УДК 621.324.57

***В.В. Дьяченко, канд. техн. наук***
*(Україна, Запоріжжя, Запорізький національний технічний університет )*

# АЛГОРИТМ ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

**Вступ.**

На вихідному етапі при створенні комплексу технічних енергозберігаючих заходів для системи електропостачання промислових підприємств потрібно оцінити граничні значення її потенціалу енергозбереження. Така оцінка ґрунтується на пошуку оптимальної структури і складу елементів системи з точки зору мінімуму сумарних втрат електричної енергії в ній і з урахуванням всіх технічних вимог до її експлуатації [1]. У загальну схему алгоритму синтезу цієї так званої енергоефективної системи входять декілька оптимізаційних блоків, одними з яких є вибір місця розташування вузлів електричної мережі та розподіл електричних навантажень за її вузлам [2]. Спільний результат роботи алгоритмів цих блоків вочевидь обумовить енергоефективну структуру та топологію електричної мережі.

**Мета даної роботи.**

Розробити алгоритм формування оптимальної структури та топології електричної мережі з точки зору мінімуму втрат електричної енергії в ній, який увійде в загальну схему синтезу енергоефективної системи електропостачання. Тут розглядаються всі ділянки електричної мережі промислового підприємства як до, так й вище 1000 В.

**Постановка задачі.**

Для заданого списку вузлів електричної мережі всіх рівнів, а саме: розподільних пунктів (РП) до 1000 В, цехових ТП, РП вище 1000 В і джерел живлення підприємства, сформувати енергоефективну електричну мережу промислового підприємства. При цьому мають бути враховані обмеження на можливі місця проходження трас ділянок мережі і розміщення зазначених її вузлів.

Очевидно, що параметри останніх визначають схему електричної мережі, так як вони є сумісними елементами між розподільчими та живлячими її ділянками. Такими параметрами є: координати місць встановлення розглянутих вузлів, їх конструктивні характеристики, кількість і розподіл навантажень між ними, тобто ефективність передачі електроенергії по мережі залежить безпосередньо від її структури та топології.

**Викладання основного матеріалу.**

Характерним для промислових підприємств є наявність зон, утворених будовами або якими-небудь іншими будівельними конструкціями технологічного та допоміжного виробництв, через які недозволені прокладка кабельних ліній та розміщення джерел живлення електричної мережі. Тому при постановці топологічної задачі виникають складнощі, що пов'язані з математичним описом цих обмежень. Але використання сигнатурної функції під час аналітичного опису таких зон дозволяє спростити рішення цієї задачі [3].

Для ілюстрації вищесказаного наведено приклад зони неприпустимого розміщення деяких ТП на плані ПАТ «Запоріжвогнетрив» (рис. 1). У реальності ці зони обмежені площею цехів, що означає неприпустиме розташування підстанцій всередині будівель, які відносяться до основного виробництва (цехи 1 - 3), а також до інших споживачів (заводоуправління 7, лабораторія 8 та склад 9). Для інших супутніх і допоміжних виробництв допускається розміщення ТП всередині будівлі, але у спеціально виділених приміщеннях (цехи 4, 5 та насосна станція 6). Не виключається розташування ТП цих споживачів й поза приміщень. Звичайно, що на самій території заводу теж є зони забороненого розташування підстанцій, розпізнавання яких буде аналогічно наведеним нижче територіальним обмеженням.

На рис. 1 у вигляді прямокутників представлені площі будівель цехів (для цехів 4, 5 і насосної 6 виключені площі електроприміщень), які, по суті, є зонами неприпустимого розміщення цехових ТП й РП 10 кВ заводу. Тут же показані координати заявлених дев'яти зон, що обмежують розташування вузлів електричної мережі в плані заводу, а так само точок передбачуваного розміщення ТП1 - ТП4. Підставляючи зазначені вихідні дані (координати) по черзі в формулу сигнатурної функції [3] для кожної ТП отримаємо відповідно: $\varphi(\vec{x}_{\text{ТП1}}) = 1$; $\varphi(\vec{x}_{\text{ТП2}}) = 0$; $\varphi(\vec{x}_{\text{ТП3}}) = 1$; $\varphi(\vec{x}_{\text{ТП4}}) = 0$. Ці результати означають те, що передбачувані місця розташування ТП1 і ТП3 є неприпустимими, й навпаки - для ТП2 і ТП4.

| ТП | Координати ТП, м | |
|---|---|---|
| | x | y |
| ТП 1 | 207 | 106 |
| ТП 2 | 286 | 185 |
| ТП 3 | 22 | 91 |
| ТП 4 | 155 | 224 |

| Неприпустимі зони | $x_{1\,min}$ | $x_{1\,max}$ | $y_{1\,min}$ | $y_{1\,max}$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 55 | 147 | 191 | 250 |
| 2.1 | 238 | 264 | 191 | 210 |
| 2.2 | 264 | 295 | 210 | 243 |
| 3 | 156 | 213 | 74 | 112 |
| 4.1 | 58 | 79 | 66 | 72 |
| 4.2 | 79 | 91 | 0 | 66 |
| 5.1 | 0 | 16 | 130 | 166 |
| 5.2 | 0 | 25 | 85 | 150 |
| 6.1 | 257 | 285 | 12 | 22 |
| 6.2 | 285 | 303 | 12 | 34 |
| 7 | 305 | 316 | 181 | 203 |
| 8 | 329 | 341 | 171 | 194 |
| 9 | 182 | 246 | 285 | 299 |

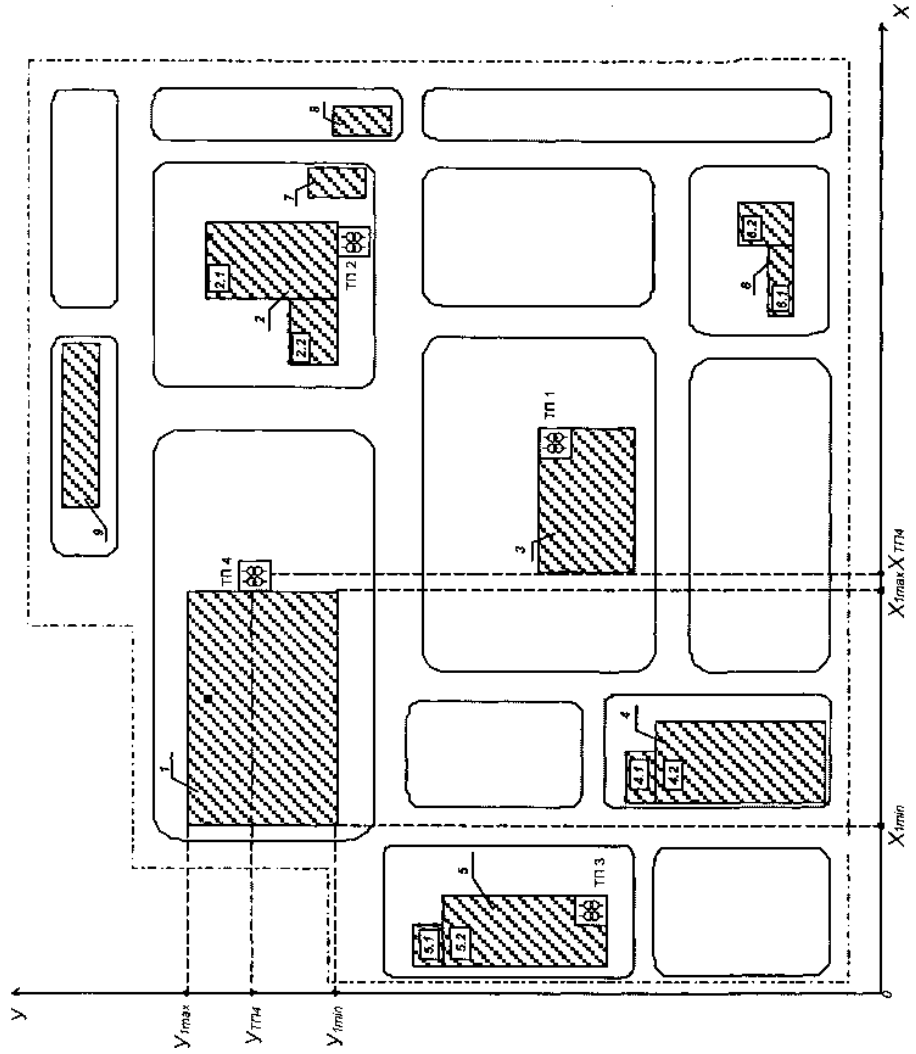


**Рис. 1. Ілюстрація застосування методу розпізнавання для задання обмежень на фрагменті плану ПАТ «Запоріжвогнетрив»**

Основою алгоритму формування оптимальної топології електричної мережі є знаходження найменшої відстані між її вузлами та їх джерелом живлення, для визначення якого існує достатня кількість розроблених алгоритмів [4], наприклад, маршрутний. За допомогою цього евристичного алгоритму можна побудувати трасу між двома будь-якими елементами на координатній плоскості. Головним достоїнством маршрутного алгоритму є простота, але обходження перешкод тут здійснюється за велику кількість кроків [4] та виконується за інтуїцією користувача. Тому потрібна формалізація процесу обходу зон неприпустимого розміщення електроустаткування джерела живлення (ДЖ) та проходження траси електричної мережі.

Необхідно врахувати і те, що крім визначення траси мережі для побудови її оптимальної топології потрібно визначити таке місце розташування ДЖ на плані, щоб сумарні втрати електроенергії на всіх ділянках мережі були мінімальними. Але «вартість» шляху, що прийнята в зазначеному алгоритмі, оцінюється зазвичай за таким показником як довжина, є достатня тільки при знаходженні маршруту між двома точками. Сумарні жж втрати електроенергії на ділянках мережі між вузлами мережі та їхнім джерелом живлення окрім довжини обумовлені ще напругою мережі, струмом й конструктивними характеристиками провідника, що вимагає включення цих параметрів при знаходженні оптимальної топології.

Блок-схема алгоритму визначення координат місця розташування ДЖ і траси електричної мережі, при яких сумарні втрати електричної енергії в ній будуть мінімальні, зі запропонованим способом накладення топологічних обмежень [3], представлений на рис. 2. Принцип його роботи заснований на розбивці площі розглядаємого плану цеху (групи цехів) або заводу на квадрати з деяким мінімально допустимим розміром їх боку $\Delta$. Отримані таким чином перетини на координатної сітці є множиною рішень зазначеної задачі. Для підвищення ефективності роботи алгоритму використовується «відсіювання» тих перетинів, які входять до неприпустимих зон розміщення ДЖ мережі за допомогою сигнатурних функцій виду [3]. Потім генерується повна кількість маршрутів між двома обраними точками. Якщо хоча б одне з перетинань на маршруті цієї множини потрапляє в неприпустиму зону, то останній виключається з подальшого розгляду.

У блоці 1 вводяться: кількість і координати вузлів електричної мережі, для яких буде виконуватися пошук місця розташування їх ДЖ; координати зон топологічних обмежень, а також питомі втрати електричної енергії на одиницю довжини $W_{0k}$, що обумовлені напругою мережі, струмовим навантаженням вузлів і конструкцією провідників. У другому блоці - формується множина точок плоскості $j = \overline{1,\mathrm{n}}$ з заданим кроком, де $\mathrm{n} = (X/\Delta+1)\cdot(Y/\Delta+1)$ - кількість цих утворених точок. У блоці 3 формується масив точок, що належать «забороненим зонам» шляхом послідовної перевірки їх координат за допомогою сигнатурної функції [3].

У блоці 6 виконується формування всіх можливих маршрутів від $j$-их точок координатної сітки до вузлів електричної мережі. У сьомому - виключаються з подальших розрахунків ті маршрути, у яких хоча б одна з їхніх точок потрапила в неприпустиму зону. Потім у восьмому блоці розраховуються довжини залишених маршрутів через підсумовування сторін і діагоналей умовних квадратів, за якими вони проходять: $l_k=\sum l_{\Delta km}$. У блоці 9 вибирається найкоротший з маршрутів $l_{kjmin}$ між $j$-ої точкою і $k$-им вузлом. Далі в блоці 12 для кожної $j$-ої точки плоскості обчислюється сума втрат в мережі, складовими якої є добуток довжин ділянок коротких маршрутів $l_{kjmin}$ , що отримані на попередньому кроці, і питомих втрат: $W_j = \sum W_{0k} l_{kjmin}$. З утвореної сукупності сумарних втрат в блоці 13 вибирається їх мінімальне значення і координати відповідної їм точки.

В результаті такого вибору отримуємо місце розташування ДЖ і трасу електричної мережі, ділянки якої пов'язують джерело з кожним $k$-им вузлом із усієї попередньо заданої їх сукупністю. При цьому розглянуті всі варіанти розміщення ДЖ електричної мережі на плоскості і враховані обмеження на місце його розміщення та проходження траси, що є достоїнством запропонованого алгоритму. Очевидно, що для синтезу оптимальної структури та топології всієї електричної мережі необхідно згенерувати множину різних комбінацій об'єднання вузлів мережі з їх джерелами живлення. Математично це являє собою зворотну задачу - розбиття $n$-елементної множини $X$ на $k$-ті підмножини, яка відноситься до області дискретної математики.

Стосовно до електричних мереж $X$ інтерпретується як множина $n$ вузлів електричної мережі, а кожен $j$-ий блок і його підмножина відображає групу різних $i$-их вузлів, що підключаються до ДЖ. Кількість останніх відповідає кількості блоків $k$. Розбиття множини $X$ в цілому дасть всі можливі версії комбінацій об'єднання вузлів, що відображає область всіх рішень задачі розподілу навантажень між ними, причому при різних їх кількостях.

У запропонованому алгоритмі генерування всіх $k$-их підмножин $n$-елементної множини використовуються схеми видалення або додавання одного елемента і розбиття чисел: більшого на менші [5]. Розбиття множини $\{1, ..., n\}$ представляється за допомогою послідовності блоків, впорядкованої за зростанням самого маленького елементу в них. Останній і є номером блоку. Напрямок, в якому рухається елемент $i$, закодовано через булеву перемінну, рівної 1 при русі $i$-ого елемента вперед. Потім зберігають

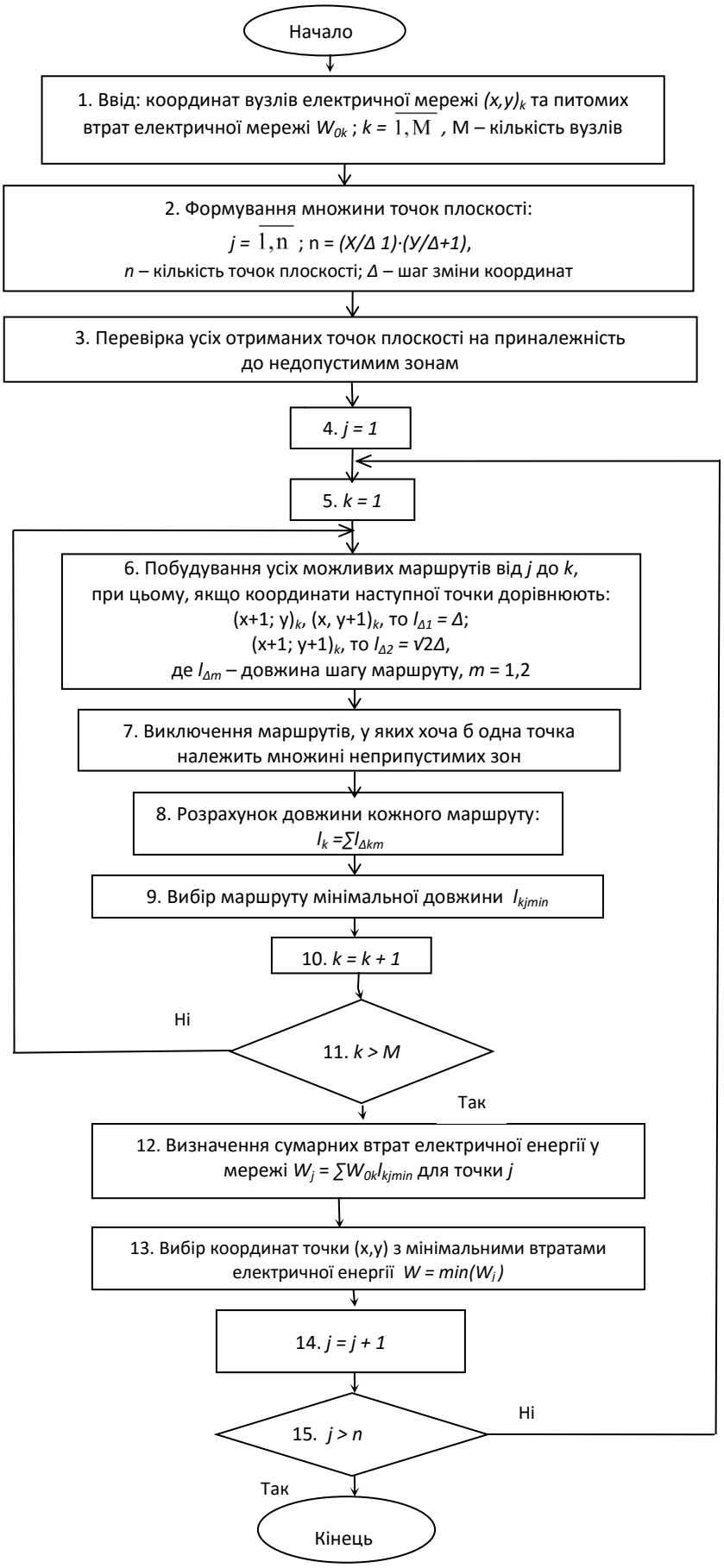


**Рис. 2. Алгоритм визначення місця розташування джерел живлення електричної мережі та її траси**

всі розбиття меншої розмірності і комбінують їх так, щоб вони не повторювалися, а кількість елементів нового розбиття не була більше кількості елементів *n*.

На рис. 3, як приклад, представлений результат роботи даного алгоритму - послідовність розбитій множини *{1, 2, 3, 4}*. Для даної множини загальне число розбиття дорівнюватиме 15 [5]. Воно є кількістю варіантів комбінацій об'єднання вузлів мережі з їх власним джерелом, а його складові вказують на кількість самих джерел живлення для кожної варіації розбиття. Зокрема, перший рядок відображає одне ДЖ, який об'єднує всі вузли, другий - два і так далі. У дужках вказується список конкретних вузлів із заданою нумерацією та власними параметрами режиму, які приєднуються до кожного джерела.

( 1 2 3 4 )
( 1 2 3 ) ( 4 )
( 1 2 ) ( 3 ) ( 4 )
( 1 2 ) ( 3 4 )
( 1 2 4 ) ( 3 )
( 1 4 ) ( 2 ) ( 3 )
( 1 ) ( 2 4 ) ( 3 )
( 1 ) ( 2 ) ( 3 4 )
( 1 ) ( 2 ) ( 3 ) ( 4 )
( 1 ) ( 2 3 ) ( 4 )
( 1 ) ( 2 3 4 )
( 1 4 ) ( 2 3 )
( 1 3 4) ( 2 )
( 1 3 ) ( 2 4 )
( 1 3) ( 2 )( 4 )

**Рис. 3. Послідовність розбитій множини *{1, 2, 3, 4}***

Таким чином, задіяні цикли перебору в запропонованих алгоритмах гарантують розгляд усіх можливих варіантів структури та топології електричної мережі. Зокрема в результаті роботи останнього формуються всі комбінації розподілу вузлів за ДЖ в кількості від *1* до *n*, а в першому розглядаються всі можливі місця їх розташування, а також маршрути траси електричної мережі з урахуванням топологічних обмежень. Зрештою оптимальна топологія мережі визначається на основі обчислень сумарних втрат електроенергії в її елементах для всіх варіантів (об'єднання і розміщення) і вибору серед них того, який забезпечує мінімальну суму. Для зниження обсягу обчислень зі сформованої послідовності комбінацій вибираються ті, у яких кількість джерел відповідає діапазону зміни, заданому обмеженнями [8]. Синтез оптимальної електричної мережі структурно складається із зазначених алгоритмів, задіяних у подальшому як самостійні обчислювальні блоки в загальному алгоритмі оптимізації структури і параметрів системи електропостачання [2].

**Висновки.**

Сумісна робота запропонованих алгоритмів формування оптимальної електричної мережі промислових підприємств з точки зору мінімуму сумарних втрат електричної енергії за рахунок переборів усіх можливих варіантів кількості вузлів мережі та місць їх розташування дозволить гарантовано створити енергоефективну мережу. Зниження обсягів обчислень обумовлюється вимогами до експлуатаціїї мережі, що надані як обмеження під час її оптимізації.

**Список літератури**

1. Качан Ю.Г. Об оценке потенциала энергосбережения в системах электроснабжения / Ю.Г. Качан, В.В. Дьяченко //Інтегровані технології та енергозбереження: Щоквартальний наук.-практ. журн. – Харків : НТУ «ХПІ», 2005. – №2 – С.154-156.
2. Качан Ю.Г. Алгоритм синтеза оптимальной энергоэффективной системы электроснабжения промышленных предприятий / Ю.Г. Качан, В.В. Дьяченко // Гірнича електромеханіка та автоматика: Наук.-техн.зб. – Дніпропетровськ : НГУ, 2010. – Вип. 85. – С.11-17.
3. Качан Ю.Г. О возможности распознавания топологии оптимальной системы электроснабжения / Ю.Г. Качан, В.В. Дьяченко // Гірнича електромеханіка та автоматика: Наук.-техн.зб. – Дніпропетровськ : НГУ, 2007. – Вип. 78. – С.3-5.
4. Курейчик В.М. Математическое обеспечение конструкторского и технологического проектирования с применением САПР: учебник для вузов / В.М. Курейчик. – М. : Радио и связь, 1990. – 352 с.
5. Иванов Б.Н. Дискретная математика. Алгоритмы и программы: учеб.пособие / Б.Н. Иванов. – М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 288 с.
6. Качан Ю.Г. Методические основы повышения энергоэффективности системы электроснабжения промышленных предприятий / Ю.Г. Качан, В.В. Дьяченко // Гірнича електромеханіка та автоматика: Наук.-техн.зб. – Дніпропетровськ : НГУ, 2006. – Вип.76. – С.12-17.

***Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Шкрабцем Ф.П.***