

Ю.Г.Качан, д-р техн. наук

(Украина, Запорожье, Запорожская государственная индустриальная академия)

В.В.Дьяченко

(Запорожский национальный технический университет)

АЛГОРИТМ СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Введение. При составлении программы энергосберегающих мероприятий промышленного предприятия применительно к его системе электроснабжения (СЭС) предполагается оценка потенциала энергосбережения. В разработанной методике [1] теоретической основой является постановка задачи оптимизации СЭС с использованием критерия – минимум суммарных потерь активной электроэнергии (ПАЭЭ) при ее передаче по всем элементам системы. Результатом такой оптимизации и будет так называемая энергоэффективная система электроснабжения, структура, перечень параметров которой (конструктивные характеристики всех элементов) и показатели режима потребления будут в совокупности соответствовать минимальному значению ПАЭЭ за заданный период времени при допустимых технических условиях эксплуатации системы. Для получения такой СЭС создана математическая модель (целевая функция) и сформированы ограничения рассматриваемой условной оптимизации [2].

Цель данной работы: разработка алгоритма синтеза оптимальной энергоэффективной системы электроснабжения применительно к типовой схеме (рис. 1). Рассматриваемая схема содержит следующие структурные элементы: цеховые электрические сети (ЦЭС); цеховые трансформаторные подстанции (ТП); внутривзаводские электрические сети (состоят из распределительной (РЭС), питающей электрической сети (ПЭС) и промежуточных распределительных пунктов (РП)); источник питания предприятия (ИПП), например, главная понизительная подстанция (ГПП).

Типовая схема СЭС промышленного предприятия легко адаптируется под реальную систему со своей структурой через представление в виде соответствующих исходных характеристик и связей между узлами электрической сети.

Постановка задачи. Для заданного списка ПР и высоковольтных ПЭ (ВПЭ) промышленного предприятия синтезировать его энергоэффективную систему электроснабжения. Это должна быть система, в которой суммарные ПАЭЭ во всех структурных элементах будут минимальны, т. е.:

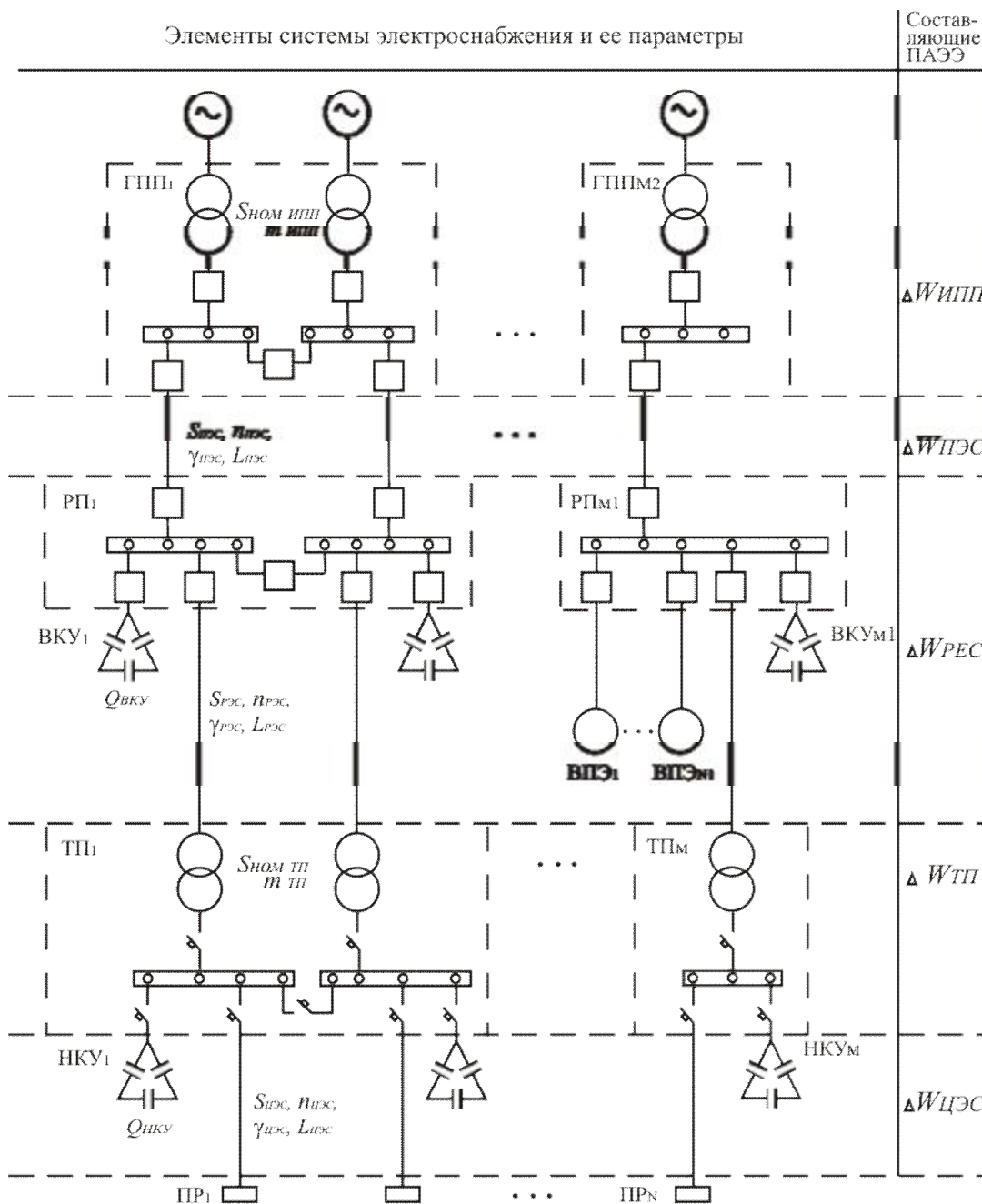


Рис.1. Типовая схема электроснабжения промышленного предприятия

$$DW = DW_{ЦЭС} + DW_{ТП} + DW_{РЭС} + DW_{ПЭС} + DW_{ИПП} \rightarrow \min. \quad (1)$$

В табл. 1 приведены переменные, которые являются исходными данными для вычисления ПАЭЭ, задания технических требований к режимам эксплуатации системы, выбора конструктивных параметров элементов сетей, предлагаемые для использования источники реактивной и их параметры. Для последующей оценки экономической эффективности энергосберегающих мероприятий вводятся также цены на электрооборудование и тариф на электроэнергию.

Изложение основного материала. Результатом решения задачи синтеза системы электроснабжения являются параметры (табл. 2), обуславливающие цель оптимизации. Часть из них определяется решением отдельных задач опти-

**Исходные данные для алгоритма синтеза системы электроснабжения
промышленного предприятия**

| Группа переменных | Наименование переменных | Обозначение переменных | Единицы измерения |
|--|--|--|--|
| ПР | -Количество | N | шт. |
| | - Электрическая нагрузка по активной и реактивной мощностям | Pp_i, Qp_i $i=1...N$ | кВт, квар |
| | -Координаты | (x_i, y_i) | м |
| | -Категория по надежности электроприемников | I, II, III | - |
| ВПЭ | -Количество | NI | шт. |
| | - Электрическая нагрузка по активной и реактивной мощностям | $P1p_i, Q1p_i$ $i=1...NI$ | кВт, квар |
| | Координаты | (xI_i, yI_i) | м |
| | -Категория по надежности | I, II, III | - |
| Источники внешнего электро-снабжения | -Номинальное напряжение электрической сети | $U_{ном}$ | кВ |
| | -Токи К.З. на шинах внешнего источника питания | I'', I_{∞} | кА |
| | - коэффициент реактивной мощности на границе балансовой принадлежности | $tg\varphi$ | отн.ед. |
| | Источники реактивной мощности | $Q_{нкuj}, j=1...M$ $Q_{вкuj1}, j1=M1$ $Q_{сдi_{min}}, i=1...N2$ | квар квар квар |
| Зоны недопустимой установки узлов: ТП, РП, ГПП | - синхронные двигатели | H | шт. |
| | - количество зон - координаты зон | $(x_i, y_i), i=1...H$ | м |
| Время нагрузок | - число часов максимума активной электрической нагрузки | $T_{ма}$ | ч |
| | Конструктивное исполнение ЦЭС, ВЗЭС, ТП, РП, ГПП | γ s n | $1/Ом \cdot мм^2 \cdot м$ $мм^2$ шт. |
| | - марка проводников (материал жилы) | | - |
| | - сечения | | кВА |
| | - количество ниток | | |
| | - тип трансформатора | $S_{номj}, j=1...M(M2)$ | шт. |
| | - номинальная мощность трансформатора | | |
| | - количество трансформаторов | $m_j (m2j)$ | шт. |

мизации, которые включены в общую схему алгоритма как самостоятельные блоки: блок I – оптимизация сечения (материала и количества ниток) проводников участков электрической сети (ЦЭС, РЭС, ПЭС); блок II – распределение электрической нагрузки по узлам электрической сети (ТП, РП и ИПП); блок III – определение места расположения узлов электрической сети (ТП, РП и ИПП); блок IV – выбор числа и мощности трансформаторов (ТП и ИПП).

Существующие методы поиска оптимальных решений при синтезе системы электроснабжения имеют существенный недостаток, который заключается в том, что получаемые решения отдельных задач электроснабжения рассматриваются, как самостоятельные. В предложенном алгоритме учтена их взаимосвязь и в результате перебора количества узлов электрической сети (ТП, РП и ИПП) и получения решений с помощью оптимизационных блоков для каждого

**Перечень оптимизируемых параметров системы электроснабжения
с точки зрения минимума годовых ПАЭЭ**

| Перечень параметров системы | Обозначение переменной (векторов) |
|---|--|
| Сечение проводников ЦЭС | $S_{ЦЭС} = \{s_1...s_i... s_N\}$ |
| Количество ниток проводников ЦЭС | $n_{ЦЭС} = \{n_1...n_i... n_N\}$ |
| Материал жилы проводников ЦЭС | $\gamma_{ЦЭС} = \{\gamma_1... \gamma_i... \gamma_N\}$ |
| Количество ТП | M |
| Распределение ЦЭС по ТП (схема ЦЭС) | $X_{MN} = \{x_{ij}\}$ |
| Координаты размещения ТП | $x_{уТП} = \{(x_1, y_1)...(x_j, y_j)...(x_M, y_M)\}$ |
| Номинальная мощность низковольтных КУ | $Q_{HKУ} = \{Q_{HKУ1}... Q_{HKУj}... Q_{HKУM}\}$ |
| Номинальная мощность трансформаторов ТП | $S_{НОМТП} = \{S_{НОМ1}... S_{НОМj}... S_{НОМM}\}$ |
| Количество трансформаторов ТП | $m_{ТП} = \{m_1...m_j...m_M\}$ |
| Количество РП | $M1$ |
| Распределение ТП и ВПЭ по РП (схема РЭС) | $X_{M(N+N1)} = \{x_{ij1}\}$ |
| Координаты размещения РП | $x_{уРП} = \{(x_1, y_1)...(x_{j1}, y_{j1})... (x_{M1}, y_{M1})\}$ |
| Сечение проводников РЭС | $S_{РЭС} = \{s_{11}...s_{j11}... s_{MM1}\}$ |
| Количество ниток проводников РЭС | $n_{РЭС} = \{n_{11}...n_{j11}... n_{MM1}\}$ |
| Материал жилы проводников РЭС | $\gamma_{РЭС} = \{\gamma_{11}... \gamma_{j11}... \gamma_{MM1}\}$ |
| Номинальная мощность высоковольтных КУ | $Q_{BKУ} = \{Q_{BKУ1}... Q_{BKУj1}... Q_{BKУM1}\}$ |
| Количество ИПП | $M2$ |
| Распределение РП (ТП, ВПЭ) по ИПП (схема ПЭС) | $X_{(N+N1)M2} = \{x_{j1j2}\}$ |
| Координаты размещения ИПП | $x_{уИПП} = \{(x_1, y_1)...(x_{j2}, y_{j2})... (x_{M2}, y_{M2})\}$ |
| Сечение проводников ПЭС | $S_{ПЭС} = \{s_{11}...s_{j1j2}... s_{M1M2}\}$ |
| Количество ниток проводников ПЭС | $n_{ПЭС} = \{n_{11}...n_{j1j2}... n_{M1M2}\}$ |
| Материал жилы проводников ПЭС | $\gamma_{ПЭС} = \{\gamma_{11}... \gamma_{j1j2}... \gamma_{M1M2}\}$ |
| Номинальная мощность трансформаторов ИПП | $S_{НОМИПП} = \{S_{НОМ1}... S_{НОМj2}... S_{НОМM2}\}$ |
| Количество трансформаторов ИПП | $m_{ИПП} = \{m_1...m_{j2}...m_{M2}\}$ |

варианта количества узлов. Для уменьшения количества вариантов перебора параметров системы используются уже разработанные эвристические алгоритмы поиска оптимальных решений таких задач, как формирование схемы электрической сети и выбор места расположения ее узлов [3 – 5]. Получается многомерная матрица решений с суммарными ПАЭЭ, из которой выбираются минимальные значения последних с конкретным перечнем искомым параметров системы.

На рис. 2 представлена блок-схема разработанного алгоритма, из которого видна суть всех вычислительных блоков.

В блоке I осуществляется перебор сечений проводников с одновременным изменением количества ниток и материала жилы для конкретной расчетной нагрузки по току участка сети. При этом ограничениями являются: количество отпущенных средств на реконструкцию (либо создание новой) электрической сети; возможность ее конструктивной реализации. Начальная граница диапазона изменяющихся сечений определяется условиями их выбора применительно к сетям напряжениям до и выше 1000 В.

В блоке II рассматривается матрица распределения узлов электрической сети по своим источникам питания (схема), например, для ЦЭС это распределение ПР по ТП. Элементы указанной матрицы равны двум значениям: 0 – если

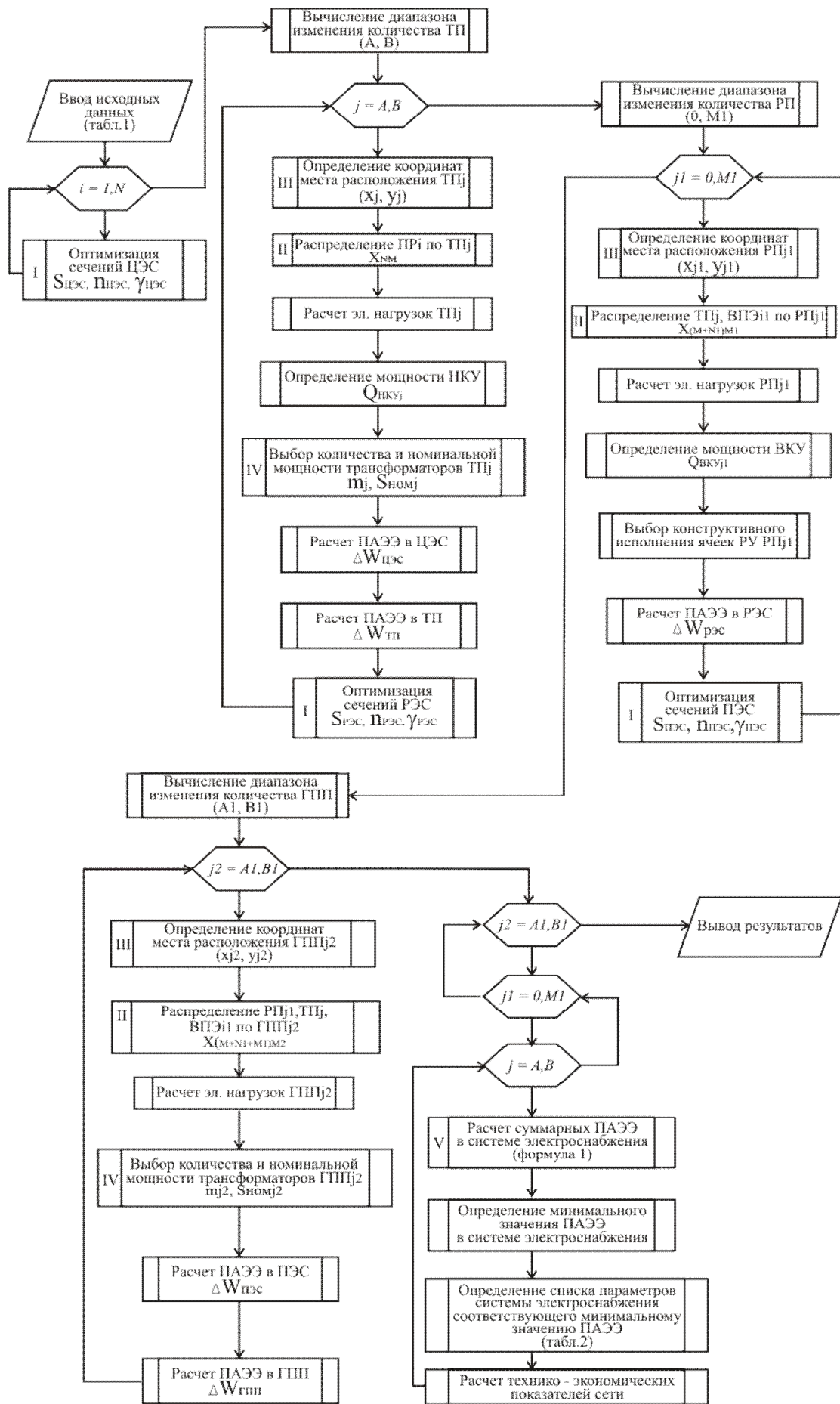


Рис.2. Блок-схема алгоритма синтеза энергоэффективной системы электроснабжения

связь между узлами отсутствует, 1 – если такова имеется. Такая схема подробно описана в работах в [3,4].

Определение оптимального места расположения узлов электрической сети (блок III) рассмотрено в источнике [5]. Его работа взаимосвязана с блоком II, т.е. для каждого допустимого места размещения узла сети конкретного иерархического уровня системы формируется своя схема связи между узлами с таким условием, чтобы суммарные ПАЭЭ на участках электрической сети были минимальными.

Расчет мощностей энергоэффективных компенсирующих устройств (КУ) выполняется из условия полной компенсации реактивной мощности в узлах сети, а их окончательный выбор (стандартное значение) ограничивается балансом реактивной мощности. Последние и представляют собой оптимальные значения номинальных мощностей низковольтных и высоковольтных КУ с точки зрения энергосбережения.

Выбор числа и мощности трансформаторов в блоке IV основан на переборе номенклатурного ряда заданных номинальных мощностей трансформаторов одновременно с их количеством (если нет ограничений с точки зрения надежности). Расчетные нагрузки по реактивной мощности при этом корректируются (уменьшаются) на значения номинальных мощностей КУ.

В завершающем блоке V формируется матрица значений суммарных ПАЭЭ для всех вариантов количества узлов электрической сети, с соответствующими им решениями оптимизационных блоков. Затем из полученного массива значений ПАЭЭ выбирается минимальное и соответственно этому значению выводятся все параметры системы электроснабжения, которые и являются решением рассматриваемой задачи. Параллельно составлению массива ПАЭЭ для каждого его значения (с соответствующими параметрами системы) рассчитываются стоимостные показатели электрической сети для последующей оценки эффективности энергосберегающих мероприятий.

Выводы. Результатом работы алгоритма поиска оптимальных параметров энергоэффективной системы электроснабжения (реализованного программным продуктом «POTENTIAL») является полный перечень ее параметров, соответствующих минимальному значению суммарных потерь активной электроэнергии за расчетный период. В качестве последнего наиболее удобно использовать годовой интервал. В данном алгоритме учитывается весь комплекс и функциональная взаимосвязь параметров системы.

Список литературы

1. Качан Ю.Г., Дьяченко В.В. Оценка потенциала и программы энергосбережения в системе электроснабжения на примере коксохимического производства // Энергетика: економіка, технології, екологія. – № 2(21.–с.55-59).
2. Качан Ю.Г., Дьяченко В.В. Методические основы повышения энергоэффективности системы электроснабжения промышленных предприятий //Гірн. електромеханіка та автоматика: наук.-техн.зб. – 2006. – Вип.76. – С.12-17.
3. Качан Ю.Г., Дьяченко В.В. Распределение электрической нагрузки по узлам внутриводской сети с учетом фактора энергосбережения //Гірнича електромеханіка та автоматика: наук.-техн.зб. – 2005. – Вип.74. – С.20–24.

4. 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.
5. Качан Ю.Г., Дьяченко В.В. О возможности распознавания топологии оптимальной системы электроснабжения //Гірн. електромеханіка та автоматика: наук.-техн.зб. – 2007. – Вип. 78. – С.3–5.