

УДК 621.316.11

А. П. Заболотний, Д. В. Федоша, О. О. Яценко, Н. Л. Криворученко

Удосконалений метод потенційної функції для формування оптимальної структури розподільчої мережі

Проведено аналіз існуючих методів проектування систем електропостачання. Розроблено удосконалений метод еквіпотенційних поверхонь та виконано порівняння запропонованого методу з тензорним методом.

Задачі, що вирішуються при проектуванні систем електропостачання, різноманітні за своїм змістом та складністю. Однією з них є задача про джерела живлення електричної мережі: визначення їх кількості, потужності, місць розташування, розподіл за ними приймачів електроенергії, питання компенсації реактивної потужності, резервування за низькою стороною, улаштування проміжних вузлів навантаження (рівнів розподільчої мережі).

В існуючих методах перераховані питання розглядаються незалежно одне від одного, окрім того вони ставляться відокремлено для цехових, заводських, міських мереж. Основні підходи до рішення поставлених задач базуються на пошуку однозначних рішень, які не вимагають чи зводять до мінімуму співставлення показників за допомогою мінімізації функціоналів витрат, записаних в алгебраїчній, інтегральній та інших формах [1–5].

Також процес проектування ускладнює фактор суб'єктивної точки зору. Суб'єктивність при рішенні задач побудови розподільчої мережі полягає у тому, що прийняття рішень в процесі проектування енергетичних систем здійснюється при дефіциті науково обґрунтованих рекомендацій та методик, що обмежує можливість оцінки техніко-економічних показників рішень, що приймаються, знижує ефективність проектних розробок і збільшує тягар відповідальності особи, що приймає рішення. Таким чином, рішення які приймаються, багато в чому залежить від власного досвіду проектувальника і носить суб'єктивний характер, як результат – поза увагою залишаються інші існуючі рішення.

Для виключення впливу цих факторів на практиці використовують методи варіантного співставлення – методи випадкового перебору варіантів можливих схем розподільчої мережі. Ці методи є досить ефективними так, як в рамках їх застосування проводяться повний перебір усіх можливих варіантів рішень поставлених задач, серед яких обирається варіант, що відповідає деякому критерію оптимальності та граничним обмеженням, накладеним умовами проекту на показники властивостей груп приймачів і мереж, що об'єднують їх з джерелом живлення. Оскільки перебір проводиться серед усіх можливих варіантів, то ймовірність неврахування якихось рішень істотно знижується. Недоліком методу є кількість варіантів перебору, яка при сумісному рішенні вищезазначених задач помітно зростає, збільшуючи час проектування. Тому при рішенні задач побудови розподільчої мережі необхідно організувати автоматичну селекцію варіантів мережі на основі усієї сукупності вихідних даних та задач,

які необхідно вирішити.

На практиці вже існують методи, які намагаються вирішити задачу побудови розподільчої мережі. Найбільш поширеними та часто застосованими є тензорний метод та метод еквіпотенційних контурів. Використання тензорного методу пояснюється тим, що в задачах проектування систем промислового електропостачання, в яких приймачі електроенергії розглядаються як точки, що характеризуються питомими зведеними витратами на елементи систем електропостачання, активним або реактивним навантаженням та іншим, і, крім того, координатами місць розташування, властивості розподілу цих величин мають тензорну природу і найбільш повно можуть бути описані тензорами [6, 7].

Тензор має два незалежних інваріанта, за допомогою яких можна побудувати будь-яке число інших інваріантів, які описують характеристичні властивості розподілу навантаження у групі, що досліджується. Координати ξ_0 і η_0 , у яких компоненти тензора набувають найменшого значення, виражаються формулами:

$$\xi_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P^k x_i}{\sum_{i=1}^n P^k_i}; \quad \eta_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P^k y_i}{\sum_{i=1}^n P^k_i}, \quad (1)$$

де P_i – потужність i -го приймача електроенергії, кВт;

x_i, y_i – координати i -го приймача електроенергії, м;

k – коефіцієнт будь-яке раціональне додатне число, що визначає ступінь зваженості функціоналу витрат за потужністю, в. о.

Показник ступеню k для заданої групи приймачів визначається із додаткових умов так, що: при $k > 1$ – приймачі з більшим навантаженням у середньому розташовані ближче до точки (ξ_0, η_0) , ніж з меншим, і при $k < 1$ – приймачі з меншим навантаженням в середньому ближчі до цієї точки, ніж з більшим.

Для аналізу вище описаного метода розглянемо задачу живлення заданої кількості приймачів електроенергії, які мають першу категорію за надійністю електропостачання та для яких передбачено місцеву компенсацію реактивної потужності (табл. 1). Необхідно визначити кількість джерел живлення, координати їх місць розташування та розподіл електроприймачів за ними.

Таблиця 1. Дані про приймачі електроенергії

№	P_i^k , кВт	x_i , м	y_i , м	$I_{розр}$, А	F , мм ²	d_i , грн./м
1	62,00	9	27	89,49	25	6,4
2	19,10	6	33	27,57	4	1,05
3	243,50	22	27	351,46	185	46,4
4	95,50	39	27	137,84	50	13
5	63,00	60	27	90,93	25	6,4
6	86,00	66	33	124,13	35	9
7	128,00	6	45	184,75	70	18
8	125,00	6	39	180,42	70	18
9	125,70	24	39	181,43	70	18
10	58,50	54	45	84,44	25	6,4
11	50,00	66	45	72,17	16	4,2
12	37,50	54	39	54,13	10	2,6
13	32,00	66	39	46,19	10	2,6
14	104,00	12	20	150,11	50	13
15	84,00	31	21	121,24	35	9
16	102,00	22	15	147,22	50	13
17	62,70	46	21	90,5	25	6,4
18	64,00	63	20,5	92,38	25	6,4
19	157,00	55	15	226,61	95	24
20	76,00	9	9	109,7	35	9
21	36,00	31	9	51,96	10	2,6
22	50,00	9	3	72,17	16	4,2
23	80,00	27	3	115,47	35	9
24	60,00	49	9	86,6	25	6,4
25	51,20	49	3	73,9	16	4,2
26	24,00	66	9	34,64	6	1,5
27	17,00	66	3	24,54	4	1,05
28	80,00	24	45	115,47	35	9

d_i – питомі витрати на одиницю довжини провідникового матеріалу;
 F – переріз провідника, мм²;
 $I_{розр}$ – розрахунковий струм i -го електроприймача.
 В рамках методу кількість джерел живлення j належить до числа вихідних даних, необхідних для розрахунку і повинна задаватися проектувальником. Приймаємо: $j = 1, \dots, n$, де $n = 2$.

Також на першому етапі розрахунку в довільному порядку вибираються координати місць розташування центрів живлення (ξ, η) : $\xi_1 = 55$, $\eta_1 = 40$ и $\xi_2 = 20$, $\eta_2 = 10$.

Задана множина електроприймачів розподіляється в залежності від зони обслуговування, що вимагається, за правилом [7]:

$$P_i^{k_j} \cdot \sum_{x,y} ((x_i - \xi)^2 + (y_i - \eta)^2) \leq P_i^{k_l} \times \sum_{x,y} ((x_i - \xi_l)^2 + (y_i - \eta_l)^2), \quad (2)$$

де $l = 1, \dots, n; l \neq j$.

На першому кроці розрахунку приймаємо $k = 0$ і весь розподіл зводиться до діючого в проектній практиці принципу «підключення електроприймачів до найближчого джерела живлення».

За результатами розрахунку отримуємо наступний розподіл електроприймачів за джерелами живлення:

ДЖ1 : 4,5,6,10,11,12,13,17,18,19,26,27,28;

ДЖ2 : 1,2,3,7,8,9,14,15,16,20,21,22,23,24,25.

На наступному етапі розрахунків для кожного значення показника k з множини його значень $k = 0, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 3$ для кожної групи приймачів визначаємо координати центра скупчення за формулами (1), отримані результати приведені в табл. 2.

Таблиця 2. Координати центрів (в метрах) скупчень для різних значень показника k

	$k=0$	$k=0.1$	$k=0.2$	$k=0.5$	$k=1$	$k=2$	$k=3$
ξ_1	55,769	55,441	55,125	54,262	53,136	52,059	52,175
η_1	28,346	28,53	28,673	28,861	28,483	26,012	22,75
ξ_2	20,8	20,72	20,627	20,291	19,695	19,052	19,403
η_2	20,133	20,433	20,754	21,808	23,677	26,769	28,192

Знаходимо значення Z витрат на мережу (гривні) для кожної групи за формулою:

$$Z = \sum_{j=1}^n d_i \sqrt{(x_i - \xi_j)^2 + (y_i - \eta_j)^2}. \quad (3)$$

Також знаходимо екстремальне значення функціоналу витрат M_i (гривні) для кожної групи:

$$M_i = R \cdot \sqrt{\sum_{i \in A_j} d_i^2 \cdot P_i^{-k_j}}, \quad (4)$$

де R – відстані від джерела живлення до приймача електроенергії.

Рівень бажаності селекції варіантів електричних мереж будемо оцінювати за допомогою функціоналів[7]:

$$\Phi = \sum_j M_k(j), \quad \Delta\Phi = \sum_j M_i(j) - Z_i(j), \quad (5)$$

що будуються за верхніми межами функцій витрат (4) та вихідними функціями (3).

Таблиця 3. Залежності функціоналів (5) від коефіцієнта k

№ Гр	Показ -ник	$k = 0$	$k = 0.1$	$k = 0.2$	$k = 0.5$	$k = 1$	$k = 2$	$k = 3$
1	M_i	761	748.9	739.39	727.21	750.38	1015.21	1801.02
2	M_i	1100.99	1080.68	1063.69	1032.8	1026.33	1258.43	2075.53
Σ	Z	2461,6	2460,03	2458,89	2458,11	2465,13	2492,011	2492,82
	Φ	1861.99	1829.5	1803.2	1760.1	1776.71	2273.64	3876.55
	$\Delta\Phi$	-599,61	-630,53	-655,69	-698,01	-688,42	-218,371	1383,75

Таблиця 4. Результати формування структури розподільчої мережі розрахунку за тензорним методом

Вузли					
№ Вузла	Приймачі	Потужність трансформаторів Вузла (КТП), кВА	ККД вузла навантаження, %	Координати розташування вузла (КТП) (X;Y), м	
01	3, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 16, 17, 18, 25, 26, 27	2x630	98,77	(53;28)	
02	0, 1, 2, 6, 7, 8, 13, 14, 15, 19, 20, 21, 22,23, 24	2x1000	80,65	(20;23)	
Провідники					
Ділянка (Вузл-Приймач)	Довжина, м	Переріз, мм ²	Ділянка (Вузл-Приймач)	Довжина, м	Переріз, мм ²
01-0	44,0	25	01-14	23,1	35
01-1	47,3	4	01-15	33,6	50
01-2	31,0	185	02-16	26,1	25
02-3	19,4	50	02-17	43,1	25
02-4	40,2	25	02-18	35,9	95
02-5	47,1	35	01-19	47,9	35
01-6	50,0	70	01-20	29,1	10
01-7	48,3	70	01-21	50,6	16
01-8	31,0	70	01-22	36,1	35
02-9	40,5	25	01-23	19,4	25
02-10	51,0	16	01-24	25,3	16
02-11	37,6	10	02-25	48,1	6
02-12	48,7	10	02-26	50,2	4
01-13	41,8	50	02-27	22,4	35

Аналіз результатів (табл. 3, табл. 4) показує, що тензорний метод не дає можливості обрати оптимального для заданої множини електроприймачів розташування центрів живлення, а лише уточнює координати задані проектувальником. Окрім того і результат цього уточнення залежить від величини коефіцієнта k , що також задається проектувальником. Так у першому варіанті мінімальних значень функціонал $\Delta\Phi$ досягає при значенні $k = 0,5$, це свідчить про те, що для даного випадку координати центрів живлення доцільно змістити ближче до електроприймачів з меншими значеннями потужності. У другому варіанті

мінімальне значення функціоналу оптимізації отримуємо при $k = 2$, а значить, центри живлення зміщені до електроприймачів з більшими потужностями. Наявність величини k у розрахунках також зменшає кількість варіантів, що розглядається при проектуванні, так як множина значень k задається у довільному порядку.

Ще одним недоліком методу є те, що розподіл електроприймачів за джерелами живлення відбувається виключно на основі їх близькості до джерела. При цьому не враховуються витрати на провідниковий матеріал, втрати енергії та потужності у розподільчій мережі.

Уточнення координати центрів живлення відбувається лише на основі питомих витрат на мережу і також не враховує втрати енергії та потужності у розподільчій мережі. Крім того, тензорний метод не дає змоги оцінити можливі варіанти потужності центрів живлення та їх коефіцієнти завантаження.

Метод екіпотенційних контурів дозволяє простежити закономірності розподілу навантажень приймачів електроенергії, здійснити розподіл заданого числа приймачів на групи, кожна з яких повинна отримати живлення зі свого центра, базуючись тільки на властивостях електроприймачів (розміщення, потужність), знайти області розташування центрів електричних навантажень в цих групах [8].

Суть методу полягає в проведенні аналогії між навантаженням P_i приймачів, розташованих в точках x_i ; y_i , та потенціалами деяких джерел енергії, розташованих у тих же точках. Потенціали цих джерел дорівнюють навантаженням приймачів. При віддаленні від точки розташування приймача потенціал від джерела, розташованого у тій самій точці, буде зменшуватися, та в деяких віддалених точках потенціал буде близький до нуля. Сукупність всіх потенціалів джерел енергії утворює потенційну поверхню (через це цей метод має ще назву «метод потенційної функції») яку можна описати потенційною функцією (6) [9]:

$$P(x, y) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot e^{-1\alpha[(x-x_i)^2+(y-y_i)^2]} \quad (6)$$

де P_i – потужність i -ого електроприймача, Вт;

α – контрастності рельєфу, в. о.;

x_i, y_i – координати i -ого електроприймача, метри.

На потенційній поверхні можна виділити екіпотенційні контури – місце точок, яке обумовлене близькими за значенням потенціалам (в ідеалі потенціали рівні). Екіпотенційні контури виділяють області на потенційній поверхні [8]. Приймачі що знаходяться в середині однієї виділеної області, утворюють групу з центром електричного навантаження, що його розташовано у точці найбільшого потенціалу виділеної області. Кількість груп, на які розподіляються приймачі залежить від значення коефіцієнту контрастності рельєфу α (6), який задається проектувальником. Таким чином всі приймачі розподіляються на групи. Для кожної групи визначається центр електричних навантажень, де буде розташовано джерело живлення групи.

Але у цього методу є ряд недоліків, які не дозволяють цьому методу однозначно та в повній мірі вирішити задачу побудови оптимальної розподільчої мережі [9]. Так наприклад, при формуванні груп приймачів за допомогою екіпотенційних контурів виникають складнощі в реалізації процедури визначення екіпотенційних контурів за допомогою числових методів. Пов'язано це з необхідністю обробки великого масиву даних та багаторазовим повторенням розрахунку для врахування усіх можливих варіантів розподільчої мережі. Також при ручному визначенні діє принцип суб'єктивності проектувальника, особливо при виборі контуру за наявності приймачів, які лежать близько до меж контурів. Отже розрахунок повинен проводитись виключно програмними методами. У зв'язку з вище

викладеним недоліками та надання методу більш широкого застосування була поставлена мета модифікації даного методу.

Метою статті є вдосконалення методу потенційної функції для формування оптимальної структури розподільчої мережі.

Сутність розвитку даного методу полягає в наступному. Використання у розрахунках замість активної потужності, повної потужності (S_i) дозволяє одночасно розглянути й вплив компенсації реактивної потужності на розподільчу мережу, та врахувати це питання при її побудові.

Введемо в (6) коефіцієнт, що враховує втрати потужності від джерела живлення до приймача (7):

$$\alpha_{\Delta P_i} = \frac{P_i^2 \cdot \rho}{U_i^2 \cdot F_i}, \quad (7)$$

де ρ – питомий опір матеріалу провідника, $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{км}}$;

F_i – переріз, мм²;

U_i – напруга, кВ;

P_i – потужність приймача.

Використання коефіцієнту $\alpha_{\Delta P_i}$ дає можливість одразу оцінити ступінь майбутніх втрат у провідниковому матеріалі при визначенні центру електричних навантажень. В результаті вираз (6) приймає вигляд (8):

$$P(x, y) = \sum_{i=1}^n S_i \cdot e^{-1\alpha \cdot \alpha_{\Delta P_i} [(x-x_i)^2+(y-y_i)^2]} \quad (8)$$

Наявність електроприймачів, що розташовані близько до меж екіпотенційних контурів викликає необхідність введення додаткового критерію, в якості якого було запропоновано «технічний» критерій. Формування груп виключно за екіпотенційними контурами замінюється формуванням за двома критеріями відбору: «потенційним» та «технічним».

За «потенційним» критерієм на потенційній поверхні визначається точка максимуму потенціалу та приймачі, які брали участь у формуванні її потенціалу, тобто ті приймачі потенціали яких у цій точці, більше нуля. Ці приймачі зараховуються до «потенційної групи».

«Технічний» критерій відбору проводить відбір з «потенційної групи» до групи, потужність приймачів якої відповідає потужності ймовірного джерела їх живлення (комплектна трансформаторна підстанція, силовий пункт). Тобто зі сформованої «потенційної групи» вибираємо електроприймачі, при яких завантаження джерела живлення буде оптимальним (критерій оптимальності завантаження джерела живлення розглянуто нижче). Виконується це наступним чином «потенційна група» сортується за ступінню небажаності відносно точки максимуму потенціалу. Ступінню небажаності виступає потенціал джерела або втрата потужності. Електроприймачі, що були відкинуті обома критеріями, повертаються до загальної групи, і для них формується нова потенційна поверхня за виразом (8) та проводиться сортування за «потенційним»

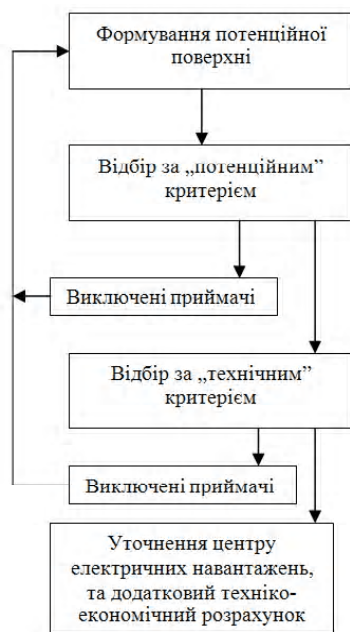


Рис. 1. Алгоритм удосконаленого методу (взаємодія критеріїв відбору)

і «технічним» критеріями добору. Процедура повторюється до тих пір, доки всі приймачі не увійдуть до груп. На основі цього положення сформовано алгоритм методу, якій наведено на рис. 1.

Задля порівняльного аналізу запропонованого вдосконалення методу потенційної функції з вже існуючими методами було виконано програмну реалізацію методу у відповідності до розробленого алгоритму (рис. 1). Для реалізації цього алгоритму було використано інтерактивну систему розробки програмного забезпечення «C++Builder». На програмну реалізацію також було покладено поетапну ілюстрацію роботи алгоритму, яка є метою дослідження процесів формування структури систем електропостачання.

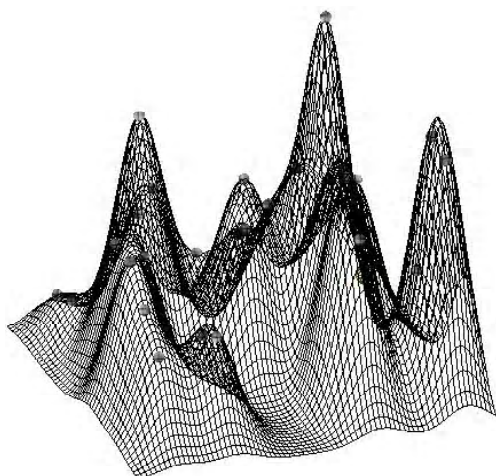


Рис. 2. Еквіпотенціальна поверхня від усіх електроприймачів

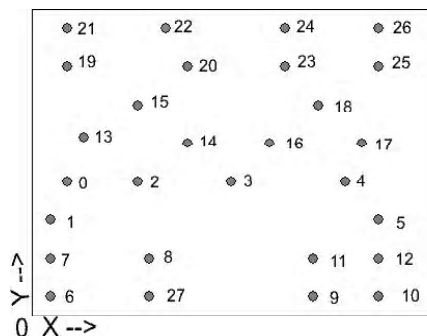
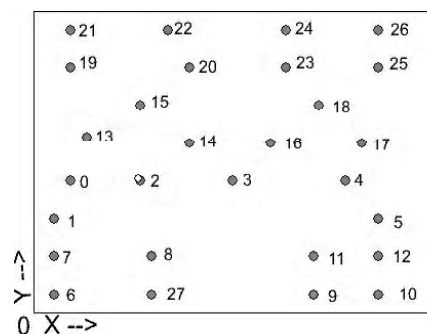
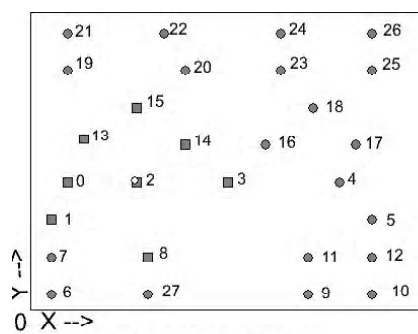


Рис. 3. Розташування приймачів



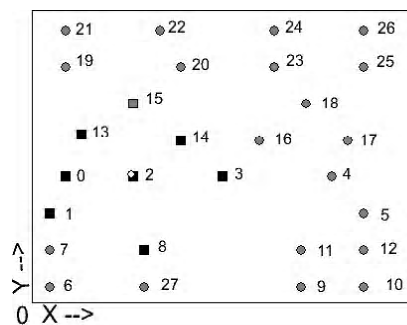
○ - Максимум потенційної функції

Рис. 4. Максимум потенційної функції



○ - Максимум потенційної функції
■ - Приймачі "потенційної" групи

Рис. 5. «Потенційна» група



○ - Максимум потенційної функції
■ - Приймачі "потенційної" групи
■ - Приймачі "технічної" групи

Рис. 6. «Технічна» група

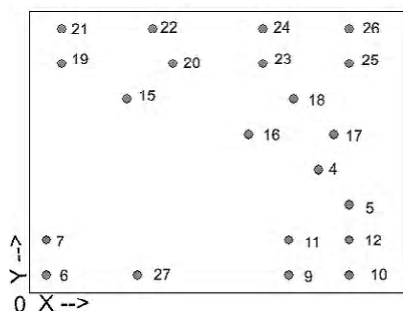


Рис. 7. Початок другої ітерації

Результати розрахунку за вдосконаленим методом зведено до табл. 5.

Порівняння тензорного та удосконаленого методу потенційної функції за матеріальними витратами проводимо за вартістю розподільчої та живлячої мереж (на провідниковий матеріал) та вартістю комплектних трансформаторних підстанцій (без урахування монтажно-будівельних робіт). Для розподільчої мережі розрахунок проводимо на основі вартості кабелів мар-

ки АВВГ (обраного перерізу станом на 2005 рік) а для живлячої мережі – на основі вартості кабелів з алюмінієвими жилами (станом на 2005 рік). Вартості КТП приймаємо станом на 2006 рік (масляні трансформатори ТМ).

Також проводимо розрахунок витрат електроенергії у розподільчій, живлячій мережах та трансформаторах і визначаємо втрати в грошовому еквіваленті за тарифом 0,53 грн/кВтгод (тариф для промислових споживачів з межею балансової належності на напрузі 35 кВ).

Результати розрахунку грошових витрат зведено до табл. 6.

Таблиця 6. Порівняння грошових витрат за кожним методом

Метод	Капітальні вкладення, грн.		Річні втрати, грн.	
	Тензорний	Удосконалений	Тензорний	Удосконалений
Розподільча мережа	5815,2	3653,37	8654,18	3653,97
Живляча мережа	1600,11	4293,21	795,39	1022,60
Трансформатори	241542,00	381586,00	86565,82	59870,83
ВСЬОГО	248957,32	388455,49	96015,39	64547,45

Таблиця 5. Результати формування структури розподільчої мережі за вдосконаленим методом

Вузли					
№ Вузла	Приймачі	Потужність трансформаторів Вузла (КТП), кВА	ККД вузла навантаження, %	Координати Розташування вузла (КТП) (X;Y), м	
01	16, 18, 23, 24,25,26	2x400	98,51	(50;10)	
02	4, 5, 9, 10, 11, 12, 17	2x400	98,54	(63;35)	
03	19, 20, 21, 22	2x250	98,33	(17;6)	
04	6, 7, 27	2x250	98,46	(7;43)	
05	0, 1, 2,3, 8, 13, 14, 15	2x630	98,51	(22;27)	
Провідники					
Ділянка (Вузл-Приймач)	Довжина, м	Переріз, мм ²	Ділянка (Вузл-Приймач)	Довжина, м	Переріз, мм ²
05-0	13,0	25	05-14	10,8	35
05-1	17,1	4	05-15	12,0	50
05-2	0,0	185	01-16	11,7	25
05-3	17,0	50	02-17	14,5	25
02-4	8,5	25	01-18	21,5	95
02-5	3,6	35	03-19	8,5	35
04-6	2,2	70	03-20	14,3	10
04-7	4,1	70	03-21	8,5	16
05-8	17,5	70	03-22	10,4	35
02-9	13,5	25	01-23	1,4	25
02-10	10,4	16	01-24	7,1	16
02-11	9,8	10	01-25	16,0	6
02-12	5,0	10	01-26	17,5	4
05-13	12,2	50	04-27	18,1	35

Отримані результати показують, що вдосконалений метод дає змогу зменшити капітальні вкладення на провідниковий матеріал розподільчої мережі на 37,18 %, втрати електроенергії на 32,77 % в цілому, що забезпечується за рахунок зменшення втрат на 57,78 % у розподільчій мережі та на 30,84 % втрат у трансформаторах при зростанні втрат на 22,22 % у живлячій мережі.

Зниження втрат електричної енергії в трансформаторах обумовлено більш високим коефіцієнтом корисної дії вузлів навантаження за рахунок оптимізації завантаження трансформаторів (табл. 4, табл. 5). Це стало можливе завдяки тому, що в запропонованому методі фактично виконувався вибір приймачів які б утворили вузол навантаження для обраного трансформатора, виходячи з вимоги найвищого коефіцієнтом корисної дії утворююмого вузла, це виконується завдяки «технічному критерію». Також завдяки взаємодії «технічного критерію» та «потенційного критерію» відбувається визначення оптимальної кількості вузлів навантаження.

Висновки

Використання вдосконаленого методу дало можливість побудувати більш оптимальну структуру розподільчої мережі з меншими втратами потужності та затратами на провідниковий матеріал. Порівняльний аналіз отриманих результатів численного розрахунку (табл. 6) показав, що досягнуто збільшення капітальних вкладень за вдосконаленим методом на 139498,17 грн., а річні втрати електроенергії зменшились на 31467,94 грн.; при цьому збільшення капітальних вкладень окупиться за 4,43 року (без врахування тенденції росту тарифів на електроенергію).

Перелік посилань

1. Каялов Г. М., Балабанян Г. А. Геометрические принципы размещения цеховых подстанций // Электричество. – 1972. – № 8. – С. 8–11.
2. Тарнижевский М. В., Кривцов Б. М., Городничев А. В. Алгоритмы автоматизированного проектирования городских электрических сетей напряжением до 1000 В // Электричество.–1979. – № 3. – С.16–20.
3. Щукин Б. Д., Лыков Ю. Ф. Применение ЭВМ для проектирования систем электроснабжения. – М.: Энергия, 1973. – 310 с.
4. Основы построения промышленных электрических сетей / Г. М. Каялов, А. Э. Каждан, И. Н. Коваленко. – М.: Энергия, 1978. – 378 с.
5. Федоров А. А., Каменева В. В., Хмель С. Р. Определение центра электрических нагрузок для оптимального размещения питающих подстанций промышленных предприятий // Электричество. – 1974. – № 8. – С. 31–34.
6. Кончин Н. Е. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления. – М: Наука, 1965. – 426 с.
7. Федоров А. А., Садчиков С. В. Характеристики и алгоритмы формирования и отбора вариантов систем промышленного электроснабжения // Электричество. – 1982. – № 2. – С. 2–8.
8. Федоров А. А., Каменева В. В. Основы электроснабжения промышленных предприятий. – М: Энергоатомиздат, 1984. – 473 с.
9. Айзерман М. А. Браверман Э. М., Розеноэр О. И. Метод потенциальных функций в теории обучения машин. – М: Наука, 1970. – 383 с.

Поступила в редакцию 26.06.08 г.

Проведен анализ существующих методов проектирования систем электроснабжения. Разработан усовершенствованный метод эквипотенциальных поверхностей и выполнено сравнение предложенного метода с тензорным методом.

The analysis of existing design techniques of systems of electrosupply is carried out. The advanced method of equipotential surfaces is developed and comparison of the offered method with tensor a method is spent.