

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПОШУКУ ПОШКОДЖЕНЬ В РОЗПОДІЛЬНИХ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЯХ

Мірошник О. В., Котляр О. А.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

У статті розглядається модель вибору стратегії пошуку пошкоджень в сільських розподільних повітряних лініях 6-10 кВ в умовах неповноти вихідної інформації.

Постановка проблеми. Розподільні повітряні лінії електропередачі напругою 6-10 кВ характеризуються значною розгалуженістю та великою довжиною. Внаслідок аварійних вимикань у разі коротких замикань в них споживачі несуть збитки, які залежать від кількості вимикань та їх тривалості. Тривалість знеструмлення споживачів значною мірою визначається часом пошуку місця пошкодження. Оскільки рівень автоматизації в цих лініях знаходиться ще на низькому рівні, пошук місця пошкодження вимагає значних витрат часу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За даними [1] основним джерелом аварійності залишаються лінії 6-10 кВ, на які припадає 62,2% аварійних вимикань ЛЕП 6-150 кВ та 90% від загального показника аварійного недовідпуску електроенергії. Кількість пошкоджень в сільських розподільних повітряних лініях (ПЛІ) 6-10 кВ залежить від конструкції ліній, терміну їх служби, рівня експлуатації. За даними [2] найбільша частка пошкоджень припадає на пошкодження проводів. Найбільша інтенсивність пошкодження припадає на час буревіїв, для якнайшвидшого усунення таких численних пошкоджень потрібна мобілізація всього персоналу та усіх матеріальних ресурсів. Ситуація ускладнюється відсутністю у більшості випадків точної інформації про місце та характер пошкодження, що ставить перед диспетчерським персоналом складні задачі прийняття оптимальних рішень щодо вибору стратегії пошуку пошкодження в лініях.

Мета статті. Метою статті є розробка моделі вибору оптимальної стратегії пошуку пошкодження в розподільній електричній мережі 6-10 кВ за відсутності повних і точних відомостей про місце та характер пошкодження.

Основні матеріали дослідження. Тривалість усунення пошкодження в електричних мережах складається з часу, що витрачається на його виявлення, і часу на ремонтні роботи. Аналіз даних експлуатації показує, що витрачений на виявлення пошкодження час є одного порядку з часом ремонту. Тому однією з важливих задач експлуатації сільських розподільних електромереж залишається скорочення часу пошуку пошкоджень.

Для пошуку пошкодження можуть бути використані різні стратегії: стратегія послідовного поділу лінії роз'єднувачами в порядку збільшення відстані від підстанції (центру живлення) до місця їх установки, стратегія першочергової локалізації найменш надійної (за статистику) ділянки лінії, стратегія мінімізації недовідпуску електроенергії за час відновлення елек-

тропостачання, стратегія забезпечення якнайшвидшого відновлення електропостачання найвідповідальніших споживачів. В експлуатації найчастіше застосовують стратегію послідовного поділу лінії.

У зв'язку з тим, що схеми сільських повітряних розподільних мереж розгалужені, для пошуку пошкоджень в аварійно вимкнених повітряних лініях доводиться використовувати метод пробних вимикань. Для реалізації цього методу на ПЛІ через певні відстані (2-3 км) встановлені роз'єднувачі, за допомогою яких її частини можна розділити за умови, що лінія вимкнена вимикачем, встановленим в голові лінії - в комірці лінії на районній трансформаторній підстанції.

Задача теорії рішень полягає у здійсненні вибору рішення за відсутності повних і точних відомостей про стан природи - місце та характер пошкодження. Повні і точні відомості створюють єдиний комплекс, а відхилення від повноти і точності інформації надзвичайно різноманітні. Тому кожній задачі математичного програмування може бути поставлено у відповідність множину ускладнених недосконаліми вихідними даними задач теорії рішень, які вимагають пошуку різних методів вибору рішення.

Можливість знайти обґрунтування для вибору рішення в умовах таких невизначених уявлень виникає у разі застосування особливого способу розбиття на частини (районування) множин векторів, які характеризують стан природи [3].

В задачі вибору рішення при управлінні цілеспрямованою діяльністю основними поняттями слугують:

- клас A варіантів дій (стратегій пошуку пошкодження), вибір з яких повинен бути зроблений в результаті дослідження;

- множина S станів природи (схемних рішень електромереж, варіантів комплексу умов - можливих пошкоджень в лініях, типів обстановки - під'їзних шляхів тощо), один з яких має місце в процесі здійснення вибраного рішення;

- показник ефективності дії (цільова функція) $u = u(A, S)$, величина якого залежить від вибраного рішення $A \in A$ і стану природи $S \in S$. Вид показника ефективності відповідає меті, на досягнення якої направлена діяльність. Для задач вибору оптимальної стратегії пошуку місця аварійного пошкодження в сільських розподільних повітряних лініях цільова функція визначає або тривалість пошуку пошкодження в лінії, або збитки від перерв в електропостачанні споживачів, або сумарний ефект від застосування засобів підвищення надійності електропостачання.

Метод районування [3] передбачає математичну операцію розбиття множини векторів стану природи, в якості якої ми розглядаємо множини аварійних станів електричної мережі, на частини, в кожній з яких є своя оптимально визначена дія – оптимальна стратегія пошуку пошкодження в лінії. Районування виникає в результаті обернення задачі параметричного програмування: на відміну від прямої задачі параметричного програмування, де аргументом є вектор стану, а функцією – оптимальна дія, в оберненій задачі аргумент – дія, що являє собою стратегію пошуку пошкодження в аварійно вимкненій лінії оперативною виїзною бригадою (ОВБ), а функція – частина множини векторів стану природи, а саме, частина множини аварійних станів електричної мережі, в якій вибрана стратегія пошуку пошкодження оптимальна.

Для дискретних варіантів прийняття диспетчером рішень з вибору стратегій пошуку пошкодження A_i ($i = 1, 2, \dots, k$) і можливих станів електричної мережі після аварійного вимкнення S_j ($j = 1, 2, \dots, n$) може бути розрахована матриця ефективності

$$\|u_{ij}\| = \|u(A_i, S_j)\|, \quad (1)$$

тобто проведена оцінка ефективності будь-якої вибраної диспетчером стратегії дій A_i за умов будь-якого заданого стану електричної мережі після аварійного вимкнення S_j . Якщо ж врахувати, що у даному випадку вихідні дані доцільно представляти не як стан електричної мережі, а як розподіл ймовірностей станів електричної мережі $P(S_j) = P_j$, оскільки експлуатаційний персонал, як правило, на основі ретроспективних даних може приблизно оцінити "слабкі" з точки зору надійності ділянки лінії та ділянки з незначною ймовірністю пошкоджень, то очікувана ефективність прийнятого диспетчером рішення A_i може бути оцінена за величиною математичного сподівання:

$$u_i = \sum_{j=1}^n u_{ij} P_j. \quad (2)$$

При фіксованому стані електричної мережі S_j або фіксованому розподілі ймовірностей стану $P(S_1), P(S_2), \dots$ задача вибору рішення являється задачею математичного програмування: знайти оптимальну стратегію пошуку місця пошкодження в електричній мережі, тобто одну або декілька стратегій з класу A , які не поступаються за величиною показника ефективності іншим стратегіям при дотриманні умов і обмежень, що витікають з особливостей конкретної мережі. Розподіл ймовірностей стану електричної мережі задається у вигляді ряду числових характеристик – вихідних даних для програмування.

Для будь-якого $x \in G$ у випадку класу A , що складається з двох рішень A_1 і A_2 , повинна виконуватися одна з трьох несумісних умов:

$$\begin{aligned} u_1(x) &> u_2(x), \\ u_1(x) &< u_2(x), \\ u_1(x) &= u_2(x). \end{aligned} \quad (3)$$

Якщо за цією ознакою класифікувати всі елементи множини G , то вона розчлениться на три підмножини:

- підмножина строгого домінування стратегії A_1 над A_2 ($A_1 \succ - A_2$), для всіх елементів якої A_1 ефективніше A_2 ;

- підмножина строгого домінування стратегії A_2 над A_1 ($A_2 \succ - A_1$), для всіх елементів якої A_2 ефективніше A_1 ;

- підмножина еквівалентності A_1 і A_2 ($A_1 \approx A_2$), для всіх елементів якої обидві стратегії однакові за ефективністю.

Для вибору оптимальної стратегії пошуку місця пошкодження в електричній мережі достатньо впевнитись у слабкому домінуванні однієї стратегії над іншою. У зв'язку з цим елементи третьої підмножини можуть бути довільно віднесені частково до першої, а частково до другої підмножини. Тоді множина G виявиться розбитою на дві множини, які не перетинаються: множина слабого домінування A_1 над A_2 ($A_1 \succ \cong A_2$) і слабого домінування A_2 над A_1 ($A_2 \succ \cong A_1$), причому ті елементи множини векторів стану, які можуть бути віднесені або до множини A_1 , або до множини A_2 утворюють парну границю.

Для класу A , що складається з k стратегій A_1, A_2, \dots, A_k , множина G може бути розбита на k_1 непустих підмножин строгого домінування однієї з стратегій над іншими, k_2 непустих підмножин строгого домінування двох еквівалентних стратегій над іншими і т.д. При цьому

$$0 \leq k_l \leq \binom{k}{l} \quad (4)$$

при $1 \leq l \leq k$, а загальне число таких підмножин знаходиться в границях

$$1 \leq \sum_{l=1}^k k_l \leq 2^k - 1. \quad (5)$$

Всі непусті підмножини строгого домінування одиночної стратегії або групи еквівалентних стратегій попарно не перетинаються, а в сумі складають множину G . Оскільки стратегія оптимальна, якщо вона слабо домінує над іншими, то сукупність елементів $x \in G$, в яких стратегія A_i слабо домінує над іншими, може бути названа множиною оптимальної стратегії A_i .

При районуванні нас цікавить не величина, як це може мати місце в задачах математичного програмування, а тільки знак найбільшого і найменшого значення деяких функцій на заданій множині, що істотно зменшує громіздкість алгоритму.

Для задач з кінцевим числом стратегій і множиною векторів стану електричної мережі властива стійкість рішень; у разі зміни стану електричної мережі або розподілу ймовірностей стану, що призводить до зміни показника ефективності, рішення про використання стратегії A_i залишається незмінним, доки відповідний вектор стану x переміщується по одному і тому ж району – множині G_i^k . При подальшому пере-

міщенні вектор стану електричної мережі, що відповідає фактичній обстановці, може перейти в множину оптимальності іншої стратегії і викликати необхідність зміни рішення.

Стійкість рішення показує, що запропонована методами математичного програмування вимога повного знання стану електричної мережі надмірна: для точного вибору рішення, тобто, по суті для зняття впливу невизначеності, необхідні лише відомості, що дозволяють визначити, до якої з множини G_i^k відноситься фактична обстановка.

Розглянемо задачу про три однакові ОВБ і про дві аварійно вимкнені розподільні повітряні лінії 10 кВ, в кожній з яких знаходиться по одному об'єкту пошуку – по одному пошкодженню.

Диспетчер прийняв рішення направити в кожну лінію по одній ОВБ, і йому тепер необхідно вибрати оптимальний варіант щодо третьої бригади: направити її на допомогу першій ОВБ для пошуку пошкодження на першій повітряній лінії ПЛ-1 (стратегія пошуку пошкодження A_1) або на допомогу другій ОВБ для пошуку пошкодження на другій повітряній лінії ПЛ-2 (стратегія пошуку пошкодження A_2). Повітряні лінії ПЛ-1 та ПЛ-2 відрізняються за своїми довжинами, розгалуженістю, кількістю секціонувальних роз'єднувачів, віддаленням від місця знаходження бригад та іншими параметрам, внаслідок чого різні і ймовірності ω_1 і ω_2 знаходження пошкодження протягом встановленого терміну часу однією ОВБ в першій і другій лініях. Про величину цих ймовірностей може бути складене лише орієнтовне уявлення на основі статистики пошкоджень та відновлення електропостачання в цих лініях, а точне їх значення невідоме.

Вектор стану електричної мережі після аварійного вимкнення S_j має в даному прикладі два компоненти ω_1 і ω_2 , що приймають будь-які значення в границях від 0 до 1, тобто полем векторів стану служить одиничний квадрат, побудований на цих компонентах. Показником ефективності вибору стратегій пошуку пошкодження A_1 і A_2 служить ймовірність знаходження місця пошкодження в лініях за участі третьої ОВБ у разі прийняття диспетчером рішення про її направлення в першу ПЛ-1 чи другу ПЛ-2 лінії відповідно. Можна розглядати процес виявлення місця пошкодження при роботі на лініях трьох, а не двох бригад, як знаходження місця пошкодження третьою ОВБ, якщо воно не виявлене першою або другою бригадами. Отже, показники ефективності стратегій A_1 і A_2 складають $\omega_1(1-\omega_1)$ і $\omega_2(1-\omega_2)$ відповідно, і, таким чином, рівняння парної границі (де елементи множини векторів стану можуть бути віднесені або до множини G_1^2 , або до множини G_2^2) приймає вид

$$\omega_1(1-\omega_1) = \omega_2(1-\omega_2). \quad (6)$$

Не знаючи ймовірностей ω_1 і ω_2 , а маючи лише уявлення про те, яка з них більше і чи перевищує їх сума одиницю, можна керуватися, як видно з рис.1, таким правилом: якщо очікуване число виявлених пошкоджень першою і другою бригадами більше

одиниці, то третя ОВБ повинна призначатися на ту лінію, де умови пошуку менш сприятливі, а якщо очікуване число виявлених пошкоджень першою і другою бригадами менше одиниці, то третя ОВБ повинна призначатися на ту лінію, де умови пошуку більш сприятливі. В спрощеній формі це правило може звучати приблизно так: при високій сумарній ефективності двох ОВБ третю бригаду доцільно направляти на ту лінію, де важче здійснювати пошук, а при низькій сумарній ефективності двох ОВБ третю бригаду доцільно направляти на ту лінію, де легше. Таким чином, можна сподіватись на менші витрати часу на пошук пошкоджень.

Висновки. Для вибору диспетчером району розподільних електромереж стратегії пошуку пошкодження в електричній мережі за відсутності повних і точних відомостей про місце та характер пошкодження пропонується використання моделі, що ґрунтується на методі районування векторів стану природи, при цьому для зняття впливу невизначеності не потрібне повне знання стану електричної мережі, а достатньо лише отримати дані, що дозволяють визначити, до якої з досліджуваних множин стану електромережі відноситься фактична обстановка.

Список використаних джерел

1. Шкура В. П. Состояние аварийности в распределительных электрических сетях / В. П. Шкура // Электрические сети и системы. - 2010, № 2, с. 8-25.
2. Ганус А.И. Динамика изменения параметра потока отказов линий электропередачи разных номинальных напряжений / А. И. Ганус, К. А. Старков. // Электрические сети и системы. - 2010, № 2, с.80-86.
3. Динер И. Я. Районирование множества векторов состояния природы и задача выбора решения / И. Я. Динер // Исследование операций. - М. : 1972, с. 43–62.

Аннотация

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОИСКА ПОВРЕЖДЕНИЙ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ

Мирошник А. В., Котляр А. А.

В статье рассматривается модель выбора стратегии поиска поврежденных в сельских распределительных воздушных линиях 6-10 кВ в условиях неполноты исходной информации.

Abstract

OPTIMIZATION OF TROUBLE IN DISTRIBUTION OF AIR LINES

O. Miroshnyk, O. Kotlyar

In this paper we consider a model selection strategy for fault location in a rural distribution overhead lines 6-10 kV with incomplete initial information.