

УДК 621.316.11

DOI: 10.15587/1729-4061.2017.92290

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРО- ПОСТАЧАЛЬНИХ СИСТЕМ

Н. С. Григор'єва

Доктор технічних наук, професор
Кафедра комп'ютерного проектування верстатів та
технологій машинобудування**

E-mail: vik_shabajkin@ukr.net

Л. Н. Добровольська

Кандидат технічних наук,
професор, завідувач кафедри*

E-mail: lsobchuk@gmail.com

Д. С. Собчук

Кандидат технічних наук*

E-mail: sobdim@gmail.com

В. А. Шабайкович

Доктор технічних наук, професор
Кафедра автоматизованого
управління виробничими процесами**

E-mail: vik_shabajkin@ukr.net

М. В. Романюк

Кандидат технічних наук*

E-mail: nickrom86@gmail.com

*Кафедра електропостачання**

**Луцький національний технічний університет
вул. Львівська, 75, м. Луцьк, Україна, 43018

Розглянута з одного боку змінна система електропостачання, а з другого – нестабільна система електроспоживання. В рівновагу системи можуть привести лише процеси, що в них протікають під дією взаємозв'язаних зовнішніх і внутрішніх чинників. Використані мережі Петрі та теорія графів. Встановлено, що на початку формуються основні чинники, які визначають ефективність електропостачальних систем, далі за допомогою орграфу будується модель процесів та виконується оптимізація. Отримані результати оптимізації важливі при проектуванні та експлуатації електроенергетичних мереж, сприяють зменшенню енергетичних втрат

Ключові слова: електроенергетичні мережі, електропостачальні системи, ефективність, електроспоживання, електропостачання, чинники енергетичного процесу, моделювання, орграф

Рассмотрена с одной стороны переменная система электроснабжения, а с другой – нестабильная система электроснабжения. В равновесие системы могут привести лишь процессы, в них протекающие под действием взаимосвязанных внешних и внутренних факторов. Используются сети Петри и теория графов. Установлено, что вначале формируются основные факторы, которые определяют эффективность систем электроснабжения, далее с помощью орграфа строится модель процессов и выполняется оптимизация. Полученные результаты оптимизации важны при проектировании и эксплуатации электроэнергетических сетей, способствуют уменьшению энергетических потерь

Ключевые слова: электроэнергетические сети, эффективность, электропотребление, электропостачание, факторы энергетического процесса, моделирование, орграф

1. Вступ

Проблема підвищення якості роботи систем електропостачання (СЕП) та систем електроспоживання (СЕС) в наш кризовий та нестабільний час є досить важливою із-за безперервності та змінності технологічних процесів виробництва та споживання електроенергії. Як відомо, сучасна економіка України характеризується деформованою структурою виробництва, викликаною енергомісткими технологіями і матеріаломісткою продукцією, так і нестабільністю енергоспоживання населенням, аваріями старого обладнання тощо. Вплив чинників відрізняється між собою як питомою вагою, так і часовим енергоспоживанням.

Актуальність роботи полягає в підвищенні ефективності СЕП та СЕС шляхом встановлення впливаючих чинників і оптимізації процесів за допомогою орграфів, які їх описують. Мінімальний шлях відповідає зменшенню енергетичних втрат і витрат виробництва та споживання, а максимальний – потужності систем.

Таким чином, з однієї сторони є змінна СЕП, а з другої – також змінна СЕС, в рівновагу які може привести лише їх оптимізація, котра повинна постійно діяти. Така проблема невизначеності носить глобальний характер.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

В роботі [1] наведений численний аналіз чутливості за критичними параметрами, такими як технологічні витрати, пільгові тарифи. Проте не розглянуті особливості енергетичних процесів електропостачання (ЕП) і електроспоживання (ЕС). В [2] розглядається лінгвістичний підхід до моделювання електричних систем, який дозволяє підвищити точність визначення довжини ліній різного класу напруги, не втрачаючи своєї інтерпретації до вищого рівня. Недоліком в даній роботі є те, що розглядаються загальні відомості про системи електропостачання без їх деталізації. У

роботі [3] показані основні класи мережі Петрі і їх застосування в інженерних системах. Розглядаються особливості застосування мереж Петрі без прив'язки до енергетичних мереж. В [4] запропоновані системні методології проектування електричних систем, зокрема, комплексного оптимального проектування з моделюванням та оптимізацією методів. Питання проектування та оптимізація електроенергетичних систем розглянуто загально та фрагментально. Автори [5] намагаються розробити універсальну методіку для керування режимами електроспоживання з використанням ресурсу технологічного процесу (ТП) шляхом побудови концептуальної моделі електроспоживання узагальненого ТП. Водночас, в [5] зазначається, що запропоновані методи не можуть бути застосовані в певних галузях виробництва, так як «це спричинить погіршення якісних характеристик ТП». Таким чином, запропоновані в [5] підходи не є достатньо універсальними. В роботі [6] представлено підхід лише до побудови системи моніторингу якості електричної енергії у реальному часі. В роботі не розглядалася взаємодія основних чинників і їх вплив на підвищення якості електропостачальних систем.

В роботі [7] дослідження пов'язані з оцінкою впливу генеруючих джерел різної потужності на режими електроенергетичних мереж. Проте у роботі не встановлені чинники, що впливають на ефективність електропостачання.

Автори [8, 9] розглядають питання якості електропостачання, але лише у поєднанні з розосередженими джерелами електроенергії. Запропонований метод і алгоритми створюють передумови до здійснення програмної реалізації для оцінювання надійності лише локальних електромереж. Авторами мало уваги приділяється вирішенню актуальних завдань підвищення ефективності енергетичного забезпечення підприємств, не запропонований підхід до оптимізації ефективності процесів ЕП і ЕС.

Саме на цьому рівні необхідно вирішити низку проблемних питань ефективності функціонування електропостачальних систем, які потребують розроблення відповідного теоретичного та методичного забезпечення якості. Мова йде про формування основних чинників, які визначають процеси підвищення ефективності електропостачальних систем, побудова моделі цих процесів та їх оптимізація. Вирішення в такий спосіб двоєдиного завдання ЕП і ЕС дасть змогу підприємствам виготовляти продукцію із інноваційним наповненням, яка буде конкурентною на зовнішньому та внутрішньому ринках.

3. Ціль та задачі дослідження

Метою роботи є підвищення ефективності електроенергетичних мереж шляхом визначення вхідних чинників енергетичних процесів, моделювання впливу таких чинників і послідовної оптимізації за критеріями максимізації ефективності їх роботи при мінімізації витрат.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні наукові та науково-прикладні завдання:

- визначити особливості енергетичних процесів ЕП і ЕС;
- встановити чинники, що впливають на ефективність процесів і взаємозв'язок між ними;
- розробити метод відбору чинників, які впливають на ефективність роботи електропостачальних систем;
- запропонувати підхід до оптимізації ефективності електроенергетичних процесів.

При цьому об'єктом дослідження є ефективність роботи електропостачальних систем, а предметом – процеси підвищення ефективності.

4. Матеріали і методи дослідження ефективності роботи систем електропостачання та електроспоживання

4.1. Ефективність СЕС і СЕП як головний показник якості електропостачальних систем

При розгляді спільної роботи систем ЕП і ЕС за критеріями максимізації ефективності їх роботи та мінімізації витрат була прийнята до досліджень загальна схема стандартних СЕП та СЕС [10]. Загальне зображення якої наведено на рис. 1.

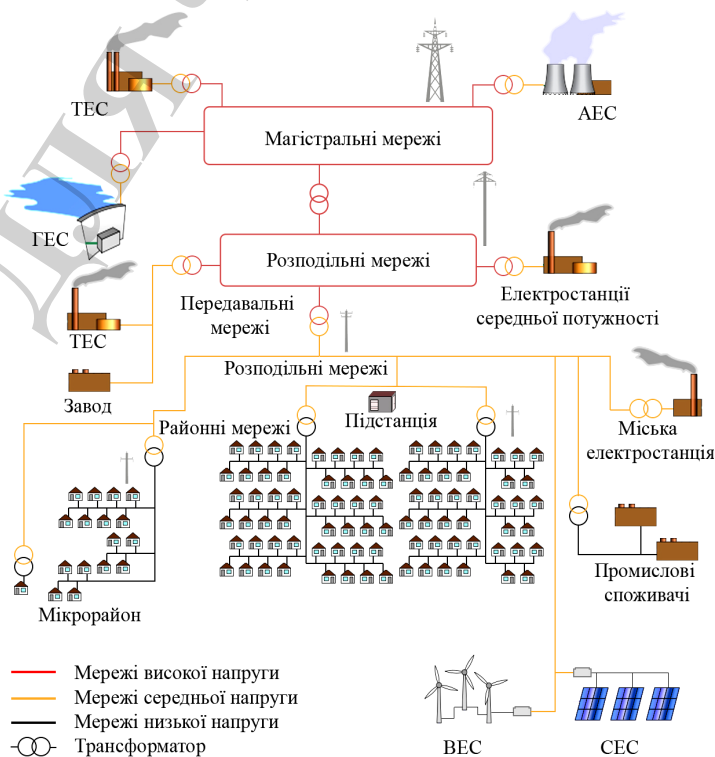


Рис. 1. Структурна схема систем електропостачання європейських країн [10]

При аналізі було встановлено, що недоліками такої схеми для України можуть вважатися:

- фізичне та моральне зношування устаткування;
- низький середній технічний рівень встановленого устаткування;
- недостатня технічна оснащеність і рівень підготовки персоналу при експлуатації ЕП і ЕС;
- недостатній рівень інвестицій для технічного переозброєння;

- низький рівень впровадження моніторингу та діагностики стану устаткування;
- недосконалість технології діагностичних і ремонтних робіт;
- застарілі принципи і методи проектування об'єктів СЕП і СЕС;
- недостатне навантаження магістральних ліній, неприпустиме підвищення напруги і зниження надійності мережі;
- неналежна експлуатація СЕП і СЕС, що приводить до великих втрат;
- електроенергії в електричних мережах;
- мала компенсація реактивної потужності в енергомережах;
- недостатня перевірка мереж за умовами пуску потужних електроприймачів;
- недостатне тестування та діагностика електроліній різними методами та інші чисельні недоліки.

Нерівномірності добового електроспоживання великих промислових підприємств приводить до додаткових витрат в пікові часи доби, коли вартість електроенергії значно підвищена. Тому перед підприємством постає завдання перенесення електроспоживання з більш дорогих, пікових годин доби до більш дешевих нічних, шляхом управління електроспоживанням з метою мінімізації оплати за спожиту енергію. Це стимулює промислові підприємства до оптимізації режимів. Дослідження, спрямовані на розвиток наукових основ управління СЕП і СЕС, є актуальними і вирішують важливу наукову задачу підвищення енергетичної ефективності. Для такого дослідження використовувалася діаграма Ісікави [11], найбільш суттєвих причинно-наслідкових взаємозв'язків між чинниками та наслідками (рис. 2)

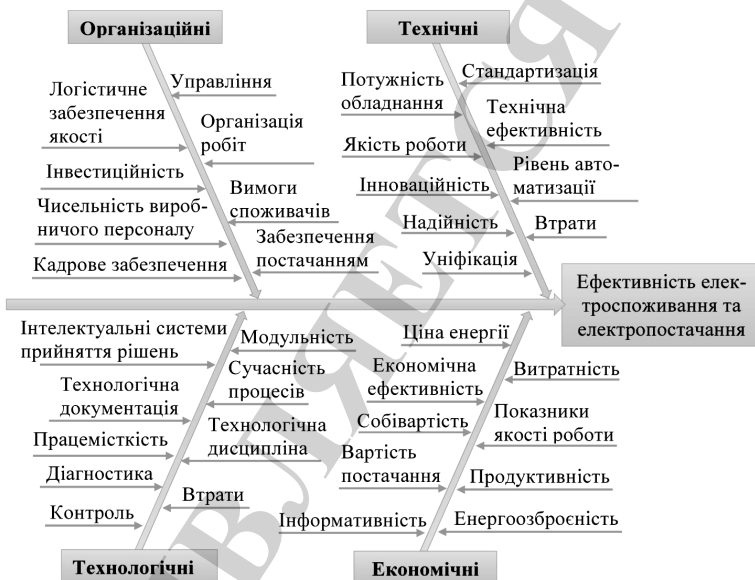


Рис. 2. Діаграма причинно-наслідкових взаємозв'язків

Діаграма Ісікави є графічним способом дослідження та визначення. На першому місці стоїть група організаційних чинників, які повністю будуть визначати ефективність процесів СЕП і СЕС. Це технічна підготовка виробництва (ТПВ), усі види забезпечення, інвестиційність тощо. На другому місці технічні

чинники, що утворюють стержень систем: обладнання з оснащенням, рівень автоматизації, комп'ютеризації, потужність тощо. Далі ідуть технологічні чинники, які визначають ефективність роботи систем та економічні, що виражають ефективність через показники якості, собівартість і ціну енергії, загальну витратність тощо. Всі вказані чинники по-різному взаємозв'язані між собою.

Одержана діаграма використовується як аналітичний інструмент для перегляду впливу діючих чинників і виокремлення найважливіших. Дія чинників породжує конкретні наслідки.

4. 2. Моделювання електроенергетичних процесів

Моделювання таких процесів може виконуватись різними методами, одним з яких є застосування мереж Петрі [11]. Мережі Петрі є ефективним інструментом дискретних процесів, зокрема, функціонування енергетичних систем. Така мережа Петрі є орграфом, в якому вершини поділяються на позиції та переходи. Формально мережа представляється як $\Pi(P, T, I, O, M)$, де P, T – скінченні множини позицій; I, O – відповідно функції слідування та передування; M – початкове маркування. Позначки керують спрацюванням мережі. Перехід збуджується маркуванням і спрацьовує лише тоді, коли всі вхідні позиції переходу матимуть позначки.

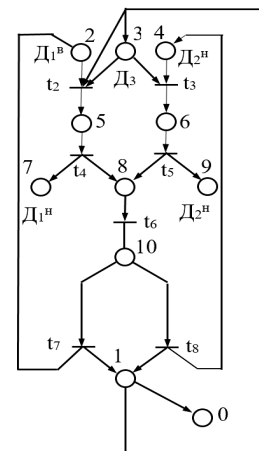


Рис. 3. Модель електроенергетичних процесів мережею Петрі

На рис. 3 наведена модель управління електроенергетичними процесами, яка дозволяє формувати керування в аналітичному вигляді і є перспективною. Моделюючи ці процеси мережа Петрі складається з простої мережі, що розкриває особливості генерування енергії, перетворення, споживання та керування. Позиції 2–4 описують умови подачі енергії. Найявність у цих позиціях маркерів відповідає спрацьовуванню датчиків D_1^n, D_2^n і D_3^n , а при переходах t_2 і t_3 маркер з'являється в позиціях 5 і 6, що описують мережі. Після здійснення переходів t_4 і t_5 (включення додаткового обладнання) маркери виявляються в позиціях 7, 8 і 9, що відповідають спрацьовуванню датчиків D_1^n, D_2^n . Якщо маркер знаходиться в позиції 8, включається перехід t_6 і починається подача струму в мережу (позиція 10), переходи 7–8 відповідають за ава-

рйні зупинки. Позиція 0 відповідає закінченню електроенергетичних процесів. При наявності маркера на позиції 1 (запуск наступного циклу) і на відповідних позиціях, які характеризують початок роботи, включається перехід t_1 і т. д.

Наведена модель є основою для проектування імітаційних електроенергетичних моделей їх окремих функціональних вузлів, використовує принципи модульної та структурної подоби. Принцип модульності полягає в тому, що об'єкт поділяється на окремі фрагменти, описані модульними моделями. Загальна модель агрегується зі складових. Кожен модуль технологічно автономний. Принцип структурної подоби відповідає тому, що набір позицій мережі Петрі, його поточна розмітка однозначно характеризує технологічний стан елементів

Наведена модель є основою для проектування імітаційних моделей ЕП і ЕС, їх окремих функціональних вузлів, використовує принципи модульної та структурної подоби. Принцип модульності полягає в тому, що об'єкт поділяється на окремі фрагменти, описані модульними моделями. Загальна модель агрегується зі складових. Кожен модуль технологічно автономний. Принцип структурної подоби відповідає тому, що набір позицій мережі Петрі, його поточна розмітка однозначно характеризує технологічний стан елементів

Таким чином, електроенергетична мережа Петрі представляється: набором кінцевої непорожньої безлічі позицій (енергетичних станів), кінцевої непорожньої безлічі переходів (енергетичних дій). Це функції вхідних і вихідних інцидентів та початкових маркувань (розміток мережі). Вони графічно зображуються двочастковим оргграфом із двома типами вершин і дугами, що відповідають інцидентності позицій і переходів. Перехід мережі, якщо він виявляється збудженим, спрацює при маркіруванні, і вона замінюється новою. Тупикове маркірування, при якому жоден перехід спрацювати не може, використовується для опису блокувальної підсистеми. Будь-яка енергетична позиція чи перехід інтерпретується як мережа Петрі більш низького рівня.

З застосуванням теорії масового обслуговування [12] можна проаналізувати таку ж електропостачальну систему на визначення імовірності кількості заявок, середнього числа заявок, які знаходяться в черзі, середнього часу очікування заявки в черзі та системі. Наприклад, визначення простою в обслуговуванні p_0 проводиться як

$$p_0 = \left(1 + \sum_{n=1}^m \frac{m! \rho^n}{(m-n)!} \right)^{-1}, \quad (1)$$

де p – число заявок, що надійшли в систему; m – максимальне число заявок; p – імовірність надходження заявок; ρ – коефіцієнт використання системи чи завантаження $\rho = \lambda / \mu$, λ – інтенсивність відмов.

Таким чином, при формуванні множини ознак енергетичних систем достатньо побудувати відповідні графи мереж Петрі. На них можна дослідити обмеженість та забезпеченість стабільності роботи, визначити множину структурних параметрів. При цьому обмежуються аналізом лише такі параметри, які при встановлених режимах експлуатації визначають оптимально-стабільне функціонування енергетичної системи.

4. 3. Оптимізація електроенергетичних процесів в електропостачальних системах

Процеси ЕП і ЕС можуть забезпечити високу ефективність при мінімально можливих витратах. Відомо, що такі неоптимальні процеси є неефективними і пов'язаними зі збільшеними виробничими витратами. Для забезпечення оптимальності використовуються різні методи. Ця проблема краще вирішується методами багатопараметричного синтезу [12]. Цей метод базується на аналізі елементів і системи в цілому, методи генерування варіантів з використанням інноваційного підходу та направлено пошуку оптимальних рішень без повного перебору всіх можливих варіантів. В загальному завдання визначення оптимальних варіантів процесів ЕП і ЕС зводяться до визначення характеристики розподільної функції $P(x)$, стратегії $C(y)$ та режимів (u_x, u_x) з точки зору мінімізації показника ефективності

$$E(X, C, u_x, u_x, P) = \min E(X, C, u_x, u_x, P) \quad (2)$$

при $C \in Y$; $P \in (\overline{1, m})$, $m = 1$; $X \hat{I} d(y, x)$; $u_x \hat{I} Y(u_p(X))$.

Зовнішня множина X описує різноманіття цільового призначення енергетичних процесів, які необхідно покрити областями досяжних значень $d(y_i)$ елементів y_i стратегії $C(y_i)$. Багатоелементна стратегія $C(y_i)$, $i = (\overline{1, m})$ дозволяє враховувати дію декількох елементів y_i , направлених на підвищення ефективності виконання множини X і розподілених між окремими елементами. Найбільш складним буде отримання області спеціалізації елементів стратегії, яка є підмножиною областей практично досяжних параметрів. Така модель може бути описаною рівняннями зв'язку відносно однією залежної та двох незалежних систем нерівностей, котрі описують досяжну множину Y , містить умови їх реалізації та визначає характеристики при мінімальному часі протікання енергетичних процесів.

Оптимізація розподілення встановлює функцію $P(x)$. Ця функція виділяє на множині X область спеціалізації кожного елемента стратегії. При такому багатоцільовому підході забезпечується якісно краще оптимальне енергетичне рішення

$$E(X, Y, u_x, u_x) = \min E(X, Y, u_x, u_x), \quad (3)$$

при $U \hat{I} u_x, u_x \hat{I} u(y), u_x \hat{I} u(y)$, де X – один елемент простору параметрів, поставлених вимог, наприклад, собівартості ЕП і ЕС; $X = (\overline{x_1, x_n})$, $Y = (\overline{y_1, y_n})$ – параметри; U – параметри регулювання. Якщо X описуватиме собівартість, то параметри регулювання – ефективність, надійність і інші показники якості енергетичних процесів.

Складність практичного вирішення завдань оптимізації енергетичних процесів полягає в наступному. Для визначення їх оптимальних параметрів необхідно розглядати і формалізувати окремі режими, котрі встановлюються з допустимих підмножин і залежать від багатьох чинників. Тому таке завдання можна значно спростити діленням його на окремі підзавдання. Це дещо понизить адекватність моделі. Шляхами підвищення адекватності є встановлення раціональної відповідності універсальності, спеціалізації, розділення невизначених параметрів на недостатньо

вивчені та отримані з неповного формулювання мети, розгляд енергетичного процесу, як багатоелементної системи і інше.

Оптимізація енергетичних процесів ЕП і ЕС суттєво спрощує поставлене завдання. Для оптимізації можна рекомендувати застосування методу направленої пошуку [13]. Цей метод дозволяє на початку в умовах неповних вихідних даних генерувати необхідну кількість раціональних варіантів структур елементів.

Загальна схема оптимізації енергетичних елементів складається з ряду взаємозв'язаних етапів. Найбільш важливим і відповідальним є опрацювання алгоритму побудови дерева енергетичних рішень з наступною їх оптимізацією. З врахуванням усіх вихідних даних складаються конкурентні схеми структур окремих елементів. Після аналізу та синтезу отриманих рішень встановлюються їх базові схеми, які за прийнятими критеріями і обмеженнями уточнюються та оптимізуються.

Оптимальний варіант структури ЕП і ЕС визначається з використанням алгоритму, під час відпрацювання якого будується символічна матриця, що вказує оптимальні варіанти. Таке визначення оптимальної структури можна провести і за алгоритмом Данцинга, який зводиться до побудови ациклічного орієнтованого дерева [13].

Після отримання оптимізованих варіантів таких елементів порівнюється досягнутий ефект з потрібними затратами. В загальному, моделі критеріїв ефективності енергетичних елементів зводяться до вигляду $F=f(X, Y)$, де F – критерій ефективності; X, Y – відповідно, недостатньо визначені та відомі величини; f – функція мети.

Вибір технологічного рішення зводиться до задачі оптимізації функції на допустимій множині параметрів при фіксованому значенні вектора X . При цьому враховується невизначеність, тобто неточність вихідних даних, характеристик тощо. Це приводить до структури елемента з декількома показниками ефективності. Може бути отримано декілька оптимальних варіантів елементів, а складність одержання кожного рішення обумовлюється протиріччям критеріїв ефективності. Тоді завдання оптимізації окремих елементів полягатиме в виборі їх структури, оптимальної з точки зору мінімізації вектора ефективності. Більш просто встановити оптимальну структуру як всієї системи, так і окремого енергетичного елемента можна з застосуванням теорії графів [14]. Для цього необхідно побудувати оргграф структур СЕС і СЕП, який відображає поєднання основних і допоміжних елементів (рис. 4).

На рис. 4 – вершини оргграфів показують елементи (генерування енергії, перетворення та акумулювання, споживання та керування), а дуги – зв'язки між ними (процеси, які проходять в системах ЕП і ЕС та між ними).

Перша та остання вершини відповідають початку та закінченню вибору структури. Можливі структури в залежності від конкретних умов ЕП і ЕС можуть починатися з різних вершин і включати різну кількість окремих елементів заданої послідовності. Вага дуги визначається часом виконання функцій того чи іншого елемента чи його витратами. Такий оргграф описує як протіє послідовні структури, так і більш складні. На початку формується оргграф цілої системи ЕП і ЕС,

по якому визначається їх оптимальний склад і висока ефективність (параметрична та функціональна оптимізація), а далі по цій же методиці оптимізуються складові елементи. При необхідності можливе повернення на попередній етап – визначення кінцевого стану СЕП і СЕС.

В загальному випадку такий оргграф може бути описаний системою матричних рівнянь

$$\begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & \dots & t_{1,15} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & \dots & t_{2,15} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{15,1} & t_{15,2} & t_{15,3} & \dots & t_{15,15} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \Pi \\ t_1 \\ t_2 \\ \vdots \\ K \end{pmatrix} = 0, \tag{4}$$

де t_i – множина змінних, що відповідає формалізованому елементу; t_{ij} – час виконання функції окремих елементів, який відповідає коефіцієнту передачі $d_{ij} = t_i/t_j$. Рішення такого рівняння знаходиться за відомими формулами [14].

Методика визначення оптимальної структури енергетичного процесу наступна:

- встановлюється за дійсною потужністю необхідний час розподілення структури ЕП і ЕС;
- перебираються конкуруючі варіанти електроенергетичних структур за обраним алгоритмом;
- встановлюються конкурентні варіанти, котрі порівнюються за передбачуваними витратами їх реалізації чи іншими прийнятими критеріями.

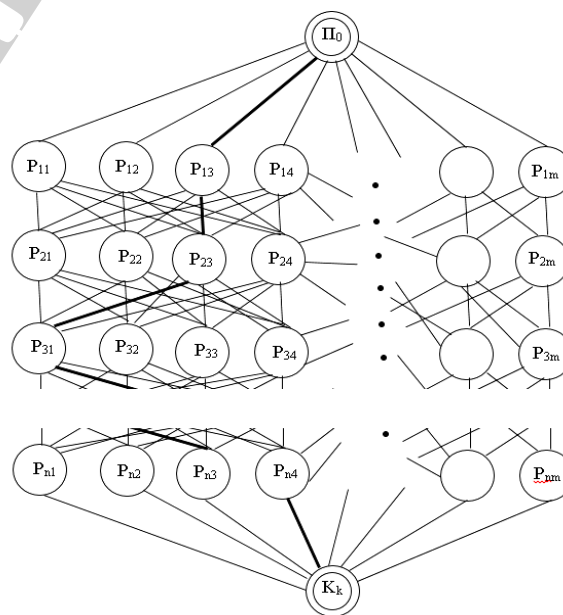


Рис. 4. Оргграф вибору оптимальних рішень при розробці СЕП і СЕС

Конструкційна реалізація оптимальної структури пов'язана з конкретизацією конструкційних ознак. При встановленні конструкційних енергетичних компоновок мають бути також враховані показники якості такі, як втрати, надійність тощо.

За вказаними показниками робоча зона конструкційної компоновки буде нерівномірною й може бути описана градієнтом зони

$$M(0) = \begin{bmatrix} M[\text{grad}_1 K_1] & \dots & M[\text{grad}_1 K_x] \\ M[\text{grad}_2 K_1] & \dots & M[\text{grad}_2 K_x] \\ \dots & \dots & \dots \\ M[\text{grad}_y K_1] & \dots & M[\text{grad}_y K_x] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M[\text{grad}_{11} K_{11}] & \dots & M[\text{grad}_{11} K_{x1}] \\ M[\text{grad}_{21} K_{21}] & \dots & M[\text{grad}_{21} K_{x1}] \\ \dots & \dots & \dots \\ M[\text{grad}_{y1} K_{y1}] & \dots & M[\text{grad}_{y1} K_{x1}] \end{bmatrix}, \quad (5)$$

де $M[\text{grad}_j K_i]$ – математичне очікування градієнтів, що визначаються за формулою

$$M[\text{grad}_j K_i] = \iiint_{x,y,z} \left| \frac{\partial K_i(X,Y,Z)}{\partial j} \right| \phi(X,Y,Z) dx, dy, dz, \quad (6)$$

де i – координатний напрямок; j – координата градієнта; x, y, z – густина імовірності; X, Y, Z – координати робочої зони компоновки. Задаючи граничні величини математичного очікування градієнтів, можна перейти до одинично-нульової матриці обмежень цих показників якості. Правильно проведена оптимізація структури окремих елементів, їх параметрів і режимів роботи СЕП і СЕС включає ряд етапів, виконання яких є запорукою успіху.

Забезпечення оптимальності рішення досягається за рахунок застосування різних методів. Вимагається математичне визначення характеристики розподільної функції, стратегії та режимів з точки зору максимізації показника ефективності. При цьому, зовнішня множина параметрів описує розмаїття цільового призначення енергетичного обладнання, яке потрібно покрити областями досяжних значень елементів стратегії. Багатоелементна стратегія дозволяє враховувати дію декількох елементів, направлених на підвищення ефективності виконання множини параметрів, котрі розподілені між окремими елементами.

5. Результати дослідження підвищення ефективності електропостачальних систем

Автоматизація енергетичних об'єктів є ефективним методом підвищення як ефективності СЕП і СЕС, так і їх оптимізації, а також і одним з найбільш значимих тенденцій розвитку розподільного комплексу. Важливим завданням для всіх комплексів мережі є створення повноцінних автоматичних підстанцій без обслуговуючого персоналу, інтегрованих в єдину систему оперативно-диспетчерського управління. На об'єктах передбачається використання автоматизованої системи контролю та обліку енергії, системи управління енергозабезпеченням, релейного захисту і автоматики, моніторингу силового електрообладнання, реєстрація аварійних ситуацій та інше. Інтеграція дозволяє оптимізувати загальну вартість системи за рахунок сумісного використання різних ресурсів, таких як мережні пристрої, засоби відображення, підсистеми єдиного часу тощо, а також збільшувати вигідність і безаварійність експлуатації обладнання за рахунок єдиного інтерфейсу управління на автоматизоване робоче місце.

Найбільш складним є отримання області спеціалізації елементів стратегії, що представляє собою підмножину області технічно досяжних параметрів. При встановленні оптимальної компоновки енергетичного обладнання та його елементів суттєве значення можуть мати інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень в умовах неповної, неточної, а підчас і суперечної інформації. Взагалі ця інформація важко формалізується, а критерії неоднозначно визначені. Рішення таких задач проводиться на підставі неструктурованих процедур, використовуючи досвідні знання, кваліфікацію та інтуїцію проектувальників.

В інтелектуальну підтримку входять: аналіз і синтез необхідної інформації, методи ідентифікації побудови нечіткої системи, генерування її нечіткої бази за допомогою штучних засобів, наприклад нейронних мереж, методи і алгоритми підтримки прийняття різновидів енергетичних рішень, інтерактивний алгоритм вирішення багатокритеріальних задач оптимізації з використанням, наприклад, генетичних алгоритмів, розробка пакету прикладних програм реалізації інтелектуальної системи прийняття рішення та інше.

Зараз у цьому напрямку проводяться інтенсивні роботи, тому конкретний прогноз може бути ускладнений. Крім того, інтелектуальна система прийняття енергетичного рішення має на меті забезпечення оптимального стану цілої системи відносно вибраного критерію незалежно від її первісного стану та прийнятого початкового рішення. Таким чином, методика встановлення оптимальних компоновок енергетичного обладнання може розглядатися в широкому та вузькому аспектах. Вузький аспект полягає лише у встановленні компоновок, а широкий охоплює ще конструкцію, а саме енергетичне обладнання та його елементи, по яких найкраще видно результат. Розроблена методика охоплює ряд стадій та етапів, розподілених між ними. При цьому, найбільш важливими моментами є формалізація енергетичних даних, встановлення способів СЕП і СЕС та формування моделі ідеального рішення, встановлення окремих елементів, їх компоновок, дослідження роботи енергетичного обладнання та їх елементів, коректування прийнятих рішень. Запропонований спосіб опису модулів і компоновок максимально повно їх представляє, забезпечуючи повну деталізацію, і надалі при програмній обробці можуть бути доведені навіть до схемо-чисельних значень.

6. Обговорення результатів аналізу ефективності роботи електропостачальних систем

При підвищенні окремих показників якості, зокрема ефективності електропостачальних систем шляхом оптимізації енергетичних процесів, як витікає з отриманих результатів, можна стверджувати, що економічним є виявлення основних чинників на ці процеси, особливо впливу в їх взаємозв'язку. При цьому, необхідним є виокремлення їх дії за встановленими впливами. Вочевидь, саме такий механізм впливу чинників є тим, завдяки якому можна досягнути підвищення якості роботи електропостачальних систем. Але в той самий час цей механізм негативно впливає на оптимізацію системи, оскільки не витримується критерій

оптимізації, а значить зводиться до простої групи елементів систем, що суттєво знижує ефективність енергосистем. Крім того, необхідно враховувати взаємний вплив окремих показників якості між собою. Тому оптимізацію можна вважати головною, а саме, як спосіб встановлення потрібних оптимальних елементів після їх функціональної та параметричної оптимізації, котра не завжди тепер проводиться.

Досягненням проведених досліджень є комплексний розгляд взаємодії основних чинників і їх вплив на підвищення якості, на базі чого з використанням оргграфів досить просто проводиться моделювання та оптимізація електроенергетичних процесів. До подоліків можна було б віднести поки що відсутність бази необхідних даних показників якості роботи енергосистем, що більш би конкретизувало розробку.

Для досягнення раціонального технічного рішення попередньо необхідно використати моделювання об'єктів. А для цього краще використовувати мережі Петрі, які є простим і ефективним інструментом дослідження функціонування енергетичних систем. Розроблена мережа Петрі утворена чотирма взаємопов'язаними більш простими системами, які розкривають особливості процесів ЕС і ЕП. Це дає можливість проаналізувати і визначити потрібні дані як систем в цілому, так і їх елементів.

Методів функціональної та параметричної оптимізації також є достатньо багато, але найбільш доцільним є застосування графів енергетичних систем і їх елементів. При оптимізації систем вершини оргграфа відповідатимуть окремому обладнанню та оснащення, яке випускається стандартно, а елементи – його складовим, які можна розробляти і використовувати. Тоді завдання зводиться до пошуків найкоротших (кількість елементів, собівартість, втрати тощо) і найдовших шляхів (потужність, корисна дія тощо) в цих графах. В цьому напрямку багато робиться, але залишається зробити ще більше. Більшість питань зв'язано з змінністю ситуацій при протіканні процесів, недостатністю та несучасністю технічного обладнання та оснащення, низькою кваліфікацією обслуговуючого персоналу, особливо оперативного.

Проведені дослідження надзвичайно корисні і їх можна було б використати при проектуванні та особливо експлуатації електропостачальних систем. Продовження відповідних досліджень синтезу окремих показників якості електропостачальних мереж в

майбутньому було б дуже доцільним, оскільки дало б можливість як дальшого розширення уявлення про внутрішні особливості електроенергетичних процесів, так і значно підвищити їх показники якості. Такі роботи заплановані в подальшому.

7. Висновки

В результаті проведених досліджень було встановлено, що:

- особливостями електропостачальних систем є змінність цих систем, обумовлена енергомісткими технологіями, нестабільним постачанням і споживанням, несучасною організацією роботи;

- встановлені чинники, що впливають на такий показник якості, як ефективність роботи електропостачальних систем. Для цього розроблена діаграма причинно-наслідкових зв'язків, яка дозволила виділити основні чинники, виявити їх вплив і взаємозв'язки. Категоріями чинників є організаційні, технічні, технологічні та економічні, з виділенням в кожній по 7–8 чинників, що забезпечує оптимально-стабільне функціонування енергетичної системи;

- для окреслення впливу окремих чинників підвищення ефективності роботи електроенергетичних мереж можна стверджувати, що закономірним є виявлення впливу головних чинників на ці процеси, особливо в їх взаємозв'язку та усунення другорядних, які суттєво не впливають на процеси;

- моделювання процесів ЕП і ЕС краще проводити з використанням мереж Петрі, котрі є ефектним інструментом дослідження функціонування електроенергетичних систем. Отримана мережа Петрі складається з чотирьох взаємозв'язаних, більш простих систем, які розкривають особливості генерування енергії, перетворення та акумулювання, споживання та керування. Ці системи дають можливість проаналізувати й визначити імовірні кількості простоїв в обслуговуванні, середнє число заявок, які знаходяться в черзі, середній час очікування заявки в черзі.

Дослідження мають велике значення при експлуатації та розробці електроенергетичних систем. найбільш ефективною оптимізацією, котра дозволяє просто встановити оптимальну структуру ЕС та ЕП є використання описових орієнтованих графів, вершини яких відповідають елементам структури, а дуги – зв'язкам між ними.

Література

1. Khalilpour, R. Leaving the grid: An ambition or a real choice? [Text] / R. Khalilpour, A. Vassallo // Energy Policy. – 2015. – Vol. 82. – P. 207–221. doi: 10.1016/j.enpol.2015.03.005
2. Cordon, O. A proposal for improving the accuracy of linguistic modeling [Text] / O. Cordon, F. Herrera // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – 2000. – Vol. 8, Issue 3. – P. 335–344. doi: 10.1109/91.855921
3. Staines, A. S. Supporting Requirements Engineering with Different Petri Net Classes [Text] / A. S. Staines // International journal of computers. – 2010. – Vol. 4, Issue 4. – P. 215–222.
4. Integrated Design by Optimization of Electrical Energy Systems [Text] / X. Roboam (Ed.). – Wiley, 2012. – 320 p. doi: 10.1002/9781118561812
5. Розен, В. П. Використання внутрішніх резервів технологічних процесів при керуванні режимами електроспоживання промислових підприємств [Текст] / В. П. Розен, М. В. Прокопеч // Автоматизація виробничих процесів: Всеукр. наук. – техн. журн. – 2006. – № 1 (22). – С. 26–30.
6. Володарський, Є. Т. Система моніторингу якості електричної енергії в децентралізованих системах електропостачання [Текст] / Є. Т. Володарський, А. В. Волошко // Восточно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – Т. 3, № 8 (69). – С. 10–17. – Режим доступу: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/24890/22814>

7. Праховник, А. В. Перспективы и пути развития распределенной генерации в Украине [Текст] / А. В. Праховник, В. А. Попов, Е. С. Ярмолюк и др. // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2012. – № 2. – С. 7–14.
8. Sobczuk, D. Algorytmiczna realizacja oceny wpływu odnawialnych źródeł energii na niezawodność sieci elektroenergetycznej [Text] / D. Sobczuk // Informatics, Control, Measurement in Economy and Environment Protection. – 2015. – Vol. 5, Issue 1. – P. 93–100. doi: 10.5604/20830157.1148056
9. Lezhniuk, P. D. Method for determination of optimal installed capacity of renewable sources of energy by the criterion of minimum losses of active power in distribution system [Text] / P. D. Lezhniuk, V. A. Komar, D. S. Sobchuk // Energy and Power Engineering. – 2014. – Vol. 06, Issue 03. – P. 37–46. doi: 10.4236/epe.2014.63005
10. Meier, A. V. Jump up [Text] / A. V. Meier // Electrical Engineer 137A: Electric Power Systems. Lecture 2: Introduction to Electric Power Systems. – 2013.
11. Casillas, J. Genetic tuning of fuzzy rule deep structures preserving interpretability and its interaction with fuzzy rule set reduction [Text] / J. Casillas, O. Cordon, M.J. del Jesus, F. Herrera // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – 2005. – Vol. 13, Issue 1. – P. 13–29. doi: 10.1109/tfuzz.2004.839670
12. Tasic, D. S. Modified Fuzzy Clustering Method for Energy Loss Calculations in Low Voltage Distribution Networks [Text] / D. S. Tasic, M. S. Stojanovic // Electronics and electrical engineering. – 2006. – Issue 2. – P. 50–55.
13. Tasic, D. S. Fuzzy Approaches to Distribution Energy Losses Calculation [Text] / D. S. Tasic, M. Stojanovic // Acta Electrotechnica et Informatica. – 2005. – Vol. 5, Issue 2. – P. 29–35.
14. Haupt, R. L. Practical Genetic Algorithms [Text] / R. L. Haupt, S. E. Haupt. – John Wiley Sons, 2003. – 253p. doi: 10.1002/0471671746

ТОЛЬКО ДЛЯ ЧТЕНИЯ

