

**Ю.Г. Качан, д-р техн. наук, В.В. Дьяченко**

*(Украина, Запорожье, Запорожская государственная индустриальная академия, Запорожский национальный технический университет)*

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Одним из основных требований к системам электроснабжения (СЭС) промышленных предприятий в современных экономических условиях является их энергоэффективность, что в процессе эксплуатации и развития сводится к минимизации суммарных потерь электроэнергии при ее транспортировании [1]. Планирование и эффективное воздействие на величину указанных потерь в рассматриваемых системах предлагается осуществлять на основе оценки потенциала энергосбережения и определения перечня и затратности технически реализуемых с этой целью мероприятий [2].

Оценка потенциала энергосбережения в СЭС основывается на вычислении разницы между потерями активной электроэнергии в реальной системе (за некоторый период времени, например, год) и их минимальным значением в системе, параметры которой оптимизированы. Очевидно, что дополнительный и, на первый взгляд, косвенный результат такой оценки, перечень параметров СЭС, значения которых в "идеальной" и реальной СЭС существенно отличаются – определит состав и характер энергосберегающих мероприятий, что, в свою очередь, и позволит ранжировать последние по затратности.

Методической основой предложенного алгоритма оценки потенциала энергосбережения в СЭС является постановка задачи оптимизации при использовании в качестве критерия последней суммарных потерь электроэнергии в системе. А для реализации такой задачи необходимо, прежде всего, создание математической модели (алгоритма вычисления указанных потерь) системы в целом и обоснование перечня ограничений рассматриваемой условной оптимизации.

Общие потери активной электроэнергии в системе электроснабжения можно структурно представить как сумму потерь на различных ее уровнях, а именно: источниках питания предприятия, внутризаводских сетях и цеховых сетях. Такой подход обусловлен удобной (наглядной) организацией внедрения энергосберегающих мероприятий и их оценкой по экономическим и техническим показателям как отдельно по структурным службам эксплуатации электрических сетей, так и по предприятию в целом, либо в различной совокупности мероприятий по службам каждого технологического подразделения.

Обобщенная схема (модель) определения суммарных потерь активной электроэнергии в СЭС предприятия в целом и их анализа, показанная на рисунке, представляет собой структуру, состоящую из отдельных вычислительных блоков, позволяющих оценить потери отдельно на каждом иерархическом уровне и в целом по исследуемой системе. Так алгоритмическая структура данной модели

предполагает выполнение следующих операций и расчетов.

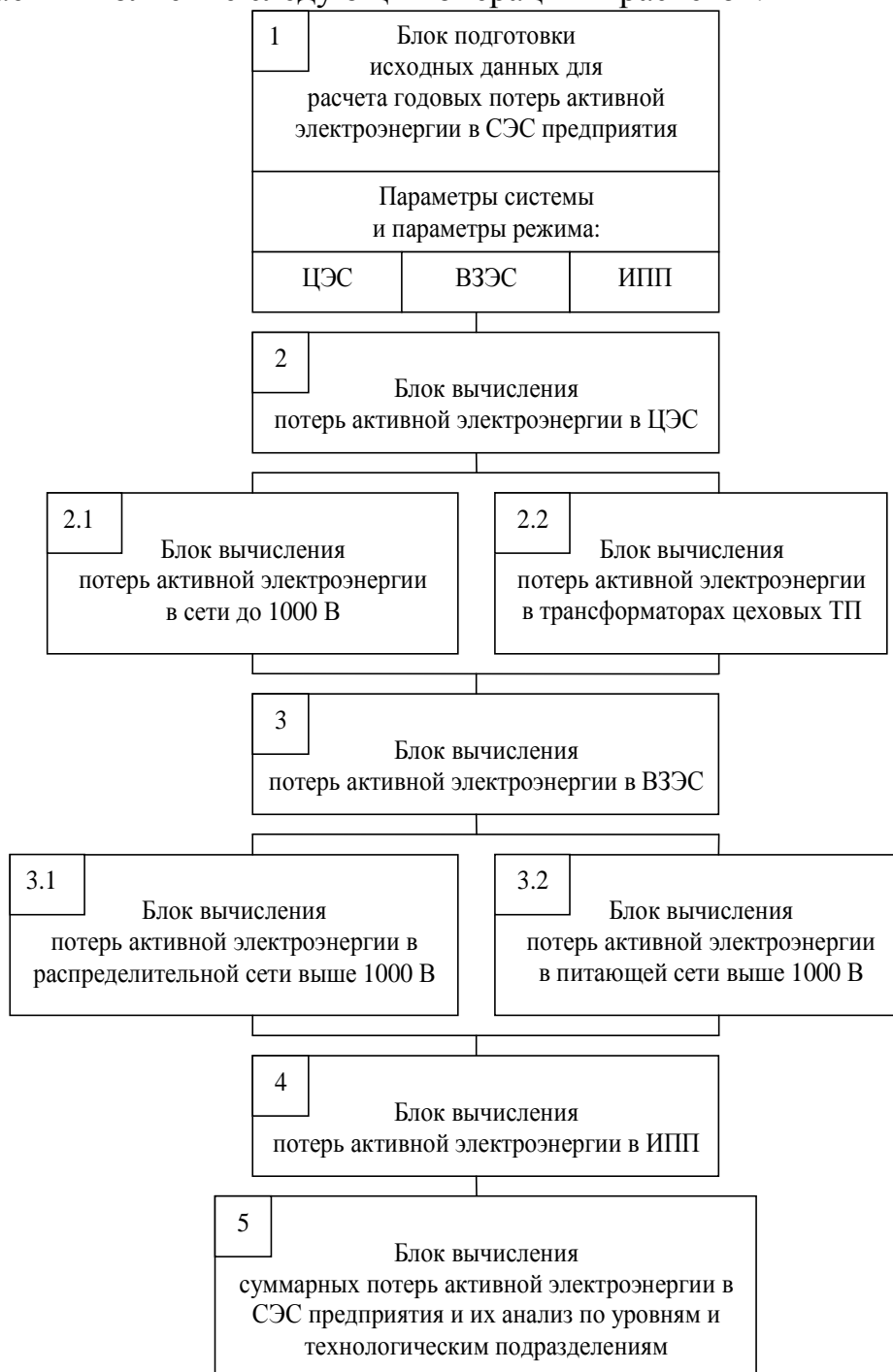


Рис. 1. Обобщенная схема определения суммарных потерь активной электроэнергии в СЭС промышленного предприятия

В блоке 1 подготовки исходных данных устанавливаются значения параметров, характеризующих структуру СЭС и ее режимы, необходимые для вычисления потерь активной электроэнергии по уровням иерархии и системы в целом. В базу данных входят: конструктивные параметры передающих и преобразующих элементов исследуемой системы, а также средства компенсации реактивной мощности (КРМ) отдельно по цеховой (ЦЭС) и внутриводской (ВЗЭС) электрическим сетям и источникам питания предприятия (ИПП); схема связи между узлами электрической сети всех уровней иерархии; электрические нагрузки по распределительным узлам цеховой сети до 1000 В, а также узлам

внутризаводской сети; время максимальных потерь мощности для каждого узла электрической сети; технические условия на присоединение к сетям внешнего электроснабжения (мощность питающей системы при коротком замыкании на шинах источника, номинальное напряжение сетей внешнего электроснабжения).

В блоке 2 вычисления потерь активной электроэнергии на питающих участках и трансформаторах ЦЭС основной расчетов является математические модели, изложенные в [3,4]. В указанных моделях учитываются количество цеховых ТП, распределение электрической нагрузки до 1000 В по трансформаторам последних, места расположения ТП, мощность компенсирующих устройств, подключенных к шинам РУ 0,4 кВ.

Вычисление потерь активной электроэнергии на распределительных и питающих участках ВЗЭС (3) также основано на использовании известной модели, учитывающей параметры ВЗЭС, значение которых могут быть улучшены с точки зрения рассматриваемых потерь [5]. Список этих параметров включает: количество распределительных узлов сети выше 1000 В, координаты места расположения этих узлов, распределение электрической нагрузки по узлам внутризаводской сети, мощности КУ, подключенных к распределительным узлам ВЗЭС [4], сечения проводников внутризаводской сети.

Вычисление потерь активной электроэнергии в ИПП (блок 4) осуществляется на моделях, аналогичных используемым во втором и третьем блоках, так как определение потерь в преобразующих элементах ИПП (если ими является понизительные подстанции) алгоритмически совпадает с расчетом потерь в трансформаторах, с тем отличием, что изменяются только конструктивные параметры последних и режимы электропотребления. В случае питания электропотребителей предприятия от подстанции без трансформации, рассматриваемые расчеты будут аналогичны расчетам потерь в элементах ВЗЭС.

В блоке 5 вычисляются суммарные потери активной электроэнергии в СЭС предприятия и осуществляется их экономический анализ по уровням и технологическим подразделениям на предмет ранжирования энергосберегающих мероприятий, предложенных для исследуемой СЭС.

К параметрам СЭС, на значения которых будут накладываться ограничения в процессе решения задачи оптимизации на основе рассмотренной обобщенной модели, относятся:

1. Количество цеховых ТП ( $N$ , шт.), диапазон варьирования которого будет определяться следующим образом:

$$S / S_n^{нб} \leq N \leq M / m,$$

где  $S$  – электрическая нагрузка объекта (технологического подразделения, например цеха, участка, корпуса и т.д., либо нескольких, объединенных по территориальному или технологическому принципу), кВА;  $S_n^{нб}$  – наибольшая номинальная мощность трансформатора из ряда, рассматриваемого списка, предлагаемого к установке на предприятии, кВА;  $m$  – число присоединений к шинам РУ 0,4 кВ ТП, минимальное число присоединений к ним равно единице, шт.;

$M$  – количество узлов (электроприемников), подключаемых к ТП, шт.

2. Электрическая нагрузка ( $S_I$ , кВА) на каждую ТП не должна превышать номинальную мощность трансформаторов ТП ( $S_H$ , кВА), т.е.:

$$S_H \geq S_I / (n \cdot K_3),$$

где  $n$  – количество трансформаторов ТП, шт.;  $K_3$  – коэффициент загрузки трансформаторов ТП (равен 1 для однитрансформаторной ТП, и 0,65 либо 0,7 – для двухтрансформаторной ТП соответственно с воздушной и масляной системой охлаждения).

Аналогичное ограничение накладывается на номинальные мощности трансформаторов ИПП в случае, если ими являются понизительные подстанции.

3. Координаты размещения каждой ТП ( $(x_{ТП}, y_{ТП})$ , м), расположение которых может быть недопустимым с точки зрения технологических и территориальных условий, ограничиваются следующим образом:

$$\begin{aligned} x_{min} &\leq x_{ТП} \leq x_{max}; \\ y_{min} &\leq y_{ТП} \leq y_{max}; \\ (x_{ТП}, y_{ТП}) &\notin Z_i, i = \overline{1, H} \quad , \end{aligned}$$

где  $(x_{min}, y_{min})$ ,  $(x_{max}, y_{max})$  – соответственно минимально и максимально возможные значения координат размещения ТП, м;  $Z_i$  – множество координат всех точек площади, которые принадлежат  $i$ -ой замкнутой зоне недопустимого размещения ТП;  $H$  – количество недопустимых зон.

Аналогичное ограничение накладывается на размещение распределительных узлов ВЗЭС и ИПП.

4. Количество распределительных узлов выше 1000 В ( $NI$ , шт.). Максимальное его значение, исходя из рекомендаций на сооружение распределительных подстанций (РП) выше 1000 В, при наличии не менее 6 отходящих от них линий, определится количеством подключаемых к РП трансформаторов ТП или высоковольтных электроприемников ( $M1$ ) деленное на шесть с последующим округлением до целого значения. Минимальное значение указанного параметра может быть равно и единице, но возможно и ограничение (см. п.5) по токовой нагрузке, приходящейся на рассматриваемый узел, определяемое номинальным током ячейки на вводе РП конкретного конструктивного исполнения. Ограничение по указанному параметру принимает вид:

$$1 \leq NI \leq M1 / 6 .$$

5. Электрическая нагрузка по току распределительного узла выше 1000 В ( $I_{РП}$ , А) не должна превышать номинальный ток ( $I_k$ , А) ячейки к – ого конструктивного исполнения на вводе распределительного устройства узла:

$$I_{РП} \leq I_k .$$

6. Сечения проводников всех участков ВЗЭС, должны быть выбраны с учетом основных технических ограничений [6], а именно: удовлетворять требованиям в отношении предельно допустимого нагрева с учетом не только нормальных, но и послеаварийных режимов, термической стойкости кабелей токам короткого замыкания, а также соответствовать проверке по экономической плотности тока. Все проверки по указанным требованиям связаны с увеличением ранее выбранного (по одному из условий) сечения ( $s$ , мм<sup>2</sup>). Значение последнего в диапазоне варьирования такого параметра, как сечение передающих участков сети ( $F$ , мм<sup>2</sup>), определит его минимальную границу. Максимальное же значение этого диапазона ограничится количеством кабельных линий ( $m_1$ ), допустимых к подключению с точки зрения конструктивного исполнения ячейки распределительного устройства выше 1000 В и представленного в его паспорте сечения ( $s_1$ , мм<sup>2</sup>). Тогда ограничения на сечения проводников всех участков ВЗЭС определяются условием:

$$s \leq F \leq m_1 \cdot s_1.$$

7. Предельное максимальное значение номинальных мощностей КУ ( $Q_{HKV}$ , кВАр), подключенных к шинам РУ 0,4 кВ ТП, не должно превышать значения нагрузок по реактивной мощности каждой секции шин РУ 0,4 кВ трансформаторной подстанции ( $Q_T$ , кВАр) с учетом реактивных потерь ( $\Delta Q_T$ , кВАр) в ее трансформаторах. Минимальное значение номинальных мощностей этих устройств выбирается из предлагаемого для установки на предприятии перечня КУ ( $Q_{HKV}^{min}$ , кВАр). Аналогичное ограничение с точки зрения баланса реактивных мощностей накладывается и на номинальные мощности КУ высокого напряжения ( $Q_{BKV}$ , кВАр), с тем отличием, что здесь учитываются реактивные потери во всех элементах питающего участка сети узла ( $\sum Q_{\Pi}$ , кВАр), к которому эти устройства подключаются. Нагрузка по реактивной мощности этого узла ( $Q_{РП}$ , кВАр) корректируется с учетом суммарной мощности компенсирующих устройств ( $\sum Q_{HKV}$ , кВАр) ТП, получающих питание от узла. Таким образом, ограничения по мощностям КУ низкого и высокого напряжений будут иметь вид:

$$Q_{HKV}^{min} \leq Q_{HKV} \leq Q_T + \Delta Q_T,$$

$$Q_{BKV}^{min} \leq Q_{BKV} \leq Q_{РП} - \sum Q_{HKV} + \sum \Delta Q_{\Pi}$$

8. Ток короткого замыкания на шинах источника питания относительно своего уровня иерархии СЭС ( $I_{кз}$ , кА) не должен превышать отключающей способности принятой коммутирующей аппаратуры конкретного  $k$ -ого исполнения ( $I_{отк_k}$ , кА), то есть:

$$I_{кз} \leq I_{отк_k}.$$

И, наконец, в обязательном порядке при определении источников питания

для каждого уровня системы должно выполняться основное требование к СЭС – обеспечение надежности электроснабжения. Это требование для электроприемников I-ой категории алгоритмически реализуется обязательным использованием резервного источника питания с автоматическим вводом последнего.

### ***Вывод.***

Планирование энергосберегающих мероприятий в системах электроснабжения промышленных предприятий предлагается осуществлять на основе оценки их потенциала энергосбережения. Принцип этой оценки состоит в вычислении разницы между потерями активной электроэнергии в реальной системе и их минимальным значением в системе, параметры которой оптимизированы. Основой алгоритма оценки потенциала энергосбережения для систем электроснабжения промышленных предприятий является разработанная математическая модель вычисления потерь активной электроэнергии в целом по системе. Для выполнения оптимизации основных параметров системы по минимуму потерь электроэнергии в ней предложен основной перечень ограничений на параметры системы и ее режимов.

### **Список литературы**

1. Кузнецов В.Г., Тугай Ю.І. Тенденції розвитку систем електропостачання //Електротехніка та електроенергетика. – 2000. – №2. – С.73-76.
2. Качан Ю.Г., Дьяченко В.В. Об оценке потенциала энергосбережения в системах электроснабжения промышленных предприятий //Інтегровані технології та енергозбереження: Щоквартальний наук.-практ. журн. – Харків: НТУ "ХПІ", 2005. – № 2. – С.154-156.
3. Качан Ю.Г., Дьяченко В.В. О формировании энергоэффективной схемы цеховой электрической сети //Інтегровані технології та енергозбереження //Щоквартальний наук.-практ. журн. – Харків: НТУ "ХПІ", 2006. – № 2. – С.21-26.
4. Качан Ю.Г., Дьяченко В.В. Влияние способов компенсации реактивной мощности на эффективность промышленных электрических сетей //Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2005 – Вип.4 (33). – С.60-63.
5. Качан Ю.Г., Дьяченко В.В. Распределение электрической нагрузки по узлам внутризаводской сети с учетом фактора энергосбережения //Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук.-техн.зб. – 2005. – Вип. 74. – С.20-24.
6. Правила устройств электроустановок. – М.: Энергосервис, 2002. – 608 с.