

*В.И. Скоробогатова, д-р техн. наук, Т.В.Горбань, Н.Т. Шадура-Никипорец  
(Украина, Чернигов, Черниговский государственный технологический университет)*

## **ВЛИЯНИЕ КРИТЕРИАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ НА ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕШЕНИЯ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ**

Процедура формирования рациональной структуры электрической сети (ЭС) электроэнергетической системы представляет собою итерацию двух этапов: выбор варианта количества узлов сети и выбор варианта электрических связей между ними. Решение второго этапа функционально связано с адресностью узлов на плане ЭС, что позволяет трактовать их объектами топологии сети. Так как адресное расположение узлов на плане сети в общем случае допускает варьирование, то по сути своей оно является процедурой целевого формирования топологии ЭС (топологической задачей ЭС).

В настоящее время для целевого формирования топологии ЭС применяют принципы оптимизации решений в их допустимой области, используя для этого такие критерии оптимальности, как «минимум годовых приведенных затрат» либо «максимум годового экономического эффекта» [1]. При этом исходят из утверждения, что используемые критериальные функции всегда гладкие и выпуклые, имеют единственный экстремум, т. е. соблюдается базовое условие функционального анализа [2]. Ни один из алгоритмов оптимизации топологии ЭС не предусматривает анализа критериальной функции на соответствие математическим принципам функционального анализа.

Авторами данной статьи было проведено исследование, которое позволяет сделать заключение, что принципы функционального анализа при решении топологической задачи ЭС в общем случае не выполняются. Исследование проводилось с использованием авторского алгоритма имитационного детерминированного моделирования ЭС на ЭВМ серии РС. Алгоритм предусматривает целевое перемещение на плане питающего узла распределительной сети (изменение топологии ЭС), обеспечение параметров ЭС всем основным техническим требованиям и экономическую оценку ЭС для каждого ее топологического решения.

Исходной информацией для моделирования являются условные координаты расположения узлов распределительной ЭС на плане, нагрузка узлов по активной и реактивной мощностям, схема электрической связи между узлами ЭС и конструктивное исполнение ее передающих элементов. В качестве критериальных функций использованы годовые приведенные затраты на ЭС и ее составляющие в отдельности (годовая приведенная стоимость электроустановок ЭС, стоимость годовых потерь активной электроэнергии в передающих элементах ЭС, ущерб потребителей от аварийных и преднамеренных отключений в ЭС).

Апробация алгоритма моделирования и исследование были осуществлены на ряде реальных и виртуальных ЭС. Ниже приведены результаты модели-

рования ЭС района промышленного предприятия, которая была задействована в работе [3].

В табл. 1 приведены условные координаты узлов распределительной ЭС напряжением 10 кВ и нагрузка этих узлов по активной и реактивной мощностям. Электрическая связь между питающим узлом ЭС и узлами ее распределительной сети выполнена сталеалюминевыми воздушными линиями по радиальной схеме.

Таблица 1

**Координаты и нагрузка узлов исследуемой электрической сети**

Обозначение узла на плане сети	Условные координаты узла по оси		Нагрузка узла по допустимому нагреву по	
	0-X (м)	0-Y (м)	активной мощности (МВт)	реактивной мощности (МВАр)
ТП 1	300	1000	9,500	3,122
ТП 2	600	900	3,800	1,249
ТП 3	1400	900	4,800	10,998
ТП 4	100	800	11,400	3,747
ТП 5	400	800	8,100	3,923
ТП 6	900	800	1,600	3,666
ТП 7	1200	800	4,800	6,400
ТП 8	1400	700	4,800	10,998
ТП 9	200	600	19,000	6,245
ТП 10	1200	600	4,800	6,400
ТП 11	1300	500	6,000	8,000
ТП 12	400	400	8,100	3,923
ТП 13	1500	400	8,000	18,330
ТП 14	600	300	3,800	1,249
ТП 15	200	200	13,300	4,371
ТП 16	1000	200	1,600	3,666
ТП 17	1300	200	6,000	8,000
ТП 18	400	100	7,600	2,498
ТП 19	800	100	3,200	2,400
ТП 20	1200	0	5,600	5,713

В качестве базиса (начальной точки) моделирования топологии и параметров ЭС задействована точка А0 плана ЭС с координатами 658,39; 526,07. Она вычислена согласно алгоритму расчета энергетического центра ЭС, в котором задействована аналогия центра тяжести системы материальных точек [4]. Результаты моделирования приведены в табл. 2. Для их визуализации на рис. 1 показаны градиенты критериальных функций относительно значений аналогичных функций в базисе А0 ( $x_0$ ;  $y_0$ ).

Топологические и стоимостные показатели исследуемой электрической сети

Критерий поиска энергетического центра ЭС	Условные координаты энергетического центра ЭС по оси		Относительные значения критериальной функции в точке энергетического центра ЭС			
	0-X (м)	0-Y (м)	$\Delta K$ (%)	$\Delta И$ (%)	$\Delta У$ (%)	$\Delta З$ (%)
Минимум годовой приведенной стоимости электроустановок ЭС	851,95	513,02	2,45	1,49	- 0,18	1,48
Минимум стоимости годовых потерь активной электроэнергии в передающих элементах ЭС	835,26	533,07	2,39	1,55	- 0,16	1,49
Минимум ущерба потребителей от аварийных и преднамеренных отключений в ЭС	495,32	523,95	- 6,16	- 4,55	0,06	- 4,20
Минимум годовых приведенных затрат на ЭС	840,41	525,42	2,42	1,54	- 0,17	1,50

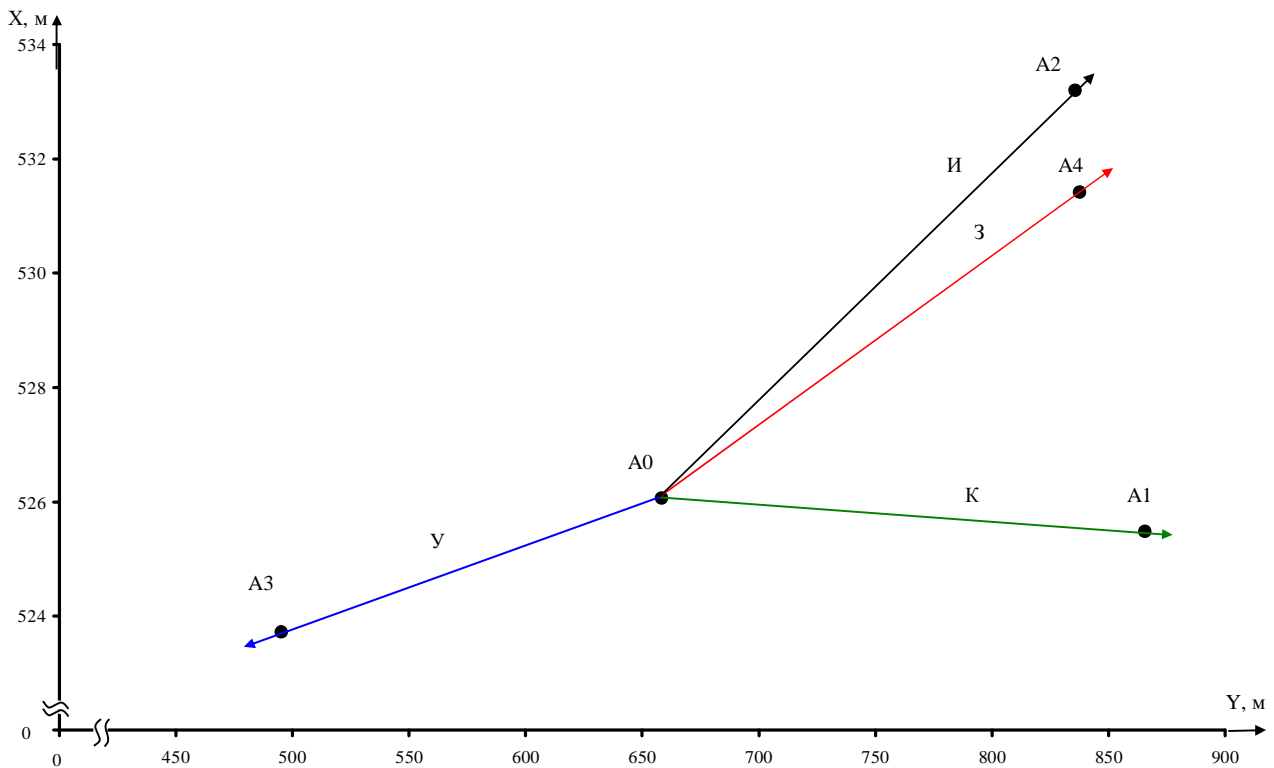


Рис. 1. Градиенты критериальных функций

Из таблицы видно, что динамика изменения значений критериальных функций объекта незначительна. Но это касается только данного района ЭС. Для другого электросетевого объекта результаты могут быть иными. Все зависит от характера распределения узлов ЭС на плане сети, степени неравномерности распределения электрической нагрузки между ними, а также от ряда других факторов, влияющих на положение энергетического центра ЭС.

Из рис. 1 видно, что градиент годовой приведенной стоимости электротановок электрической сети ( $K$ ), градиент стоимости годовых потерь активной электроэнергии в ее передающих элементах ( $I$ ) и градиент ущерба потребителей от аварийных и преднамеренных отключений в электрической сети ( $Y$ ) разнонаправлены. Следовательно, алгебраическое суммирование стоимостных составляющих годовых приведенных затрат в общем случае недопустимо. Кроме того, в результате виртуального перемещения питающего узла ЭС в направлениях, отличных от градиентов, было выявлено снижение значений критериальных функций относительно аналогичных значений в точке  $A_0$ , что позволило сделать заключение о существовании множества локальных экстремумов в области допустимых решений топологической задачи ЭС.

Таким образом, на основе проведенного исследования можно сделать заключение, что при решении топологической задачи ЭС методами функционального анализа необходима предварительная проверка критериальной функции на выпуклость.

#### **Выводы:**

1) необходима предварительная оценка критериальной функции на выпуклость с целью обеспечения достоверности решения топологической задачи ЭС методами функционального анализа;

2) нельзя пользоваться в общем случае при решении топологической задачи ЭС стоимостными критериальными функциями, вычисляемыми по принципу алгебраического суммирования их составляющих, так как градиенты этих составляющих разнонаправлены.

3) пользование расчетным энергетическим центром ЭС, полученным на основе аналогии центра тяжести системы материальных точек, обуславливает значимую погрешность в решении топологической задачи ЭС.

#### **Список литературы**

1. Основы построения промышленных электрических сетей / Г.М. Каялов, А.Э. Каждан, И.Н. Ковалев, Куренный Э.Г. / Под ред. Г.М. Каялова. – М.: Энергия, 1978. – 352 с.
2. Зуховицкий С.И., Авдеева Л.И. Линейное и выпуклое программирование. – М.: Наука, 1967. – 460с.
3. Майер В.Я. Определение центра электрических нагрузок при выборе местоположения подстанций систем электроснабжения // Промышленная энергетика. – 1986. – № 4. – С.25-27.
4. Бутков А.Н. Определение центра нагрузок при выборе местоположения источника электроэнергии // Электрические станции. – 1957. – № 6. – С.14 – 15.