

УДК 658.26

**Т. И. ОВЧАРЕНКО**, доцент кафедры электроэнергетики**П. В. ВАСЮЧЕНКО**, канд. пед. наук, доцент кафедры электроэнергетики**И. Г. КИРИСОВ**, ассистент кафедры электроэнергетики

Украинская инженерно - педагогическая академия, г. Харьков

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ, КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ

*В статье рассмотрены особенности повышения эффективности работы систем электроснабжения промышленных предприятий за счет проведения комплексного анализа технико-экономических показателей, проведения энергетического аудита существующих сетей.*

*У статті розглянуті особливості підвищення ефективності роботи систем електропостачання промислових підприємств за рахунок проведення комплексного аналізу техніко-економічних показників, проведення енергетичного аудиту існуючих мереж*

### Постановка проблемы

Украина характеризуется весьма низкой энергоэффективностью в промышленном производстве и самым высоким уровнем энергоемкости внутреннего валового продукта среди европейский стран (0,74 кг у.т./у.е. против 0,23 кг у.т./у.е. в Великобритании) [2].

Общие потери электроэнергии на всех классах напряжения составили 19,9 % от объема выработанной электроэнергии. Стран с такими потерями электроэнергии в Европе нет.

Для обеспечения конкурентоспособности существующих предприятий необходимо проведение комплекса мероприятий по повышению энергоэффективности, снижению потерь мощности в существующих сетях и соответственно снижения энергетической составляющей в себестоимости конечного продукта.

### Анализ последних исследований и публикаций

Причинами низкой энергоэффективности является:

- техническая изношенность электрооборудования, выработавшего свой расчетный ресурс, что существенно снижает безопасность обслуживания узлов нагрузки и надежность всей системы электроснабжения (СЭС);
- нерациональные режимы работы основного электрооборудования;
- устаревшие схемные решения питающих и распределительных сетей;
- значительные перетоки реактивной мощности (РМ) во внутривоздушных сетях;
- стабильная неравномерность суточных графиков нагрузок;
- существенные отклонения показателей качества электроэнергии (ПКЭЭ) от нормируемых ГОСТ 13109-97;

Кроме того, причиной низкой энергоэффективности промышленных производств является нестабильность экономических процессов. В СЭП промышленных предприятий (ПП) происходят количественные и качественные эволюции электрических нагрузок (ЭН). Растет число нелинейных, несимметричных и резкопеременных электроприемников (ЭП), что отражается на качестве электроэнергии (КЭ), оказываемом на низком уровне практически по всем показателям. Это в значительной степени влияет на технологический режим работы как отдельных ЭП, так и их групп. При некачественной электроэнергии потребители несут существенный ущерб из-за сокращения срока службы электрооборудования и перерасхода электроэнергии. Проблема энергосбережения в стране переросла в проблему национальной безопасности.

Суточные графики потребления электроэнергии характеризуются низким заполнением, низким коэффициентом загрузки силовых трансформаторов. Поэтому стоимость передачи и распределения электроэнергии в СЭС высокая [1, 2].

### Постановка задачи

В существующих условиях, подорожания энергетических ресурсов, необходимости повышения конкурентоспособности отечественного товаропроизводителя, необходимости снижения энергетической зависимости от внешних поставщиков, особо остро стоит вопрос повышения энергетической эффективности существующих сетей промышленных предприятий, которые в свою очередь, в большинстве случаев, морально и физически устарели и не отвечают современным требованиям, не только по надежности и качеству электроэнергии но и по технико-экономическим показателям.

### Основной материал

Учитывая устойчивую неравномерность в настоящее время графиков ЭН можно оптимизировать электропотребление методом активного управления электропотреблением, позволяющим осуществить целенаправленное формирование графика нагрузки путем маневрирования электропотребления.

Различают горизонтальное маневрирование (сдвиг нагрузки по оси времени), вертикальное маневрирование (изменение величины мгновенной мощности) и комбинированное – комбинация горизонтального и вертикального маневрирования.

К реализации принимается одна из тех комбинаций, при которых обрабатывается график нагрузки без снижения планового выпуска продукции.

Уплотнение графиков ЭН возможно при групповом автоматическом управлении режимом работы наиболее энергоемких технологий. Повышению энергоэффективности способствует комбинированное использование электроэнергии по ночному тарифу.

Для обеспечения стабильности работы предприятия составляют графики ограничения потребления мощности и электроэнергии при перерывах электропотребления на основании данных об удельных ущербах, комплексных схем технологического процесса и системы электроснабжения предприятия, плана по номенклатуре выпускаемой продукции с указанием очередности ввода их в действие.

Внедрение таких графиков повысит эффективность работы предприятий с учетом возможных ограничений электроснабжения в зависимости от продолжительности ограничения и очередности ввода графика в действие особенно в период прохождения максимума нагрузки в энергосистеме.

Поэтапная реконструкция действующих СЭС ПП предусматривает замену устаревшего электрооборудования на новые типы с повышением КПД, степени надежности, внедрения современных энергосберегающих технологий, обоснованное изменение схем питания цеховых трансформаторов, укрупнение коммутационных узлов, перевод внутривародской сети на рациональные уровни напряжения [1].

Как показали исследования действующих предприятий, СЭС не являются рациональными с позиций обеспечения качества электроэнергии, регламентируемого ГОСТ 13109-97. Это вызвано неравномерным распределением несимметричных нагрузок, наличием вентильных преобразователей, резкопеременным характером нагрузки.

В цехах с несимметричной резкопеременной нагрузкой в рабочих режимах коэффициент искажения синусоидальности напряжения  $K_U$  достигает 20–24 %, что значительно превышает допустимые значения (для сетей до 1 кВ  $K_U \leq 8\%$ ). Аналогичная ситуация и с отклонением напряжения  $\delta U_y$ , постоянно в течении суток превышающие допустимые значения.

Как показали результаты исследований, электроэнергетика несет двойной ущерб, связанный, во-первых, с покрытием потерь в результате работы электроустановок в неоптимальных режимах, а во-вторых, из-за ограниченного внедрения результатов исследований.

Проведенные исследования на действующих предприятиях режимов работы отдельных цехов (сборочных, литейных, термообработки) показали, что существенного повышения эффективности работы СЭС объектов можно достичь оптимизацией уровней напряжения.

Таким образом, при анализе эффективности режимов СЭС необходимо учитывать показатели качества электрической энергии (ПКЭЭ). Это связано с влиянием параметров электроэнергии на режим работы сетевого оборудования и ЭП с ухудшением технико-экономических показателей режимов СЭС в целом при отклонениях ПКЭЭ от нормируемых значений. В качестве критерия экономической эффективности используется величина потерь активной мощности, обусловленных отклонениями каждого из ПКЭЭ от нормируемых значений.

В соответствии с ГОСТ 13109-97 регулирование напряжения в СЭС осуществляется так, чтобы обеспечить допустимые отклонения на зажимах ЭП. Однако даже при изменениях напряжения в допустимых диапазонах экономичность работы ЭП в целом изменяется значительно. Исследования показали, что для цеховых электрических сетей оптимизацию режима напряжения целесообразно осуществлять по критерию снижения удельных расходов электроэнергии (УРЭ) на единицу продукции. При этом за счет поддержания оптимальных режимов напряжения на зажимах ЭП можно снизить УРЭ на 9–23 %.

Результаты исследования показали, что наиболее эффективным способом снижения электропотребления является выявление оптимальных (в области допустимых) напряжений для узла нагрузки, при которых существенно снижается потребление мощности. Это свидетельствует о целесообразности автоматизированного управления режимом напряжения с учетом его связи с электропотреблением.

Особенностью производств с однотипными производственными механизмами, для привода которых используют, как правило, АД, является проблема повышения КЭЭ. Уровень частоты и напряжения на зажимах АД влияет на потребление ими активной и реактивной мощностей, частоту вращения, на производительность механизмов. Т. е. отклонение напряжения может вызвать значительный ущерб. С целью минимизации этого ущерба применяют автоматические устройства для регулирования напряжения в СЭС предприятий, выполненные на элементах микропроцессорной техники. Критерием выбора оптимального напряжения – является минимум суммарного ущерба. Выражение для определения оптимального напряжения в узлах нагрузки имеет вид:

$$U_{\text{опт}} = \left( \frac{-2a_3 \pm \sqrt{(2a_3)^2 - 12a_2 \cdot a_4}}{6a_4} \right) U_H \quad (1)$$

где  $a_2, a_3, a_4$  – определяются по предварительным экспериментальным данным [3].

Устройство позволяет определить и поддерживать оптимальный уровень напряжения, при котором достигается минимум ущерба за счет повышения производительности производственных механизмов с асинхронным приводом, снижения потерь в электрической сети.

Повышение эффективности СЭС производства можно достичь за счет использования ресурсов от экономии. Поэтому важное значение имеет точный учет потерь электроэнергии в элементах сети и у потребителей.

В современных условиях поиска энергосберегающих технологий приходится учитывать потери электроэнергии различных вариантов, так как некоторые технологии меняют качество продукции и режим электропотребления. Для учета этих показателей необходимо воспользоваться формулой:

$$\Delta W = (K_K / K_P - \eta_{\text{П}} \cdot \eta_{\text{ИС}}) \omega \cdot A \quad (2)$$

где  $K_K$  – коэффициент, учитывающий изменение качества продукции по сравнению с базовыми вариантами;

$K_P$  – то же, но учитывающий изменение режима работы ЭП;

$\omega$  – удельный расход электроэнергии на единицу продукции;

$A$  – количество производимой продукции;

$\eta_{II}$  – к.п.д. передачи электроэнергии к потребителю;

$\eta_{ИС}$  – к.п.д. использования электроэнергии потребителя.

Величина коэффициента  $K_K$  находится из соотношения изменения расхода электроэнергии у потребителя продукции:

$$K_K = (\omega + \omega'' - \omega^\delta) / \omega \quad (3)$$

где  $\omega''$  – расход электроэнергии потребителя новой (измененной) продукции;

$\omega^\delta$  – то же, по базовой продукции.

Коэффициент  $K_P$ , отражающий изменение графика электрической нагрузки, определяется по формуле:

$$K_P = 1 - \Delta\omega_C^\delta \left( 1 - \frac{P_{MAX}^H \cdot \tau_{MAX}^H}{P_{MAX}^\delta \cdot \tau_{MAX}^\delta} \right) \quad (4)$$

где  $\Delta\omega_C^\delta$  – доля потерь электроэнергии в электрической сети к общей величине ее потребления ( $\Delta\omega_C^\delta = 0,12$ );

$P_{MAX}^H, P_{MAX}^\delta$  – активная мощность нового и базового вариантов, участвующая в максимуме нагрузки энергосистемы;

$\tau_{MAX}^H, \tau_{MAX}^\delta$  – годовое число часов этих нагрузок.

Этот метод определения потерь электроэнергии позволяет выбрать технологии, обеспечивающие минимум потерь.

Особое внимание в проблеме энергоэффективности уделено таким специфическим технологиям, как индукционные печи, электромагнитные литейные дозаторы жидких металлов, которые являются несимметричными, низкосинусными, импульсными нагрузками, оказывающим существенное влияние на ПКЭЭ.

Ход технологического режима таких ЭП обеспечивается использованием специальных преобразователей энергии, индуктивно-емкостных, полупроводниковых схем, взаимно влияющих на режимы СЭС.

Поэтому проблема электромагнитной совместимости стала весьма актуальной. Так, при эксплуатации электромагнитных литейных дозаторов имеют место проблемы влияния гармонического состава и отклонений фаз напряжений сети на производительность электроустановки, появление сверхтоков и перенапряжений в элементах сети.

Рост установленной мощности вентильных преобразователей, усложнение их схем, а также управление режимом работы приводимых механизмов обусловили обострение проблемы электромагнитной совместимости. К аспектам этой проблемы относятся генерирование высших гармоник (ВГ) силовой преобразовательной техникой, колебания амплитуды и фазы напряжения, обусловленные работой вентильных электроприводов.

Для обеспечения электромагнитной совместимости необходима регламентация ответственности потребителей и энергоснабжающей организации на границе раздела балансовой принадлежности электрических сетей.

Современное состояние полупроводниковой техники свидетельствует о том, что при сочетании различных типов и структур преобразователей напряжения представляется возможным решение задач полного или частичного симметрирования токов и напряжений,

компенсации реактивной мощности (КРМ), снижения размаха изменений напряжения, отклонение напряжения, что позволит исключить использование специальных средств обеспечения электромагнитной совместимости.

Особую сложность при эксплуатации СЭС представляет обеспечение нелинейных нагрузок оптимальной мощности компенсирующих устройств (КУ). Не учет ВГ, несинусоидальности токов и напряжений сети приводит к повышению коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения  $K_U$  в узлах нагрузки, увеличению реактивных составляющих токов отдельных гармоник и, следовательно, к увеличению потерь энергии в электрической сети, снижению срока службы изоляции электрооборудования. Поэтому компенсация реактивной мощности с учетом нелинейности нагрузок является весьма актуальной задачей.

Разработанный метод [4] расчета КУ с учетом несинусоидальности предусматривает определение компенсирующей емкости по величине мощности реактивных составляющих гармоник токов нагрузки и средневзвешенных напряжений по выражению:

$$C = \frac{\sum_{v=1}^{\infty} v \cdot U_v \cdot I_v \cdot \sin \varphi_v}{\omega \sum_{U=1}^{\infty} v^2 U_v^2} = \frac{Q_{P.T.}}{\omega \cdot U_{CB}^2} \quad (5)$$

где  $Q_{P.T.}$ ,  $U_{CB}$  – мощность реактивных составляющих гармоник токов нагрузки и средневзвешенное напряжение.

Применение тиристорного регулирования КУ позволяет обеспечить плавное непрерывное регулирование емкости КУ по заданному закону регулирования.

Интенсификация технологических процессов предъявляет высокие требования к качеству электроснабжения.

Эффективность работы СЭС в значительной степени зависит от рациональной КРМ, обеспечивающей существенный экономический эффект. Однако степень КРМ в электрических сетях страны значительно меньше оптимального значения.

Потребителем электроэнергии задаются оптимальные выходные значения реактивной мощности (РМ), которые должны быть обеспечены исходя из наличных мощностей компенсирующих устройств (ограниченных мощностей КУ).

Оптимальная КРМ возможна при:

- включении регулируемых КУ в часы максимума нагрузки энергосистемы;
- путем правильного экономического стимулирования потребления РМ [5];
- рациональной эксплуатации конденсаторных батарей, соблюдении температурного режима их содержания;

Выполнении предложенных мероприятий в условиях дефицита КУ обеспечит наиболее рациональное использование.

Энергетическая стратегия Украины предусматривает повышение эффективности энергоснабжения и энергопотребления использованием программ установления норм и контроля потребления, удельного расхода электроэнергии (УРЭ) в управляющих самоконтролирующих энергетических установках в целом по узлам нагрузки и отдельных групп ЭП, а также контролем электропотребления и УРЭ за различные периоды работы предприятия.

### Выводы

На основе анализа состояния существующих СЭП промышленных предприятий предложены современные способы повышения их эффективности путем снижения энергоемкости конечного продукта.

Перспективы дальнейших исследований

Перспективы в дальнейших исследованиях возможны только за счет комплексного

внедрения энергосберегающих мероприятий, проведения подробного анализа существующих сетей, устранения нерациональных узлов электроснабжения, с учетом современных подходов к осуществлению энергетического аудита промышленных предприятий.

Список литературы

1. Указания по проектированию электроснабжения промышленных предприятий (СН-174-75). М., Стройиздат. 1975. (Госстрой СССР).
2. Овчаренко А. С., Розинский Л.И. Повышение эффективности электроснабжения промышленных предприятий. К.: Техника, 1989.
3. Трофимов Г. Г., Абсалдынова Г. А., Абилов Р. Д. Комплексное устройство регулирования напряжения в электрических сетях промышленного производства. Тезисы докладов научно-технической конференции, Мариуполь, 1990.
4. Карпов Е. А., Климчук В. А. Особенности компенсации реактивных составляющих токов гармоник в электрических сетях с нелинейными нагрузками. Тезисы докладов научно-практической конференции, Мариуполь, 1990.
5. Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії між електропередавальною організацією та її споживачами // Офіційний вісник України. – 2002. – № 6.

**ANALYSIS OF THE EXISTENT SYSTEMS OF ELEKTROSUPPLY OF INDUSTRIAL ENTERPRISES, AS FACTOR OF INCREASE OF THEIR EFFICIENCY**

T. I. OVCHARENKO, associate professor  
P. V. VASYUCHENKO, Cand. Pedag. Scie., associate professor  
I. G. KIRISOV, assistant  
Ukrainian engineerno-pedagogical academy, Kharkov

*In the article the features of increase of efficiency of work of the systems of elektrosupply of industrial enterprises are considered due to conducting of complex analysis of texniko-economic indexes, conducting of power audit of existent networks.*

Поступила в редакцию 12.04 2012 г.