие в расчетном периоде большого числа коммутационных переключений.

Особенности метода средних нагрузок и коэффициента формы

Для оценки метода средних нагрузок и коэффициента формы при расчетах в современных условиях работы распределительной электрической сети 0,38–10 кВ достаточно рассмотреть особенности данного метода при определении нагрузочных потерь электроэнергии.

Как известно, общая формула определения нагрузочных потерь электроэнергии $\Delta W_{нагр}$ в элементе сети выглядит следующим образом [2]:

$$\Delta W_{нагр} = 3 \cdot R \cdot \int_0^T i^2(t) dt = 3 \cdot R \cdot \Delta t \cdot \sum_{i=1}^{T/\Delta t} I_i^2 = R \cdot \Delta t \cdot \sum_{i=1}^{T/\Delta t} \frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_i^2}, \quad (1)$$

где R – активное сопротивление элемента сети; $i(t)$ – функция, характеризующая изменение тока в элементе сети за время T ; Δt – временной интервал между токовыми замерами; I_i – ток в элементе сети, соответствующий i временному интервалу; $P_i(Q_i)$, U_i – активная (реактивная) мощность и напряжение, соответствующие i временному интервалу.

При расчете нагрузочных потерь методом средних нагрузок и коэффициента формы используется следующая формула [2]:

$$\Delta W_{нагр} = \frac{W_p^2 + W_q^2}{U_{ср.з.}^2 \cdot T} k_\Phi^2 R, \quad (2)$$

где W_p , W_q – активная и реактивная энергия, зафиксированная прибором учета за время T ; $U_{ср.з.}$ – среднее эксплуатационное напряжение за время T ; k_Φ – коэффициент формы графика нагрузки.

Из формулы (2) видно, что при расчетах нагрузочных потерь методом средних нагрузок и коэффициента формы не требуется наличие интервальных замеров активной и реактивной мощности (графиков нагрузок), благодаря чему данный метод и получил широкое распространение.

Приравняем обе формулы, чтобы получить формулу квадрата коэффициента формы (k_Φ^2), и примем допущение, что реактивная мощность во времени изменяется пропорционально активной мощности:

$$R \cdot \Delta t \cdot \sum_{i=1}^{T/\Delta t} \frac{P_i^2}{U_i^2} \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_i) = \frac{W_p^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)}{U_{\text{ср.э.}}^2 \cdot T} k_{\Phi}^2 R. \quad (3)$$

Принимая $\operatorname{tg}^2 \varphi_i = \operatorname{tg}^2 \varphi$, имеем:

$$\Delta t \cdot \sum_{i=1}^{T/\Delta t} \frac{P_i^2}{U_i^2} = \frac{W_p^2}{U_{\text{ср.э.}}^2 \cdot T} k_{\Phi}^2. \quad (4)$$

Следующее допущение, которое следует принять, – это использование в расчетах среднеексплуатационного напряжения ($U_{\text{ср.э.}}$). Его величина зависит от изменения напряжения и активной мощности во времени. В литературе [5] приводятся обобщенные формулы для определения величины этого показателя, но на практике вместо среднеексплуатационного напряжения чаще используется его среднее арифметическое значение. С учетом этого допущения коэффициент формы будет определяться как отношение среднеквадратичного значения активной мощности к квадрату средней нагрузки ($P_{\text{ср}} = \frac{W_p}{T}$):

$$k_{\Phi}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{T/\Delta t} P_i^2 \cdot \Delta t}{P_{\text{ср}}^2 \cdot T}. \quad (5)$$

Как видно из формулы (5), даже при некоторых допущениях для точного определения коэффициента формы требуется наличие графика нагрузки. Согласно [5] было получено несколько формул для определения коэффициента формы. Одной из наиболее распространенных является формула:

$$k_{\Phi}^2 = \frac{1 + 2k_3}{3 \cdot k_3}, \quad (6)$$

где k_3 – коэффициент заполнения графика нагрузки, при этом

$$k_3 = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\text{макс}}}, \quad (7)$$

где $P_{\text{макс}}$ – максимальная активная мощность.

Согласно [5] формула (6) получена путем аппроксимации проведенных вариантных расчетов для графика нагрузки в диапазоне k_3 от 0 до 1 (рис. 3). При этом максимум нагрузки может быть различным, а минимум – постоянен и равен 0. При условии, что минимум мощности в рассматриваемом периоде был отличен от нуля, в формулу (6) необходимо добавить еще один коэффициент заполнения графика – $k_{3 \text{ мин}}$.

Формула (6) с допустимой точностью (случайная погрешность $\pm 13\%$ [5]) определяет коэффициент формы, когда в рассматриваемом элементе отсутствует реверс мощности (прием и отдача электроэнергии в одном расчетном периоде). При на-

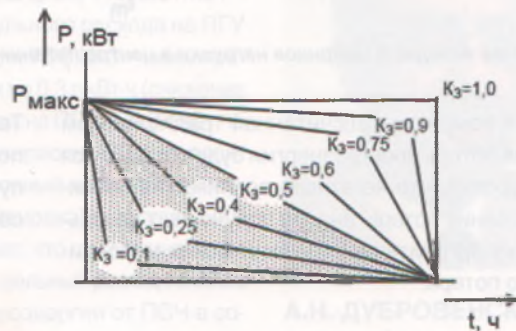
личии реверсивных потоков мощности формула применима лишь в том случае, если энергию приема и отдачи просуммировать, а в качестве максимальной мощности использовать наибольшую по модулю мощность приема либо отдачи (рис. 4).

Следует также отметить, что описанные особенности метода средних нагрузок и коэффициента формы относятся к определению потерь в одном элементе. Если же рассматривать распределительную электрическую сеть в целом, то наличие одного участка сети с реверсом мощности может привести к значительным погрешностям расчетного метода. Рассмотрим сказанное на примере простейшей сети 10 кВ из пяти участков (рис. 5), соединяющей центр питания, группу потребителей и блок-станцию.

В узле 2 сети при объединении графиков нагрузки различной формы получится новый график нагрузки, который будет аналогичен по форме графику нагрузки в центре питания и отличным от исходных графиков нагрузки (рис. 6). При этом максимум и минимум активной мощности перенесутся на временной интервал, не соответствующий максимуму и минимуму активной мощности исходных графиков нагрузки.

Метод средних нагрузок и коэффициента формы подразумевает использование при расчете одной конфигурации графика нагрузки как на головном участке, так и в нагрузочных узлах, что не всегда происходит на практике (за исключением случая, когда подключенные потребители являются однотипными).

Таким образом, изменение режимов работы распределительной сети (в том числе развитие малой генерации)



— Активная энергия для графика нагрузки с $k_3=0,5$

Рис. 3. Графики нагрузок по продолжительности с соответствующими значениям коэффициента формы

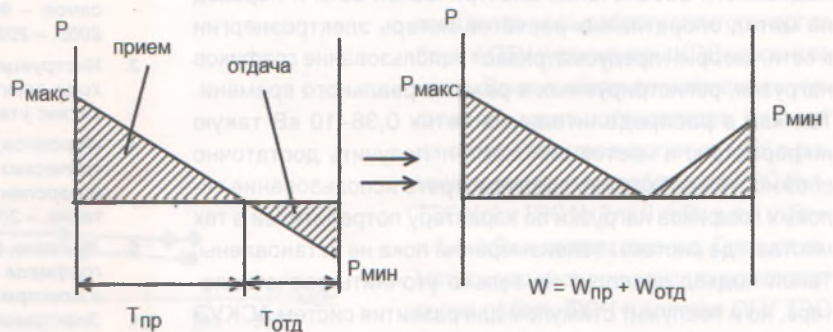


Рис. 4. Преобразование графика нагрузки для элемента сети с реверсивным потоком

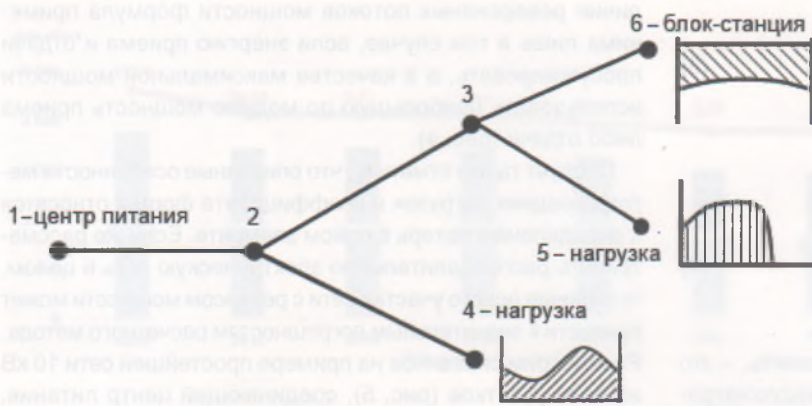


Рис. 5. Простейшая распределительная линия 10 кВ, связывающая следующие узлы: 1 – центр питания; 2, 3 – промежуточные узлы; 4, 5 – группы потребителей; 6 – блок-станция

В настоящий момент на завершающей стадии находится разработка более совершенной версии программного обеспечения, использующей в расчетах типовые и регистрируемые АСКУЭ графики нагрузок. Опытно-промышленная эксплуатация новой версии «DWRES» запланирована на 2017 год. В качестве наиболее оптимального варианта для апробации новой версии программного обеспечения «DWRES» был выбран Логойский РЭС РУП «Минскэнерго», имеющий высокий уровень оснащенности АСКУЭ и базу данных по топологии сети 0,38 кВ. При получении положительных результатов новая версия программного обеспечения «DWRES» будет внедряться во всех районах электрических сетей ОЭС Беларуси.

Реализация метода оперативных расчетов позволит существующему программному обеспечению перейти на совершенно новый уровень в определении потерь электроэнергии, а также послужит стимулом для развития систем АСКУЭ в распределительных сетях.

Так как база данных нового программного обеспечения «DWRES» будет содержать полную схемную и режимную информацию по сети 0,38–10 кВ, то в перспективе целесообразно обеспечить ее взаимодействие (синхронизацию) с другим программным обеспечением, предназначенным для решения других технологических задач в электрических сетях (например, в SCADA-системах или системах паспортизации).

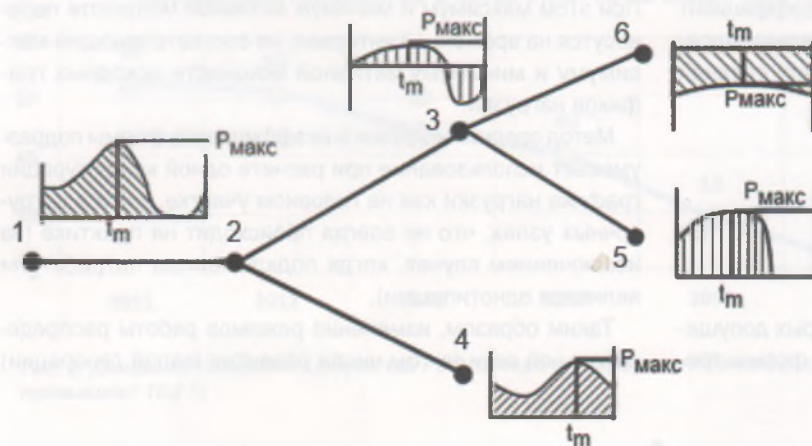


Рис. 6. Объединение исходных графиков нагрузки в центре питания

Таким образом, развитие данного программного комплекса позволит еще на один шаг приблизить энергосистему Республики Беларусь к интеллектуальной распределительной сети («Smart Grid»).

может привести к тому, что рассчитанная традиционным методом величина потерь электроэнергии будет отличаться от реального их уровня, что негативно повлияет на объективность нормирования потерь, анализ полученных результатов и разработку организационно-технических мероприятий по снижению потерь.

Перспективы совершенствования программного обеспечения

Оптимальным выходом из сложившейся ситуации является использование потенциала современного информационного обеспечения электрической сети и переход на метод оперативных расчетов потерь электроэнергии в сети, который предусматривает использование графиков нагрузки, регистрируемых в режиме реального времени. Так как в распределительных сетях 0,38–10 кВ такую информацию в настоящий момент получить достаточно сложно, то необходимо предусмотреть использование типовых графиков нагрузки по характеру потребителей в тех местах, где системы телеизмерений пока не установлены. Такой подход позволит не только уточнить расчеты потерь, но и послужит стимулом для развития систем АСКУЭ в распределительных сетях. Данное направление является одним из перспективных в деятельности РУП «ОДУ» по снижению потерь электроэнергии.

Список литературы

1. Железко, Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.: илл.
2. Фурсанов, М.И. Определение и анализ потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем / М.И. Фурсанов. – Минск: УВНЦ при УП «Белэнерго», 2005. – 208 с.
3. Инструкция по расчету и обоснованию нормативов расхода электроэнергии на ее передачу по электрическим сетям: утв. М-вом энергетики Респ. Беларусь 16.12.2013.
4. Фурсанов, М.И. Нормирование и снижение потерь в электрических сетях Белорусской энергосистемы. Состояние и перспективы / М.И. Фурсанов // Энергетическая стратегия. – 2015. – № 2(44). – С. 34–38.
5. Железко, Ю.С. Определение интегральных характеристик графиков нагрузки для расчета потерь электроэнергии в электрических сетях / Ю.С. Железко, О.В. Савченко // Электрические станции. – 2001. – № 10. – С. 9–13.