

ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

АБДАЛЛАХ ДЖАЛАЛ



УДК 681.5:621.311

**ПОДІБНЕ МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ  
КЕРУВАННІ СКЛАДНОЮ СИСТЕМОЮ З НЕЯВНО  
ВИРАЖЕНИМ КРИТЕРІЄМ ОПТИМАЛЬНОСТІ**

Спеціальність 01.05.02 - математичне моделювання  
та обчислювальні методи

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Вінниця - 1997



00737950 (V)

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі "Електричні станції"  
Вінницького державного технічного університету  
Міністерства освіти України

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент  
Лежнюк Петро Дем'янович,  
завідувач кафедри електричних  
станцій ВДТУ

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
Николайчук Ярослав Миколайович  
директор Карпатського державного центру  
інформаційних засобів і технологій  
НАН України, м. Івано-Франківськ;  
кандидат технічних наук, доцент  
Рогальський Броніслав Станіславович  
професор кафедри теоретичних основ  
електротехніки та електропостачання ВДТУ

Провідна установа: Державний університет "Львівська  
політехніка", кафедра електричних  
мереж і систем, Міністерство освіти  
України

Захист відбудеться " 05 " 12 1997 р. о 9<sup>30</sup> год.  
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 10.01.03  
у Вінницькому державному технічному університеті  
за адресою: 286021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці  
Вінницького державного технічного університету

Автореферат розісланий " 04 " 11 1997 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої  
вченої ради

Колодний В.В.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Інтенсифікація виробництва та технічний прогрес породжують нові проблеми в області керування складними системами. Для їх дослідження та аналізу. Використовується велике число різних математичних моделей реальних систем. Ці моделі створювались по мірі виникнення відповідних практичних задач стосовно до тих чи інших реальних об'єктів. Найбільш повне дослідження загальносистемних проблем досягається в результаті моделювання об'єктів на ЕОМ.

Важливим різновидом відповідних моделей, що застосовуються в аналізі складних систем, є подібні, змінні величини яких пропорційні відповідним змінним оригіналу і де аналогія розуміється як схожість різних об'єктів за деякими ознаками.

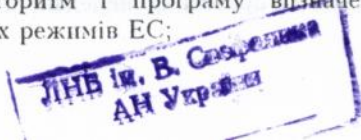
При моделюванні має місце певна схожість процесу, який відтворюється ЕОМ, та реального процесу функціонування системи, що моделюється. Ця схожість виникає за рахунок ідентичності будови можливих сполучень переміщень та скачків станів. В електричній системі (ЕС) процес контролю режимів та керування ними відбувається безперервно за допомогою автоматичної системи керування. Актуальним є удосконалення моделей ЕС для перевірки працездатності програмних засобів та їх комплексного відлагодження, для дослідження характеристик та випробування розроблених систем автоматичного керування (САК) в умовах, максимально наближених до реальних. При розв'язанні цієї задачі необхідно імітувати функціонування зовнішніх пристроїв та об'єктів системи керування з їх реальними особливостями. Для цього необхідно забезпечити високу адекватність моделей і імітаторів.

**Метою даної дисертаційної роботи** є розробка способів та засобів математичного моделювання для підвищення ефективності керування складними системами з неявно вираженим критерієм оптимальності.

У відповідності з цією метою **основні задачі**, що розв'язуються в роботі, полягають в наступному:

- розробити подібні математичні моделі для контролю та оцінки техніко-економічної ефективності оптимального управління динамічною системою типу електричної з неявно вираженим критерієм оптимальності;

- розробити алгоритм і програму визначення критеріїв подібності оптимальних режимів ЕС;



- розробити методику апроксимації функції керування для визначення упереджуючих керуючих впливів на основі теорії сплайнів;

- розробити методику формування вектора стану системи для САК та виділення відповідних областей корекції;

- розробити методику, алгоритми та програми формування законів оптимального керування для САК нормальними режимами ЕС;

- адаптувати метод Гаусса до розв'язання систем рівнянь з слабкою заповненістю матриці коефіцієнтів.

**Методи досліджень.** В дисертації використовуються методи теорії подібності й математичного моделювання, методи інтерполяції, чисельні методи розв'язання систем лінійних та нелінійних рівнянь, теорія електричних систем та елементи теорії автоматичного керування. При розробці алгоритмів і програм використовувались методи прикладного програмування, матричної алгебри та теорії графів.

**Наукова новизна.** В результаті виконання цієї роботи:

- розроблена математична модель, яка дозволяє контролювати та оцінювати ефективність оптимального керування динамічною системою типу електроенергетичної з критерієм оптимальності, який не має аналітичного виразу;

- на основі теорії сплайнів розроблена методика, алгоритм та програма апроксимації функції керування, які дозволяють побудувати імітаційну модель процесу оптимального керування;

- з використанням імітаційного моделювання розроблена методика визначення керуючих впливів з врахуванням та упередженням зміни стану системи;

- розроблена методика формування визначального вектора станів законів оптимального керування САК та виділення відповідної області корекції з побудовою адекватної розрахункової моделі.

**Практична цінність.** Результати досліджень можуть бути використані для створення математичних моделей оптимального керування нормальними режимами ЕС та автоматизації цього процесу за допомогою адаптивних САК.

**Реалізація результатів.** Розроблені в дисертації математичні моделі, алгоритми і програми, методика виділення підсистем керування нормальними режимами ЕС та визначення для них законів оптимального управління передані для дослідницької експ-

луатації в Південно-Західний регіональний диспетчерський центр України та Національне енергетичне об'єднання Йорданії.

**Апробація роботи.** Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на 3-й міжнародній науково-технічній конференції "Контроль та управління в технічних системах" (м. Вінниця, 1995), 1-й міжнародній науково-технічній конференції "Математичне моделювання в електротехніці й електроенергетиці" (м. Львів, 1995), науково-технічній конференції "Управління енерговикористанням" (м. Одеса, 1995; м. Львів, 1997), 1-му міжнародному молодіжному форумі "Електроніка та молодь в ХХІ столітті" (м. Харків, 1997), 6-й міжнародній науковій конференції ім. акад. М.Кравчука (м. Київ, 1997).

**Публікації.** За результатами виконаних досліджень опубліковано 4 статті в наукових журналах та збірниках і 6 тезів доповідей в матеріалах конференцій.

**Структура та об'єм роботи.** Дисертація має вступ, чотири розділи, висновки, список використаної літератури (103 найменування). Містить 135 сторінок основного тексту, рисунки (19 сторінок), додатки (20 сторінок).

**Дисертація виконана в плані наукових досліджень**, що проводяться кафедрою електричних станцій Вінницького державного технічного університету за програмою "Автоматизація керування нормальними режимами електричних систем на основі узагальнюючих методів теорії подібності" (наказ Мінвузу УРСР № 78 від 21.09.1991 р.) та держбюджетною темою "Розробка нових принципів створення системи автоматичного керування потоками потужності й напругою в електричних системах".

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтована актуальність роботи, сформульовані мета та задачі досліджень, визначена наукова новизна та практична цінність роботи, наведені основні положення, що виносяться на захист, а також відомості про структуру роботи та її апробацію.

**В першому розділі** аналізуються проблеми математичного моделювання в адаптивних системах керування, особливості побудови ієрархічної структури управління електричною системою, а також обґрунтовуються й аргументуються задачі наукового дослідження.

Оптимальне керування станами динамічних систем в темпі процесу та його автоматизація потребує вдосконалення в частині математичного моделювання. Існуючі математичні моделі таких систем, наприклад, як електрична, не дозволяють побудувати ефективно функціонуючу адаптивну САК нормальними режимами. Розробляти математичні моделі для використання їх в оперативному керуванні та САК доцільно на основі теорії подібності та при використанні подібного моделювання, коли забезпечується перенесення даних на оригінал на підставі подібності.

В даній роботі задача оптимального керування нормальними режимами ЕС сформульована як задача теорії оптимального керування з квадратичною цільовою функцією.

З метою підвищити ефективність керування динамічними системами типу електричних використовується підхід з визначенням керуючих впливів, що упереджують розвиток ситуації в системі. Реалізація такого підходу дозволяє більш раціонально використовувати технічний ресурс регулюючих пристроїв, відфільтровувати короткочасні знакоперемінні зміни станів системи, а також узгоджувати поточні оптимальні впливи з вибраною стратегією короткотермінового керування. Вимогам САК з упередженням зміни оптимальних станів ЕС відповідають математичні моделі, побудовані на основі апроксимації з використанням теорії сплайнів.

До підвищення ефективності оптимального управління нормальними режимами ЕС веде також децентралізація інформаційних та керуючих функцій АСДУ. Організувати взаємодію окремих підсистем керування для досягнення загальносистемного критерію оптимальності можливо на підставі подібності оптимізуючих впливів. З цією метою повинні координуватися закони керування регулюючих пристроїв. Реалізувати останнє краще за все за допомогою імітаційного моделювання.

**В другому розділі** аналізуються умови оптимальності нормальних режимів ЕС та встановлюються можливості їх досягнення. Виходячи з того, що функція керування не має аналітичного виразу, визначаються непрямі оптимізуючі параметри і відповідні їм параметри регулюючих пристроїв. При цьому залежності між ними узагальнюються в закони оптимального керування, які реалізуються САК. Адаптація останніх до реальних експлуатаційних умов та зміну станів ЕС здійснюється за допомогою імітаційного моделювання. Для цього розробляється методика апроксимації неявно вираженого критерія оптимальності за допомогою кубічних сплайнів.

У випадку ЕС непрямыми параметрами, що оптимізуються, є контурні е.р.с. Використовуючи подібність оптимальних режимів, встановлено залежності між параметрами регулюючих пристроїв, якими е.р.с. вводяться в контури, і контрольованими параметрами, які утворюють у сукупності вектор спостереження. За певних умов, які в роботі сформульовані, вони приймають вид законів оптимального керування:

$$k'(t) = 1 - \pi_a^E J_p^*(t), \quad k''(t) = -\pi_p^E J_a^*(t), \quad (1)$$

де  $k', k''$  - вектори керування (відповідно вектори дійсних та уявних складових коефіцієнтів трансформації трансформаторів);  $\pi_a^E, \pi_p^E$  - матриці критеріїв подібності;  $J_a^*, J_p^*$  - вектори спостереження (відповідно вектори відносних значень активних та реактивних складових струмів у вузлах, які визначаються за телевимірюваними потужностями та напругами).

Ці закони покладені в основу функціонування САК. Їх реалізація дозволяє компенсувати з точністю до ступені регулювання коефіцієнтів трансформації негативну дію неоднорідності ЕС та наближає втрати потужності в ній до мінімальних.

В (1) критерії подібності визначаються за формулами:

$$\pi_a^E = -\left[ E_{ур а}^{(б)} \right]_д^{-1} \nu_{Гв} M_{\alpha}^{-1} \left[ J_p^{б} \right]_д; \quad \pi_p^E = \left[ E_{ур р}^{б} \right]_д^{-1} \nu_{Гв} M_{\alpha}^{-1} \left[ J_a^{б} \right]_д, \quad (2)$$

де  $\nu$  - матриця системних показників неоднорідності ЕС;  $M_{\alpha}$  - матриця з'єднань дерева схеми ЕС;

В роботі обґрунтована необхідність побудови моделей, які дозволяють імітувати стан системи. За допомогою імітаційного моделювання перевіряється працездатність програмних засобів та здійснюється їх комплексне налагодження при дослідженні характеристик та випробуванні розробленої системи оптимального керування в умовах, максимально наближених до реальних. Імітується функціонування регульовальних пристроїв та об'єктів системи керування з їх реальними особливостями, формуються оптимізуючі впливи з упередженням зміни станів системи.

В основу моделювання станів системи покладена апроксимація контрольованих параметрів за допомогою кубічних сплайнів. Так для апроксимації потужностей в системі оптимального керування отримано наступний вираз кубічного сплайна:

$$P(t) = k_{i-1} \frac{(t_i - t)^3}{6\tau_i} + k_i \frac{(t - t_{i-1})^3}{6\tau_i} + \frac{t - t_{i-1}}{\tau_i} \left( P_{i-1} - \frac{k_{i-1} \tau_i^2}{6} \right) + \frac{t - t_{i-1}}{\tau_i} \left( P_i - \frac{k_i \tau_i^2}{6} \right), \quad t \in [t_{i-1}, t_i], \quad (3)$$

де  $k_i$  - коефіцієнти сплайна;  $t_i$  - вузли інтерполяції;  $\tau$  - крок сітки інтерполяції.

Серед відомих алгоритмів обчислення коефіцієнтів сплайнів, які відрізняються в основному різними умовами на кінцях апроксимованого відрізка функції, в цій роботі використовується алгоритм, згідно якого задача зводиться до розв'язання системи лінійних рівнянь.

**В третьому розділі** розроблені алгоритм і програма визначення критеріїв подібності згідно отриманих виразів (2). Для визначення критеріїв подібності використовуються вихідні дані та результати розрахунку базисного оптимального режиму, а також матриці системних показників неоднорідності та коефіцієнтів розподілу струмів по вітках ЕС. Для визначення останніх розроблені програми, які можуть використовуватися самостійно або в складі програмного комплексу (ПК) оптимізації та аналізу чутливості втрат потужності (АЧП) в ЕС. Структурно-логічна схема алгоритму визначення критеріїв подібності приведена на рис. 1.

Математична модель ЕС, яка використовується в програмі визначення  $\pi$ , попередньо будується у відповідності з деревом схеми. Дерево формується за списком віток, які необхідно зробити хордами. Цей список складається, виходячи з того, що хордами в розрахунковій моделі ЕС повинні бути вітки з регульовальними пристроями. Реалізація цієї вимоги забезпечує однозначність при отриманні закону оптимального керування (1).

Для підвищення ефективності алгоритму визначення  $\pi$  при розв'язанні систем рівнянь використовується метод Гауса, адаптований до врахування слабкої заповненості матриці коефіцієнтів. В розробленій методиці ущільнення матриці коефіцієнтів застосовується схема, в якій використовуються зв'язані списки вузлів схеми, а також принцип адресних відображень.

Матриці критеріїв подібності використовуються для виділення підсистем керування в системі оптимального керування нормальними режимами ЕС. Запропонована методика формування



Рис. 1

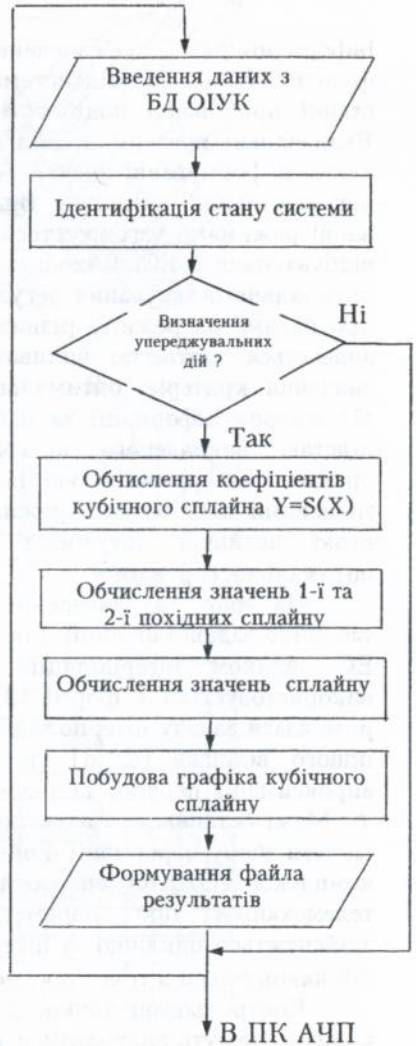


Рис. 2

інформаційного забезпечення відносно локальних САК, функціонуючих як підсистеми керування, базується на використанні приблизної подібності процесу оптимального керування. Визначальні критерії подібності визначаються за своєю питомою вагою в формуванні значень оптимальних параметрів конкретних регульовальних пристроїв. Виділення областей корекції при керуванні режимами узгоджується з фізичною природою процесів, що відбуваються в ЕС. Виходять з того, що для формування законів оптимального керування регульовальними пристроями, інформація про параметри режиму різних вузлів ЕС не рівноцінна. Вона визначається здатністю впливати регульовальними пристроями на значення критерію оптимальності, топологією ЕС, віддаленістю від джерел інформації та наявністю пристроїв телемеханіки. На підставі викладеного підходу формуються області корекції оптимальних режимів, які відповідають задачі керування ЕС за місцевими параметрами режимів з дотриманням умов мінімізації втрат активної потужності як загальносистемного критерію оптимальності режимів.

На рис. 2 наведено алгоритм програми апроксимації таблично заданої функції для визначення упереджуючих впливів в ЕС шляхом інтерполяції. Інтерполяційний поліном в ній використовується в формі (3). В загальному програма дозволяє розв'язати задачу інтерполяції на відрізку  $[a, b]$ , який є частиною іншого відрізку  $[c, d]$ . В процесі експерименту і наступної апроксимації перший відрізок переміщається вздовж другого на  $\tau$ . Межі останнього також періодично зміщуються. Це відповідає системі збору інформації в оперативно-вимірювальному керуючому комплексі (ОВКК) енергосистеми, коли опитування пристроїв телемеханіки про параметри режиму на відрізку  $[a, b]$  здійснюється циклічно з інтервалом  $\tau$ , а підготовка керувальних дій виконується в темпі процесу з упередженням на  $\Delta t$  ( $\Delta t > \tau$ ).

Контрольовані точки, для яких визначаються упереджуючі впливи, можуть знаходитися всередині інтервалу апроксимування (інтерполяція) або поза ним (екстраполяція). В першому випадку дані в точках  $c$  та  $d$  фіксуються (приймаються з типового графіка навантаження), а інтервал  $[a, b]$  (наприклад в 10-15 хв.) пересувається вздовж осі часу від  $c$  до  $d$ . Розрахунками показано, що максимальна похибка в визначенні апроксимованих даних приходить на середину інтервалу  $[c, d]$ . По кінцях інтервалу похибка зводиться до нуля.

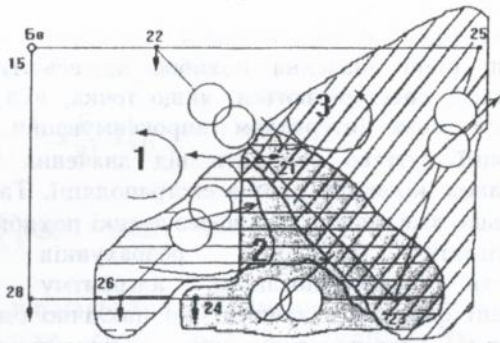


Рис. 3

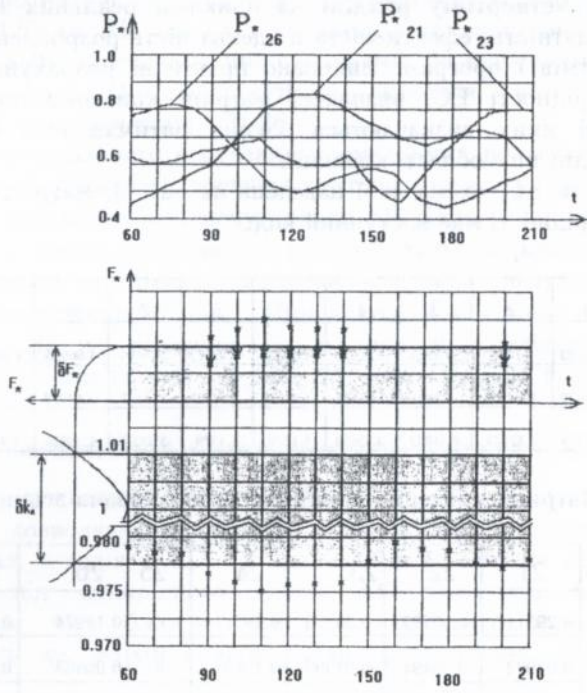


Рис. 4

Більш рівні значення похибок на всьому інтервалі, що розглядається, спостерігаються, якщо точка, яка контролюється, приймається поза інтервалом апроксимування. Похибка при екстраполяції суттєво залежить від значення  $\tau$ . Впливає на похибку також кількість кроків екстраполяції. Так екстраполяція на  $3\tau$  і більше вже не доцільна через великі похибки.

Результати виконаних розрахунків підтверджують ефективність запропонованого алгоритму та програми апроксимації функцій з даними, що циклічно оновлюються. Він може бути використаний при оптимальному керування нормальними режимами ЕС.

В четвертому розділі на прикладі реальних ЕС показана працездатність, ефективність і адекватність розроблених моделей, алгоритмів і програм. Виконано практичні розрахунки величини неоднорідності ЕС, визначені матриці критеріїв подібності, на підставі яких визначаються закони оптимального керування і відповідні ним області корекції.

Для ЕС, схема якої наведена на рис. 3, матриця показників неоднорідності має наступний вид:

$$V =$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	вітка конт.
2.95923	-4.73185	2.4988	-0.06229	-4.62223	-5.43412	2.58109	4.66956	2.58109	2.4988	I
1.20439	-8.87539	-0.1101	2.87423	-2.86739	-3.67928	-0.4457	-3.67928	7.7465	0.1101	II
-1.1379	6.82163	4.51022	-3.45623	1.1379	1.1379	-3.37236	4.51026	-3.37236	7.95954	III

Матриця критеріїв подібності, розрахована згідно (2)

$$\pi_a^E =$$

21	22	23	24	25	26	28	вузол контур
0.29511	-0.00189	0.30273	0.19747	0	0.14974	0.06685	1
0.67902	-0.00494	-0.01396	0.19893	0	0.09863	0.04232	2
2.47673	-0.02239	-1.48747	-0.21592	0	0.16849	0.08055	3

Оскільки в ЕС трансформатори мають тільки поздовжнє регулювання, то розглядається тільки матриця  $\pi_a^E$ . Із аналізу елементів цієї матриці сформовані області корекції трансформаторів 21-26, 23-24 і 23-25 (на рис. 3 заштриховані). У відповідності до них визначені закони оптимального керування.

Наприклад, для першого контура закон керування для трансформатора 21-26 записується:

$$k'_{*a1} = 1 - \frac{E_{a1}^6}{U_6} \cdot \pi \cdot E_{a1} \cdot J_{*p}^1 =$$

$$= 1 - \frac{1095}{230} \cdot \begin{bmatrix} 0.29511 & 0.30273 & 0.14974 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{21p} \\ I_{23p} \\ I_{26p} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Керування нормальними режимами ЕС здійснюється за телевірами тільки своєї області корекції. Як приклад, функціонування САК в складі системи оптимального керування проілюстровано на рис. 4. Розглядається фрагмент керування на інтервалі 60-120 хв. На рис. 4,а показана зміна потужностей у вузлах 21, 23 і 26, апроксимованих сплайнами. За значеннями цих потужностей по (4) обчислюються значення коефіцієнта трансформації трансформатора 21-26.

Задача оптимального керування нормальними режимами ЕС є в тому, щоб підтримувати значення критерію оптимальності  $F_*$  в установленій для нього зоні нечутливості  $\delta F_*$  (див. рис. 4,б). У відповідності з зоною нечутливості  $\delta F_*$  в результаті розв'язання зворотної задачі чутливості визначається зона нечутливості коефіцієнтів трансформації  $\delta k_*$ . При виході з цієї зони по (4) визначаються дії по введенню  $F_*$  в зону оптимальності. В фрагменті, що розглядається, це моменти часу  $t_{90}$ ,  $t_{100}$ ,  $t_{110}$ ,  $t_{120}$ ,  $t_{130}$  і  $t_{140}$ .

Згідно розробленої методики обчислено узагальнений  $d_v$  і відносний  $\delta_v$  показники неоднорідності для ЕС Іорданії. Ці показники дозволяють оцінити потенційні можливості оптимізаційних заходів в ЕС. Їх значення вказують на скільки далеко ЕС від однорідного стану. ЕС має тим більшу неоднорідність, чим ближче значення відносного показника неоднорідності до верхньої межі. Дані розрахунків для ЕС Іорданії такі:

$$d_v = 39.42, \delta_v = 0.721, \delta_{v\max} = 1.14, \frac{\delta_v}{\delta_{v\max}} \cdot 100 = 89\%.$$

Як видно, відносний показник неоднорідності  $\delta_v = 0.721$  складає 89 % від максимально можливого. Тобто необхідні заходи по компенсації негативної дії неоднорідності ЕС Іорданії.

## ВИСНОВКИ

1. Показана принципова можливість оптимального керування нормальними режимами ЕС за запропонованими в роботі методиками й алгоритмами. Функціонування за розробленим законом оптимального керування дозволяє узгодити оперативне (диспетчером) та автоматичне керування, які ставлять за мету компенсувати вплив неоднорідності ЕС на економічність її режимів. Розглядена схема автоматизації цього процесу, яка побудована на системному підході, дозволяє ефективно компенсувати негативний вплив неоднорідності ЕС як загальносистемного показника.

2. Виходячи з подібності оптимальних режимів ЕС розроблені математичні моделі, які дозволяють визначити закони оптимального керування нормальними станами системи. Запропоновані практичні алгоритми адаптації їх до реальних умов. В результаті створюються передумови автоматизації процесу оптимального керування і, як наслідок, підвищення ефективності оптимізації системи в цілому.

3. Розроблені алгоритм і програма визначення критеріїв подібності оптимальних станів ЕС. В основу алгоритму покладено метод Гаусса, який адаптований до слабозаповнених матриць коефіцієнтів систем рівнянь. В результаті алгоритм визначення критеріїв подібності став більш ефективним і став відповідати вимогам керування в темпі процесу. В свою чергу це дозволило відмовитися від необхідності створення бібліотеки критеріїв подібності стосовно до топологічних змін в ЕС.

4. Розроблена методика формування векторів стану для САК на основі аналізу матриці критеріїв подібності. Конкретними прикладами підтверджено, що систему керування нормальними режимами ЕС можна розбити на локально функціонуючі підсистеми. Така децентралізація керування нормальними режимами ЕС дозволяє підвищити його ефективність без втрати переваг централізованого керування.

5. Розроблені алгоритм і програма апроксимації таблично заданої функції за допомогою кубічних сплайнів. Він пристосований до обробки телевимірів, які в ЕС характеризуються циклічністю та повторюваністю. Моделювання за допомогою кубічних сплайнів забезпечує задану точність досягнення критерію оптимальності при керуванні нормальними режимами ЕС. Запропонована методика, яка передбачує можливість зміни сітки інтерполяції та кроку екстраполяції, а також застосування перекриття сплайнів, доз-

воляє адаптувати САК до умов експлуатації, що динамічно змінюються.

6. За програмами, розробленими на підставі запропонованих в роботі методів та алгоритмів, проведені розрахунки оптимальних режимів реальних електричних систем. Результати розрахунків підтвердили їх працездатність та ефективність. Вони передані для дослідно-промислової експлуатації в Південно-Західний РДЦ та НДЦ енергосистеми Йорданії. Їх впровадження дозволяє знизити втрати активної потужності в ЕС на 3-4%.

**Основний зміст дисертації викладено в наступних роботах:**

1. Лежнюк П.Д., Абдаллах Джалал, Гайдамака А.М. Автоматизація принципу компенсації впливу неоднорідності електричної системи на економічність її режимів // Вісник ВПІ. -1997. - № 1. - С. 59-62.

2. Лежнюк П.Д., Абдаллах Джалал, Таранюк Ю.А. Моделювання навантаження в системі оптимального керування нормальними режимами електричної системи // Вісник ВПІ. -1997. - № 2. - С. 35-37.

3. Пауткіна Л.Р., Абдаллах Джалал. Формування областей корекції оптимальних режимів електричної системи на підставі виділення визначених критеріїв подібності // Вісник ВПІ. -1997. -№ 3. - 59-63 с.

4. M.F. Abu Shark, A.R El-Zeoud & J. Abdalla /JORDAN JC0224 Effect of tap changers on electrical loss. The Second Regional Conference of CIGRE Committees in Arab Countries. Amman, Jordan May 12-14 1997.

5. Лежнюк П.Д., Лукьяненко Ю.В., Гайдамака В.М., Абдаллах Джалал. Вычислительная среда для автоматизации принятия решений диспетчера ЭЭС // В кн.: Управление эффективностью энергоиспользования. Тез. докл. науч.-техн. конф. - Киев: УДЭНТЗ, 1995. - С. 40-42.

6. Нагул В.І., Імад Ібрик, Джалал Абдаллах. Застосування принципу найменшої дії для моделювання оптимальних режимів електричних систем // В кн.: Математичне моделювання в електротехніці й електроенергетиці. - Тези доп. 1-ї міжнародної наук.-техн. конф. - Львів, 1995. - С. 218.

7. Оболонський Д.І., Пауткіна Л.Р., Абдаллах Джалал. Оцінка впливу неоднорідності замкненої електричної мережі на втрати в ній активної потужності // В кн.: Математичне моделю-

вання в електротехніці й електроенергетиці. - Тези доп. 1-ї міжнародної наук.-техн. конф. - Львів, 1995. - С. 209.

8. Оболонский Д.И., Пауткина Л.Р., Джалал Абдаллах. Исследование влияния фактора неоднородности на величину потерь активной мощности в электрических системах // В кн.: Контроль і управління в технічних системах. - Тези доп. 3-ї міжнародної наук.-техн. конф. - Вінниця, 1995. - С. 546.

9. Лежнюк П.Д., Оболонський Д.І., Абдаллах Джалал. Комплексний підхід до компенсації впливу на неоднорідність електричної системи на оптимальність її режимів // В кн.: Управління енерговикористанням. Тези доп. практичної конф. - Львів, 1997. - С. 29.

10. Лежнюк П.Д., Абдаллах Джалал, Таранюк Ю.А. Оптимальний вибір вузлів інтерполяції для функцій, які задаються періодично повторюваними експериментальними даними // Матеріали 6-ї міжнар. науков. конф. ім. акад. М.Кравчука. - Київ, 1997. - С. 246.

**Особистий внесок.** Всі основні результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. В публікаціях особисто здобувачем виконано: в [1] розроблена методика введення критерія оптимальності в зону нечутливості, в [2] розроблена методика й алгоритм моделювання навантаження за допомогою кубічних сплайнів для визначення упереджуючих впливів, в [3] розроблена методика аналізу критеріїв подібності та формування підсистем керування, в [4] розроблена методика оцінки регульовального ефекту, в [5-10] розроблені алгоритми та програми, виконані розрахунки та проаналізовані результати.

Джалал Абдаллах. Подібне математичне моделювання при керуванні складною системою з неявно вираженим критерієм оптимальності. - 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.

Дисертацію присвячено розробці на основі теорії подібності способів і засобів математичного моделювання для підвищення ефективності керування складними системами з критерієм оптимальності, який не має аналітичного виразу. В роботі розвивається концепція застосування подібного моделювання стосовно автоматичних систем керування. Встановлено умови подібності опти-

мальних станів електричної системи і способи їх досягнення. Запропоновано метод, алгоритм та програма апроксимації функції керування за допомогою кубічних сплайнів. Основні результати роботи знайшли практичне застосування при автоматизації оптимального керування нормальними станами електричних систем і дали позитивний техніко-економічний ефект.

Ключові слова: математичне моделювання, критерії подібності, кубічні сплайни, система автоматичного керування, електрична система.

Джалал Абдаллах. Подобное математическое моделирование при управлении сложной системой с неявно выраженным критерием оптимальности. - 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.

Диссертация посвящена разработке на основе теории подобия способов и средств математического моделирования для повышения эффективности управления сложными системами с критерием оптимальности, не имеющим аналитического выражения. В работе развивается концепция применения подобного моделирования применительно к автоматическим системам управления. Установлены условия подобия оптимальных состояний электрической системы и способы их достижения. Предложен метод, алгоритм и программа аппроксимации функции управления с помощью кубических сплайнов. Основные результаты работы нашли практическое применение при автоматизации оптимального управления нормальными состояниями электрических систем и дали положительный технико-экономический эффект.

Ключевые слова: математическое моделирование, критерии подобия, кубические сплайны, система автоматического управления, электрическая система.

Jalal Abdallah "Similar mathematical modelling at control by a complicated system with an implicitly expressed criterion of an optimality". - Manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 01.05.02- Mathematical modellings(simulations) and computing methods.- Vinnitsa State Technical University, Vinnitsa, 1997.

The thesis is devoted to development on the bases of theories of a similarity, the modes and tools of mathematical modelling for a raise of effectiveness of controls by complicated systems with a criterion of an optimality which is not have analytical expressions.

In work the concept of a modification of similar mathematical modelling with reference to automatic control systems develops. The conditions of a similarity of optimum condition of an electrical system and modes of their reaching are established. Are offered a method, algorithm and program of approximation of function control by the cubic spline. The basic outcomes of work have found practical application at automation of optimum controls by normal condition of electrical systems and have given positive technical - economic benefit.

Key words: mathematical modelling, criterion's of a similarity, cubic splines, system of automatic controls, electrical system.

Автор висловлює подяку к.т.н. доценту Л.Р. Пауткіній за консультації та допомогу при виконанні цієї роботи.

Підписано до друку 31.10.1997 р.

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі  
Вінницького державного технічного університету  
Наклад 100 примірників



AB 38.777