

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОНИЖАЮЩЕЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ

Канд. техн. наук, доц. КРОТЕНОК В. В., студ. РАБСКАЯ Ю. В.

*Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого*

При проектировании городских электрических сетей возникает задача планирования и размещения объектов электроснабжения – кабельных и воздушных линий, трансформаторных и силовых подстанций и т. п. Электроснабжение всех объектов, с одной стороны, должно быть достаточно по мощности и удовлетворять требованиям надежности питания потребителей различных категорий, а с другой – экономически целесообразно организовано.

Вопрос о выборе места фактического размещения понижающей трансформаторной подстанции (ПТП) в нормативных документах [1–3] не регламентируется, поскольку отсутствует практическая методика технико-экономического обоснования выбора места для размещения ПТП. Поэтому задача оптимального размещения ПТП на стадии проектирования является актуальной.

Критерием для выбора местоположения ПТП можно принять функцию оптимизации:

$$F(x, y) = x + y; F(x, y) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $x$  – затраты на сооружение сети, руб.;  $y$  – затраты на потери, руб.

Затраты на сооружение определяют: место расположения подстанции, которое включает в себя длину кабельных или воздушных линий и их сечение, мощность понижающего трансформатора, график нагрузки и параметры сети.

Потери энергии зависят от графика нагрузки потребителей, типа трансформатора, длин проводников и их сечений. Выбор сечения проводников по критерию экономической плотности тока в общем случае не отвечает минимуму затрат и требует более точного экономического обоснования. Таким образом, значение функции затрат зависит от составляющих, обуславливающих затраты на сооружение подстанции и потери энергии.

Один из вариантов решения поставленной задачи – размещение ПТП в центре электрических нагрузок, являющемся по своей сути аналогом центра масс [1–4]. В общем случае это решение не обеспечивает оптимальности [5]. Аналитическое решение рассматриваемого вопроса сложно из-за нерегулярной нагрузки потребителей, изменяющейся во времени. Наличие сложных функциональных зависимостей и множественность параметров делают поиск решения практически невозможным.

Выбор местоположения, типа, мощности и других параметров понижающей трансформаторной подстанции в основном обуславливается величиной и характером электрических нагрузок, размещением ПТП на генплане, а также производственными, архитектурно-строительными и эксплуатационными

требованиями. Важно, чтобы ПТП устанавливалась как можно ближе к центру питаемых от нее нагрузок. Намеченное место расположения уточняется по условиям планировки предприятия, ориентировочным габаритам и типу (отдельно стоящая, пристроенная, внутренняя, закрытая, комплектная) подстанции.

На практике наиболее распространенными при выборе места расположения подстанции являются методы медиан и центра масс (центра тяжести) [1, 2, 4, 6], основанные на принципах, используемых в математике, механике и физике.

**Метод медиан.** Нагрузки представляют собой совокупность точек, лежащих на плоскости. Метод медиан заключается в разбиении этих точек на тройки (вершины треугольника) и нахождении в каждом таком треугольнике точки пересечения медиан. Затем полученные точки пересечения медиан опять выбираются в качестве вершин треугольников и находятся точки пересечения медиан. Это продолжается до тех пор, пока не получится единственная точка, которая и будет согласно этому методу оптимальным положением подстанции.

**Метод центра электрических нагрузок.** Центр электрических нагрузок – это геометрическая точка, положение которой характеризует распределение нагрузок (масс в теле или механической системе).

Координаты центра масс определяются формулами:

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^k P_i x_i}{\sum_{i=1}^k P_i}; \quad y_c = \frac{\sum_{i=1}^k P_i y_i}{\sum_{i=1}^k P_i}. \quad (2)$$

где  $P_i$  – мощность  $i$ -й нагрузки;  $x_i, y_i$  – координаты  $i$ -й нагрузки;  $x_c, y_c$  – координаты центра электрических нагрузок (ПТП).

Считается, что найденные координаты ПТП являются оптимальными с точки зрения экономии на длину и сечение кабельных линий. Но если использовать численные методы нахождения экстремумов функций, то решение поставленной задачи дает более экономичный вариант расположения ПТП [7].

Одним из методов оптимизации, который может быть использован, является метод сопряженных градиентов [8, 9]. На рис. 1 представлены результаты определения координат ПТП с помощью метода центра электрических нагрузок и численного метода сопряженных градиентов.

Определив длину и стоимость кабельных линий для обоих методов, было выяснено, что стоимость линий наименьшая при использовании метода сопряженных градиентов. Применение данного метода позволяет проектировать более экономичные сети.

На практике найденные координаты могут совпадать с объектами, где расположение ПТП невозможно. Поэтому использование метода центра электрических нагрузок будет неэкономичным из-за вынужденного смещения координат ПТП. В данном случае проектирование наиболее экономичных сетей сводится к решению задачи минимизации затрат с помощью метода сопря-

женных градиентов с интервалами ограничений. Применение интервалов ограничений позволяет смещать координаты ПТП, при этом точка расположения подстанции будет наиболее экономичной.

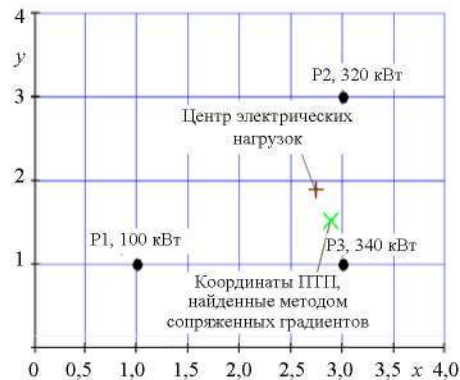


Рис. 1. Результаты определения координат ПТП с использованием метода центра электрических нагрузок и численного метода сопряженных градиентов

На рис. 2 представлены результаты расчета расположения ПТП с вынужденным смещением координат.

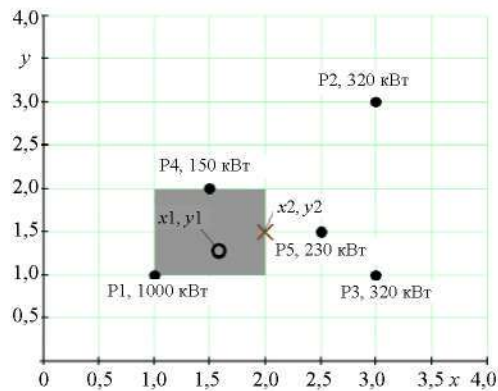


Рис. 2. Результаты расчета расположения ПТП с вынужденным смещением координат

На рис. 2 координаты  $x_1, y_1$  соответствуют положению ПТП, определенному методом сопряженных градиентов без интервалов ограничений. Серая зона на рис. 2 – это площадь, где расположение подстанции запрещено; используя интервалы ограничений при оптимизации, получены координаты  $x_2, y_2$ , которые соответствуют минимуму затрат на закупку кабельных линий.

На практике кабельные трассы прокладывают под прямым углом, вдоль зданий (нагрузок). Так как найденные гипотенузы (отрезки, соединяющие точку расположения ПТП и точки нагрузок) экономически оптимальны, катеты, образующие треугольники с исходными гипотенузами, будут экономически оптимальны (рис. 3).

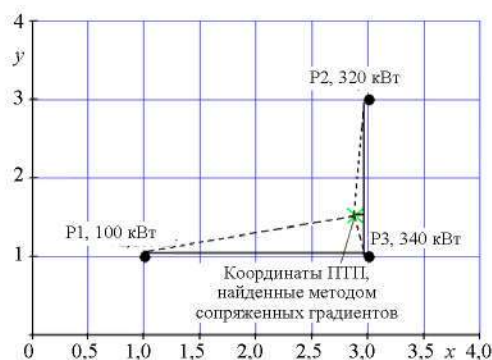


Рис. 3. Схема, поясняющая прокладку кабельных трасс

## ВЫВОДЫ

1. Решение задачи минимизации затрат является актуальным, позволяющим проектировать более экономичные сети.
2. Размещение ПТП в центре электрических нагрузок не обеспечивает минимум затрат.
3. Использование методов оптимизации для поиска координат ПТП целесообразно даже при вынужденном смещении координат ПТП.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по проектированию городских электрических сетей: РД 34.20.185–94. – М.: РАО ЕЭС России, 1994.
2. Инструкция по проектированию наружного освещения городов, поселков и сельских населенных пунктов: СН 541–82. – М.: Госгражданстрой, 1982.
3. Строительные нормы и правила. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений: СНиП 2.07.01–89. – М.: Госкомархитектуры, 1989.
4. Л и п к и н, Б. Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок / Б. Ю. Липкин. – М.: Высш. шк., 1990.
5. Г р и н к р у г, М. С. Задача проектирования системы электроснабжения на основе минимизации приведенных затрат / М. С. Гринкруг, С. А. Гордин // Двенадцатая всероссийская научно-техническая конференция «Энергетика, экология, надежность, безопасность». – Томск, 2006.
6. М е с т о п о л о ж е н и е и размещение подстанций [Электронный ресурс] Ресурс доступен по адресу <http://www.uran.donetsk.ua/~masters/2001/eltf/dey/ellib/ct2.htm>. – Год посещения 2011.
7. К р о т е н о к, В. В. Техничко-экономическое обоснование выбора места расположения подстанции / В. В. Кротенок, Ю. В. Рабская // Вестник ГТТУ имени П. О. Сухого. – 2011. – № 3. – С. 49–56.
8. B r a n c h, M. A. A Subspace, Interior, and Conjugate Gradient Method for Large-Scale Bound-Constrained Minimization Problems / M. A. Branch, T. F. Coleman, Y. Li // SIAM Journal on Scientific Computing. – 1999. – Vol. 21, No. 1. – P. 1–23.
9. S o r e n s e n, D. C. Minimization of a Large Scale Quadratic Function Subject to an Ellipsoidal Constraint / D. C. Sorensen // Department of Computational and Applied Mathematics, Rice University, Technical Report TR94-27, 1994.

Представлена кафедрой  
информационных технологий

Поступила 20.12.2011