

ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАРХАТ ХАСАН ІСМАЇЛ



УДК 681.5:621.311

**РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ
АНАЛІЗУ І ОПТИМІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ, ЩО
РОЗВИВАЮТЬСЯ**

Спеціальність 01.05.02 - математичне моделювання
та обчислювальні методи

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця - 1997

519



00737947 (.)

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі електричних та електромеханічних систем Вінницького державного технічного університету Міністерства освіти України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Грабко Володимир Віталійович,
ВДТУ, заступник проректора з
наукової роботи

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Лежнюк Петро Дем'янович, ВДТУ,
зав. кафедри електричних станцій

кандидат технічних наук
Оболонський Дмитро Іванович,
заступник начальника служби
обчислювальної техніки Південно-
Західного Регіонального
Диспетчерського Центру
Міністерства електроенергетики
України

Провідна установа: кафедра електричних мереж та
систем НТУУ "КПІ" Міністерства
освіти України, м. Київ

Захист відбудеться "05" 12 1997 р. о 11³⁰ год. на
засіданні спеціалізованої вченої ради Д 10.01.03 у
Вінницькому державному технічному університеті (286021
м.Вінниця, Хмельницьке шосе, 95)

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці
Вінницького державного технічного університету

Автореферат розісланий "04" 11 1997 р.

Вчений секретар
спеціалізованої
вченої ради

Колодний В.В.

AB-38.778

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Підвищення вимог до питань економічності, екологічної безпеки, якості і надійності функціонування технологічних систем в енергетиці визначає необхідність постійного розвитку і вдосконалення методів математичного моделювання і управління процесами і створення на їх основі сучасних автоматизованих і автоматичних систем управління режимами в АСДУ.

Автоматизація управління режимами складних транспортних систем, до яких відносяться і електроенергетичні системи, при оперативному управлінні ними є одним із тих резервів, який дозволяє шляхом поетапної автоматизації основних функцій управління на основі сучасних інформаційних технологій і засобів обчислювальної техніки створити ефективні адаптивні системи управління і підвищити якість їх функціонування. Впровадження сучасних засобів обчислювальної техніки в АСДУ створює гарну теоретичну і технічну базу для якісних змін АСДУ і дозволяє реалізувати по суті нову інформаційну технологію управління режимами, яка включає в себе сучасні методи моделювання, еквівалентування і діагностики мереж і систем, створення на їх основі експертних систем управління.

Актуальним в зв'язку з цим є розробка математичного забезпечення, яке дозволяє здійснити послідовний перехід від задач аналізу функціонування до більш загальних і складних задач синтезу - задач автоматичного управління технологічними процесами в технічних транспортних системах. Ці задачі включають в себе вибір оптимальних математичних моделей, способів організації моделей в ієрархічних системах управління, методів і засобів управління. Особливе значення при постановці задач моделювання параметрів режимів в електроенергетиці має необхідність обліку не тільки прямих функцій ЕЕС - постачання споживачів якісною електроенергією в необхідних кількостях, але і аналізу взаємозв'язку процесів генерації, передачі і розподілу електроенергії з процесами, які проходять в сферах енергоспоживання, а також врахування впливу енергетики на навколишнє середовище, що може бути визначальним при розробці та реалізації моделей.

Різноманітність стану режимів ЕЕС і їх взаємозв'язку в процесі управління, як і позитивний досвід практичної експлуатації, вимагає розробки математичних моделей з врахуванням спе-

ЛІТЕ. І. В. С. 1990
АН Укр. АН

цифіки територіальної і часової ієрархії АСДУ та оцінки адекватності моделі реальному об'єкту. Кожна модель при цьому повинна мати свої межі застосування. Вибір моделі визначається метою досліджень, характером технологічних процесів, особливістю і специфікою задач, які необхідно вирішити.

Мета роботи. Розробка математичних моделей і алгоритмів аналізу, оптимізації і управління нормальними режимами електричних систем, що розвиваються, з урахуванням ієрархії автоматизованих систем диспетчерського управління.

У відповідності з поставленою метою в роботі вирішувались питання:

- розробка методики пошуку оптимальних рішень при моделюванні параметрів електричних систем, що розвиваються, з урахуванням територіальної і часової ієрархії АСДУ;

- розробка математичної моделі оптимізації змішаної (гідротеплової) електроенергетичної системи при заданих економічних і екологічних обмеженнях;

- моделювання процесів корекції параметрів моделей і їх взаємозв'язків на різних ієрархічних рівнях диспетчерського управління нормальними режимами ЕЕС;

- дослідження умов практичної реалізації розроблених моделей в АСДУ і оцінка їх ефективності.

Методи досліджень. Поставлена задача відноситься до класу оптимізаційних. Для її вирішення в роботі застосований математичний апарат лінійного і нелінійного програмування, сучасної теорії оптимального управління складними технічними системами. При розробці алгоритмічного і програмного забезпечення використовувались елементи теорії графів, матричної алгебри, еквівалентування і діакоптики.

Наукова новизна. В результаті виконання даної дисертаційної роботи, отримані наступні основні результати:

1. Показана необхідність і доцільність розробки математичних моделей режимів ЕЕС в два етапи, на першому з яких визначається економічний струморозподіл, а на другому - функціональні обмеження і оптимальні параметри системи, яка моделюється.

2. На основі сформованих економічних і екологічних обмежень розроблені принципи формування моделей оптимізації навантажень в тепловій і змішаній (гідротепловій) енергосистемі.

3. Розроблена методика визначення функціональних характеристик моделей і формування зв'язків в системі, яка моделюється.

4. Запропонований спосіб формування ієрархічної моделі електроенергетичної системи і алгоритм взаємодії підсистем в такій моделі.

5. Для аналізу достовірності і похибок розроблених моделей запропоновано спосіб урахування статичних характеристик основних споживачів системи, що досліджується, який дозволяє дати оцінку їх адекватності фактичним параметрам поточного режиму.

Практична цінність. Дослідження в даній дисертаційній роботі виконувались по замовленню Центру диспетчерського управління ЕЕС Лівану. Результати досліджень служать математичним апаратом для вирішення задач оптимізації, аналізу, планування і управління нормальними режимами електричних систем, що розвиваються, і призначені для АСДУ енергосистем. Розроблені ієрархічні моделі підсистем і модель їх функціональної взаємодії для змішаної (гідротеплової) ЕЕС дозволяють підвищити ефективність функціонування як АСДУ на якісно новому рівні, так і ЕЕС в цілому, шляхом автоматизації основних функцій управління та урахуванням в моделях економічних і екологічних обмежень.

Реалізація наукової роботи. Розроблені в дисертаційній роботі математичні моделі, алгоритми і програми моделювання параметрів електричних систем, що розвиваються, методика формування ієрархічної моделі, моделей підсистем і їх функціональної взаємодії передані для дослідно-промислової експлуатації в ЦДУ ЕЕС Лівану. Результати досліджень використовуються в навчальному процесі.

Апробація роботи. Основні теоретичні положення і практичні результати досліджень по даній дисертаційній роботі доповідались і обговорювались на 3-ій Всеукраїнській міжнародній конференції "Укробраз 96" (м.Київ, 1996 р.), 4-ій міжнародній науково-технічній конференції "Контроль і управління в технічних системах" (м.Вінниця, 1997 р.), семінарах ІК НАН України "Технічна діагностика, ідентифікація і автоматичне управління в електроенергетичних системах", а також на щорічних науково-технічних конференціях викладачів, співробітників і студентів ВДТУ.

Публікації. По темі дисертаційної роботи опубліковано 5 друкованих робіт.

Структура і об'єм роботи. Дисертація, загальним об'ємом 222 сторінки, складається з вступу, чотирьох глав, висновку, списку літератури (109 найменувань), містить 176 сторінок основного тексту, 37 рисунків, 7 таблиць, 6 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність вибраної теми досліджень, сформувані мета і задачі, означені наукова новизна і практична цінність роботи, викладені основні положення, що виносяться на захист, а також відомості про апробацію і структуру роботи.

В першому розділі проведено аналіз проблем, що обумовлюють ефективність оптимізації і управління нормальними режимами електроенергетичних систем. Показана необхідність і доцільність більш широкого використання в АСДУ автоматизованих і автоматичних систем управління технологічними процесами, перспективність розвитку яких визначається інтенсивним розвитком засобів обчислювальної техніки і інформаційних технологій.

Приведені дані ретроспективного аналізу і сучасного стану електроенергетики Лівану, визначені пріоритетні напрямки її розвитку. В результаті такого аналізу електроенергетичну систему Лівану кваліфіковано як таку, що розвивається, і одним з пріоритетних і найбільш ефективних напрямків її розвитку визначено розробку відповідного математичного забезпечення для систем управління нормальними режимами з урахуванням як економічних, так і екологічних обмежень.

Ефективність вирішення задач моделювання параметрів режимів ЕЕС при аналізі, плануванні і управлінні ними досягається шляхом вибору оптимальної конфігурації схеми системи при її розділенні на ієрархічно зв'язані підсистеми, складу основних її елементів (теплових і гідравлічних електростанцій, компенсуючих пристроїв та ін.), наявністю каналів телеметрії та інших факторів. Складність такої задачі обумовлюється необхідністю розділення її на ряд більш простих, взаємозв'язаних задач, що вирішуються на всіх сходах ієрархічної системи АСДУ. Це пов'язано:

- по-перше, із специфікою управління та особливостями оптимізації режимів експлуатації системоутворюючих, живлячих і розподільчих мереж;

- по-друге, із специфікою і умовами роботи теплових і гідравлічних електростанцій в змішаній ЕЕС, обумовленої економічно і екологічно доцільним відношенням генеруючих потужностей між ними;

- по-третє, розширенням можливостей по автоматизації процесів управління режимами, шляхом представлення суміжної області в вигляді узагальнених функцій або моделей.

З метою отримання оптимальних рішень з достатньою для практичної реалізації точністю в вихідних математичних моделях необхідно в залежності від мети досліджень використати різні критерії оптимальності. Найбільш широко використовуються критерії, які враховують сумарні по ЕЕС витрати умовного палива, питомі витрати на виробництво електроенергії на ТЕС і ГЕС з урахуванням екологічних обмежень, сумарні витрати на виробництво і передачу електроенергії відповідної якості, рівень втрат потужності в мережах і ряд інших.

В загальному вигляді задачу оптимізації режиму ЕЕС засобами регулювання напруги та реактивної потужності сформуємо у вигляді

$$F(X, Y) \rightarrow \min \quad (1)$$

при обмеженнях

$$W(x, y) = 0;$$

$$X_{i\min} \leq X_i \leq X_{i\max}, \quad i = 1..n; \quad (2)$$

$$Y_{j\min} \leq Y_j \leq Y_{j\max}, \quad j = 1..m,$$

де $W(x, y)$ - рівняння зв'язку (рівняння законів Кірхгофа, вузлові або контурні рівняння); X - змінні стану (параметри режиму); Y - змінні управління (параметри регулюючих пристроїв).

До цих обмежень необхідно також віднести, враховуючи специфіку технологічного процесу в ЕЕС, дуже жорсткі обмеження на час прийняття рішень по управлінню режимами. Це призводить до того, що при вирішенні означених вище задач доцільним і необхідним є оцінка стану і ідентифікація параметрів моделі та реальної ЕЕС та подальший розвиток відповідних за-

собів і методів математичного моделювання нормальних режимів ЕЕС.

В другому розділі розроблені і досліджені математичні моделі для вирішення задач аналізу і оптимізації нормальних режимів електроенергетичних систем, що розвиваються.

При постановці задач моделювання головну роль виконує вибір мети і стратегії формування моделі, яка повинна адекватно відобразити технологічні процеси в системі і дозволити раціональним чином скоординувати дії керування в процесі ведення енергосистеми до оптимального стану. Процес управління моделюванням організується таким чином, щоб максимально використати як інформацію, що поступає по каналах телевимірів, так і апіорну інформацію, враховувати її вірогідність. Це дозволяє при зміні ситуації в системі оперативно впливати на параметри системи і стратегію управління таким чином, щоб отримати найбільший ефект. В явному вигляді це можна представити, як мінімізацію неузгодження оптимальних поточних параметрів і параметрів, які прийняті за еталонні.

Як еталонний розв'язок при моделюванні параметрів нормальних режимів ЕЕС доцільно використати її економічні параметри, які отримуємо з використанням теплової функції Максвела. Перспективність такого підходу полягає в тому, що цей розв'язок є вихідним для побудови алгоритму визначення оптимальних параметрів як моделі, так і реальної системи.

Процес формування математичної моделі оптимізації нормальних режимів ЕЕС передбачає поетапну комплексну оптимізацію режимів, тобто розв'язок задачі розподілу активних і реактивних потужностей, при яких досягається загальносистемний мінімум витрат на електричних станціях за означений цикл управління. Складність розв'язку поставленої задачі визначається розмірністю модельованої мережі, відмінністю технічних і параметричних характеристик об'єктів моделювання, екологічними обмеженнями і повинна розв'язуватися з урахуванням прийнятої в ЕЕС ієрархії управління режимами.

При моделюванні параметрів однорідної, наприклад теплової енергосистеми, котра має $i=1, \dots, n$ ТЕС при відомих витратних характеристиках $B_i(P_{r,i})$ і загальному навантаженні енергосистеми P_{Σ} , цільову функцію запишемо у вигляді

$$F = \sum_{i=1}^n B_i(P_{r,i}) \rightarrow \min. \quad (3)$$

Обмеженнями є балансові рівняння по активній та реактивній потужностям, по потужностям окремих ТЕС і рівням напруг. Використовуючи метод невизначених множників Лагранжа, рівняння оптимізації сформуємо наступним чином

$$F = \sum_{i=1}^n B_i + \lambda \left(\sum_{i=1}^n P_{r,i} - \sum_j^m P_{n,j} - \Delta P \right) = 0, \quad (4)$$

де P_r і P_n - відповідно генеруючі потужності ТЕС і потужності навантаження; ΔP - втрати в мережах.

Розв'язком даної задачі є модель оптимального розподілу навантаження між електричними станціями, яка показує, що витрати палива ΔB на генерацію потужності, доведеної до споживача, ΔP повинні бути рівними для всіх електричних станцій, тобто

$$\frac{\Delta B}{\Delta P_n} = \text{idem}. \quad (5)$$

Але реальні енергетичні системи, як правило, є змішаними, тобто в них працює декілька типів електричних станцій. Наприклад, в ЕЕС Лівану - це теплові і гідравлічні станції. Особливістю моделювання нормальних режимів змішаної (гідротеплової) ЕЕС є тісний взаємозв'язок режимів роботи станцій різних типів і мереж з економічними і екологічними обмеженнями, визначеними для даної ЕЕС. Для розв'язку даної задачі цільову функцію для інтервалу управління $\Delta \tau_t$ сформуємо наступним чином

$$F = \sum B_t \Delta \tau_t \rightarrow \min, \quad (6)$$

де B_t - витрати палива еквівалентної електричної станції.

Рівняннями зв'язку є витратні характеристики еквівалентних ТЕС $B(P_{\text{ТЕС}})$ і кожної з працюючих ГЕС - $Q_j(P_j H_j)$. Урахування обмежень здійснюється шляхом складання балансового рівняння для всієї системи і обмежень по витратах води на ГЕС.

Розв'язком даної задачі є модель найбільш вигідного розподілу навантаження в системі між ТЕС і ГЕС. Наприклад, в ЕЕС, яка має одну теплову і одну гідравлічну станції, воно буде мати вигляд

$$\beta = \lambda q, \quad (7)$$

де β, q - відносні прирости витрат умовного палива на ТЕС і ГЕС, відповідно.

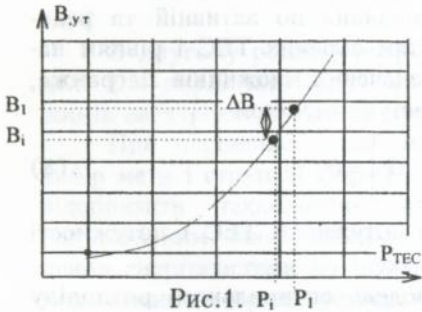
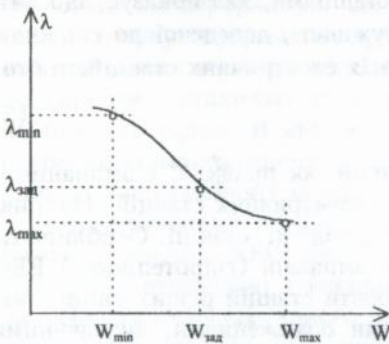
Рис. 1. P_1 P_1 

Рис. 2.

Коефіцієнт λ є мірою ефективного використання гідроресурсів в системі і показує, яка економія палива буде отримана на ТЕС, якщо на ТЕС, з урахуванням всіх обмежень, буде витрачений означений запас води. З

параметрами ГЕС коефіцієнти λ пов'язані витратами та тиском води. Змінюючи натиск води на ГЕС, отримуємо залежність зміни витрат палива на ТЕС (рис.1). При цьому необхідно чітко враховувати обмеження по стоку кожної з ГЕС, а коефіцієнт λ повинен відповідати заданому стоку W цикла управління (рис.2).

За аналогією з розглянутими вище підходами до моделювання параметрів змішаної ЕЕС досліджені можливості моделювання процесів оптимізації, коли критерієм оптимальності є сумарні витрати на виробництво електроенергії в цілому по ЕЕС і окремо по теплових і гідравлічних станціях. Досліджені підходи по моделюванню процесів зменшення викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище теплових станцій шляхом зміни режимів їх роботи, або повної заміни їх екологічно чистими джерелами енергії (наприклад - ГЕС та ГАЕС).

Найбільші складності при реалізації моделей виникають при визначенні оптимальних коефіцієнтів λ для електричних станцій, які мають ліміт по витратах енергоносіїв. Для розв'язку даної задачі розроблено метод "економічної корекції". Його суть полягає в тому, що електричні станції, що мають ліміт по енергоносіям, завантажуються по можливості на мінімальні потужності, а інша частина непокритого графіку навантажень системи розподіляється між станціями, які залишились, за критерієм рівності

їх відносних приростів з дотриманням умови (4). Дооптимізація параметрів режиму здійснюється шляхом процедури “завантаження - розвантаження” електричних станцій, які попередньо продекларовані з врахуванням обмежень як по енергоносіях, ресурсу, так і по екологічних параметрах.

В третьому розділі розроблене алгоритмічне і програмне забезпечення для вирішення задач моделювання, аналізу і оптимізації нормальних режимів, розроблена модель синтезу функціональних зв'язків в моделі з урахуванням територіальної і часової ієрархії управління. Сформована ієрархічна модель, описані формалізовані правила її структури і взаємозв'язків.

Для розробки математичних моделей в дисертаційній роботі використані підходи по формуванню і визначенню функціональних характеристик об'єкту, які дозволяють визначити значення вектора вихідних змінних Y при відомих вхідних X . Для розробки ряду моделей використані методи еквівалентування і діакоптики. Якщо система, що моделюється, є підсистемою якої-небудь більш складної системи, то додатково визначаються змінні, що характеризують параметри системи на межах підсистем. Такий підхід до моделювання об'єктів з допомогою функціонального опису дозволяє представити як “чорний ящик” будь-яку скільки завгодно складну частину модельованого об'єкту. Якщо систему, що моделюється, розглядати як лінійну, то при заданих вхідних і вихідних параметрах у вигляді дійсних або комплексних величин, функціональний опис системи має вигляд

$$Y = kX + Y_n^0,$$

де Y_n^0 - вектор вихідних змінних, незалежних від дії вхідних змінних; k - передаточна функція.

Як функціональний опис системи в роботі використовується кратний ряд Тейлора.

$$y_k = y_k^0 + \sum_{i=1}^n \frac{\delta y_k}{\delta x_i} \Big|_{x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0} (x_i + x_i^0) + \frac{1}{2!} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\delta^2 y_k}{\delta x_i \delta x_j} \Big|_{x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0} (x_i + x_i^0)(x_j + x_j^0) + \dots, \quad (7)$$

В окремому випадку системи з n входами і одним виходом отримаємо рівняння регресії, яке в матричній формі має вигляд

$$Y = Y_0 + A_1 \Delta x^1 + A_{ij} \Delta x^i \Delta x^j + \dots + A_{ij\dots e} \Delta x^i \Delta x^j \dots \Delta x^e + \dots, \quad (8)$$

де Y_0 - значення вихідної змінної при $x_1=x_1^0$, $x_2=x_2^0$ і так далі; A_{ij} ; $A_{ij\dots e}$ - матриця коефіцієнтів частинних похідних вихідних параметрів Y по вхідних X . Розв'язок рівняння отримаємо шляхом мінімізації суми квадратів різниці між значеннями вихідних змінних функціональної моделі Φ вигляду (8) і оригіналу системи Φ_0 при однакових значеннях вхідних змінних (рис.3).

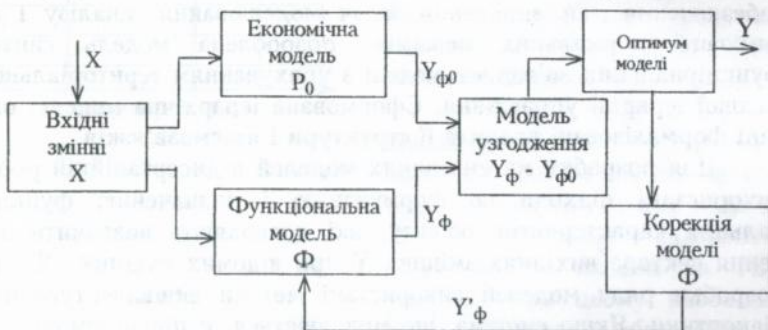


Рис. 3

Вираз для мінімізації функції в загальному випадку запишемо у вигляді

$$F = \sum_{i=1}^n (Y_{\Phi_i} - Y_{\Phi_0^i})^2, \quad (9)$$

де n - сумарне число значень вектора Y , що представляють поведінку ЕЕС в циклах оперативного управління АСДУ.

Розроблено алгоритм формування математичної моделі з визначенням межі підсистем, виходячи з територіальної і часової ієрархії управління і алгоритму взаємодії підсистем в ієрархічній моделі. Отримана ієрархічна модель ЕЕС, яка виключає необхідність розрахунку безпосередньо на верхньому ієрархічному рівні АСДУ еквівалентних характеристик електричної системи для розрахунків похідних втрат потужності, оптимальних параметрів джерел живлення і навантаження мереж. Це дозволяє синтезувати доволі швидкодіючі моделі з достатньою для практичної реалізації в АСДУ точністю.

На основі запропонованих підходів в дисертаційній роботі розроблено і досліджено алгоритм аналізу, планування і оптимізації нормальних режимів змішаної ЕЕС (рис. 4). Виходячи з того, що робота виконувалась по заказу ЦДУ Лівану, розглядалась гідротеплова ЕЕС з вибором як балансувальної гідравлічної

станції. В межах даного алгоритму досліджені можливості формування цільових функцій, що характеризують мінімум витрат води в період малої водності і маскімізацію генерації електроенергії в період великої водності на ГЕС. Даний алгоритм може бути використаний для аналізу і оптимізації режимів роботи в ЕЕС гідроакumuлюючих і газотурбінних електричних станцій.



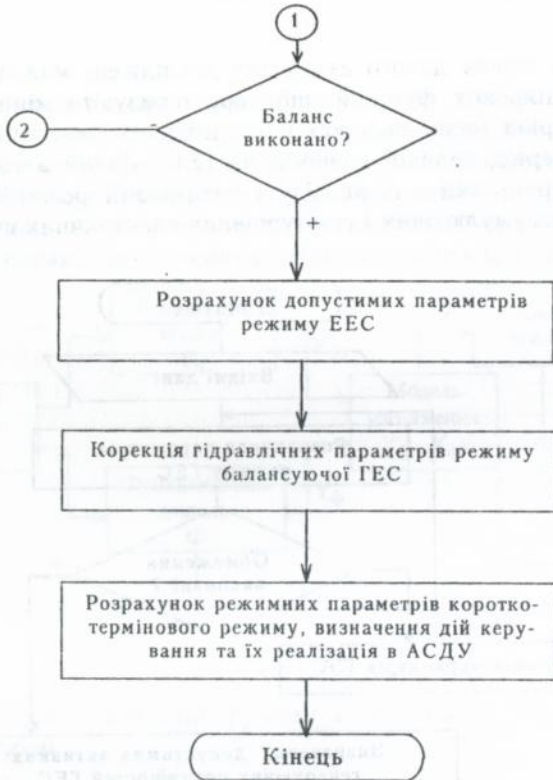


Рис. 4

В четвертому розділі на тестових моделях і моделях реальних електроенергетичних систем аналізується ефективність розроблених методів і алгоритмів. Виконана оцінка факторів, що впливають на достовірність моделей. Для ЕЕС Лівану розроблена ієрархічна модель верхнього диспетчерського рівня АСДУ і нижчих рівнів (підсистем), визначені граничні змінні.

На основі аналізу топологічних особливостей ряду складнозамкнутих електроенергетичних систем, способів організації їх територіальної і часової ієрархії управління в АСДУ сформовано ряд моделей в вигляді моделі взаємодії підсистем різних рівнів, визначені граничні змінні і дії керування. Процес побудови моделі організовано як процес переходу від оптимізації моделі верхнього рівня (моделі повної ЕЕС) до оптимізації моделей нижнього рівня (моделей підсистем, навантажень). Досліджені

похибки моделей і визначені ті елементи в них, до яких моделі найбільш чутливі.

Виходячи з того, що робота виконувалась на замовлення ЦДУ Лівану, виконано детальний аналіз топології ЕЕС Лівану з урахуванням специфіки експлуатації і перспектив їх розвитку. Аналіз показав, що, виходячи з територіальної ієрархії управління ЦДУ і комерційної належності мереж, доцільним є розробка чотирьох моделей підсистем. При цьому кожна з підсистем в міру необхідності може бути представлена підсистемами другого рівня з деталізацією її окремих елементів (ліній електропередач, електричних станцій, окремих споживачів).

На основі запропонованого методу “сотової розбивки” графа мережі розроблена багаторівнева ієрархічна система управління режимами як ЕЕС Лівану, так і ряду сусідніх арабських країн. Перспективним такий підхід є як з економічної, так і з екологічної точки зору, оскільки на певному етапі управління (наприклад, в часи пікових навантажень) доцільним є купівля електроенергії в сусідніх країнах, ніж її генерація на застарілих ТЕС.

Розрахунки усталених і оптимальних режимів виконувались з використанням програми аналізу чутливості і оптимізації втрат. Виконані розрахунки режимів моделі верхнього рівня і моделей другого рівня - підсистем, підтверджують висновки про те, що формування моделі управління режимами ЕЕС доцільно починати з визначення параметрів моделі верхнього рівня з переходом до уточнення параметрів моделі більш низьких ієрархічних рівнів АСДУ.

З метою визначення достовірності і похибок моделей, оцінки перспектив їх практичної реалізації в системах управління АСДУ виконано порівняльний їх аналіз (табл.1).

Таблиця 1

Цикл управління	Критерій ефективності (ΔP , МВт)						
	0	6	9	12	15	18	22
Модель							
Модель 1-го рівня	25,03	27,24	36,37	47,14	41,37	44,59	31,44
Модель 2-го рівня	24,51	27,67	37,52	49,05	43,86	44,7	30,56
Неузгоджен.в, МВт	0,62	0,43	1,15	1,91	2,49	0,49	0,88
Похибка, %	2,5	1,5	3,06	3,9	5,6	1,1	2,8

Виконані розрахунки підтверджують працездатність моделей, методика і алгоритми формування яких проходять дослідно-виробничу апробацію в АСДУ Лівану.

ВИСНОВКИ

1. Показано, що ефективність оперативного управління нормальними режимами ЕЕС визначається в основному проблемами, які виникають при їх математичному забезпеченні і моделюванні технологічних режимів ЕЕС.

2. Розроблено математичні моделі аналізу, планування і оптимізації управління нормальними режимами гідротеплової електроенергетичної системи. Обґрунтована доцільність формування цільової функції моделі з урахуванням як економічних, так і екологічних параметричних обмежень.

3. Розроблено математичну модель корекції параметрів системи в залежності від урахування екологічного впливу на навколишнє середовище теплових електричних станцій і координації роботи в цих умовах теплових і гідравлічних станцій.

4. Розроблені принципи функціонального моделювання топологічних і режимних параметрів режимів енергетичних систем. Визначені функціональні характеристики моделей підсистем і моделі їх функціональної взаємодії, які дозволяють реалізувати їх в автоматизованих системах АСДУ.

5. Розроблені обчислювальні алгоритми і програмне забезпечення, яке реалізує запропоновані підходи і методи. Результати даної роботи передані для дослідно-промислової експлуатації в диспетчерський центр електроенергетичної системи Лівану.

Основний зміст дисертації викладено в наступних роботах:

1. Грабко В.В., Фархат Хасан Особливості моделювання і оптимізації нормальних режимів електричних систем, що розвиваються // Вісник ВПІ.-1997.- №1. - С. 60-62.

2. Грабко В.В., Фархат Хасан Ієрархічна модель електроенергетичної системи, що оптимізується // Вісник ВПІ.-1997.-№3.- С.57-59.

3. Фархат Хасан Модель гідротеплової ЕЭС с выбором в качестве балансирующей станции ГЭС // Книга за матеріалами четвертої міжнародної науково-технічної конференції "Контроль і

управління в технічних системах" (КУТС-97).- Вінниця, 1997.- С. 219-223.

Особистий внесок. Всі основні результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. В публікаціях особисто здобувачем виконано: в [1] запропонована математична модель для аналізу та планування короткотермінових режимів енергосистеми та електростанцій за різних початкових умов, в [2] розроблено алгоритм формування ієрархічної моделі з вибором оптимального балансуєчого вузла для моделюємої системи, що дозволяє автоматизувати процес управління режимами в АСДУ, в [3] запропоновано для розрахунків та оптимізації режиму гідротеплової ЕЕС використати ГЕС як балансуєчий вузол.

Фархат Хасан Ісмаїл. Розробка математичних моделей для аналізу і оптимізації електричних систем, що розвиваються.- Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи.- Вінницький державний технічний університет, Вінниця, 1997.

Захищається наукова робота, яка містить в собі теоретичні та експериментальні дослідження синтезу математичних моделей ЕЕС, що розвиваються. Розроблено методіку формування ієрархічної моделі з моделлю організації взаємодії та корекції підсистем, які дозволяють сформулювати закони управління регулюючими пристроями, автоматизувати процес управління ними в АСДУ та підвищити ефективність роботи електричних станцій та мереж при заданих економічних та екологічних обмеженнях.

Ключові слова: математична модель, змішана (гідротеплова) система, оперативне управління, нормальні режими, ієрархічна модель, функціональна модель, підсистема.

Фархат Хасан Исмаил. Разработка математических моделей для анализа и оптимизации развивающихся электрических систем.- Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.05.02 - математическое моделирование и вычислительные методы. - Винницкий государственный технический университет, Винница, 1997.

Защищается научная работа, содержащая в себе теоретические и экспериментальные исследования синтеза математических

моделей развивающихся ЭЭС. Разработана методика формирования иерархической модели с моделью организации взаимодействия и коррекции подсистем, которые позволяют сформировать законы управления регулирующими устройствами, автоматизировать процесс управления ними в АСДУ и увеличить эффективность работы электрических станций и сетей при заданных экономических и экологических ограничениях.

Ключевые слова: математическая модель, смешанная (гидротепловая) система, оперативное управление, нормальные режимы, иерархическая модель, функциональная модель, подсистема.

Farhat Hasan Ismail. Development of mathematical models for the developing electrical systems analysis and optimization.- Manuscript.

Thesis for a kandidat's degree by speciality 01.05.02 - mathematical modeling and computing methods. - Vinnytsia State Technical University, Vinnytsia, 1997.

A scientific work is being defended, which contains theoretical and experimental investigations of the developing EES mathematical models synthesis. The methods to form a hierarchy model with an interaction setting model and subsystems correction, allowing to formulate regulating devices control laws, make their control process automatic in ASDC and increase the networks and power station efficiency under the preset economic and ecological restrictions have been developed.

Key words: mathematical model, mixed (hydro-thermal) system, operative control, normal modes, hierarchy model, functional model, subsystem.

Підписано до друку 31.10.1997 р.

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького державного технічного університету

Наклад 100 примірників

18-20-21

18-20-21

AB 38.778