

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Рубаненко Олена Олександрівна

УДК 621.311.161

**ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ НОРМАЛЬНИМИ РЕЖИМАМИ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ КРИТЕРІАЛЬНИМ МЕТОДОМ З
ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЙРОНЕЧІТКОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

Спеціальність 05.14.02 – Електричні станції, мережі і системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Лежнюк Петро Дем'янович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри електричних станцій та систем

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Варецький Юрій Омелянович,
Національний університет "Львівська політехніка",
професор кафедри електричних систем і мереж

кандидат технічних наук, доцент
Романченко Валентина Іванівна,
Харківський національний технічний університет
сільського господарства ім. Петра Василенка,
доцент кафедри електропостачання та
енергоменеджменту

Захист відбудеться "25" березня 2011 р. о 9³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 05.052.05 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ауд. 210 ГНК.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий "23" лютого 2011 р.

В.о. вченого секретаря
спеціалізованої вченої ради

В. В. Кухарчук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Процес виробництва та передавання електроенергії є динамічним і постійно знаходиться під збурювальними впливами. Тому надійне і якісне його функціонування вимагає автоматизованого, а краще автоматичного керування. Особливістю сучасних електроенергетичних систем (ЕЕС), яка ускладнює процес керування і значно зменшує ефективність керувальних впливів, є зростання частки обладнання, яке відпрацювало нормативний термін. Це зумовлює необхідність розробки методів та засобів, які забезпечують економічну, якісну та надійну роботу ЕЕС в цілому. Підвищення вимог до надійної і економічної експлуатації обладнання потрібно не лише внаслідок спаду темпів заміни такого обладнання, а і зумовлено зростанням потужності енергооб'єктів і посиленням конкуренції між енергокомпаніями, викликаного переходом до ринку електроенергії. Тому актуальною є задача вдосконалення існуючих та розробки нових методів оптимізації режимів ЕЕС, коли критерієм оптимальності є втрати електроенергії під час її транспортування.

В електричних мережах ЕЕС нормуються втрати електроенергії на її транспортування за звітній період. Щоб не перевищити нормативне значення втрат електроенергії необхідно контролювати і, відповідним чином, зменшувати втрати активної потужності. Нормативним втратам електроенергії слід поставити у відповідність планове значення втрат потужності, а як критерій оптимальності використовувати відхилення поточних втрат активної потужності від їх нормативного значення за умови, що поточне значення технічних втрат потужності більше планового. Таким чином, якщо під час оптимального керування нормальними режимами ЕЕС постійно здійснювати моніторинг активних втрат потужності і враховувати планове значення втрат активної потужності, то це гарантує, що в кінці звітного періоду значення втрат електроенергії не перевищить нормативне.

Для підвищення ефективності оптимального керування доцільно використовувати загальну методологічну базу і системний підхід на всіх етапах розв'язування задачі оптимального керування, починаючи з формування математичної моделі і закінчуючи практичною реалізацією оптимальних рішень. Достатньо продуктивним в цьому плані є використання узагальнюючих методів теорії подібності. Добре пристосованим для вирішення оптимізаційних завдань і аналізу отриманих результатів є критеріальний метод (КМ). Але поки що залишається не вирішеною проблема оптимального керування з використанням теорії подібності та її методів, зокрема КМ, в умовах неповноти вихідних даних. Згідно з розглянутими вище проблемами в дисертаційній роботі удосконалюються існуючі і розробляються нові методи та засоби оптимального керування нормальними режимами (НР) ЕЕС.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Основний зміст роботи складають результати досліджень, що проводились протягом 2007-2010 років. Науково-дослідна робота проводилась відповідно до наукового напрямку кафедри електричних станцій та систем ВНТУ за держ-бюджетними темами "Розробка критеріїв оцінки і способів аналізу чутливості оптимальних рішень в електроенергетиці" (№ держреєстрації 0110U002161), "Оптимальне керування взаємними і транзитними перетоками потужності в об'єднаних енергетичних системах" (№ держреєстрації 0107U02091).

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження полягає у зменшенні втрат потужності в електроенергетичних системах за рахунок вдосконалення керування параметрами нормальних режимів з врахуванням регульовальної здатності трансформаторів з РПН і їх технічного стану.

Відповідно до вказаної мети в роботі розв'язуються такі **основні задачі**:

- аналіз існуючих методів розрахунку оптимальних параметрів нормального режиму та існуючих методів нормування втрат в ЕЕС;
- аналіз застосування методів та засобів нейро-нечіткого моделювання в електроенергетиці;

- дослідження можливості використання критеріального методу для розв'язання задач керування НР ЕЕС при неповноті початкової інформації;

- розробка методу розв'язування задач критеріального програмування (КП) великої міри складності, а саме задач визначення оптимальних параметрів НР ЕЕС і задач визначення керуючих впливів на трансформатори з РПН з використанням нейро-нечіткого моделювання;

- розробка методу визначення планового значення технічних втрат потужності в електричних мережах ЕЕС критеріальним методом з застосуванням нейро-нечіткого моделювання;

- вдосконалення методу визначення керуючих впливів трансформаторами з РПН з урахуванням коефіцієнта якості їх функціонування;

- вдосконалення програмного забезпечення програмно-апаратного комплексу для автоматизації оптимального керування параметрами нормального режиму ЕЕС.

Об'єктом дослідження дисертаційної роботи є нормальні режими ЕЕС, а **предметом дослідження** – оперативне керування параметрами режиму електроенергетичних систем в умовах неповноти вихідних даних.

Методи дослідження. В дисертації для вирішення поставлених задач використовувались: математичний апарат варіаційного числення, узагальнювальні методи теорії подібності і моделювання, лінійного та нелінійного програмування, нейро-нечіткого моделювання (ННМ). Усталені режими моделюються та аналізуються на базі методів контурних струмів та вузлових напруг із застосуванням методів Ньютона. Для розробки алгоритмів і програм аналізу режимів ЕЕС та формування законів оптимального керування ними використовувалися матрична алгебра, теорія графів, декомпозиція та об'єктно-орієнтований аналіз, теорія нечітких множин, ННМ, КМ. Достовірність результатів досліджень підтверджується шляхом перевірки створених методів і моделей розрахунками тестових і реальних ЕЕС, розв'язанням відповідних задач за допомогою запропонованих методів і моделей та порівняння їх результатів з результатами, які отримані апробованими на практиці методами.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що:

- вперше запропоновано метод оптимального керування нормальними режимами ЕЕС з використанням засобів теорії подібності, що на відміну від відомих базується на нейро-нечіткому моделюванні критеріїв подібності, що дозволяє підвищити ефективність оптимальних рішень щодо зменшення втрат електроенергії під час її транспортування;

- отримав подальший розвиток метод визначення нормативних характеристик технічних втрат потужності (ТВП) в електричних мережах ЕЕС, який відрізняється використанням для визначення коефіцієнтів нормативних характеристик ТВП критеріального програмування і нейро-нечіткого моделювання, що дозволяє підвищити точність планування заходів щодо наближення реальних значень втрат активної потужності до нормативних;

- отримав подальший розвиток метод визначення якості функціонування трансформаторів з РПН, який відрізняється використанням коефіцієнта втрат потужності в електричних мережах та коефіцієнта залишкового ресурсу РПН трансформатора, що дозволяє підвищити ефективність застосування трансформаторів з РПН для керування потоками потужності в ЕЕС.

Практичне значення одержаних результатів. Практична цінність роботи полягає в тому, що розроблені алгоритми уточнення нормативних характеристик ТВП. На основі методу визначення коефіцієнта якості функціонування РПН трансформаторів розроблено алгоритм ранжування трансформаторів з РПН за критерієм ефективності оптимального керування ними з метою зменшення втрат активної потужності в ЕЕС.

На основі розроблених методів та алгоритмів створено програмно-апаратний комплекс для автоматизації процесу оптимального керування параметрами НР, який дозволяє

розраховувати планові значення ТВП, поточне значення ТВП, коефіцієнти якості функціонування РПН трансформаторів та формувати керуючі впливи.

Розроблено програмне забезпечення пристрою оперативного діагностування РПН трансформаторів, який дозволяє оцінювати ресурс РПН трансформатора для врахування його при формуванні керуючих впливів.

Отримані в дисертаційній роботі результати наукових досліджень використовуються у Південно-Західній електроенергетичній системі з метою вдосконалення процесу оптимізації режимів електричних мереж енергосистеми та в навчальному процесі Вінницького національного технічного університету.

Особистий внесок здобувача. Всі результати, які складають основний зміст дисертаційної роботи, отримані автором самостійно.

У роботах, опублікованих у співавторстві, автору належать: [1] – аналіз існуючих методів вирішення задач нелінійного програмування з нечіткими параметрами в цільовій функції і обмеженнях. Запропоновано метод вирішення задача великої міри складності КП за допомогою нечітких множин; [2] – розроблений алгоритм розв’язування задач багатокритеріального нелінійного програмування з нечіткими параметрами в розрахунках параметрів режимів ЕЕС; [3] – розроблений метод визначення коефіцієнта якості функціонування трансформатора з застосуванням нечіткого моделювання і запропоновано використовувати пристрій діагностування РПН трансформатора; [4] – розроблена математична модель визначення коефіцієнта якості функціонування трансформатора з застосуванням нечіткого моделювання; [5] – розроблена математична модель, яка дозволила дослідити зміну коефіцієнта якості функціонування трансформаторів підстанцій глибокого вводу великих промислових підприємств; [6] – розроблений метод вирішення задач високої міри складності КП з застосуванням ННМ і застосований для розв’язування задачі оптимізації параметрів ЛЕП; [7] – розроблений спосіб регулювання режиму роботи ЕЕС з врахуванням залишкового ресурсу трансформатора, кількості потрібних перемикачів для підтримання оптимального режиму і впливу трансформатора на втрати потужності; [8] – запропонований спосіб регулювання режиму роботи ЕЕС з врахуванням вартості одного перемикачів і впливу трансформатора на втрати потужності.

Апробація результатів дисертації. Головні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на міжнародних науково-технічних конференціях “Контроль і управління в складних системах” (Вінниця, 2005, 2008, 2010); на міжнародних науково-технічних конференціях “Автоматика-2006” і “Автоматика-2007” (Вінниця, 2006, Севастополь 2007); на міжнародних науково-технічних конференціях “Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації” (Кременчук, 2006, 2007); на міжнародних науково-технічних конференціях “Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах” (Луцьк, 2006, 2007); на міжнародній науково-технічній конференції “Новейшие технологии и энергоэффективность в светотехнике и электроэнергетике” (Харьков, 2007); на 5-ій міжнародній науково-практичній конференції “Комп’ютерні системи в автоматизації виробничих процесів” (Хмельницький, 2007); на 11-ому міжнародному молодіжному форумі „Радиоэлектроника и молодёжь в XXI” (Харків, 2007); на міжнародній науково-технічній конференції “Ресурсозберігаючі технології у нафтогазовій енергетиці”, ”ІФТУНГ-40” (Івано-Франківськ, 2007); на міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я” (Харків, 2007); на II Міжнародній науково-практичній конференції “Інноваційні промислові технології” (Запоріжжя, 2007); на міждержавній науково-методичній конференції “Проблеми математичного моделювання” (Дніпродзержинськ, 2007); на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів ВНТУ у 2003 – 2010 роках.

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 6 статей у фахових наукових журналах і отримано 2 патенти на корисну модель.

Структура й обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (104 найменувань), шести додатків. Основний зміст викладений на 117 сторінках друкованого тексту, містить 18 рисунків, 12 таблиць. Загальний обсяг дисертації – 180 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовані мета, наукова новизна і практична цінність отриманих результатів, а також наведені відомості про апробацію отриманих результатів.

У **першому розділі** подано класифікацію та аналіз відомих методів визначення нормативного значення втрат електроенергії і розрахунку параметрів нормальних режимів ЕЕС. В процесі аналізу методів визначення нормативного значення втрат електроенергії і розрахунку параметрів нормальних режимів ЕЕС виявлено, що існуючі методи не дозволяють розв'язувати задачі розрахунку параметрів нормальних режимів і формування керуючих впливів РПН трансформаторів з потрібною точністю в умовах неповноти вихідних даних. Неврахування планового значення ТВП при оптимальному керуванні нормальними режимами ЕЕС є однією із причин перевищення нормативного значення втрат електроенергії в кінці звітного періоду, неефективного використання трансформаторів з РПН.

Особлива увага приділена використанню КМ в оптимальному керуванні нормальними режимами ЕЕС. Показано, що стримуючою причиною використання КМ для вирішення задач оптимального керування є обмежені можливості критеріального програмування щодо розв'язання задач великої міри складності в умовах невизначеності початкових даних.

Досліджено можливість використання ННМ для вирішення задач оптимального керування нормальними режимами ЕЕС. Показана можливість розширення меж застосування КП, використовуючи ННМ.

За результатами аналізу стану і проблем оптимального керування НР ЕЕС в сучасних умовах сформовано перелік основних технічних задач, направлених на зменшення втрат потужності в електроенергетичних системах за рахунок вдосконалення керування параметрами нормальних режимів з врахуванням регульовальної здатності трансформаторів з РПН і їх технічного стану.

У **другому розділі** розроблено метод розв'язання задач великої міри складності КП, до яких відносяться задачі оптимального керування нормальними режимами ЕЕС, в умовах неповноти початкових даних КМ з застосуванням ННМ. Отримана нормативна характеристика ТВП в критеріальній формі запису, що дозволяє контролювати відносну зміну планового значення ТВП залежно від значення впливних факторів.

Розроблений в дисертації метод розв'язування задач великої міри складності КП базується на поданні критеріїв подібності за допомогою функцій належності.

Задача керування режимом ЕЕС може бути сформована в такому вигляді: мінімізувати

$$y(x) = \sum_{i=1}^{m_1} a_i \cdot \prod_{j=1}^n x_j^{\alpha_{ji}} \quad (1)$$

за умов

$$g_k(x) = \sum_{i=m_k+1}^{m_{k+1}} a_i \prod_{j=1}^n x_j^{\alpha_{ji}} \leq G_k, k = \overline{1, p}; \quad (2)$$

$$x_j > 0, j = \overline{1, n},$$

де $y(x)$ – деякий узагальнений критерій оптимальності (загальносистемні втрати потужності, планові втрати потужності); a_i, α_{ji} – постійні коефіцієнти; x_j – змінні параметри; n – кількість змінних параметрів; m – сумарна кількість членів обмежень і

цільової функції; m_1 – кількість членів цільової функції; k – номер обмеження; m_k – кількість членів k -го обмеження; p – кількість обмежень.

Для розв'язання задачі пошуку мінімуму нелінійної функції вигляду (1) за умов (2) використовується КП. Відповідна задачі (1)–(2) двоїста задача записується: максимізувати

$$d(\pi_o) = \prod_{i=1}^m \left(\frac{a_i}{\pi_{i0}} \right)^{\pi_{i0}} \prod_{k=1}^p \left(\frac{\lambda_k}{G_k} \right)^{\lambda_k}, \quad (3)$$

за умов ортогональності і нормування

$$\alpha \cdot \pi = \mathbf{b}, \quad (4)$$

де α – матриця показників степені змінних x_j ; \mathbf{b} – вектор вільних членів ортонормованої системи рівнянь; π – вектор критеріїв подібності;

$$\lambda_k = \sum_{i=m_k+1}^{m_{k+1}} \pi_{i0} - \text{нормовані множники Лагранжа.}$$

Тому що матриця α , як правило, прямокутна, то система рівнянь (4) формує область розв'язків двоїстої задачі КП, в якій знаходиться і оптимальний розв'язок. Розмірність області розв'язків в КП прийнято визначати мірою складності $t=m-n-1$. Область розв'язків може бути сформована шляхом виділення базисних (незалежних) критеріїв подібності і перетворення матриці α методом Гаусса-Жордана. В результаті такого перетворення отримується вектори нормалізації і нев'язки, які зв'язують залежні критерії подібності з базисними.

Оскільки критерій подібності і функція належності за визначенням змінюються від 0 до 1, то можна провести між ними певну аналогію. В умовах невизначеності пропонується записати базисні критерії подібності через функції належності. Тоді вектор критеріїв подібності з використанням функцій належності для базисних критеріїв подібності запишеться:

$$\pi = \beta_0 + \sum_{i=1}^t \mu_i \beta_i, \quad (5)$$

де β_0 – вектор нормалізації; β_i – вектора нев'язки; μ – функції належності для базових критеріїв подібності.

Відповідно двоїста функція КП переписується в такому вигляді:

$$d(\mu_b) = \prod_{i=1}^m \left(\frac{a_i}{\beta_{oi} + \sum_{b=1}^t \beta_{ib} \cdot \mu_b} \right)^{\beta_{oi} + \sum_{b=1}^t \beta_{ib} \cdot \mu_b} \times \prod_{k=1}^p \left(\sum_{i \in T_k} \left(\beta_{oi} + \sum_{b=1}^t \beta_{ib} \cdot \mu_b \right) \right)^{\sum_{i \in T_k} \left(\beta_{oi} + \sum_{b=1}^t \beta_{ib} \cdot \mu_b \right)}. \quad (6)$$

Точка мінімуму прямої задачі і максимуму двоїстої співпадають, тому для визначення мінімуму цільової функції (1) достатньо визначити максимум задачі (6). Застосуємо даний підхід для визначення планового значення ТВП.

При розв'язанні задач оптимального керування нормальними режимами ЕЕС як критерій оптимальності можна використовувати відхилення поточного значення втрат активної потужності від планового. Для цього потрібно точно визначити планове значення ТВП, яке розраховується за нормативною характеристикою ТВП. Нормативну характеристику ТВП у загальному вигляді можна записати:

$$\Delta P_{\text{план.}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j \geq 1}^n A_{ij} \cdot P_i P_j + \sum_{i=1}^n B_i \cdot P_i, \quad (7)$$

де $\Delta P_{\text{план.}}$ – планове значення ТВП, n – кількість впливних факторів; A_{ij} і B_i – коефіцієнти моделі технічних втрат потужності; P_i і P_j – впливні фактори (сумарне навантаження на шинах 110 кВ, 330 кВ, навантаження ліній міжсистемного зв'язку і т.і.)

Нормативна характеристика ТВП використовується на деякому проміжку часу (при коротко-терміновому плануванні – не більше 1 доби, а при оперативному керуванні – не більше 1 години). Для отримання залежності $\Delta P_{\text{план.}} = f(P_1, P_2, \dots, P_n)$ використана гібридна нейронна мережа прямого розповсюдження, що реалізована в середовищі MATLAB за допомогою ANFIS редактора. Формуються навчальні вибірки: входами є значення членів цільової функції, отримані за значеннями впливних факторів, а виходом – планове значення ТВП, задані такими значеннями впливних факторів, для яких виконується умови типу (2). Побудовані функції належності за ретроспективними даними і з врахуванням експертної інформації. За значеннями впливних факторів визначено значення функцій належності. Якщо значення впливного фактору одночасно належить до двох нечітких множин, але з різною функцією належності, то надається перевага тій множині, для якої значення функції належності більше. Критерій подібності визначається за виразом:

$$\pi_{\text{ф.н.}} = \begin{cases} \max(\mu_1(P_1), \mu_2(P_1)) & \text{при } \mu_1(P_1) \neq \mu_2(P_1); \\ \mu_1(P_1) & \text{при } \mu_1(P_1) = \mu_2(P_1), \end{cases} \quad (8)$$

де $\pi_{\text{ф.н.}}$ – критерій подібності, розрахований за допомогою функції належності.

Отримані значення критеріїв подібності нормуються до одиниці: $\pi_{\text{ф.н.1}} = \frac{\pi_{\text{ф.н.1}}}{\sum_{i=1}^m \pi_{\text{ф.н.i}}}$.

Оптимізуючий вектор критеріїв подібності розрахований шляхом розв'язування ортонормованої системи рівнянь типу (4). Планове значення ТВП отримано з виразу (3) шляхом підстановки в нього критеріїв подібності. Уточнені значення коефіцієнтів A_{ij} і B_i розраховані за виразом:

$$A_{ij} = \frac{\pi_i \cdot \Delta P_{\text{план.}}}{P_i P_j}, \quad (9)$$

де $\Delta P_{\text{план.}}$ – планове значення технічних втрат потужності, отримане за допомогою ННМ, а саме ANFIS редактора в середовищі MATLAB.

Оптимальні значення впливних факторів, які будуть задовольняти планове значення технічних втрат потужності, розраховуються методом інтегральних аналогів, а саме:

$$P_1 = \frac{\pi_7 Y}{B_1}, \quad P_2 = \frac{\pi_8 Y}{B_2}, \quad P_3 = \frac{\pi_9 Y}{B_3} \text{ і т.ін.}, \text{ де } Y = \Delta P_{\text{план.}}$$

Нормативна характеристика ТВП використовуються в критеріальній формі:

$$u^* = \pi_1 P_1^{2*} + \pi_2 P_2^{2*} + \pi_3 P_3^{2*} + \pi_4 P_1^* P_2^* + \pi_5 P_1^* P_3^* + \pi_6 P_2^* P_3^* + \pi_7 P_1^* + \pi_8 P_2^* + \pi_9 P_3^*.$$

Це дозволяє за результатами їх на чутливість досить просто контролювати відносну зміну планового значення технічних втрат потужності залежно від відхилення впливних факторів від їх оптимальних значень.

У третьому розділі розроблено алгоритм розв'язування задач КП великої міри складності з застосуванням ННМ залежно від набору початкових даних, алгоритм розрахунку планового значення ТВП, математична модель і алгоритм визначення коефіцієнта якості функціонування регулюючих пристроїв з використанням ННМ. Алгоритм визначення планового значення ТВП приведено на рис. 1.

Для наближення поточних значень втрат потужності до планових використовуються РП. За наших реальних умов це в основному трансформатори з РПН. Як критерій вибору

трансформатора, яким краще здійснювати перемикання, а також щоб визначити кількість перемикань, приймається максимальне значення коефіцієнта якості функціонування РПН трансформатора. Цим коефіцієнтом враховується надійність трансформатора (залишковий ресурс) і чутливість зміни втрат потужності в ЕЕС до перемикань РПН саме цього трансформатора. Перемикання здійснюється РПН такого трансформатора, у якого коефіцієнт якості функціонування найвищий.

Відсутність аналітичного виразу, який дозволив би однозначно визначити коефіцієнт ресурсу, зумовлює використання ННМ для визначення коефіцієнта якості функціонування трансформаторів. Причиною невизначеності коефіцієнта ресурсу є те, що врахувати вплив на залишковий ресурс всіх факторів (тривалість, амплітудне значення струмів і напруг, частота коливань і час перехідних процесів під час роботи РПН та ін.) технічно не можливо. Тому використовується ННМ.

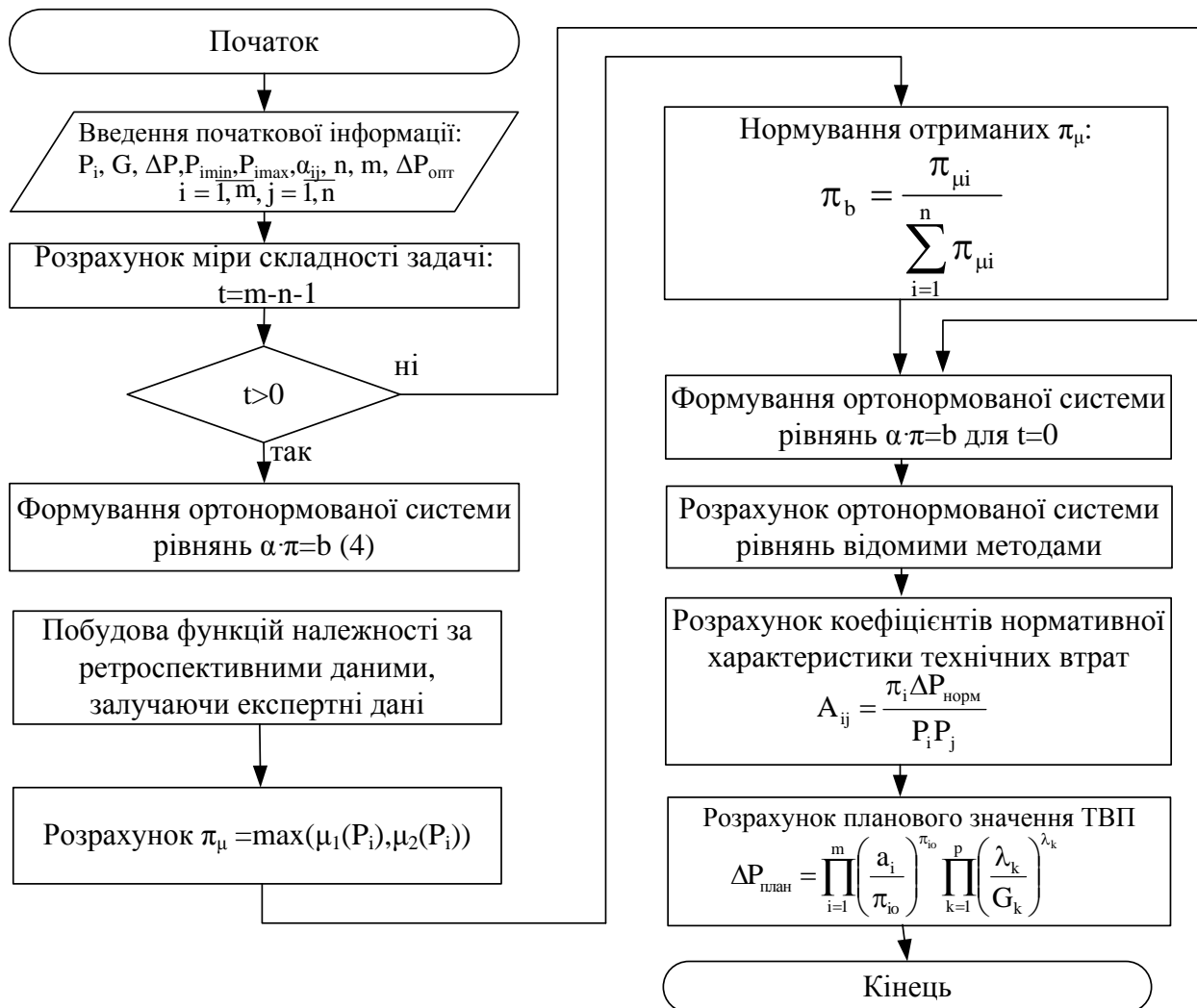


Рис. 1. Блок-схема алгоритму розрахунку планового значення ТВП

Для автоматизації процесу ННМ в задачах оптимального керування використовується MATLAB і його пакет розширення – Fuzzy Logic Toolbox, що призначений для побудови систем нечіткого висновку.

Коефіцієнт якості функціонування трансформатора є комплексним параметром, який враховує ресурс трансформатора і здатність ефективно впливати ним на режим ЕЕС:

$$k_{\text{як.функ.}} = 1 + (a_3 \cdot k_{\text{втрат}} - (a_1 + a_2) \cdot (1 - k_{\text{рес}})), \quad (10)$$

де $k_{\text{втрат}}$ – коефіцієнт втрат; $k_{\text{рес}}$ – коефіцієнт ресурсу; a_1, a_2, a_3 – вагові коефіцієнти.

Коефіцієнт втрат розраховується за виразом:

$$k_{\text{втрат}} = \frac{\Delta P_{\text{неопт}} - \Delta P_{\text{опт}}}{\Delta P_{\text{неопт}}}, \quad (11)$$

де $\Delta P_{\text{опт}}$ – оптимальне значення втрат активної потужності; $\Delta P_{\text{неопт}}$ – значення втрат активної потужності при відмові від перемикачів даним трансформатором.

Коефіцієнт ресурсу по параметру, наприклад по накопиченому струму, (тоді $k_{\text{рес}} = k_{\text{рес1}}$), розраховується за виразом:

$$k_{\text{рес1}} = \frac{I_{\text{зал.}} - n_{\text{п}} \cdot I_{\text{ком.}}}{I_{\text{пасп.}}}, \quad (12)$$

де $I_{\text{зал.}} = I_{\text{пасп.}} - I_{\text{нак.}}$ – залишковий струм комутації; $I_{\text{ком.}}$ – струм, який комутується при одному перемикачній; $I_{\text{пасп.}}$ – паспортне значення струму, який повинен комутувати трансформатор; $I_{\text{нак.}}$ – накопичений комутований струм; $n_{\text{п}}$ – кількість потрібних перемикачів для досягнення оптимального режиму.

Для визначення коефіцієнту ресурсу використовується нейронечітке моделювання і результати випробувань РПН розробленим пристроєм оперативного діагностування трансформаторів. Для цього шляхом опитування експертів (представників служби підстанцій, чергових, служб ізоляції, діагностики та грозозахисту), а також шляхом аналізу паспортної, ремонтної та експлуатаційної документації на РПН, інформації з бази даних мікропроцесорних регістраторів параметрів обладнання підстанцій (і РПН в тому числі) створюється база даних, яка коефіцієнт залишкового ресурсу ставить у відповідність до терміну експлуатації, який залишився до наступного капітального ремонту, до кількості перемикачів, до накопиченого струму перемикачів. Кожному з коефіцієнтів відповідають нечіткі множини можливих значень: коефіцієнт залишкового ресурсу за параметром «термін експлуатації»: малий, середній, великий - для нового РПН; для працюючого від 4 років до 8; для працюючого понад 8 років; коефіцієнт залишкового ресурсу за параметром «кількість перемикачів»: малий (мала кількість перемикачів), середній (середня кількість перемикачів), великий (велика кількість перемикачів); коефіцієнт залишкового ресурсу за параметром «кількість накопиченого струму» - так само: малий, середній, великий.

Вагові коефіцієнти розраховуються за формулами:

$$a_1 = \frac{B_1}{B_{\text{сум}}}; a_2 = \frac{B_2}{B_{\text{сум}}}; a_3 = \frac{B_3}{B_{\text{сум}}}, \quad (13)$$

де $B_{\text{сум}} = B_1 + B_2 + B_3$; B_1 – вартість втраченої електричної енергії в результаті роботи за ремонтною схемою; B_2 – вартість ремонту РПН трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемикачнях; B_3 – вартість понадпланових втрат, яка визначається за виразом:

$$B_3 = (\Delta P_{\text{пот}} - \Delta P_{\text{план}}) \tau C, \quad (14)$$

де $\Delta P_{\text{план}}$ – планове значення втрат активної потужності; $\Delta P_{\text{пот}}$ – поточне значення втрат активної потужності; C – вартість електроенергії; τ – тривалість періоду між перемикачнями.

У четвертому розділі на прикладі реальних ЕЕС і тестової схеми ІЕЕЕ показано робоздатність та ефективність запропонованих в роботі методів і алгоритмів.

Удосконалено двоконтурний адаптивний програмно-апаратний комплекс оптимального керування РП ЕЕС. Як критерій оптимальності використовується відхилення поточного значення технічних втрат потужності від їх планового значення. Структурна схема автоматизованої системи керування (АСК) нормальними режимами ЕЕС з врахуванням коефіцієнта якості функціонування РПН трансформаторів і планового значення технічних

втрата наведена на рис. 2. Запропонована АСК має два контури керування: зовнішній контур – контур оперативного керування і адаптації, і внутрішній контур – контур автоматичного керування.

Для тестової схеми IEEE напругою 220-110 кВ на 14 вузлів виконано розрахунок нормативного значення втрат електроенергії за звітний період, керуючих впливів (потрібної кількості перемикачів РПН трансформаторів), коефіцієнта якості функціонування кожного РПН трансформатора.

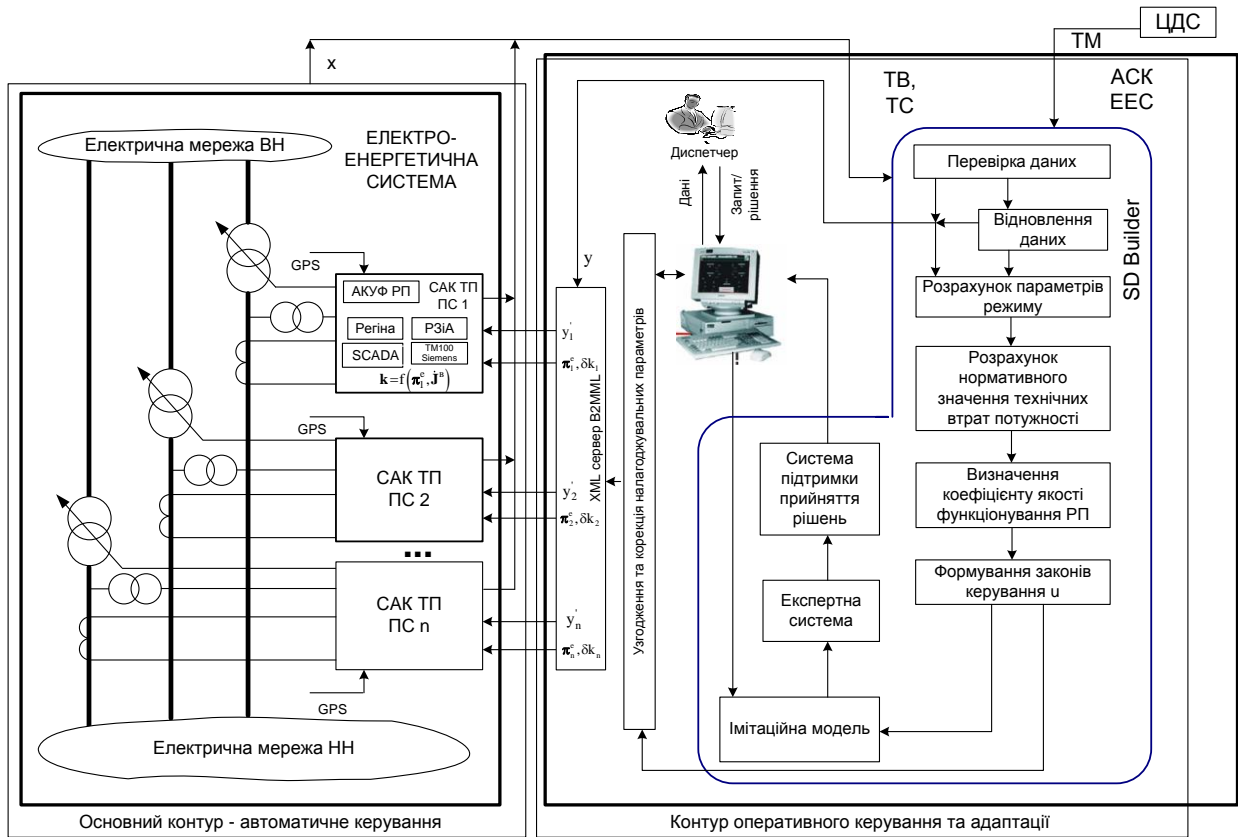


Рис. 2. Структурна схема адаптивного програмно-апаратного комплексу АСК ЕЕС

Для схеми чотирьох впливних факторів нормативна характеристика ТВП визначається: мінімізувати

$$\Delta P_{\text{норм}} = A_{11}P_1^2 + A_{22}P_2^2 + A_{33}P_3^2 + A_{44}P_4^2 + A_{12}P_1P_2 + A_{13}P_1P_3 + A_{14}P_1P_4 + A_{23}P_2P_3 + A_{24}P_2P_4 + A_{34}P_3P_4 + B_1P_1 + B_2P_2 + B_3P_3 + B_4P_4 \quad (15)$$

за умов $\frac{P_1}{P_1P_2} + \frac{P_2}{P_1P_2} + \frac{P_3}{P_1P_2} + \frac{P_4}{P_1P_2} \leq P_c$, де $P_c = \frac{P_1}{\Delta P^2}$;

$$P_{1\min} \langle P_1 \langle P_{1\max} ; P_{2\min} \langle P_2 \langle P_{2\max} ; P_{3\min} \langle P_3 \langle P_{3\max} ; P_1, P_2, P_3, P_4 \rangle 0.$$

Запишемо ортонормовану систему рівнянь:

$$\begin{cases} 2 \cdot \pi_1 & + \pi_5 & + \pi_6 & + \pi_7 & & + \pi_{11} & - \pi_{16} & - \pi_{17} - \pi_{18} & = 0 \\ & 2 \cdot \pi_2 & & + \pi_5 & & + \pi_8 & + \pi_9 & + \pi_{12} & - \pi_{15} + \pi_{16} - \pi_{17} - \pi_{18} & = 0 \\ & & 2 \cdot \pi_3 & & + \pi_6 & & + \pi_8 & + \pi_{10} & + \pi_{13} & + \pi_{17} & = 0 \\ & & & 2 \cdot \pi_4 & & + \pi_7 & + \pi_9 & + \pi_{10} & + \pi_{14} & + \pi_{18} & = 0 \\ \pi_1 & + \pi_2 & + \pi_3 & + \pi_4 & + \pi_5 & + \pi_6 & + \pi_7 & + \pi_8 & + \pi_9 & + \pi_{10} & + \pi_{11} & + \pi_{12} & + \pi_{13} & + \pi_{14} & = 1 \end{cases}$$

Міра складності задачі $t=13$.

Застосуємо алгоритм розв'язання задач високої міри складності КП. Задамося такими значеннями впливних факторів, які задовольняють умові (15): $P_1 = 89,454$; $P_2 = 174,726$; $P_3 = 22,136$; $P_4 = 28,825$. Для побудови функцій належності скористаємось моделлю нечіткого висновку Сугено. Модель Сугено передбачає наявність вибірки початкових даних. Сформуємо вибірки початкових даних, де входами будуть: $p_1 = P_1^2$; $p_2 = P_2^2$; $p_3 = P_3^2$; $p_4 = P_4^2$; $p_5 = P_1 P_2$; $p_6 = P_1 P_3$; $p_7 = P_1 P_4$; $p_8 = P_2 P_3$; $p_9 = P_2 P_4$; $p_{10} = P_3 P_4$; $p_{11} = P_1$; $p_{12} = P_2$; $p_{13} = P_3$; $p_{14} = P_4$, а виходом – втрати активної потужності, порашовані програмою ГРАФСКАНЕР для різних значень впливних факторів. Чим більша вибірка початкових даних, тим менша похибка навчання. Кожний з впливних факторів подається у вигляді нечітких множин. Уточнені значення коефіцієнтів A_{ij} і V_i розраховуються за виразом:

$$A_{ij} = \frac{\pi_i \cdot \Delta P_{\text{опт}}}{P_i P_j}.$$

Результати розрахунку приведені в табл. 1. Визначаються базисні критерії подібності $\pi_{15} = 1,259$, $\pi_{16} = 2,518$, $\pi_{17} = -0,42$, $\pi_{18} = -0,4196$ і розв'язується ортонормована систему рівнянь стосовно залежних критеріїв подібності. Результати розрахунку приведені в табл. 1. Планове значення ТВП визначаються за формулою:

$$d(\pi) = \left(\frac{A_{11}}{\pi_1} \right)^{\pi_1} \left(\frac{A_{22}}{\pi_2} \right)^{\pi_2} \left(\frac{A_{33}}{\pi_3} \right)^{\pi_3} \left(\frac{A_{44}}{\pi_4} \right)^{\pi_4} \left(\frac{A_{12}}{\pi_5} \right)^{\pi_5} \left(\frac{A_{13}}{\pi_6} \right)^{\pi_6} \left(\frac{A_{14}}{\pi_7} \right)^{\pi_7} \left(\frac{A_{23}}{\pi_8} \right)^{\pi_8} \times \\ \times \left(\frac{A_{24}}{\pi_9} \right)^{\pi_9} \left(\frac{A_{34}}{\pi_{10}} \right)^{\pi_{10}} \left(\frac{B_1}{\pi_{11}} \right)^{\pi_{11}} \left(\frac{B_2}{\pi_{12}} \right)^{\pi_{12}} \left(\frac{B_3}{\pi_{13}} \right)^{\pi_{13}} \left(\frac{B_4}{\pi_{14}} \right)^{\pi_{14}} \left(\frac{\pi_{15} + \pi_{16} + \pi_{17} + \pi_{18}}{P_c} \right)^{(\pi_{15} + \pi_{16} + \pi_{17} + \pi_{18})},$$

$$\Delta P_{\text{план}} = d(\pi_i) = 15,83 \text{ МВт}.$$

Для електричних мереж 750-110 кВ Південно-Західної ЕЕС (ПЗЕС), схема яких наведена на рис. 3, виконано подібний розрахунок (див. табл. 1-2).

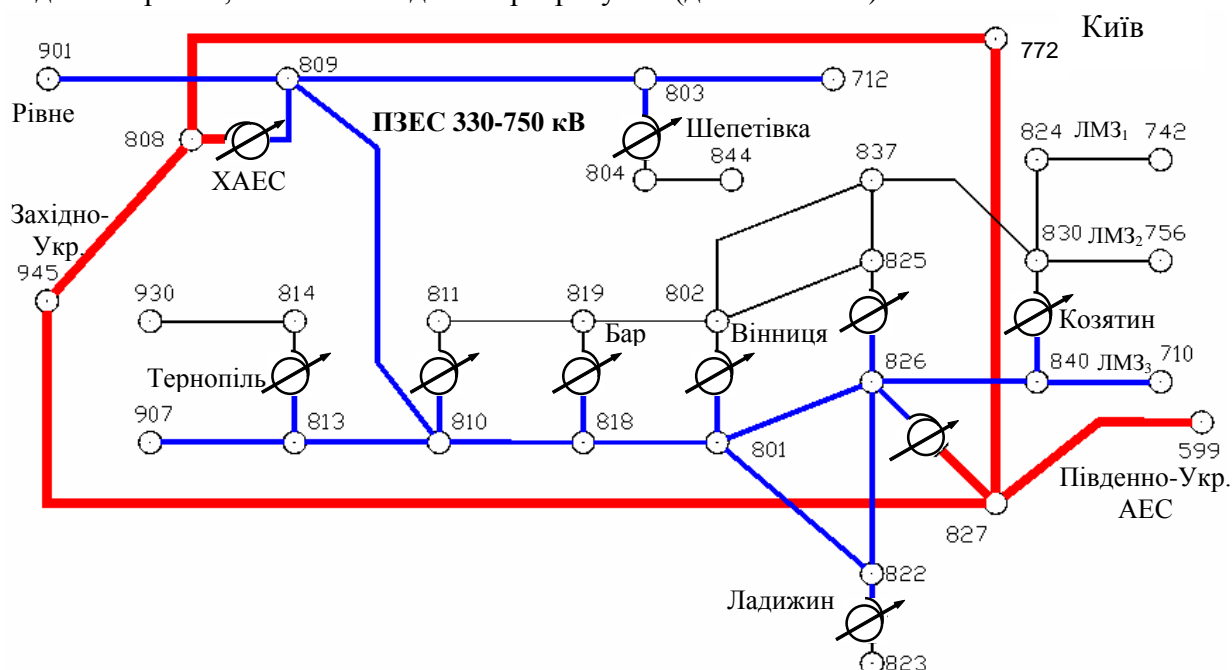


Рис. 3. Схема електричних мереж 750-110 кВ ПЗЕС

В табл. 2 для порівняння наведені результати розрахунків планового значення ТВП різними методами. Перший метод – планове значення технічних втрат потужності отримане за допомогою уточнення коефіцієнтів нормативної характеристики технічних втрат критеріальним методом з застосуванням нейронечіткого моделювання. Інший метод – планове значення технічних втрат потужності розраховане за допомогою коефіцієнтів, отриманих регресійним аналізом.

Таблиця 1

Параметри нормативної характеристики технічних втрат потужності

Номера членів цільової функції	Для схеми IEEE на 14 вузлів напругою 220-110 кВ			Для фрагмента мережі ПЗЕС напругою 750-110 кВ		
	Максимальне значення μ	Оптимальні значення π	Уточнені значення A_{ij}, A_i	Максимальне значення μ	Оптимальні значення π	Уточнені значення A_{ij}, A_i
1	1	0,114	$2,346 \cdot 10^{-4}$	0,912	0,071	$3,27 \cdot 10^{-6}$
2	0,0125	0,001421	$4,791 \cdot 10^{-5}$	0,912	0,071	$2,4 \cdot 10^{-6}$
3	1	0,114	$2,26 \cdot 10^{-3}$	0,7179	0,056	$2,6 \cdot 10^{-3}$
4	1	0,114	$1,201 \cdot 10^{-4}$	0,98	0,077	0,047
5	0,0125	0,001421	$1,185 \cdot 10^{-5}$	0,91	0,071	$2,8 \cdot 10^{-6}$
6	1	0,114	$7,282 \cdot 10^{-4}$	0,912	0,071	$1,05 \cdot 10^{-4}$
7	0,5	0,057	$2,428 \cdot 10^{-4}$	0,91	0,071	$3,76 \cdot 10^{-4}$
8	1	0,114	$3,728 \cdot 10^{-4}$	0,92	0,071	$8,97 \cdot 10^{-4}$
9	0,1	0,011	$2,943 \cdot 10^{-4}$	0,912	0,071	$3,22 \cdot 10^{-4}$
10	0,1	0,011	$2,099 \cdot 10^{-3}$	0,91	0,071	0,012
11	1	0,114	0,011	0,876	0,069	$2,93 \cdot 10^{-3}$
12	0,1	0,011	$8,483 \cdot 10^{-3}$	0,95	0,0794	$2,7 \cdot 10^{-3}$
13	0,979	0,111	0,083	0,988	0,077	0,105
14	0,995	0,113	0,065	0,976	0,077	0,375

Відхилення поточного значення технічних втрат потужності від їх планового значення складає 0,69 МВт. Для зменшення цієї різниці втрат до мінімуму формуються відповідні керуючі впливи.

Таблиця 2

Результати розрахунку планового значення технічних втрат потужності

Схема	Значення двоїстої функції $d(\pi)$	Планове значення ТВП (1 метод) (МВт)	Планове значення ТВП (2 метод) (МВт)	Поточне значення ТВП (МВт)	Абсолютна похибка (МВт)		Відносна похибка (%)	
					1 метод	2 метод	1 метод	2 метод
IEEE	15,83	15,83	14,52	16,52	0,69	2,00	4,1	12,1
ПЗЕС	38,97	38,97	40,95	38,87	0,1	2,08	0,26	5,35

Розраховано нормативне значення втрат електроенергії за 1 годину і добу з використанням уточнених значень коефіцієнтів нормативної характеристики технічних втрат електроенергії і оптимальних значень критеріїв подібності при плановому значенні ТВП –

$\Delta P_{\text{план}} = 38,97$ МВт і середньому за одну годину плановому значенні ТВП – $\Delta P_{\text{план.ср.}} = 43,39$ МВт. Визначені коефіцієнти якості функціонування для трансформаторів мережі ПЗЕС. Для визначення коефіцієнта ресурсу використано дані, отримані за допомогою пристрою оперативного діагностування РПН трансформатора, програмне забезпечення якого розроблено в даній роботі.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

У роботі наведено нове вирішення актуальної науково-прикладної задачі підвищення ефективності оптимального керування параметрами нормального режиму ЕЕС критеріальним методом з застосуванням нейронечіткого моделювання в умовах неповноти вихідних даних, що полягає у вдосконаленні математичних моделей та методів визначення планового значення технічних втрат потужності і коефіцієнта якості функціонування РПН трансформаторів для врахування їх значень при формуванні керуючих впливів, які реалізуються за допомогою засобів автоматичного керування.

Отримані такі нові результати.

1. Дослідження існуючих методів розрахунку оптимальних параметрів нормального режиму ЕЕС, а також результатів використання нейронечіткого моделювання в енергетиці, свідчить про можливість і доцільність вдосконалення цих методів розрахунку шляхом використання нейронечіткого моделювання.

2. Показана можливість використання критеріального програмування у розв'язанні задач керування НР ЕЕС при неповноті початкової інформації. При цьому задача оптимального керування параметрами нормального режиму ЕЕС, сформульована як задача КП високої міри складності, зумовленої неповнотою вихідних даних.

3. Розроблено методи і алгоритми розв'язання задач КП високої міри складності з застосуванням нейронечіткого моделювання шляхом подання критеріїв подібності у вигляді функцій належності, нечіткого критерію подібності, нечіткої множини критеріїв подібності залежно від початкових даних. Використання даних методів і алгоритмів дало можливість значною мірою розширити межі застосування критеріального програмування для задач визначення оптимальних параметрів НР ЕЕС і задач визначення керуючих впливів на трансформатори з РПН.

4. Вдосконалено метод визначення планового значення технічних втрат потужності в електричних мережах ЕЕС, яке полягає в уточненні коефіцієнтів при членах нормативної характеристики технічних втрат потужності критеріальним методом з застосуванням нейронечіткого моделювання.

5. Розроблено метод визначення керуючих впливів трансформаторами з РПН з урахуванням коефіцієнта якості їх функціонування. При цьому враховується коефіцієнт ресурсу і коефіцієнт втрат, а також результати контролю ресурсу РПН трансформатора розробленим пристроєм оперативного діагностування РПН трансформаторів.

6. Запропоновані в роботі методи та алгоритми практично реалізовані у вигляді програмного забезпечення програмно-апаратного комплексу для автоматизації оптимального керування параметрами нормального режиму, який дозволяє розв'язувати такі задачі: визначення коефіцієнта ресурсу РПН трансформатора, коефіцієнта втрат потужності і коефіцієнта якості функціонування трансформатора з РПН; визначення планового значення технічних втрат потужності за вибраними впливними факторами та розрахунок нормативної характеристики технічних втрат потужності.

7. Роботоздатність “Програмно-апаратного комплексу автоматизації оптимального керування параметрами режиму електричних мереж” підтверджена шляхом дослідної експлуатації в ПЗЕС. Впровадження даної автоматизованої системи дозволяє підвищити ефективність оптимального керування параметрами нормального режиму і додатково знизити втрати електроенергії в ЕЕС за рахунок більш ефективного використання наявних регульовальних пристроїв на 0,3-0,6%, а в деяких випадках, особливо в мережах нижчої напруги, на 2-3%.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Матеріали дисертаційної роботи викладено в таких опублікованих наукових працях:

1. Рубаненко О. Використання методів нечіткого моделювання в задачах критеріального програмування / Петро Лежнюк, Олена Рубаненко // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2006. – №1(5). – С.17-22.
2. Рубаненко О. Застосування Парето-оптимальності α -рівня для розв'язування задач енергетики з нечіткими параметрами / Петро Лежнюк, Олена Рубаненко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2006. – №4. – С.144-146.
3. Рубаненко О. Оперативне діагностування трансформаторів в задачах оптимального керування / Петро Лежнюк, Олена Рубаненко // Вісник Хмельницького національного технічного університету. – 2007. – №2. – С.185-189.
4. Рубаненко О. Оптимальне керування режимами електроенергетичних систем з застосуванням нечіткого моделювання / Петро Лежнюк, Олена Рубаненко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2007. – №4. – С.129-133.
5. Рубаненко Е. Усовершенствование управления с целью оптимизации режимов работы электроэнергетического оборудования / Петр Лежнюк, Елена Рубаненко // Металл и литьё Украины. – 2007. – №8. – С. 40.
6. Оптимізація параметрів ЛЕП критеріальним методом із застосуванням нечіткого моделювання: [Електронний ресурс] / П. Д. Лежнюк, О. О. Рубаненко // Наукові праці ВНТУ – 2008. – №4. – Режим доступу до журн.:
http://www.nbu.gov.ua/e-journals/vntu/2008-4/2008_4.files/uk/08pdufm_uk.pdf
7. Патент 51198 Україна, МПК⁸ Н02J3/24. Спосіб регулювання режиму роботи електроенергетичної системи / П. Д. Лежнюк, О. О. Рубаненко; заявник і патентоутримувач Вінницький національний технічний університет - заявл. 01.10.07; опубл. 10.01.08. Бюл. №10, 2008 р.
8. Патент 29420 Україна, МПК⁸ Н02J3/24. Спосіб регулювання режиму роботи електроенергетичної системи / П. Д. Лежнюк, О. О. Рубаненко; заявник і патентоутримувач Вінницький національний технічний університет - заявл. 21.12.09; опубл. 12.7.10. Бюл. №13, 2010 р.

АНОТАЦІЇ

Рубаненко О. О. Оптимальне керування нормальними режимами електроенергетичних систем критеріальним методом з застосуванням нейронечіткого моделювання. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – Електричні станції, мережі і системи. – Вінницький національний технічний університет. Вінниця, 2011.

Дисертаційна робота присвячена розробці методів та засобів, які направлені на покращення оптимального керування нормальними режимами ЕЕС. В роботі показано, що використання планових значень технічних втрат потужності (ТВП) при оптимальному керуванні нормальними режимами ЕЕС дасть змогу зменшити втрати потужності і не перевищити нормативне значення втрат електроенергії в кінці звітної періоду. Підвищення точності визначення планового значення ТВП можливе за рахунок використання методів нейронечіткого моделювання і критеріального програмування при уточненні коефіцієнтів нормативної характеристики технічних втрат потужності. Показано, що при реалізації керуючих впливів потрібно враховувати коефіцієнт якості функціонування кожного трансформатора з РПН. Це дає змогу оцінити доцільність здійснення керуючих впливів і зменшити затрати, зумовлені пошкодженням трансформаторів з РПН.

Ключові слова: електроенергетична система, нормальний режим, планове значення технічних втрат потужності, коефіцієнт якості функціонування.

Rubanenko O. O. Optimal control by power system normal regime by criterion method with use neurofuzzy modeling. – Manuscript.

Dissertation for scientific degree of Candidate of Science (Engineering) on specialty 05.14.02 – Electric power stations, networks and systems. – Vinnytsia National Technical University. Vinnytsia, 2011.

Dissertation work is devoted development of methods and methods which are directed on the improvement of optimal control by normal modes of the power systems (PS). It is in-process rotined that the use of normative value of technical power losses as a criterion of optimality at a control the normal modes of PS will allow to decrease the power losses and not exceed the normative value of power losses of electric power at the end of period covered. Increase of exactness of determination of normative value of technical power losses possibly due to using of methods of neuro-fuzzy design for finding of a minimum of normative description of TPL by the methods of the criterion programming.

It is in-process rotined that before realization of the expected managing influences it is needed to define the functioning quality coefficient each to the transformer with RN, for the estimation of expedience of realization of influences control, that in same queue will give possibility to avoid emergency situations and surplus expenses, from the damage of transformers with RN.

Keywords: electroenergy system, normal mode, normative description of technical power losses, coefficient of functioning .

АННОТАЦИЯ

Рубаненко Е. А. Оптимальное управление нормальными режимами электроэнергетических систем критериальным методом с использованием нейронечёткого моделирования. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции, сети и системы. – Винницкий национальный технический университет. Винница, 2011.

Диссертационная работа посвящена разработке методов, которые направлены на улучшение оптимального управления нормальными режимами электроэнергетических систем (ЭЭС) в условиях неполноты исходных данных. В работе показано, что использование планового значения технических потерь мощности (ТПМ) при оптимальном управлении нормальными режимами ЭЭС позволит уменьшить потери мощности и не превысит нормативное значение потерь электроэнергии в конце отчетного периода. Уменьшение потерь электроэнергии в ЭЭС во время её передачи может быть достигнуто путём отслеживания отклонения поточного значения потерь мощности от планового значения ТПМ и оперативной коррекцией параметров режима регулируемыми устройствами.

Для усовершенствования метода определения планового значения ТПМ в ЛЭП и трансформаторах ЭЭС, который заключается в уточнении коэффициентов при членах нормативной характеристики технических потерь мощности критериальным методом с использованием нейронечёткого моделирования, разработано методы определения базисных критериев подобия. Первый метод определения базисных критериев подобия заключается в представлении их в виде функции принадлежности нечёткому множеству «оптимальные значения» этих критериев, что позволяет быстрее находить значения критериев и решать задачи большой меры сложности критериального программирования в условия неполноты исходных данных. А также, разработано метод определения принадлежности базисных критериев подобия к их нечёткому множеству в зависимости от принадлежности исходных данных к тому или иному множеству исходных данных, с использованием алгоритма Мамдани. Это позволяет уменьшить погрешность определения базовых критериев подобия

за счёт периодического корректирования обучающей выборки экспертами.

В работе разработан метод расчёта минимуму потерь мощности и экономических значений токов в условиях неполноты исходных данных, который путём определения базисного критерия подобия с помощью функции принадлежности позволяет не уточнять решение в области возможных значений другими методами (дихотомии, квадратичной экстраполяции, золотого сечения и др.), а поэтому упрощает процесс определения решения.

По предложенным методам разработаны алгоритмы решения задач высокой меры сложности критериального программирования, определения планового значения ТПМ и оптимальных параметров нормального режима ЭЭС.

В работе показано, что перед реализацией рассчитанных управляющих воздействий нужно учитывать коэффициент качества функционирования каждого трансформатора с РПН. Поэтому в работе предложена математическая модель коэффициента качества функционирования РПН трансформаторов, как одних из основных устройств управления потоками мощности и напряжения в ЭЭС. Этот коэффициент зависит от коэффициента ресурса и коэффициента потерь. Коэффициент ресурса можно определить по количеству переключений и по току коммутации. Коэффициент качества функционирования трансформатора используется для оценки целесообразности осуществления управляющих воздействий тем или иным трансформатором, что в свою очередь даёт возможность избежать аварийных ситуаций и избыточных затрат из-за повреждения трансформаторов с РПН.

Для определения коэффициента ресурса можно использовать устройство оперативного диагностирования РПН трансформаторов, программное обеспечение которого усовершенствовалось в работе.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, нормальный режим, плановое значение технических потерь мощности, коэффициент качества функционирования.

Підписано до друку 21.02.2011 р. Формат 29.7 × 42 ¼
Наклад 100 прим. Зам. № 2011-061
Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету.
м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 59-81-59