УДК 621.311.11

А.В.КРИВЕНКО
Горно-электромеханический факультет,
аспирант кафедры электротехники и электромеханики

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ И ЧИСЛА ЭЛЕКТРОПОДСТАНЦИЙ НА ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЛОЩАДКЕ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Рассмотрены современные проблемы проектирования систем электроснабжения. Показан способ построения картограмм нагрузок с помощью метода потенциальных функций и способ определения наивыгоднейшего числа электроподстанций с помощью целевой функции. Представлены результаты построения картограммы нагрузки с применением программного пакета MathCAD 2001. По приведенной целевой функции затрат определено оптимальное число электроподстанций. Рассмотрена методика выбора варианта с оптимальным числом электроподстанций и построено двухмерное изображение потенциальной функции нагрузок приемников для данного варианта. Даны рекомендации по выбору оптимальных мест расположения электроподстанций и оптимальному распределению электропотребителей по отдельным электроподстанциям. Обоснована необходимость применения современного программного обеспечения при проектировании систем электроснабжения.

The modern problems of designing of systems of electro supply are considered. The way of loadings construction, with the help method of potential functions and way of definition more profitable number of electro supply substations with the help of criterion function is shown. The results of an example map loading construction of with application of a software package MathCAD 2001 are submitted. On the given criterion function of expenses by comparison the optimum number of electro supply substations is determined. The technique of a choice of variant with optimum number of electro supply substations is considered and two-dimensional and three-dimensional images of potential loadings function of receivers for the given variant are constructed. The recommendations the choice of the optimum locations of electro supply substations and optimum distribution the electroconsumers on separate electro supply substations are given. The necessity of application of the modern software for systems designing of electro supply is grounded.

При проектировании системы электроснабжения (СЭС) необходимо проанализировать и описать структуру распределения нагрузок и геометрию взаимного расположения электроприемников (ЭП). Первое представление о характере распределения нагрузок по территории объекта получают с помощью картограммы нагрузок.

Геометрическое изображение степени интенсивности распределения нагрузок на картограмме выполняют различными способами. Наиболее простой из них – при помощи кругов. В качестве центра круга выбирают центр электрических нагрузок (ЦЭН) приемника электроэнергии, а радиус круга связывают с расчетной мощностью ЭП. При помощи этого метода определяется один единственный ЦЭН для всех потребителей, а это не всегда оптимально.

Другой способ изображения степени интенсивности распределения нагрузок на картограмме выполняют с помощью метода потенциальных функций*. Сущность этого метода заключается в следующем. Проводится аналогия между нагрузками P_i приемников объекта, расположенных в точках $(x_i; y_i)$, и потенциалами некоторых источников энергии, расположенных в тех же точках. Будем считать, что потенциалы этих источников в точках расположения равны нагруз-

* *Айзерман М.А.* Метод потенциальных функций в теории обучения машин / М.А.Айзерман, Э.М.Браверман, Л.И.Розоноэр. М.: Наука, 1970.

кам P_i ЭП. При переходе в любую другую точку (x; y) потенциалы источников убывают, и в некоторых точках, удаленных от места расположения источника, близки к нулю. Существуют эквипотенциальные контуры, которые описывают значениями функции, определенной суммой потенциалов всех источников энергии. Такие контуры разделяют заданное множество G ЭП на группы; вершины графика потенциальной функции определяют области расположения ЦЭН в этих группах.

Для построения картограммы нагрузок применяют показательную форму потенциальной функции*

$$\Pi(x, y) = \sum_{i=1}^{n} P_i \mathrm{e}^{-\alpha\left[(x-x_i)^2+(y-y_i)^2\right]}, \quad (1)$$

где α – параметр контрастности рельефа графика потенциальной функции, задаваемый проектировщиком.

Если направления электрических распределительных линий принимают при проектировании перпендикулярными друг другу, то показательную форму потенциальной функции представляют в виде

$$\Pi(x, y) = \sum_{i=1}^{n} P_i \mathrm{e}^{-\alpha\left(|x-x_i|+|y-y_i|\right)^2}. \quad (2)$$

Уже на первом этапе проектирования системы электроснабжения, когда мы пытаемся проанализировать и описать структуру распределения нагрузок и геометрию взаимного расположения ЭП, необходимо оперировать большим количеством исходных данных, что требует затрат времени. При использовании программного продукта MathCAD 2001 удается быстро получить, наряду с двухмерным изображением потенциальной функции нагрузок приемников, и трехмерное. Экстремумы потенциальной функции определяют с помощью функции Maximize. Это позволяет более обоснованно выбрать место расположения и число электроподстанций.

Построим в среде MathCAD 2001 с помощью потенциальной функции (1) картограмму нагрузок для 29 приемников электроэнергии (см. таблицу). Параметр контрастности примем $\alpha = 0{,}5$. Тогда

$$\Pi(x, y) = \sum_{i=1}^{29} P_i \mathrm{e}^{-0{,}5\left[(x-x_i)^2+(y-y_i)^2\right]}.$$

Исходные данные для примера 1

Номер приемника	Координаты, км		Нагрузка P_i, усл. ед.
	x_i	y_i	
1	3,8	9,4	19,1
2	1,5	11,0	9,2
3	4,4	11,6	18,5
4	2,2	13,3	13,9
5	4,2	10,7	23,0
6	2,6	12,1	4,1
7	2,9	9,8	7,0
8	0,7	5,3	25,3
9	1,7	6,3	6,7
10	2,0	5,2	12,8
11	2,8	4,3	6,7
12	3,5	7,1	5,3
13	2,5	7,2	1,6
14	4,1	7,1	20,5
15	6,8	9,1	25,5
16	8,0	7,0	7,9
17	9,8	7,0	7,9
18	8,7	9,1	4,3
19	10,4	7,2	1,6
20	8,8	10,6	1,8
21	6,7	7,2	12
22	8,6	7,2	9,5
23	10,9	4,0	23,1
24	10,5	2,4	6,8
25	11,9	4,0	4,8
26	8,3	5,3	7,2
27	10,1	5,6	6,5
28	12,5	5,5	6,5
29	8,3	2,1	1,6

Поиск экстремумов осуществляется с помощью функции Maximize. Начальные значения: $x := 4$**, $y := 10$. Вычислительный блок: $R :=$ Maximize(S, x, y). Результаты: $R = (4{,}002;\ 10{,}6)$. Начальные значения: $x := 1$, $y := 5$. Вычислительный блок:

* *Федоров А.А.* Основы электроснабжения промышленных предприятий: Учебник для вузов / А.А.Федоров, В.В.Каменева. 4-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1984.

** В программе Maximize запись $x := 4$ обозначает $x \in 4$.

R := Maximize(D, x, y). Результаты: R = (1,304; 5,379). Начальные значения: x := 7, y := 9. Вычислительный блок: R := Maximize(F, x, y). Результаты: R = (6,948; 9,031). Начальные значения: x := 11, y := 4. Вычислительный блок: R := Maximize(G, x, y). Результаты: R = (11,368; 4,242).

В нашем примере получилось четыре «плато» с вершинами в окрестностях точек (1; 5); (4; 11); (7; 9); (11; 4). Каждое «плато» определяет группу ЭП, которые будут питаться от своего источника (см. рисунок). Таких групп четыре: $A_1 = 1 \div 7$, $A_2 = 8 \div 14$, $A_3 = 15 \div 22$, $A_4 = 23 \div 29$, причем каждый ЭП, входящий в ту или иную группу, расположен ближе к вершине своего «плато», чем к другим.

Число групп, на которые делится множество приемников электроэнергии, зависит от значения параметра контрастности α. При определенном значении этого параметра контрастности группы будут содержать по одному приемнику.

Необходимо определить вариант, при котором число электроподстанций, число групп ЭП будет оптимально для заданного множества приемников электроэнергии объекта. При традиционном подходе к проектированию СЭС оптимальное число s электроподстанций определяют методом сопоставления вариантов и отбора варианта с числом электроподстанций, при котором суммарные приведенные затраты на сооружение и эксплуатацию СЭС будут наименьшими. Эти затраты будут состоять из затрат на распределительные сети $З_j$, связывающие проектируемые источники питания с ЭП по группам, из затрат на питающие сети $З_0$, соединяющие заданные электроподстанции с проектируемыми, и из затрат на сами источники питания $\overline{З_i}$:

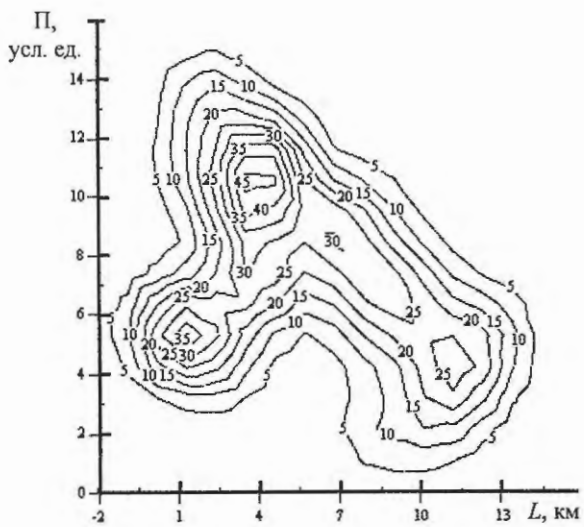
$$З = \sum_{i=1}^{s} З_i + З_0 + \sum_{i=1}^{s} \overline{З_i}. \qquad (3)$$

При увеличении числа групп ЭП, следовательно и числа электроподстанций, возрастают затраты на питающие сети и на электроподстанции. Затраты на распределительные сети уменьшаются. Следовательно, существует такое значение s электроподстанций, при котором функция (3) принимает наименьшее значение. Поиск этого значения осуществляется методом вариантного сопоставления затрат, рассчитанного по формуле (3) разбиением заданного множества приемников на две, три и большее число групп.

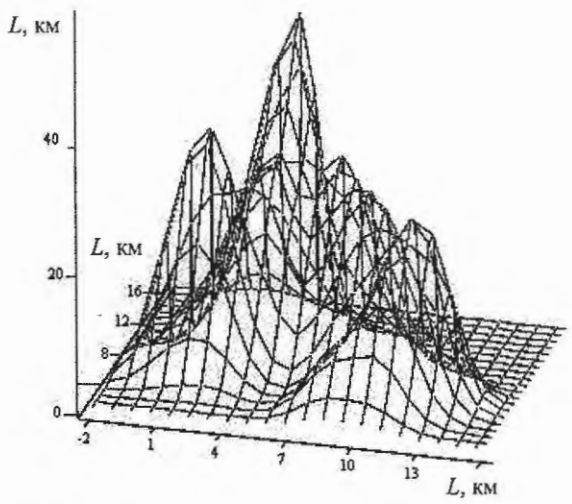
Для сокращения записи целевой функции будем считать, что распределительные и питающие сети радиально-лучевые.

Затраты на распределительные сети $З_j$, связывающие проектируемые электропод-

а



б



Двух- (*а*) и трехмерное (*б*) изображение потенциальной функции нагрузок приемников

станции с приемниками электроэнергии по группам,

$$З_j = \sum_{i=1}^{m_j} з_i \sqrt{(x_i - \xi_j)^2 + (y_i - \eta_j)^2}\ , \qquad (4)$$

где $з_i$ – удельные приведенные затраты на единицу длины линии распределительных сетей; ξ_j и η_j – искомые координаты мест расположения электроподстанций; m_j – количество приемников электроэнергии в j-й группе; x_i и y_i – координаты их мест расположения.

Затраты на питающие сети, соединяющие заданные электроподстанции с проектируемыми,

$$З_0 = \sum_{j=1}^{s} з_j \sqrt{(\xi_j - a)^2 + (\eta_j - b)^2}\ , \qquad (5)$$

где $з_j$ – удельные приведенные затраты на единицу длины линии питающих сетей; s – искомое число электроподстанций; a и b – координаты места расположения заданной электроподстанции.

Тогда целевая функция затрат имеет вид

$$З = \sum_{j=1}^{s}\sum_{i=1}^{m_j} з_i \sqrt{(x_i - \xi_j)^2 + (y_i - \eta_j)^2} + \sum_{j=1}^{s} з_j \sqrt{(\xi_j - a)^2 + (\eta_j - b)^2} + \sum_{i=1}^{s} \overline{З_i}\ . \qquad (6)$$

По приведенной целевой функции затрат путем сравнения определяется вариант с оптимальным числом электроподстанций. Затем для этого варианта строится двухмерное изображение потенциальной функции нагрузок приемников. Путем наложения двухмерного изображения потенциальной функции нагрузок приемников на генеральный план предприятия определяется оптимальное место расположения электроподстанций и распределение потребителей по отдельным электроподстанциям.

Научный руководитель д.т.н. проф. *Б.Н.Абрамович*