УДК 621.316.11

А.П. ЗАБОЛОТНЫЙ [1] (канд. техн. наук, доц.), **Д.В.ФЕДОША [1], А.М. МЕНЬКОВ [2], В.С. МАМБАЕВА [2]**

[1] Запорожский национальный технический университет,

ГП «Государственный институт проектирования промышленных предприятий»

zap@zntu.edu.ua

ФОРМИРОВАНИЕ УЗЛОВ НАГРУЗКИ ПРИ СИНТЕЗЕ СТРУКТУРЫ ЦЭС РАДИАЛЬНОЙ ТОПОЛОГИИ

Предложена процедура формирования промежуточного узла нагрузки при синтезе структуры цеховой электрической сети радиальной топологии, позволяющая определить оптимальную длину линии питающей узел нагрузки, а также учесть дискретность шкалы размеров силовых пунктов.

Ключевые слова: узел, нагрузка, электроприемник, электроэнергия, мощность, трансформатор, топология, цеховое электроснабжение, питающая сеть, центр электрических нагрузок, капитальные затраты.

При проектировании и модернизации систем цехового электроснабжения (ЦЭС) главной задачей является формирование узлов нагрузки (УН): определение их количества, мощности, мест расположения, распределение по ним приемников электроэнергии (ЭП), а также устройство промежуточных узлов нагрузки (ПУН), которые существенно влияют на объемы капитальных и эксплуатационных затрат.

Согласно исследованиям [1], решение задачи установки УН и ПУН должно осуществляться совместно с решением других задач, а именно: выбора мощности трансформаторов и группировки ЭП по УН и ПУН.

Решение задачи выбора количества УН и ПУН рекомендуется проводить, используя оценочные методы [1-3]. Однако эти методы не позволяют определить координаты местоположения ПУН. При этом решение локальной задачи формирования ПУН приводит к большому количеству вариантов для оценки, выбор которых зависит от субъективизма проектировщика.

В работе [2] формализована процедура и разработан алгоритм синтеза структуры ЦЭС радиальной топологии в котором, при формировании УН не учитываются особенности ЦЭС в результате чего не предусмотрено формирование ПУН. Разработка процедуры формирования ПУН при синтезе структуры ЦЭС радиальной топологии, таким образом, является актуальной научно-прикладной задачей.

Для решения данной задачи разработан алгоритм построения структуры ЦЭС [3], в котором, для формализации процедуры группировки ЭП по УН, ЭП условно были разделены на две группы: «Сильную техническую группу» (СТГ1) и «Слабую техническую группу» (СТГ2).

Целесообразность формирования ПУН в СТГ1 может проявиться только в случаях относительно большой удаленности и локальной скученности ЭП, когда расходы на радиальную распределительную сеть от УН до ЭП будут больше суммарных затрат на питающую сеть от УН к ПУН и на распределительную сеть от ПУН к этим ЭП.

Целесообразность установки ПУН в пределах группы СТГ2 как правило обусловливается значительным уменьшением расходов на распределительную сеть, в сравнении с затратами на сеть без ПУН, так как ЭП СТГ2 более удалены от УН нежели ЭП СТГ1. При этом, прокладка более длинной сети с большими затратами к другому УН может компенсироваться возможностью не увеличивать мощность силового трансформатора.

Технико-экономический расчет основан на сравнении двух вариантов исполнения локального участка ЦЭС, границами которого являются СТГ1 или СТГ2. Принятие, варианта с ПУН, осуществляется при выполнении условия:

$$C_I + \Delta W_I \cdot K_{CP} < C_{II} + \Delta W_{II} \cdot K_{CP}, \quad (1)$$

где C_I, C_{II} – капитальные вложения в первый и второй вариант в соответствии; $\Delta W_I, \Delta W_{II}$ – годовые потери энергии первый и второй вариант соответственно; K_{CP} – коэффициент, учитывающий приоритет потерь электрической энергии над капитальными вложениями определяется:

$$K_{CP} = T_O \cdot (C_1 + \sum_{i=2}^{To} (C_i - C_1)), \quad (2)$$

где T_O – срок окупаемости (в месяцах); c_1 – стоимость потребленной электрической энергии в первый месяц; c_i – стоимость потребленной электрической энергии в і-й месяц.

При этом капитальные вложения первого варианта зависят от четырех составляющих:

$$C_I = f(C_{РПВ}; C_M; C_{ПВ}; C_{Bi}), \quad (3)$$

© Заболотный А.П.,Федоша Д.В., Меньков А.М., Мамбаева В.С., 2013

где $C_{РПВ}$ – капитальные вложения в распределительную сеть от ПУН к ЭП; C_M – капитальные вложения в линию связи ПУН-УН; $C_{ПВ}$ – капитальные вложения в ПУН; C_{Bi} – капитальные вложения в УН.

Капитальные вложения второго варианта зависят от двух составляющих:

$$C_{II} = f(C_{PB}; C_{Bi}), \quad (4)$$

где C_{PB} – капитальные вложения в распределительную сеть от УН к ЭП;

C_{Bi} – капитальные вложения в УН.

Таким образом, метод сравнительной оценки предполагает анализ локального участка ЦЭС с определением ряда технически целесообразных вариантов ее выполнения и дальнейшее сравнение этих вариантов между собой по критерию удельных расходов.

Для решения данной задачи предложено ввести процедуру корректировки координат (xc; yc) центра электрических нагрузок (ЦЭН) с учетом расходов на питающую сеть, т.е. определить координаты (xc'; yc') «центра затрат» (ЦЭЗ) где суммарные затраты на распределительную и питающую сети достигают наименьшего значения (рис 1).

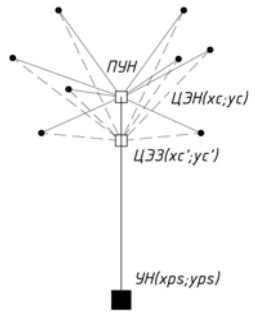

Рисунок 1 – Изменение координат ПУН

Участок питающей сети между ЦЭН и УН описывается вектором:

$$Lj = (xps - xc; yps - yc), \quad (5)$$

где xps, yps – координаты УН.

При разбиении этого вектора на N частей, численно равным длине участка питающей сети между ЦЭН и УН в метрах, будет происходить смещение точки расположения ЦЭН, это описывается вектором:

$$Lj' = \left(\frac{xps - xc}{N}; \frac{yps - yc}{N}\right) \quad (6)$$

Тогда новые по координаты точки расположения ЦЭН (x_f; y_f) определяются выражением:

$$\begin{cases} x_f = \frac{N-f}{N} \cdot xps + \frac{f}{N} \cdot xc \\ y_f = \frac{N-f}{N} \cdot yps + \frac{f}{N} \cdot yc \end{cases}, \quad (7)$$

где f = 1 – первый отрезок приближения, $f \in [1; N-1]$

При изменении координат расположения ЦЭН вычисляются согласно выражению (3) новые значения капитальных затрат C_I^f. Если они оказались меньше предыдущих, то осуществляется следующий шаг итерации (значение f принимается равным f+1).

Данная процедура повторяется до тех пор пока значения капитальных затрат текущей итерации не превысит значения кап затрат полученных на предыдущем шаге, т.е. $C_I^f > C_I^{f-1}$ Таким образом, значения координат полученным на предыдущем шаге итерации (x_{f-1}; y_{f-1}) и определяют точку расположения ЦЭЗ (xc'; yc') в которой возможно установить ПУН.

Одним из важным условий формирования ПУН является учет дискретности количества присоединений, Это обусловлено тем, что силовые пункты которые изготавливает электротехническая промышленность имеют конструктивное исполнение на 3,5,8 или 12 присоединений.

Такая особенность имеет и техническое основание - из-за большого количества присоединенных потребителей ток в питающей сети может достигать значительной величины; стандартный ряд сечений кабельной продукции может не удовлетворить такие требования, при этом стоимость автоматических выключателей для коммутации токов превышающих 250А возрастает на порядок.

Для решения задачи учета дискретизации, количества присоединений в ПУН, необходимо распределить ЭП на группы, определив координаты размещения ЦЭЗ для каждой из групп. После чего необходимо привести конструктивное исполнение ПУН к шкале стандартных размеров и осуществить ранжирование ЭП по критерию «желательной принадлежности» (КЖП) к ПУН (КЖП включает в себя такие параметры: расчетная мощность ЭП, его удаленность от ЦЭЗ, а также метка принадлежности технологическому процессу).

Если число присоединений выбранного конструктивного исполнения ПУН больше количества ЭП в его группе, необходимо оценить возможность присоединения ЭП с меньшим значением КЖП к другим ПУН или УН. Для этого необходимо произвести ранжирование таких ПУН по числу незадействованных присоединений, после чего начиная с ПУН имеющих большее число незадействованных присоединений производится оценка возможности отключения его ЭП с целью уменьшения размера этого ПУН. Отключенные ЭП распределяются

по другим ближайшим ПУН, начина с тех у которых имеется наименьшее число незадействованных присоединений.

На рис. 2 показана возможность запитать ЭП группы ПУН-1имеющего 12 присоединений от ПУН-2 имеющего 8 присоединений. Таким образом в ПУН-2 будут задействованы все 8 присоединений, а размер ПУН-1 можно будет уменьшить с 12 до 8 присоединений. Увеличение расходов на проводниковый материал будет незначительным по сравнению с уменьшением стоимости ПУН-1.

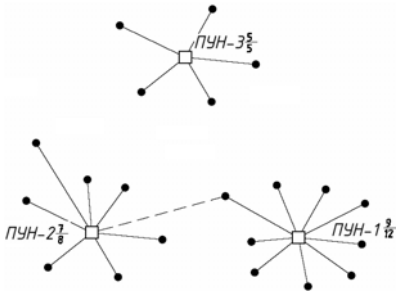

Рисунок 2 – Подключение ЭП к различным ПУН

В качестве оценочного критерия возможности присоединения ЭП к другим ПУН можно использовать оценку величины удельных годовых приведенных затрат (ГПЗ) в пределах участка этих ПУН при присоединении ЭП других групп.

Тогда для ПУН имеющих меньшее число незадействованных присоединений производится оценка ГПЗ участка подключения нового ЭП к ПУН до подключаемого ЭП, при этом необходимо учитывать увеличение ГЗП питающей линии.

Кроме того необходимо оценить изменение ГПЗ ПУН от которого был отключен ЭП при этом необходимо учитывать уменьшение ГЗП питающей линии, а также оценить возможность уменьшить размер этого ПУН.

В случае если величина суммарных приведенных ГПЗ этих двух ПУН после переключения ЭП окажется меньше чем до переключения, то можно считать что сформированы две новые группы для каждой из которых необходимо определить координаты ЦЭЗ.

Предложенная в работе процедура формирования ПУН при синтезе структуры ЦЭС радиальной топологии позволяет определить оптимальную длину питающей ПУН линии, а также учесть дискретность шкалы размеров силовых пунктов.

Полученные результаты можно использовать в составе алгоритма синтеза структуры ЦЭС. Это позволит не только автоматизировать систему построение оптимальной структуры распределительной сети с минимизированными коммуникационными потерями, но и разработать технические мероприятия по снижению капитальных вложений при построении такой сети за счет применения промежуточных узлов нагрузки, а также сократить сроки проектирования, что имеет существенное практическое значение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розвиток методу еквіпотенційних контурів для проектування розподільчої мережі / І.В. Авдєєв, А.П. Заболотний, Д.В. Федоша, С.А. Теліпайло та ін. // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". "Електроенергетичні та електромеханічні системи". – 2009. - № 63. – С. 3-7.

2. Федоша Д.В. Оптимальное проектирование систем электроснабжения / Д.В. Федоша // Електротехніка та електроенергетика. – 2012. - № 1. – С. 60-64.

3. Алгоритм визначення проміжних вузлів навантеження радіальних розподільчих мереж / А.П. Заболотний, Д.В. Федоша, К.І. Парусімова, С.В. Усенко // Електротехніка та електроенергетика. – 2010. - № 1. – С. 66-71.

REFERENCES

1. Avdeev I.V., A.P. Fedosha D.V., Telipaylo S.A., Mambayeva V.S. Development method equipotential contours for designing the distribution network. Visnik Nacional'nogo universitetu “L'vivs'ka politehnika”. 2009; 637: 3-7.

2. Fedosha D.V. Optimal design of power supply systems. Elektrotehnika ta elektroenergetika. 2012; 1: 60-64.

3. Zabolotny A.P., Fedosha D.V., Parusimova K.I., Usenko S.V. Algorithm for the intermediate nodes navantezhennya radial distribution networks. Elektrotehnika ta elektroenergetika. 2010; 1: 66-71.

Надійшла до редакції 27.02.2013 *Рецензент: Е.Г. Курінний*

А.П. ЗАБОЛОТНИЙ [1], Д.В. ФЕДОША [1], А.М. МЕНЬКОВ [2], В.С. МАМБАЄВА [2]
[1] Запорізький національний технічний університет,
[2] ДП «Державний інститут проектування промислових підприємств»

Формування вузлів навантаження при синтезі структури ЦЕС радіальної топології. Запропоновано процедуру формування проміжного вузла навантаження при синтезі структури цехової електричної мережі радіальної топології, що дозволяє визначити оптимальну довжину живильної лінії вузла навантаження, а також врахувати дискретність шкали розмірів силових пунктів.

Ключові слова: вузол, навантаження, електроприймач, електроенергія, потужність, трансформатор, топологія, цехове електропостачання, живить мережу, центр електричних навантажень, капітальні витрати.

A. ZABOLOTNY [1], D. FEDOSHA [1], A. MEN'KOV [2], V. MAMBAYEVA [2]
[1] Zaporizhzhya National Technical University
[2] GIPROPROM Inc.

Creation of Load Centers on Designing Workshop Energy Grid Structure of Radial Topology. On designing and upgrading of workshop energy supply systems the main objective is creation of load centers, namely, determination of their quantity and capacity, their allocation, distribution of the electrical energy receivers of each center and, besides, an arrangement of intermediate load centers that considerably influence upon the capital and operating costs. A solution of the task to install the load centers and intermediate load centers is to be implemented simultaneously to the other solutions, namely, calculating of the transformers capacity, grouping of the electrical receivers into the load centers and intermediate load centers. A solution of the task to determine the quantity of the load centers and intermediate load centers is advised to implement with applying of appraisal methods. However, these methods do not enable to determine coordinates of the intermediate load centers allocation. And the methods application to the whole object in order to solve such a local task results in a majority of options to appraise and the options selection depends on the designer`s subjectivity. A procedure has been formalized, the procedure to create the intermediate load center on designing the workshop energy grid structure of radial topology, and the procedure allows to determine an optimal electrical line length to feed the load center and it allows to take into account a scale discrecity of the power point dimensions. The results obtained can be applied as a part of the design algorithm of the workshop energy grid structure.
Key words: load center, load, electric receiver, electric energy, capacity, transformer, topology, workshop energy supply, energy grid, supply network, electric load center, capital cost.