

УДК 621.3

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ПРИ ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
EVALUATION OF OPERATION EFFICIENCY OF DISTRIBUTION  
NETWORKS AT OPTIMIZATION OF MODES OF ELECTRIC POWER  
SYSTEMS**

М.В. Дехтерёнок

Научный руководитель – М.И. Фурсанов, доктор технических наук, профессор  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

[mfursanov@bntu.by](mailto:mfursanov@bntu.by)

M. Dekhterenok

Supervisor – M. Fursanov, Doctor of Technical Sciences, Professor  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** Задача оптимизации в энергосистеме на сегодняшний день является одной из главных областей изучения в энергетике. Внимание в работе в основном уделяется оптимизации режимов электроэнергетических систем и оптимизации проектных решений в распределительных электросетях.*

***Abstract:** The problem of optimization in the power system is currently one of the main areas of study in the energy sector. The focus of the work is mainly on optimizing the modes of electric power systems and optimizing design solutions in distribution power grids.*

***Ключевые слова:** оптимизация режимов, потери электроэнергии, задачи оптимизации, критерии оптимизации, энергетический баланс.*

***Keywords:** optimization of modes, power loss, optimization problems, optimization criteria, energy balance.*

### **Введение**

Нынешние электроэнергетические системы (ЭЭС) представляют собой сложные, многосвязные объекты, работающие в условиях переменчивости их структур, параметров и режимов работы при различных внутренних и внешних возмущениях. Режим работы ЭЭС характеризуется параметрами, которые можно регулировать. К ним относят активные и реактивные мощности электростанций, нагрузки и токи линий электропередачи (ЛЭП), нагрузки потребителей, коэффициенты трансформации трансформаторов, напряжения в узлах схемы электросети.

Задача оптимизации ЭЭС сейчас является одной из главных областей изучения в энергетике. Главной причиной пристального внимания к задаче оптимизации является возможность без дополнительных вложений на оборудование или другие мероприятия путем оптимизации и анализа достичь экономии затрат для ее достижения.

### **Основная часть**

На данный момент существует большое количество методов оптимизации для разных задач в энергетике. Но некоторые методы будут эффективными

только для определенной задачи и абсолютно бесполезными для других. Обычно, самые мощные методы требуют больших затрат машинного времени. С другой стороны, быстрые методы менее надежно сходятся и для них нужны допущения при моделировании [4]. Ни один из используемых на практике методов не гарантирует решение поставленной задачи и определение глобального оптимума.

Проектирование, сооружение объектов электросети и их эксплуатация связаны с высокими материальными затратами. Важно, чтобы эти затраты были вовлечены с максимальной эффективностью.

Если разглядеть показатели, характеризующие эффективность оптимизации в динамике, то заметна печальная картина. За период с 1999г. в Беларуси ухудшились все индикаторы эффективности: потери в электрических сетях выросли в два раза, удельный расход топлива на кВтч увеличился на 20%, выросли затраты на поддержание качества электроэнергии.

Актуальность задач оптимизации определяется и госпрограммой энергосбережения. Если увеличить ее эффективность, то КПД энергообъектов увеличится на несколько процентов и это огромная экономия [3].

Эффективность работы распределительных сетей зависит от принятых решений при проектировании сетей. При этом оптимизация проектных решений – задача комплексная, в которой в качестве критериев оптимизации используются такие важные показатели как качество электроэнергии, пропускная способность, капитальные затраты, надежность электроснабжения, потери электроэнергии.

Один из основных параметров, выбираемых при проектировании сети – это ее номинальное напряжение. Использование высоких напряжений приводит к увеличению пропускной способности. Если расчетная нагрузка не изменяется, то снижаются нагрузочные потери мощности и энергии. В итоге если вместо напряжения 220 В применить напряжение 380 В, то потери мощности снизятся в  $(380/220)^2 \approx 3$  раза. Аналогичное снижение потерь будет при применении напряжения 10кВ вместо 6 кВ:  $(10/6)^2 \approx 2,8$ .

Следующим важным параметром является величина мощности компенсирующих устройств. Установка компенсирующих устройств положительно влияет на режим сети, т. к. позволяет уменьшить не только потери энергии и мощности, но и улучшить качество напряжения. Дополнительная эффективность компенсирующих устройств может быть достигнута за счет установки автоматического регулирования мощности. Их целесообразность определяется условием [2]:

$$\Delta W - Za > 0, \quad (1)$$

где  $\Delta W$  – годовое снижение потерь электроэнергии за счет автоматического регулирования мощности компенсирующего устройства;

$Za$  – приведенные затраты на установку средств автоматики.

В условиях модернизации и реконструкции сети также возможны различные пути оптимизации проектных решений. Иногда эффективно упорядочение мощностей трансформаторов, а также замена устаревших

трансформаторов. Также с течением времени неизбежны отклонения реальных нагрузок трансформаторов от проектных. Когда трансформаторы перегружаются, по техническим условиям необходима их замена на трансформаторы большей мощности. При этом снижение потерь электроэнергии  $\Delta W$  проявляется в виде сопутствующего эффекта. Это связано с тем, что уменьшение нагрузочных потерь  $\Delta W_n$  оказывается больше, чем увеличение потерь холостого хода [2]:

$$\Delta W = \Delta W_n - \Delta W_x > 0 \quad (2)$$

Когда трансформаторы существенно недогружены относительно их номинальных мощностей, то целесообразным будет получить экономию на потерях холостого хода, хоть и нагрузочные потери при этом несколько увеличатся [2]:

$$\Delta W = \Delta W_x - \Delta W_n > 0 \quad (3)$$

Эффекта от снижения потерь энергии холостого хода можно достичь при замене морально устаревших трансформаторов на трансформаторы с меньшими потерями холостого хода:

$$\Delta W = \Delta W_{1x} - \Delta W_{2x}, \quad (4)$$

где  $\Delta W_{1x}$ ,  $\Delta W_{2x}$  — потери холостого хода до и после замены трансформатора.

Аналогичный результат можно получить заменой проводов воздушных линий, которая может быть осуществлена с целью повышения пропускной способности. Тогда сопутствующий эффект от снижения потерь при немаксимальных нагрузках будет равен [2]:

$$\Delta W = 3I_{нб}^2 \tau L (R_{01} - R_{02}), \quad (5)$$

где  $L$  — длина линии,

$R_{01}$ ,  $R_{02}$  — удельные сопротивления до и после замены проводов.

Для оптимизации параметров предварительно необходимо выбрать критерий оптимизации. В основном в качестве показателя эффективности решений выступает не один, а несколько критериев. В качестве критериев могут выступать потери электроэнергии, пропускная способность сети, капитальные затраты, степень надежности электроснабжения и др.

Фактически задачу оптимизации параметров решают уже на стадии выбора основных проектных решений, таких как выбор конфигурации сети, номинального напряжения линий, площади сечений их проводов и др.

В условиях эксплуатации задачи оптимизации отличаются от проектных тем, что поиск лучшего режима происходит без дополнительных капитальных затрат. Поэтому в качестве наиболее общего критерия оптимизации выбирают ежегодные издержки. Если оптимизация режима производится за определенный период времени, то в качестве критерия используют потери электроэнергии [2]:

$$\Delta W = \sum_{i=1}^n \Delta W_i \rightarrow \min, \quad (6)$$

где  $\Delta W_i$  – потери электроэнергии в  $i$ -м элементе сети за рассматриваемый период,  $n$  – количество элементов сети.

В том случае, когда оптимизация проводится для данного момента времени, можно использовать более простой критерий в виде потерь активной мощности:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n \Delta P_i \rightarrow \min, \quad (7)$$

где  $\Delta P_i$  – потери мощности в  $i$ -ом элементе сети в рассматриваемый момент времени.

### **Заключение**

Проблема оптимизации режимов ЭЭС актуальна. Оптимизация режимов направлена на удовлетворение требований потребителей к экономности энергоснабжения. При оптимизации повышается эффективность использования оборудования, ресурсов, энергетических процессов. Оптимизация уменьшает затраты и увеличивает преимущества энергетического предприятия на рынке. На сегодняшний день этим задачам уделяется огромное внимание.

### **Литература**

1. Холмский В. Г. Расчет и оптимизация режимов электрических сетей – М.: Высшая школа, 1975. - 280 с.
2. Гиршин С.С., Владимиров Л.В. Методы расчета и оптимизация режимов электроэнергетических систем – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. - 48 с.
3. Филиппова Т.А., Русина А.Г., Дронова Ю.В. Модели и методы прогнозирования электроэнергии и мощности при управлении режимами электроэнергетических систем – НГТУ, 2009. – 368с.
4. Анализ безопасности и оптимизация [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.kv.by/content/bezopasnost-i-optimizatsiya/>. – Дата доступа: 10.04.2021.