

УДК 621.316.11

## **РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ 6 – 10 КВ**

Томиловский А.И.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Фурсанов М.И.

Функционирование электроэнергетической системы связано с большими материальными затратами. Поэтому важно использовать материальные ресурсы с наибольшей эффективностью в соответствии со всеми требованиями, которые предъявляются к современной электроэнергетической системе.

Известно, что при оптимальном сочетании топологических параметров электрических сетей (типы и номинальные мощности трансформаторов, марки и сечения проводов, длины ЛЭП и т.д., включая характеристики располагаемых средств регулирования) и электрических нагрузок существует некоторый теоретически возможный минимум технологического расхода электрической энергии и минимум стоимости передачи электрической энергии [3]. Для определения и достижения данных минимумов необходимо иметь точную исходную информацию, осуществлять быстрое и математически точное решение оптимизационных задач, а также иметь возможность в тот же момент применять полученное теоретическое решение на практике в условиях эксплуатации. Точность расчета, анализа и разработки мероприятий по снижению потерь электроэнергии напрямую зависит от точности и объема исходной информации.

Справедливо говорить лишь о необходимости работы сети при минимуме стоимости передачи электроэнергии, так как минимум потерь не отражает минимума затрат на передачу энергии. Оптимизация распределительной сети должна производиться с учетом динамики роста нагрузок на стадии долгосрочного проектирования сетей, потому что применение некоторых оптимизационных мероприятий: замены трансформаторов, замены проводов при неправильном подходе может потребовать дополнительной их замены уже в условиях эксплуатации, что будет связано с лишними затратами. Отыскание минимума стоимости передачи электрической энергии, разработка комплекса мероприятий по снижению потерь электроэнергии представляет высокую сложность и может быть решена только с применением современного вычислительного оборудования. Дополнительной сложностью в решении является то, что при решении задачи должен применяться системный подход. С этой точки зрения неправильно говорить об эффективности какого-то конкретного мероприятия и внедрять его повсеместно. При этом для каждой распределительной сети очередность и эффективность отдельного мероприятия будет меняться. Таким образом, в общем случае при разработке плана мероприятий по снижению потерь речь должна идти не о последовательном переборе определенного числа мероприятий и выборе наиболее эффективных из них по заданному критерию, а об оптимальном комплексе организационных и технических мероприятий по снижению потерь в распределительных сетях. Этот комплекс должен учитывать взаимное влияние мероприятий друг на друга, а также другие показатели работы сети [4]. При этом эффективность каждого последующего мероприятия определяется с учетом уже достигнутого эффекта от применения предыдущих мероприятий. Новое мероприятие должно внедряться с учетом изменения параметров состояния сети на предыдущем шаге оптимизации. В первую очередь должны выполняться организационные мероприятия и мероприятия по совершенствованию расчетного и технического учета электроэнергии [2], а только во вторую – технические мероприятия. Часто выделенных средств на проведение оптимизационных мероприятий бывает недостаточно для полной оптимизации сети, поэтому должно планироваться выполнение наиболее эффективных мероприятий с соответствующим снижением потерь электроэнергии. Также необходимо понимать, что нельзя использовать одинаковый порядок внедрения мероприятий во всех районах электрических сетей, так как в зависимости от параметров распределительной сети

мероприятие по снижению потерь электроэнергии может оказаться не только менее эффективным, но и неэкономичным вовсе.

Анализ потерь электроэнергии проводится для решения следующих задач [1]:

- выявления и оценки резервов энергосистемы и ее предприятий по снижению потерь электроэнергии;
- выявления и ранжирования основных факторов, определяющих уровень потерь электроэнергии;
- разработки мероприятий по снижению потерь электроэнергии, определения их эффективности и очередности внедрения;
- определения очагов коммерческих потерь электроэнергии;
- оценки результатов работы по показателю потери электроэнергии энергосистемы в целом и ее подразделений;
- подготовки и обоснования решений по развитию электрических сетей и внедрению мероприятий по снижению потерь, требующих капитальных вложений.

Основными формами анализа потерь электроэнергии являются:

- составление балансов электроэнергии по каждой подстанции, электростанции, предприятию электрических сетей и энергосистеме в целом;
- сравнение расчетных, плановых и отчетных потерь электроэнергии и анализ изменения потерь по энергосистеме и отдельным ее предприятиям;
- анализ изменения отдельных составляющих потерь электроэнергии с учетом изменения схем, режимов электрических сетей и структуры отпуска электроэнергии;
- сравнение отчетных и плановых нормируемых и лимитируемых составляющих баланса электроэнергии (собственные нужды, хозяйственные и производственные нужды);
- оценка фактической эффективности отдельных мероприятий по снижению потерь электроэнергии, а также плана мероприятий в целом;
- выявление зависимостей потерь электроэнергии от основных факторов, характеризующих схему сети и режимы ее работы.

Для анализа потерь электроэнергии должны использоваться:

- результаты расчетов режимов электрических сетей и их схемы;
- результаты расчетов потерь электроэнергии и их структуры;
- отчетные данные по потерям электроэнергии в энергосистеме и ее предприятиях за ряд лет;
- данные по перетокам электроэнергии за ряд лет;
- итоги выполнения планов мероприятий по снижению потерь электроэнергии;
- проектные решения по развитию электрических сетей;
- материалы, характеризующие состояние и использование средств компенсации реактивной мощности и регулирования режима электрических сетей;
- данные по оснащенности сетей потребителей электроэнергии компенсирующими устройствами (квар/кВт) за ряд лет;
- данные по состоянию расчетного и технического учета электроэнергии;
- данные по среднемесячной оплате электроэнергии одного бытового абонента и результаты борьбы с хищениями электроэнергии;
- данные по материальному стимулированию персонала энергосистемы за снижение потерь электроэнергии.

В докладе представлен анализ известных мероприятий по снижению технологического расхода в электрической сети напряжением 6 – 10 кВ, выбор наиболее эффективных мероприятий на основе теории чувствительности и их внедрение. Разработка мероприятий рассмотрена на примере таких мероприятий как регулирование напряжения в центре питания, замена сечений проводников и замена понижающих трансформаторов.

Для выполнения цели доклада был выполнен сбор исходной информации в качестве которой служат следующие данные:

- схема распределительной сети;

- параметры состояния сети;
- режимные параметры сети;
- нагрузки распределительных линий за характерные сутки расчетного периода.

Стоит отметить, что схема сети постоянно меняется и полученное решение задачи при изменении схемы, параметров либо загрузки сети уже не приведет к наилучшему решению задачи. Это вытекает из таких свойств электроэнергетической системы как быстрота протекающих процессов и одновременности производства, и потребления электроэнергии. Поэтому важно иметь программный комплекс, способный справиться с задачей на интервале в несколько секунд. Однако, как показывает практика, пока такое быстрое действие не получается обеспечить ввиду недостаточного количества выполняемых операций в секунду современными ЭВМ по разработанным алгоритмам и огромного объема задачи. Также возникает проблема повсеместной оснащённости электрических сетей системами электронного контроля и учета электроэнергии. Это препятствует сбору оперативной информации о графиках нагрузки энергосистемы и лишает возможности точного и, что также важно, оперативного решения задачи оптимизации сети с минимальными затратами.

Процесс решения оптимизационной задачи базируется на следующих этапах [1]:

- выбор объективного критерия оптимальности;
- построение математической модели задачи, важнейшими компонентами которой являются вид и структура целевой функции;
- разработка эффективного метода решения задачи, т.е. ее алгоритмизация.

В качестве критерия оптимальности использован известный экономический критерий – приведенные затраты  $Z$ . Структурный алгоритм решения задачи по оптимизации сети по дискретным параметрам в статической постановке, который применяется в настоящей работе, выглядит следующим образом [1]:

1. Рассчитывается установившейся режим распределительной сети.

2. Рассчитывается начальное значение целевой функции  $Z = Z(\bar{X}^{(0)})$  по формуле (1),

что представляет собой замену провода или трансформатора на провод аналогичного сечения или трансформатор такой же номинальной мощности.

$$Z_0 = E(K_0 + K_{см} + K_{дм} - K_{л}), \quad (1)$$

где  $K_0, K_{см}, K_{дм}, K_{л}$  – капитальные затраты в стоимость, на строительные-монтажные работы, на работы по демонтажу, ликвидационная стоимость провода или трансформатора соответственно.

3. Вычисляется новое значение целевой функции. Для этого рассчитывается изменение нагрузочных потерь мощности  $\delta\Delta P_{нагр}$  и потерь мощности холостого хода  $\delta\Delta P_{хх}$  и изменение издержек по формуле (2):

$$\delta И = (p_a + p_0)(K_0 - K_{0st}) + (\delta\Delta P_H \cdot \tau + \delta\Delta P_X \cdot T) \cdot \beta, \quad (2)$$

где  $p_a, p_0$  – отчисления на амортизацию, обслуживание проводов и трансформаторов сети;

$\beta$  – стоимость потерь холостого хода и нагрузочных;

$K_0, K_{0st}$  – стоимость нового и заменяемого провода соответственно.

4. Вычисляется дискретный коэффициент эластичности по формулам (3), (4):

$$\delta = \frac{3 - Z_0}{|F - F_0|} \cdot \frac{F_0}{Z_0}, \quad (3)$$

$$\delta = \frac{3 - Z_0}{|S_{ном} - S_{0ном}|} \cdot \frac{S_{0ном}}{Z_0}, \quad (4)$$

где  $Z_0, Z$  – затраты в сети до и после проведения оптимизационного воздействия соответственно;

$F_0, F$  – сечение использованного провода до и после оптимизационного воздействия;

$S_{\text{ном}0}, S_{\text{ном}}$  – номинальные мощности трансформаторов до и после оптимизационного воздействия.

5. Оцениваются величины коэффициентов эластичности и выбирается наибольшее по модулю значение отрицательного коэффициента. После замены соответствующего провода или трансформатора пункты алгоритма 1-5 повторяются.

В докладе для рассматриваемого участка сети найдена структура потерь электроэнергии, построены графики процентов потерь и стоимости передачи электроэнергии по отношению к электроэнергии отпущенной в сеть  $\Delta W\% = f(W_{\text{ГВ}})$ ,  $C_{\text{П}} = f(W_{\text{ГВ}})$ . Также установлено, что описанный структурный алгоритм позволяет приблизить фактические уровни потерь в сетях к оптимальным. Также вычисленный коэффициент эластичности служит не только показателем движения в сторону оптимального состояния сети, но и показывает с помощью какого действия можно это сделать наилучшим образом.

Результаты в докладе представлены в детерминированном виде. Однако, получение какого-то одного числового значения по своей природе ставит вопрос о погрешности выполненного расчета. При этом, задаваясь этим вопросом на каждом этапе расчета, получим значительный доверительный интервал, который на практике может быть огромным. В погрешность будет входить и точность самих исходных данных, и точность методов расчета режима, структуры потерь электроэнергии. Поэтому необходимо пользоваться понятием доверительного интервала, так как, зная закон распределения погрешностей, по интегралам вероятности легко вычислить сам интервал и его доверительную вероятность. Понятно, что при более простом методе расчета и меньшем объеме заданной информации, т.е. при больших допущениях точность расчета будет снижаться. В представленной работе вопрос оценки погрешностей расчета не рассмотрен.

Технико-экономическая эффективность принятых мер по оптимизации распределительной сети оценивается сроком окупаемости проведенных технических мероприятий. Оценка показала целесообразность применения таких мероприятий. Эффективность применения организационных мероприятий оценивается по абсолютному значению снижения потерь электроэнергии в сети. В денежном эквиваленте эта величина может быть выражена в снижении расхода и, соответственно, затрат на топливо на электростанциях.

### Литература

1. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях: руководство для практических расчетов/ Ю.С. Железко. – М.: Энергоатомиздат, 1989. –176 с.
2. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем / В.Э. Воротницкий, Ю.С. Железко, В.Н. Казанцев и др.; под ред. В.Н. Казанцева.– М.: Энергоатомиздат, 1983. – 368 с.
3. Федин, В.Т. Основы проектирования энергосистем: учебное пособие для студентов энергетических специальностей: в 2 ч. / В.Т. Федин, М.И. Фурсанов. – Минск, 2010. Ч.1. – 322 с.
4. Федин, В.Т. Основы проектирования энергосистем: учебное пособие для студентов энергетических специальностей: в 2 ч. / В.Т. Федин, М.И. Фурсанов. – Минск, 2010. Ч.2. – 201 с.