

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ЧИСЛА І МІСЦЬ РОЗТАШУВАННЯ ПІДСТАНЦІЙ МІСЬКИХ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Запропоновано алгоритм вирішення задачі визначення числа і місць побудови підстанцій при вирішенні задачі розвитку міських розподільних мереж електропостачання. Представлено математичну модель реалізації поставленої задачі методами дискретного програмування на основі методу k-середніх.

Ключові слова: міські розподільні електричні мережі; дискретні методи прийняття оптимальних рішень; метод k-середніх.

Вступ. Задача перспективного розвитку міської розподільної мережі електропостачання має на увазі визначення оптимального варіанту розвитку мережі, який враховує темпи розвитку міської інфраструктури [1]. При цьому обирається варіант розвитку мережі, при якому за найменших затрат на її будівництво і експлуатацію буде забезпечений заданий рівень надійності та якості електроенергії, що передається [2].

У зв'язку зі складністю та багатомірністю сучасних електропостачальних мереж, багатоваріантністю та багатокритеріальністю, задача обґрунтування перспективного розвитку міської розподільної мережі електропостачання є погано формалізованою, вимагає для свого розвитку дуже високих обчислювальних затрат, з практичної точки зору є важкоздоланною [3].

В літературі запропоновано велику кількість можливих методів вирішення задач визначення оптимальної кількості та місць встановлення трансформаторних підстанцій та розподільних підстанцій (ТП та РП відповідно). При цьому, як правило, задача ставиться як задача визначення умовного центру електричних навантажень [4-6]. В залежності від методу, в якості цього центру використовують геометричний центр ваги (без урахування потужностей споживачів) або навантажувальний центр ваги (з урахуванням потужностей споживачів).

Значна увага приділена даному питанню і в зарубіжній літературі. Так, в працях [7-8] для вибору оптимального розміщення підстанцій використовується метод віток та границь, у праці [9] для вирішення задачі застосовані методи цілочисельного програмування, праця [10] присвячена вирішенню задачі з використанням методів лінійного програмування. Відомі праці, в яких для визначення місць будівництва нових підстанцій застосовуються евристичні, генетичні та еволюційні алгоритми.

Основними недоліками запропонованих у зазначених публікаціях методах є відсутність обліку обмежень на розміщення нових підстанцій, а також можливість їх використання лише для побудови одиначної підстанції.

Постановка задачі. Задача полягає у визначенні числа та місць розташування нових ТП та РП, будівництво яких необхідне для забезпечення нових споживачів можливістю підключення до мережі енергопостачання.

Всі споживачі, які підключаються до мережі енергопостачання по рівню запитуваної напруги поділені на дві групи – споживачі, підключення яких відбувається до РП на рівні напруги 10 кВ, та споживачі, підключення яких здійснюється до ТП на рівні напруги 0,4 кВ, відповідно. Питання визначення місць будівництва ТП і РП в загальному випадку незалежні один від одного та можуть бути розглянуті послідовно – спочатку для об'єктів одного типу, потім іншого. Розглянутий нижче алгоритм має на увазі вирішення задачі в частині будівництва ТП, однак може бути використаний для вирішення задачі будівництва РП.

Вихідним для задачі є набір споживачів C' , підключення яких до діючих ТП не є можливим в зв'язку з відсутністю у підстанції достатнього об'єму вільної потужності або вільних місць для підключення:

$$C' = \{C_i, i \in [1:|C']\}.$$

Тут C_i – i -ий споживач, що підключається; $|C'|$ – число споживачів, що підключаються до мережі, підключення яких до мережі енергопостачання не є можливим. Також заданою являється множина можливих місць будівництва нових ТП O .

Результатом вирішення задачі є множина нових ТП $T^{нов}$.

Вектор варіюваних параметрів задачі має вигляд:

$$X = \{(x_i, y_i), X_{нов}^T, i \in [1: X_{нов}^T]\}.$$

Тут (x_i, y_i) – географічні координати i -ої нової ТП; $X_{\text{нов}}^T$ – число ТП, будівництво яких необхідно провести.

Ставиться задача визначення в області допустимих значень вектора варійованих параметрів D , такого значення вектора X , при якому буде забезпечений мінімум критерію оптимальності $Z(X)$:

$$\min_{X \in D} Z(\overset{*}{X}) = \min_{X \in D} Z(X).$$

Алгоритм на основі методу k -середніх. Метод k -середніх – популярний неієрархічний метод кластеризації, який дозволяє розділити об’єкти на задане заздалегідь число кластерів. Основна його ідея полягає в тому, що на кожній ітерації об’єкти поділяються на кластери по принципу найменшої відстані від центра мас кластера, з подальшим перерозподілом отриманих на попередньому кроці центрів кластерів. До недоліків методу можна віднести необхідність попереднього визначення числа кластерів, а також залежність результату рішення від обраних початкових центрів кластерів. Перевагою методу є простота та низькі обчислювальні затрати.

Схема алгоритму, що реалізує вказаний метод, приведена на рис. 1. Тут $N^{\text{кластер}}$ – число кластерів, на які необхідно розділити елементи множини C ; R^{max} – максимальне число спроб вирішення задачі із заданим числом кластерів.

На першому кроці алгоритму ($\tau=1$) з множини O випадковим чином вибираємо $N^{\text{кластер}}$ точок, які оголошуємо центрами кластерів.

На наступному кроці кожного споживача множини C' відносимо до одного з кластерів по принципу найменшого віддалення від центра кластера. Іншими словами, споживача C_i відносимо до j -го кластера, якщо для цього споживача відстань до центра j -го кластера менша, ніж до будь-якого іншого.

Далі для кожного з отриманих кластерів розраховуємо його навантажувальний центр ваги та з множини O вибираємо точку, що найбільш близько розташована до нього; вказану точку приймаємо за новий центр кластера. Наступним кроком проводимо перерозподіл споживачів по описаному вище принципу.

Процес кластеризації завершується, коли на черговому кроці τ роботи алгоритму, координати ні одного з центрів кластерів не змінюються.

Отримане рішення здійснює перевірку на допустимість – усі споживачі повинні мати можливість підключення до центру кластера, до якого вони віднесені. При виконанні даної вимоги за рішенням приймаються $X_{\text{нов}}^T = N^{\text{кластер}}$, місця будування нових ТП співпадають з центрами кластерів.

Якщо умову допустимості рішення не виконано, проводиться повторна спроба кластеризації з новими початковими кластерними центрами. Максимальне число спроб кластеризації з вихідним значенням числа кластерів $N^{\text{кластер}}$ задає R^{max} . Після R^{max} невдалих спроб кластеризації число кластерів збільшується на 1: $N^{\text{кластер}} = N^{\text{кластер}} + 1$.

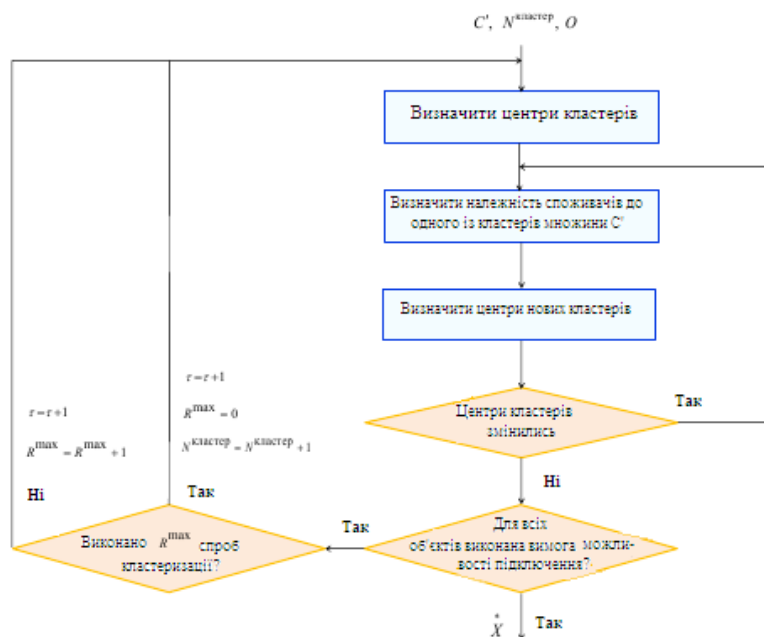


Рисунок 1 – Схема алгоритму, що реалізує метод k -середніх

Алгоритм, що реалізує кластеризацію методом k -середніх, ілюструє рис. 2. Приймаємо, що можливі місця будівництва нових ТП (елементи множини O) розташовані в усіх вузлах координатної сітки; $N_{\text{кластер}} = 2$.

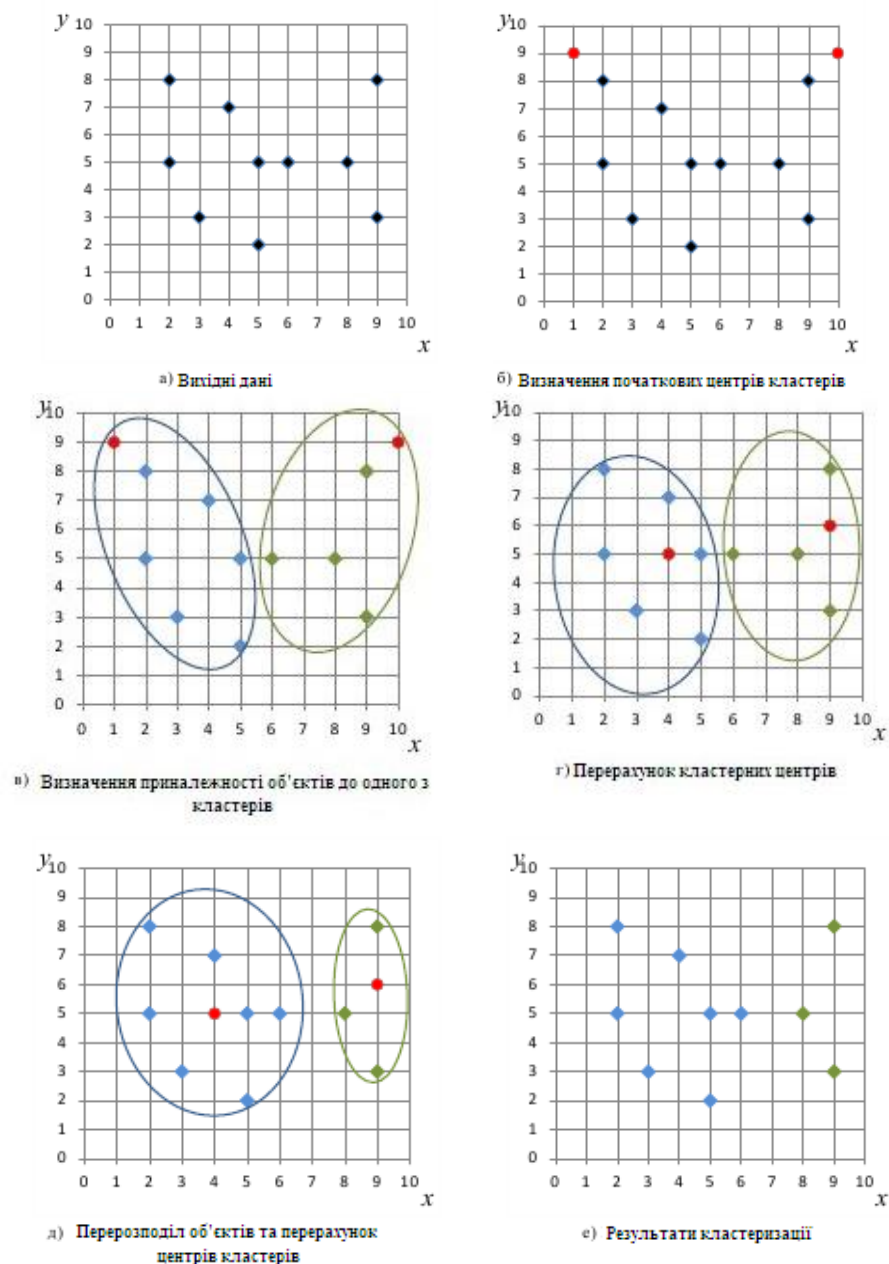


Рисунок 2 – Приклад роботи алгоритму, реалізуючого метод k -середніх

◆ – кластеризований об'єкт ● – кластерний центр ○ – умовна границя кластеру

Висновки. В роботі розглянуто метод та представлено алгоритм вирішення задачі оптимізації числа та місць побудови трансформаторних підстанцій, а саме, алгоритм, що реалізує метод k -середніх. Запропонований підхід дозволяє визначити оптимальне розташування об'єктів систем електропостачання з урахуванням дискретності обумовлюючих факторів (кількість трансформаторів та їх номінальні потужності, шкали перерізів провідників ліній, координати розташування та потужності споживачів) та параметрів режимів.

До переваг методу слід віднести можливість урахування вагових коефіцієнтів, які використовуються для коригування диспропорцій вибірки у порівнянні з досліджуваною сукупністю в цілому.

Недоліком можна вважати те, що метод k -середніх може привести до локального оптимуму, оскільки результати кластеризації залежать від початкового, довільного, розбиття на кластери.

Пропонуються способи подолання зазначених недоліків. Відповідно до першого, кластеризацію виконують декілька разів, формуючи початкові рішення з використанням методу Монте-Карло. Остаточним обирається варіант з мінімальним значенням цільової функції.

За іншим запропонованим способом, спочатку за допомогою ієрархічної кластеризації визначається число кластерів і знаходяться їх центри, а потім знайдене рішення уточнюється з позицій більш "тонкого" критерію, властивого методу k -середніх. При цьому розбиття проводиться на знайдене раніше число кластерів, а в якості початкових центрів кластерів беруться не перші рядки таблиці, а центри кластерів, отримані методом ієрархічної кластеризації.

Список використаної літератури

1. Ананичева С.С., Калинин М.А. Практические задачи электрических сетей: учеб. пособие. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 112 с.
2. Булатов Б.Г. САПР и модели оптимального развития энергосистем: конспект лекций. Челябинск: ЮУрГУ, 2005. 69 с.
3. Арзамасцев Д.А., Липес А.В., Мызин А.Л. Модели оптимизации развития энергосистем. М.: Высшая школа, 1987. 272 с.
4. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. М.: Интермент Инжиниринг, 2006. 670 с.
5. Керного В.В., Пospelов Г.Е., Федин В.Т. Местные электрические сети. Минск: Вышэйшая школа, 1972. 218 с.
6. Thompson G.L. A Branch and Bound Model for Choosing Optimal Substation Locations // IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. 1981. Vol. PAS-100, no. 5. P. 2683-2687. DOI: 10.1109/TPAS.1981.316784
7. Gonen T. Review of distribution system planning models: A model for optimal multistage planning // IEE Proceedings C Generation, Transmission and Distribution. 1986. Vol. 133, no. 7. P. 397-408. DOI: 10.1049/ip-c:19860060
8. Gonen T. Distribution system planning using mixed integer programming // IEE Proceedings C Generation, Transmission and Distribution. 1981. Vol. 128, no. 2. P. 70-79. DOI: 10.1049/ip-c:19810010
9. Ramirez-Rosado I. J. Pseudodynamic planning for expansion of power distribution systems // IEEE Transactions on Power Systems. 1991. Vol. 6, no. 1. P. 245-254. DOI: 10.1109/59.131069
10. Diaz-Dorado E., Cidras E. J., Miguez E. Application of evolutionary algorithms for the planning of urban distribution networks of medium voltage // IEEE Transactions on Power Systems. 2002. Vol. 17, no. 3. P. 879-883. DOI: 10.1109/TPWRS.2002.800975
11. Diaz-Dorado E., Cidras E. J., Miguez E. Planning of large rural low voltage networks using evolution strategies // IEEE Transactions on Power Systems. 2003. Vol. 18, no. 4. P. 1594-1600. DOI: 10.1109/TPWRS.2003.818741

M.M. Fedosenko, P.V. Kudriev, V.V. Vinnichuk

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

DETERMINATION OF THE OPTIMAL NUMBER AND LOCATION OF DISTRIBUTING CITY POWER NETWORKS SUBSTATIONS

The article sets a mathematical problem of defining the optimum number and sites to construct new transformer and distribution substations as an optimizing problem of discrete programming. The algorithm realizes a k -means method, which is a popular non-hierarchical clustering one. The method allows us to separate a set of objects into the clusters containing objects being at the smallest distance from the centers of clusters, which are accepted to be the sites for new substations.

Key words: urban power distribution network; optimization methods; k -means method.

References

1. Ananicheva S.S., Kalinkina M.A. Prakticheskie zadachi elektricheskikh setey [Practical tasks of electrical networks]. Ekaterinburg, UrFU Publ., 2012. 112 p. (in Russian).
2. Bulatov B.G. SAPR i modeli optimal'nogo razvitiya energosistem [CAD and model of the optimal development of power systems]. Chelyabinsk, YuUrSU Publ., 2005. 69 p. (in Russian).
3. Arzamastsev D.A., Lipes A.V., Myzin A.L. Modeli optimizatsii razvitiya energosistem [Models of optimization of development of power systems]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1987. 272 p. (in Russian).
4. Kudrin B.I. Elektrosnabzhenie promyshlennykh predpriyatiy [Power supply of industrial enterprises]. Moscow, Interment Inzhiniring Publ., 2006. 670 p. (in Russian).
5. Kernogo V.V., Pospelov G.E., Fedin V.T. Mestnye elektricheskie seti [Local electrical networks]. Minsk, Vysheyshaya shkola Publ., 1972. 218 p. (in Russian).

6. Thompson G.L. A Branch and Bound Model for Choosing Optimal Substation Locations // IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. 1981. Vol. PAS-100, no. 5. P. 2683-2687. DOI: 10.1109/TPAS.1981.316784
7. Gonen T. Review of distribution system planning models: A model for optimal multistage planning // IEE Proceedings C Generation, Transmission and Distribution. 1986. Vol. 133, no. 7. P. 397-408. DOI: 10.1049/ip-c:19860060
8. Gonen T. Distribution system planning using mixed integer programming // IEE Proceedings C Generation, Transmission and Distribution. 1981. Vol. 128, no. 2. P. 70-79. DOI: 10.1049/ip-c:19810010
9. Ramirez-Rosado I. J. Pseudodynamic planning for expansion of power distribution systems // IEEE Transactions on Power Systems. 1991. Vol. 6, no. 1. P. 245-254. DOI: 10.1109/59.131069
10. Diaz-Dorado E., Cidras E. J., Miguez E. Application of evolutionary algorithms for the planning of urban distribution networks of medium voltage // IEEE Transactions on Power Systems. 2002. Vol. 17, no. 3. P. 879-883. DOI: 10.1109/TPWRS.2002.800975
11. Diaz-Dorado E., Cidras E. J., Miguez E. Planning of large rural low voltage networks using evolution strategies // IEEE Transactions on Power Systems. 2003. Vol. 18, no. 4. P. 1594-1600. DOI: 10.1109/TPWRS.2003.818741

УДК 621.311

Н.Н. Федосенко, канд. техн. наук, доц., **П.В. Кудиев**, магистрант, **В.В. Винничук**, магистрант
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ЧИСЛА И МЕСТ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОДСТАНЦИЙ
ГОРОДСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Предложено алгоритм решения задачи определения числа и мест размещения подстанций при решении задач развития городских распределительных электрических сетей. Представлено математическую постановку задачи в виде оптимизационной задачи дискретного программирования. Описан алгоритм, основанный на методе k-средних.

Ключевые слова: городские распределительные электрические сети; дискретные методы принятия оптимальных решений; метод k-средних.

Надійшла 19.04.2016

Received 19.04.2016

УДК 621.311

В.П. Розен, д-р техн. наук, проф., **І.Г. Ходаківський**, студент
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГНОЗНИХ МОДЕЛЕЙ ХОЛЬТА- ВІНТЕРСА

У даній роботі розглянуто метод управління електричним навантаженням промислового підприємства з використанням прогнозних моделей Хольта-Вінтерса. Представлений аналіз наукових досліджень в галузі управління електричним навантаженням. Використана модель Хольта-Вінтерса для виконання короткострокового прогнозування режиму електроспоживання. Представлені графічні результати прогнозування. Зроблено розрахунок похибок прогнозування часових рядів режиму електроспоживання. Представлений метод дозволяє провести оцінку прогнозної величини режиму електроспоживання з використанням підходу мінімізації помилок прогнозування величини електроспоживання. Результати можуть бути використані енергетиками промислових підприємств при плануванні режиму електроспоживання.

Ключові слова: метод Хольта-Вінтерса, модель Хольта, експоненціально згладжений ряд, оцінка тренда, оцінка сезонності, середнє значення квадратів похибок.