

ЕВРИСТИЧНИЙ АЛГОРИТМ ПОШУКУ ОПТИМАЛЬНИХ ВАРІАНТІВ ВІДНОВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗНЕСТРУМЛЕНИХ СПОЖИВАЧІВ В ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ

© Лук'яненко Л.М., 2007

Запропоновано евристичний алгоритм розв'язання задачі відновлення електроживлення споживачів, знеструмлених внаслідок аварії в електромережах. Він ґрунтується на поступовому “звуженні” знеструмленого фрагменту електричної мережі з перерозподілом його навантаження між суміжними фрагментами.

This paper presents a new heuristic algorithm to service restoration in distribution systems. It is based on step-by-step narrowing of the out-of-service areas of an electric network with redistribution of his functions between adjacent areas.

Вступ. Автоматизоване відновлення електропостачання знеструмлених споживачів (ВЕС) в електромережах (ЕМ) дозволяє істотно підвищити надійність ЕМ, зменшити час відімкнення споживачів та покращити економічні показники. Необхідно зазначити, що визначення оптимальної послідовності перемикачів в схемах ЕМ з урахуванням існуючих обмежень – задача не завжди тривіальна, особливо під час її розв'язання в умовах цейтноту часу. Роботи в цьому напрямку ведуться в багатьох країнах, з використанням різних математичних підходів [2–11]. Серед сучасних методів та засобів найбільшого практичного поширення знайшли еволюційні обчислення [5, 7, 10], евристичні алгоритми [2, 3] та експертні системи [8, 11], досить інтенсивно розвиваються методики відновлення ЕМ на основі систем мультіагентів [6]. Штучні нейронні мережі та числові методи для ВЕС використовуються рідше [4, 8, 9]. Значна частина вказаних методів і засобів використовують детерміновані підходи до представлення параметрів і обмежень ЕМ, хоча на практиці більша частина вузлів розподільчих мереж не спостерігаються. Цей факт істотно впливає на якість результатів моделювання і тому досить часто переходять до використання імовірнісних та нечітких методів [3, 5, 11], як при розв'язанні задачі та і при поданні інформації. Детальний огляд методів і засобів розв'язання задачі ВЕС ЕМ наведено в [1].

Технологічні обмеження задачі ВЕС. Пошук оптимальних варіантів відновлення електроживлення споживачів ЕМ потребує введення деяких припущень. Вважаємо, що доаварійний режим роботи ЕМ відомий і аварія була ліквідована системою РЗА.

Розв'язання задачі ВЕС починається з пошуку варіантів схеми ЕМ, з подальшим їх ранжируванням. Варіант відновлення електропостачання ЕМ (комутаційна схема) являє собою вектор станів комутаційних апаратів (КА), після застосування якого відсутні порушення режимних обмежень ЕМ.

Варіанти ВЕС різняться між собою шляхами відновлення живлення і можуть задовольняти різні оптимізаційні критерії. Наприклад, одна комутаційна схема може бути реалізована за допомогою меншої кількості перемикачів, а інша містити більш збалансоване включення навантажень тощо.

Загалом, задача ВЕС ЕМ є багатокритеріальною, оптимізаційною задачею з обмеженнями. Основними технологічними обмеженнями для кожного варіанта ВЕС є режимні обмеження. Але враховуючи те, що кількість варіантів досить велика, то виконати моделювання режиму для кожного варіанта ВЕС ЕМ є неможливим в умовах оперативного керування ЕМ, тому для розімкненої ЕМ, на етапі відбору основних варіантів, пропонується виконувати заходи, спрямовані на утримання режиму в допустимій області. Основними заходами, що пропонуються для

забезпечення допустимості режиму кожної комутаційної схеми, є: збереження радіальної структури ЕМ, обмеження перевантажень елементів ЕМ та спеціальний метод розподілу навантаження між центрами живлення (ЦЖ). На завершальному етапі розв'язання задачі ВЕС ЕМ, для декількох найкращих варіантів може виконуватись моделювання режиму для гарантування його допустимості.

Ранжирування комутаційних схем ВЕС ЕМ виконується за критеріями оптимальності, пріоритет яких залежить як від технологічних чинників, так і від економічних обмежень, пов'язаних з ринковими відносинами. Основними оптимізаційними критеріями для цієї задачі є максимізація кількості відновленого навантаження, мінімальна кількість перемикачів у схемі ЕМ та скорочення часу відновлення електропостачання вузлів ЕМ.

Евристичний алгоритм пошуку варіантів ВЕС ЕМ. Найбільшого розповсюдження для розв'язання задачі ВЕС ЕМ в оперативному режимі отримали *евристичні алгоритми* (ЕА) [2, 3]. Це спеціальні методики пошуку оптимальної конфігурації ЕМ, які чітко визначають послідовність дій і спираються на досвід і особливості експлуатації та відновлення живлення в конкретних ЕМ [1]. Нижче описаний ЕА, який використовує спрощену систему обмежень і оптимізаційних критеріїв. У такій формі він не може використовуватись для *повноцінного* розв'язання задачі ВЕС ЕМ з отриманням практичних результатів. В той самий час, можливим застосуванням програмної реалізації цього ЕА є генерація множини початкових рішень для ітераційного процесу ВЕС. Незважаючи на "обмеженість" поданої програмної реалізації ЕА, вона покладена в основу розробки повного програмного комплексу.

Основною ідеєю представленого ЕА є поступове звуження знеструмленого фрагменту (ЗФ) ЕМ, розподіляючи знеструмлене навантаження між фрагментами ЕМ, що примикають до нього і працюють в нормальному режимі.

Блок-схема ЕА показана на рис. 1, згідно з якою процес ВЕС починається з вибору чергового ЗФ, для якого визначаються КА, що відділяють цей ЗФ від основної мережі – граничні КА (ГКА). Потім згідно з оптимізаційними критеріями та з дотриманням обмежень визначається оптимальний ГКА (оптимальний тільки для даного кроку ЕА) для замикання і суміжні з ним КА для розмикання з ціллю збереження радіальної структури ЕМ та поступового набору навантаження суміжними (працездатними) з ЗФ фрагментами. На цьому кроці ЕА також визначається альтернативні ГКА, чисельні показники яких відрізняються від оптимального ГКА на задану величину δ (чутливість). Величина δ – це поріг чутливості ЕА до альтернативних варіантів, чим більше δ , тим більше альтернативних варіантів знайде ЕА. Дослідження показали, що часто деякі альтернативні варіанти мають кращі показники, ніж "основний", але надмірно велика чутливість різко збільшує час роботи ЕА та генерує багато неефективних варіантів ВЕС.

Після визначення всіх варіантів ВЕС поточного ЗФ ЕМ евристичний алгоритм переходить до наступного ЗФ. На кінцевому етапі ВЕС ЕМ виконуються розрахунки числових показників для всіх знайдених варіантів ВЕС, їх ранжирування згідно з критеріями оптимальності та вивід результатів. Процес завершується тоді, коли знайдено варіанти схем ВЕС ЕМ, або показана відсутність останніх за поточних обставин.

Трапляються випадки коли повне відновлення навантаження ЗФ неможливе через значні перевантаження елементів суміжних фрагментів ЕМ. Розв'язання цієї задачі можливо двома шляхами: глобальний перерозподіл навантаження ЕМ чи відключення деяких споживачів ЗФ. Часто, на практиці, перший підхід буває складно (а інколи і неможливо) реалізувати, і приходиться відключати деяких споживачів ЗФ ЕМ, насамперед відключають споживачів з низьким пріоритетом (III категорії).

Схема розподільчих ЕМ, що використовувалась для перевірки працездатності програмної реалізації ЕА, зображена на рис. 2, в ній виникло КЗ на шинах *секції В п/см3* і після спрацювання релейного захисту утворився ЗФ ЕМ (зображено затемненим). Цей фрагмент має три ГКА (*ка3, каб, ка8*) і два внутрішні КА (*ка4, ка5*). Варіанти ВЕС ЗФ ґрунтуються на управлінні цими вимикачами, ГКА визначають з яких фідерів (*ФД5, ФД4, ФД2*) відбудеться відновлення потужності ЗФ, а

внутрішні КА визначають як буде поділений ЗФ. Результати пошуку варіантів ВЕС ЗФ ЕМ, за допомогою ЕА, зведено до таблиці, для даної аварійної ситуації було знайдено 7 варіантів ВЕС ЗФ. Як уже зазначалось, визначення пріоритету варіантів ВЕС та пошук компромісних рішень – це нетривіальна задача, тому результати в таблиці представлено в порядку зменшення коефіцієнта розподілу навантаження.

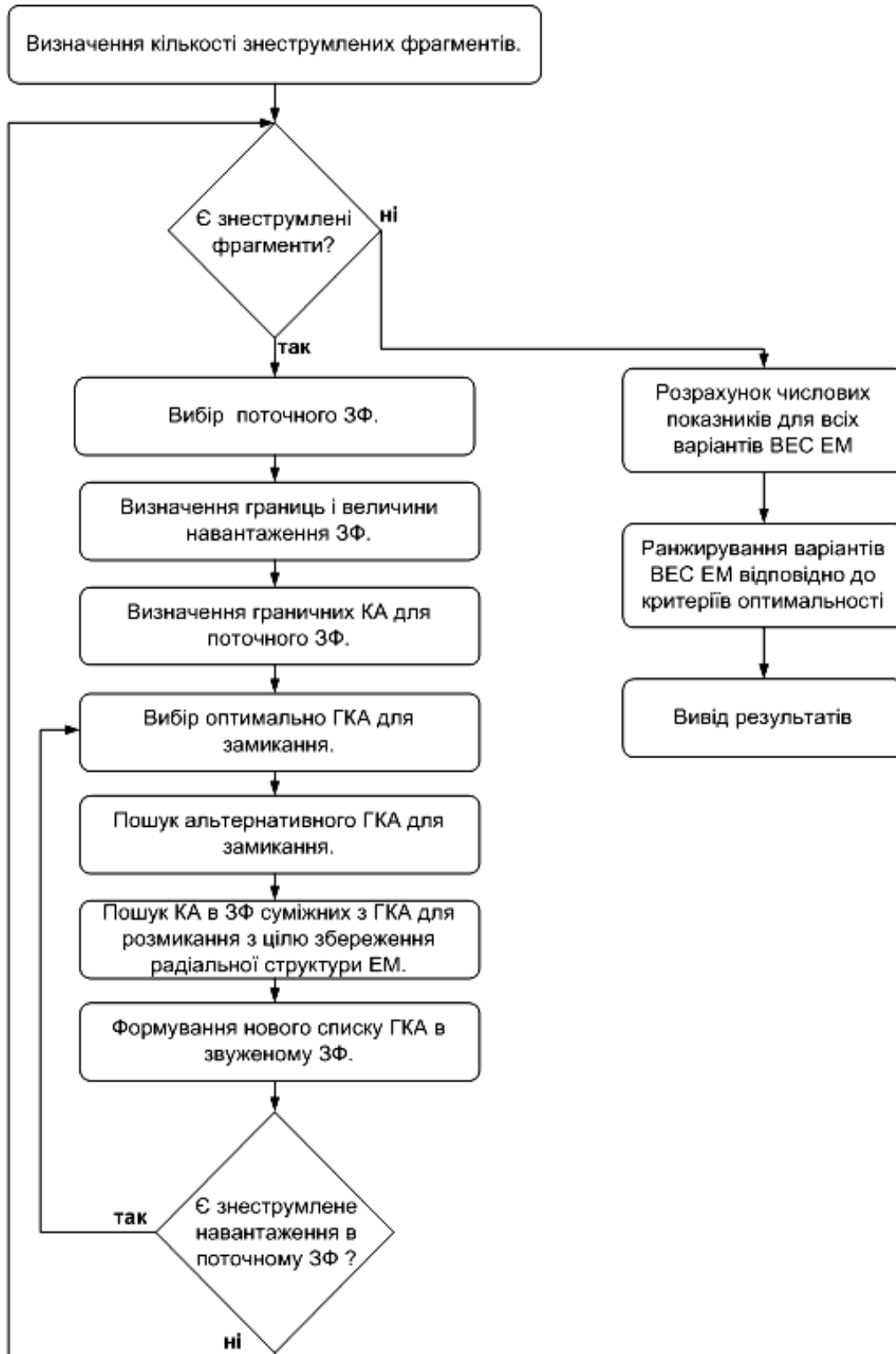


Рис. 1. Блок-схема ЕА

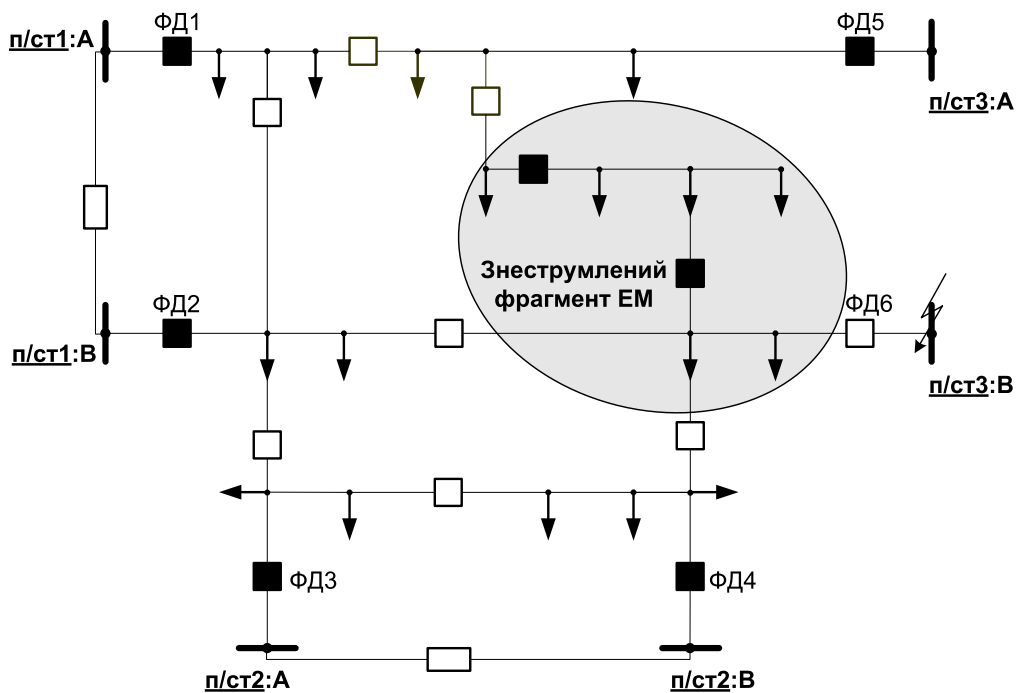


Рис. 2. Схема розподільчих ЕМ, що використовувалась для перевірки працездатності програмної реалізації ЕА

Результати пошуку варіантів ВЕС 3Ф ЕМ за допомогою ЕА

№	Варіант ВЕС ЕМ	Кількість комутацій	Розподіл навантаження між ЦЖ (А)	Коефіцієнт розподілу навантаження	Показник відновленої потужності
1	ка3=1 ка5=0 ка8=1	3	ФД1=217; ФД2=186 ФД3=145; ФД4=356 ФД5=496; ФД6=0	0,292	100%
2	ка3=1 ка5=0 ка6=1	3	ФД1=217; ФД2=330 ФД3=145; ФД4=212 ФД5=496; ФД6=0	0,292	100%
3	ка3=1 ка4=0 ка6=1	3	ФД1=217; ФД2=605 ФД3=145; ФД4=212 ФД5=221; ФД6=0	0,239	100%
4	ка3=1 ка4=0 ка8=1	3	ФД1=217; ФД2=186 ФД3=145; ФД4=631 ФД5=221; ФД6=0	0,229	100%
5	ка3=1	1	ФД1=217; ФД2=186 ФД3=145; ФД4=212 ФД5=640; ФД6=0	0,226	100%
6	ка6=1	1	ФД1=217; ФД2=717 ФД3=145; ФД4=212 ФД5=109; ФД6=0	0,152	100%
7	ка8=1	1	ФД1=217; ФД2=186 ФД3=145; ФД4=743 ФД5=109; ФД6=0	0,146	100%

Також потрібно зазначити, що для невеликих знеструмлених фрагментів ЕМ можливо використання алгоритму повного перебору варіантів (АППВ) ВЕС 3Ф. Цей алгоритм послідовно перебирає всі можливі варіанти ВЕС ЕМ і може використовуватись для перевірки ефективності

пошуку варіантів іншими методами і засобами розв'язання задачі ВЕС ЕМ. Основним недоліком АППВ є значний час пошуку для середніх, і тим більше, великих схем ЕМ.

На кінцевому етапі розв'язання задачі ВЕС ЕМ виконується “класична” оптимізація режиму для декількох варіантів ВЕС із найбільшим індексом ранжирування. Остаточний вибір варіанта ВЕС ЕМ, за умови його наявності, виконує оперативним персоналом ЕМ.

Висновки. Запропонований ЕА продемонстрував велику швидкість пошуку розв'язків (менше 1 секунди) у разі відновлення електропостачання середніх (20–30 вузлів) та великих (більше 40 вузлів) ЗФ ЕМ. Встановлення параметра чутливості δ більше 10 % на великих ЗФ із складною структурою значно уповільнює пошук розв'язку, тому рекомендується для таких схем встановлювати δ менше 1 %.

Основні недоліки запропонованого ЕА визначаються загальними недоліками цієї групи алгоритмів: складністю визначення якості знайденого розв'язку (глобальний чи локальний розв'язок), необхідністю “інсталювати” технологічні обмеження і оптимізаційні критерії в “тіло” алгоритму.

Але незважаючи на недоліки ЕА, у них широкий спектр застосування, по-перше, як самостійні програмні комплекси пошуку варіантів ВЕС, по-друге, як процедури генерації початкових рішень для ітераційних методів розв'язання цієї задачі.

1 Лук'яненко Л.М., “Сучасні методи та засоби розв'язання задачі відновлення електропостачання знеструмлених споживачів в електромережах // Техн. електродинаміка. Темат. вип.: Силова електроніка та енергоефективність. Ч. 5. – 2007. – С. 89–92. 2. Miu K.N., Chiang H.D., Yuan B. and Darling G. Fast Service Restoration for Large-Scale Distribution Systems with Priority Customers and Constraints // IEEE Trans. Power Syst. – Aug. 1998. – Vol. 13, no. 3. – P. 789–795. 3. Lim S.I., Lee S.J., Choi M.S., Lim D.J., Ha B.N. Service Restoration Methodology for Multiple Fault Case in Distribution Systems // IEEE Trans. Power Syst. – Nov. 2006. – Vol. 21, no. 4. – P. 1638–1644. 4. Успенский М.И., Кызродев И.В. Комплексный метод восстановления схемы электроснабжения потребителей распределительной сети // Электричество. – 2002. – № 12. – С. 36–41. 5. Augugliaro A., Dusonchet L., Sanseverino E. Riva. Multiobjective service restoration in distribution networks using an evolutionary approach and fuzzy sets. // International Journal of Electrical Power & Energy Systems 2000. – 22. – P. 103–110. 6. Nagata T., Tao Y., Sasaki H., Fujita H. Decentralized Approach to Power System Restoration by means of Multi-agent Approach // Bulk Power System Dynamics and Control. 7. Toune S., Fudo H., Genji T., Fukuyama Y., Nakanishi Y. Comparative study of modern heuristic algorithms to service restoration in distribution system // IEEE Trans. Power Delivery. – Jan. 2002. – Vol. 17. – P. 173–181, 8. Nagata T., Sasaki H., Yokoyama R. Power systems restoration by joint usage of expert system and mathematical programming approach // IEEE Trans. Power Syst. – Aug. 1995. – Vol. 10. – P. 1473–1479. 9. Chen C.-S., Ke Y.-L., Wu J.-S., Kang M.-S. Application of Petri nets to solve distribution system contingency by considering customer load patterns // IEEE Trans. Power Syst. – May 2002. – Vol. 17. – P. 417–23. 10. Fudou H., Genji T., Fukuyama Y., Nakanishi Y. A genetic algorithm for network reconfiguration using three phase unbalanced load flow // Intelligent Systems Applications to Power Systems, Seoul, Korea, Jul. 1997. – P. 6–10. 11. Данилова О.А. Удосконалення методів визначення варіанту відновлення схеми електропостачання споживачів в умовах нечіткості вхідної інформації: Автореф. дис. ...канд. техн. наук. – К., 2003. – 20 с.