

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**Джафарі Хенджані Сейед Моджтаба**

УДК 62-5:620.9

**БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ СИНТЕЗ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ  
СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОБЛОКІВ АЕС  
ГЕНЕТИЧНИМИ АЛГОРИТМАМИ**

Спеціальність 05.13.07 – автоматизація процесів керування

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі системного аналізу і управління  
Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»  
Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

**Науковий керівник**

доктор технічних наук, доцент  
**Северин Валерій Петрович,**  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»,  
професор кафедри системного аналізу  
і управління

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор  
**Тодорцев Юрій Костянтинович,**  
Одеський національний політехнічний  
університет, м. Одеса, завідувач  
кафедри автоматизації теплоенергетичних  
процесів

доктор технічних наук, професор  
**Артюх Станіслав Федорович,**  
Українська інженерно-педагогічна  
академія, м. Харків, завідувач кафедри  
електроенергетики

Захист відбудеться 24 червня 2010 г. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої  
вченої ради Д 64.050.07 в Національному технічному університеті  
«Харківський політехнічний інститут» за адресою:  
61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного  
університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою:  
61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2010 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

І. П. Гамаюн

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Досвід дослідження роботи систем автоматичного керування (САК) енергоблоків атомних електричних станцій (АЕС) показує, що пріоритетним залишається підвищення ефективності методів аналізу та синтезу систем. Для систем керування енергоблоку з такими об'єктами керування як ядерний реактор, парогенератор та парова турбіна, параметри яких змінюються в процесі функціонування випадково, необхідний розвиток методів синтезу. В таких системах керування замість стандартних ПІД-регуляторів доцільно використовувати інтелектуальні регулятори, побудовані на основі нечіткої логіки та штучних нейронних мереж з застосуванням генетичних алгоритмів. Генетичні алгоритми застосовуються при вирішенні задач оптимізації з використанням принципів та механізмів, які нагадують біологічну еволюцію. Такими алгоритмами може бути проведена оптимізація настроювальних параметрів регулюючих пристроїв в системах автоматичного керування.

За останні роки інтенсивно ведуться роботи по практичному впровадженню нечітких регуляторів і нечітких систем керування в світовій енергетиці для поліпшення безпеки систем автоматичного керування, їх маневрених характеристик, показників стійкості та якості, які суттєвим образом залежать від динамічних властивостей систем. Підвищення якості систем керування енергоблоків може бути забезпечено розвитком розрахункових методів проектування шляхом підвищення їх надійності та точності, що й визначає актуальність дисертаційної роботи.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана на кафедрі системного аналізу і управління Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» у відповідності з планом науково-дослідних робіт МОН України в межах держбюджетної теми «Розвиток теорії і методів параметричного синтезу багатоцільових і багатокритеріальних керованих систем з невизначеними параметрами» (№ ДР 0105U000585), у якій здобувач був виконавцем.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розробка методів багатокритеріального параметричного синтезу інтелектуальних систем автоматичного керування енергоблоків АЕС на основі оптимізації показників якості систем генетичними алгоритмами.

Для досягнення зазначеної мети поставлено такі задачі:

- 1) аналіз задач багатокритеріального параметричного синтезу систем автоматичного керування енергоблоками АЕС;
- 2) розробка моделей і методів формування та обчислення багатокритеріальних показників якості систем автоматичного керування;
- 3) розробка надійних методів синтезу систем керування генетичними алгоритмами;
- 4) багатокритеріальний синтез локальних систем керування енергоблоків АЕС;
- 5) синтез інтелектуальних систем керування енергоблоку АЕС в основних нормальних режимах експлуатації.

*Об'єктом дослідження* є процеси керування в енергоблоках АЕС в нормальних режимах експлуатації.

*Предметом дослідження* є методи параметричного синтезу інтелектуальних систем автоматичного керування енергоблоків АЕС.

*Методи дослідження.* Фундаментальні положення теорії автоматичного керування, теорія операційного обчислення, численні методи інтегрування систем диференціальних рівнянь використовувались для розробки і дослідження показників якості систем автоматичного керування енергоблоків АЕС. Методи математичного моделювання, методи простору станів та передавальних функцій, теорія диференціальних рівнянь – при розробці математичних моделей систем керування енергоблоків. Теорія оптимізації та теорія обчислень застосовувались при розробці й дослідженні модифікованих генетичних алгоритмів як методів оптимізації. Генетичні алгоритми використовувались в багатокритеріальному синтезі систем керування енергоблоку як методи синтезу традиційних та нечітких регуляторів. Сучасні системи комп'ютерної математики застосовувались для обчислення значення параметрів систем керування, параметричного синтезу, дослідження ефективності методів синтезу.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Основний науковий результат роботи полягає в розв'язанні задач багатокритеріального параметричного синтезу інтелектуальних систем автоматичного керування енергоблоку АЕС генетичними алгоритмами на основі розвитку моделей САК і методів оптимізації прямих показників якості та покращених інтегральних квадратичних оцінок.

Наукова новизна визначається наступними положеннями:

1. Отримали подальший розвиток математичні векторні моделі багатокритеріальних показників якості систем автоматичного керування з урахуванням критеріїв стійкості, прямих показників якості та покращених інтегральних квадратичних оцінок, що дозволяє формалізувати постановку задач синтезу систем керування у вигляді векторного критерію.

2. Вперше розроблені методи синтезу систем автоматичного керування на основі модифікації генетичних алгоритмів для оптимізації узагальненого векторного критерію, що підвищує надійність синтезу оптимальних систем.

3. Вперше виконаний синтез оптимальних систем автоматичного керування з нечіткими регуляторами для парогенератора і парової турбіни, що дозволяє порівнювати нечіткі регулятори з традиційними ПД регуляторами.

4. Вперше побудовані математичні моделі роботи енергоблоку АЕС, які включають взаємодіючі в нормальних режимах експлуатації реактор, парогенератор, парову турбіну та їх системи керування, що дозволяє проводити параметричний синтез систем і досліджувати різні закони керування енергоблоком.

5. Вперше на основі моделей систем автоматичного керування енергоблоку виконаний синтез регуляторів для нормальних режимів експлуатації.

**Практичне значення одержаних результатів.** Для підвищення якості автоматизації процесів керування в енергоблоках АЕС вдосконалені методи і програми формування та обчислення багатокритеріальних показників якості систем автоматичного керування, що дозволяють точніше формалізувати задачі синтезу систем керування. Розроблені методи і програми багатокритеріального

параметричного синтезу систем керування генетичними алгоритмами, які дозволяють підвищити ступінь наукової обґрунтованості технічних проектів по вдосконаленню систем керування енергоблоку. Отримані математичні моделі систем керування нейтронною потужністю реактора ВВЕР-1000, рівнем води в парогенераторі ПГВ-1000 і частотою обертання ротора парової турбіни К-1000-60/1500 для дослідження традиційних та перспективних законів керування енергоблоком. Виконаний синтез інтелектуальних систем керування енергоблоку АЕС в основних режимах експлуатації, що дозволяє порівняти інтелектуальні системи з традиційними.

Розроблені моделі, методи, програми для параметричного синтезу систем автоматичного керування енергоблоку впроваджені на ДП ХПЗ ім. Т. Г. Шевченка (м. Харків). Матеріали дисертації використовуються на кафедрі системного аналізу і управління НТУ «ХПІ» в лекційних курсах «Методи оптимізації», «Моделі і методи прийняття рішень», «Математичні методи системного аналізу».

**Особистий внесок здобувача.** Всі основні результати дисертації, які виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно, серед них – методи, алгоритми і програми розв'язання задач багатокритеріального синтезу САК енергоблоку АЕС генетичними алгоритмами і використання нечітких регуляторів; результати оптимізації різних систем; математичні моделі інтелектуальних САК нейтронною потужністю ядерного реактора ВВЕР-1000, рівнем води в парогенераторі ПГВ-1000, частотою обертання ротора парової турбіни та САК усього енергоблоку в нормальних режимах експлуатації, результати багатокритеріального параметричного синтезу цих інтелектуальних систем.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи доповідались та обговорювались на: XV і XVI Міжнародних конференціях з автоматичного управління «Автоматика» (м. Одеса, 2008; м. Чернівці, 2009); XV і XVI Міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми автоматизованого електроприводу» (м. Миколаївка, 2008; м. Алушта, 2009); IV Всеросійській науковій конференції «Проектування інженерних і наукових додатків в середовищі MATLAB» (м. Астрахань, 2009); Міжнародній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (м. Харків, 2009); Міжнародній конференції по інтелектуальній інформації і технічним системам «INFOS» (Польща, м. Криница, 2009); Міжнародній науково-технічній конференції «Силова електроніка і енергоефективність» (м. Алушта, 2009).

**Публікації.** Результати дисертації опубліковані в 13 наукових працях, серед яких 9 – у фахових наукових виданнях ВАК України.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, 5 розділів, висновків, додатків та списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації складає 224 сторінки, включаючи 1 рисунок по тексту, 68 рисунків на 35 окремих сторінках, 1 таблицю по тексту, 16 таблиць на 8 окремих сторінках, 2 додатка на 11 сторінках, 222 найменувань використаних джерел на 23 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність дослідження, сформульована мета і визначені основні задачі роботи, дана характеристика наукової новизни і практичної значущості отриманих результатів, приведені відомості з практичного значення та апробації основних результатів роботи.

В **першому розділі** проведений аналіз задач керування енергоблоками АЕС і методів синтезу САК енергоблоків, обґрунтований напрямок досліджень.

Технологічна схема виробництва електроенергії енергоблоком з реактором ВВЕР-1000 представлена на рис. 1.

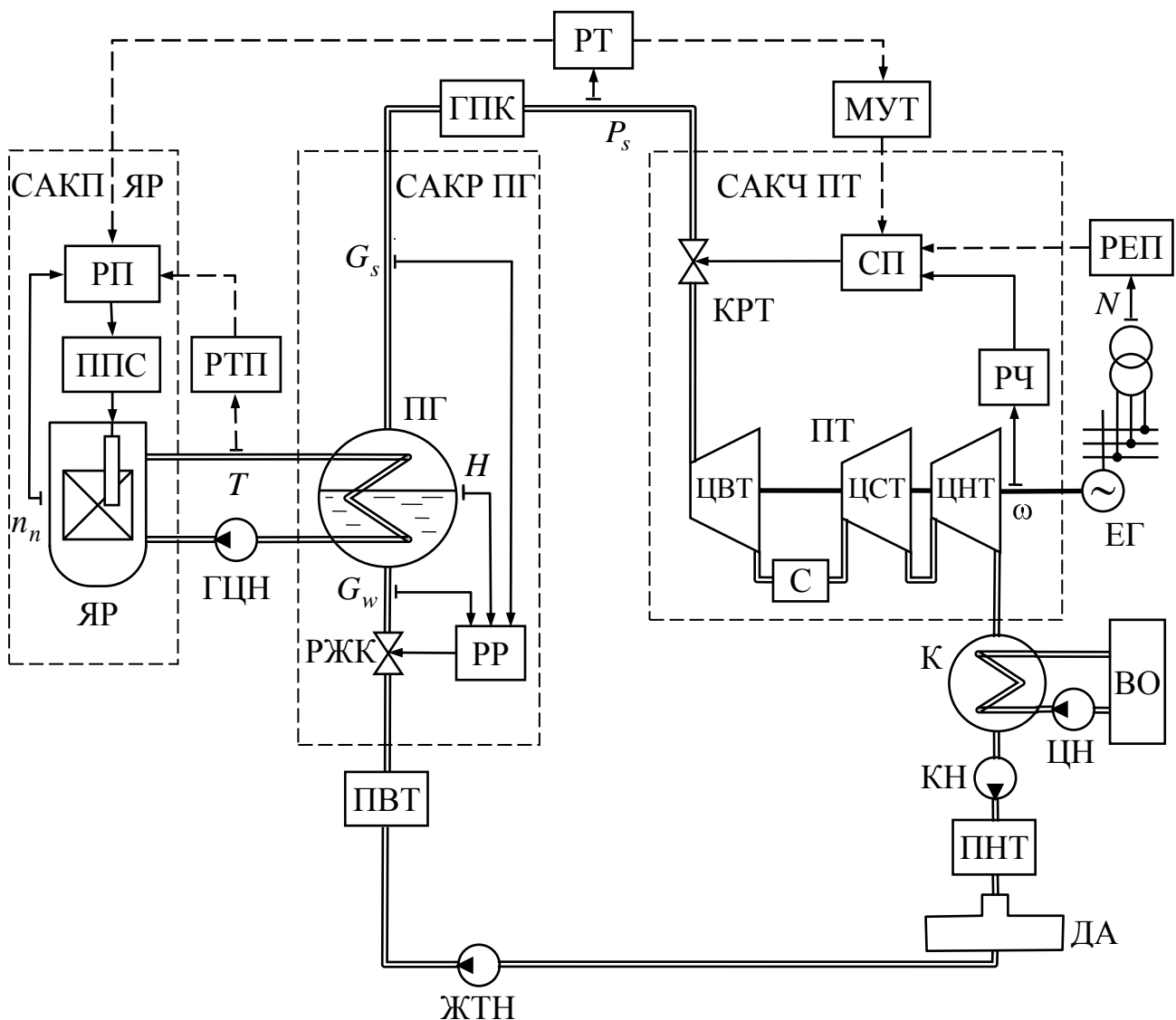


Рис. 1. Технологічна схема енергоблоку з реактором ВВЕР-1000

У ядерному реакторі (ЯР) ВВЕР-1000 енергія розпаду ядер урану передається теплоносію – воді, що подається головним циркуляційним насосом (ГЦН). Живильна вода подається до парогенератора (ПГ) ПГВ-1000 через підігрівач високого тиску (ПВТ) живильним турбонасосом (ЖТН). У ПГ живильна вода перегорюється на пару, яка через головний паровий колектор (ГПК) поступає до па-

рової турбіни (ПТ) К-1000-1500/60. Турбіна обертає ротор електричного генератора (ЕГ), який виробляє електричну енергію. Відпрацьована пара в конденсаторі (К) охолоджується водою з водосховища-охолоджувача (ВО), що подається циркуляційним насосом ЦН, і конденсатним насосом (КН) через підігрівач низького тиску (ПНТ) подається до деаератора (ДА). З деаератора живильна вода поступає до ЖТН. Енергоблок оснащений автоматизованою системою керування, яка об'єднує локальні системи керування окремими технологічними процесами в елементах блоку: САК потужністю ядерного реактора (САКП ЯР), САК рівнем води в парогенераторі (САКР ПГ), САК частотою обертання ротору ПТ (САКЧ ПТ) та інші.

Проаналізовані задачі автоматичного керування енергоблоком та його основними агрегатами. Інженерні вимоги до якості реальних систем формуються у вигляді прямих показників якості (ППЯ), таких як перерегулювання, час регулювання, показники коливальності процесу. Розглянуті покращені інтегральні квадратичні оцінки (ІКО), що дають числовий показник якості, який характеризує прямі показники у сукупності. Проаналізовані різні підходи та методи параметричного синтезу традиційних та нечітких систем керування і обґрунтовані переваги використання для синтезу генетичних алгоритмів.

В кінці розділу приведено обґрунтування вибору мети дисертаційної роботи і сформульовані задачі дослідження.

**Другий розділ** присвячений дослідженню і обчисленню багатокритеріальних показників якості керування, які мають обмежену область визначення.

Позначимо набір змінних параметрів задачі параметричного синтезу САК вектором  $x = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ . Змінні параметри мають обмеження:  $a_i \leq x_i \leq b_i$ ,  $i = \overline{1, p}$ . За моделлю САК порядку  $n$  визначимо коефіцієнти характеристичного поліному  $\alpha_k(x)$  та елементи першого стовпця таблиці Рауса  $\rho_k(x)$ ,  $k = \overline{0, n}$ , які для стійкої САК повинні бути позитивні. Введемо штрафні функції:

$$P(x) = \sum_{i=1}^p (|a_i - x_i|_+ + (x_i - b_i)_+), \quad S(x) = \sum_{k=1}^n | \alpha_k(x) |_+,$$

де  $v_+ = \max\{v, 0\}$  — операція зрізки змінної величини  $v$ . Для переходу до області стійкості за допомогою областей рівнів  $H_k$  використана векторна функція

$$F_S(x) = \begin{cases} (0; P(x)), & x \in H_0, \\ (1; S(x)), & x \in H_1, \\ (k; -\rho_k(x)), & x \in H_k, \quad k = \overline{2, n-1}. \end{cases} \quad (1)$$

Перша проекція векторної функції (1) відповідає кількості виконаних обмежень, а друга проекція представляє штраф порушеного обмеження. Перехід в допустиму область системи керування зведений до оптимізації векторної функції на основі порівняння двох її довільних значень  $U = (U_1; U_2)$  і  $V = (V_1; V_2)$  операцією «краще»

$$U < V = \begin{cases} 1, & (U_1 > V_1) \vee [(U_1 = V_1) \wedge (U_2 < V_2)], \\ 0, & (U_1 < V_1) \vee [(U_1 = V_1) \wedge (U_2 \geq V_2)]. \end{cases} \quad (2)$$

Якість систем керування енергоблоком оцінюється ППЯ — перерегулюванням  $\sigma(x)$ , максимальним розмахом коливань  $\zeta(x)$ , показником затухання коливань  $\lambda(x)$  і часом регулювання  $t_c(x)$ . Розглянуто матричні методи обчислення ППЯ лінійних та нелінійних САК на основі задання інтервалу часу  $[0, T_f]$ ,  $L$  кроків інтегрування, інтервалу сталого значення відхилення керованої змінної  $[-\delta_z, \delta_z]$ . На тестових прикладах обґрунтована суперечність ППЯ. Для багатокритеріального синтезу САК за ППЯ введено відносне значення часу регулювання  $\tau(x) = t_c/T_f$  та використана векторна цільова функція

$$F(x) = \begin{cases} F_S(x), & x \notin D; \\ (n; \sigma(x) - \sigma_m), & x \in H_n; \\ (n+1; \zeta(x) - \zeta_m), & x \in H_{n+1}; \\ (n+2; \lambda(x) - \lambda_m), & x \in H_{n+2}; \\ (n+3; \tau(x)), & x \in H_{n+3}. \end{cases} \quad (3)$$

Для синтезу САК з монотонними перехідними процесами без перерегулювання і коливання з  $\sigma_m = 0$ ,  $\zeta_m = 0$  доцільно використовувати функцію

$$F(x) = \begin{cases} F_S(x), & x \notin D; \\ (n; \sigma(x) - \sigma_m), & x \in H_n; \\ (n+1; \zeta(x) - \zeta_m), & x \in H_{n+1}; \\ (n+2; \tau(x)), & x \in H_{n+2}. \end{cases} \quad (4)$$

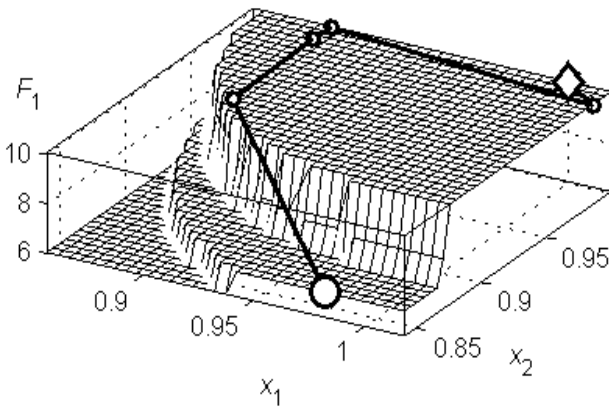
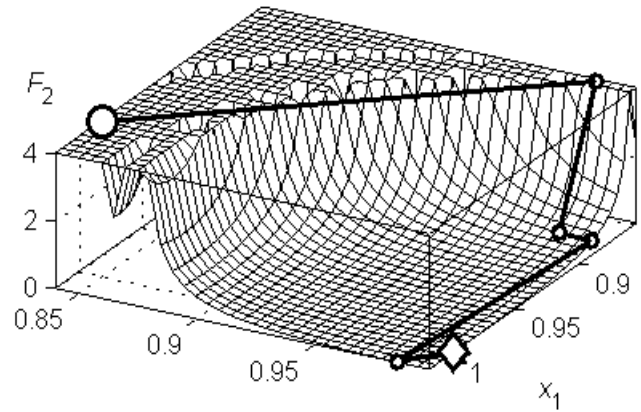
Розглянуті різні ІКО та наведені приклади суперечності цих критеріїв якості. Обґрунтована доцільність використання покращеної ІКО. Для синтезу САК шляхом мінімізації покращеної ІКО  $I(x)$  запропонована векторна функція

$$F_I(x) = \begin{cases} F_S(x), & x \notin D; \\ (n; I(x)), & x \in D. \end{cases} \quad (5)$$

**Третій розділ** присвячений розробці модифікованих генетичних алгоритмів (ГА) для оптимізації векторних показників якості систем керування і методиці оптимізації регуляторів. Для оптимізації векторних функцій (3)-(5) запропоновані модифікації бінарних та безперервних комбінованих ГА як векторних методів глобального пошуку. Запропоновані алгоритми відрізняються використанням операцій порівняння (2) значень векторних функцій (3)-(5) та методів Хука-Дживса і Нелдера-Міда. Тестова мінімізація ІКО виконана модифікованими ГА шляхом оптимізації функції (5) для передавальної функції (ПФ) з оди-



ничним числівником та різними значеннями ступеня знаменника  $n$  з 3 до 105. З двома змінними коефіцієнтами ПФ знайдено мінімум оцінок для всіх  $n$  тільки бінарним ГА з методом Нелдера-Міда *GABNM*. За  $p = n - 1$  змінних параметрів мінімум оцінок знайдено для всіх  $p \leq 10$  всіма методами. За кількістю обчислень цільової функції бінарний ГА *GABNM* виявився більш ефективним за інші методи. На рис. 2, 3 представлені графіки проєкцій векторної функції (5) та траєкторія мінімізації ІКО бінарним ГА для тестової ПФ з  $n = 10$ ,  $p = 2$ .

Рис. 2. Мінімізація ІКО на  $F_1$ Рис. 3. Мінімізація ІКО на  $F_2$ 

Результати трьох експериментів оптимізації функції (3) бінарним ГА для тестової передавальної функції  $W(s) = 1/(s^3 + x_1s^2 + x_2s + 1)$  представлені в табл. 1. У ній для номеру експеримента  $N_e$  дані граничні значення  $\sigma_m$ ,  $\zeta_m$ ,  $\lambda_m$ , координати кінцевої точки  $x_1^*$ ,  $x_2^*$ , значення прямих показників якості в кінцевій точці  $\sigma^*$ ,  $\zeta^*$ ,  $\lambda^*$ ,  $t_c^*$ . Оптимальні точки та перехідні процеси, їм відповідні, представлені на рис. 4, 5. На рис. 6, 7 для  $N_e = 2$  дані графіки проєкцій векторної функції (4) і траєкторії пошуку, які підтверджують, що оптимальна точка досягнута. Проведені експерименти з оптимізації параметрів передавальних функцій різних порядків показали ефективність ГА.

Розроблена методика параметричного синтезу традиційних ПД та нечітких регуляторів для систем керування енергоблоку.

Лінійні ПД регулятори формують керуючу дію  $u = u(t)$  на об'єкт керування за помилкою  $\varepsilon = \varepsilon(t)$  і складаються з елементарних пропорційного (П), інтегрального (І) і диференціального (Д) регуляторів за рівняннями:

Таблиця 1

## Оптимізація ППЯ

Параметри	Значення параметрів		
	$N_e = 1$	$N_e = 2$	$N_e = 3$
$\sigma_m$	0,05	0,05	0,05
$\zeta_m$	0,065	0,065	0
$\lambda_m$	—	0,3	—
$x_1^*$	1,504	1,885	1,942
$x_2^*$	2,126	2,079	2,383
$\sigma^*$	0,015	0,050	0
$\zeta^*$	0,065	0,065	0
$\lambda^*$	3,334	0,300	0
$t_c^*, c$	3,377	3,552	4,316
Маркер	▽	□	*

$$u_p(t) = K_p \varepsilon(t); \quad du_I/dt = \lambda_I \varepsilon; \quad dv_D/dt = -\lambda_D(v_D + K_D \varepsilon), \quad u_D = v_D + K_D \varepsilon;$$

де  $K_p$ ,  $\lambda_I = 1/T_I$ ,  $\lambda_D = 1/T_D$ ,  $K_D = 10$  — параметри регуляторів,  $T_I$  та  $\tau_D = K_D T_D$  — постійні часу І та відповідного ідеального Д регуляторів. Лінійні ПІ та ПІД регулятори формують  $u$  шляхом додатку  $u_p$ ,  $u_I$  та  $u_D$ . Для ПІ та ПІД регуляторів вектори змінних параметрів  $x = (K_p, \lambda_I)$  та  $x = (K_p, \lambda_I, \lambda_D)$ .

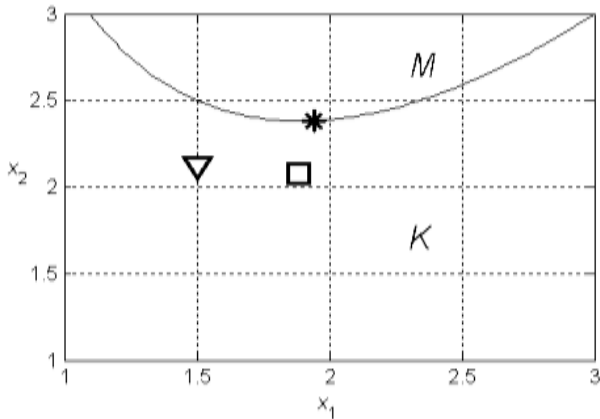


Рис. 4. Оптимальні точки

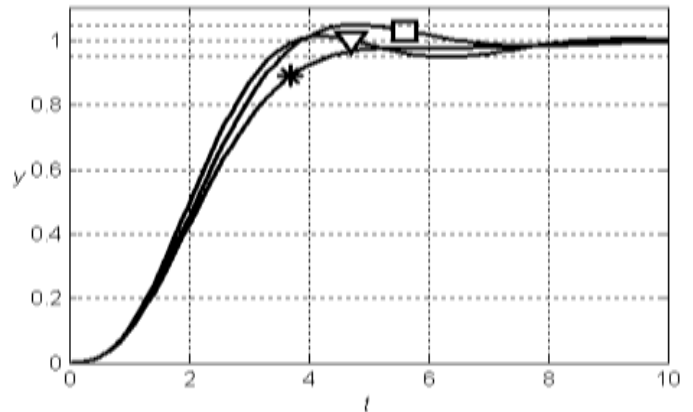
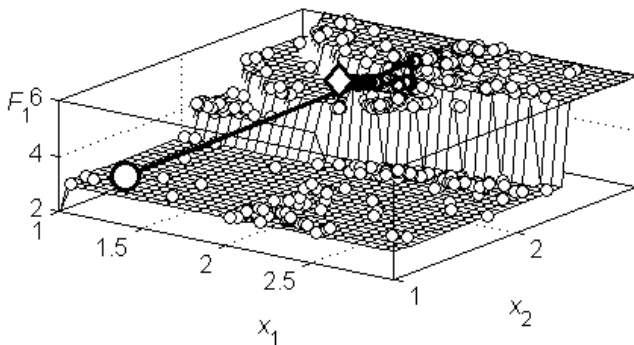
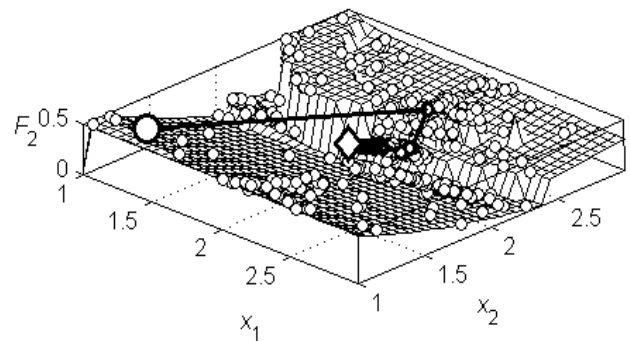


Рис. 5. Оптимальні процеси

Рис. 6. Оптимізація ППЯ на  $F_1$ Рис. 7. Оптимізація ППЯ на  $F_2$ 

Нечіткий ПІ регулятор, представлений на рис. 8, використовує систему нечіткого виводу (СНВ), яка включає базу правил та блоки фазифікації, нечіткого виводу та дефазифікації.

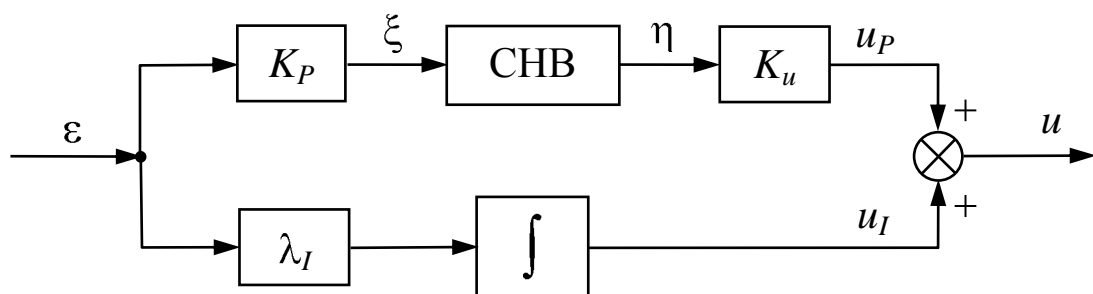


Рис. 8. Схема нечіткого ПІ регулятора

Функції належності вхідної  $\xi$  та вихідної  $\eta$  змінних представлені на рис. 9, де  $\xi_n = \xi_p$ ,  $\eta_n = \eta_p$ ,  $\xi_p \in [0; 1]$ ,  $\eta_p \in [0; 1]$ . База правил має вигляд:

1) якщо  $\xi = N_\xi$ , то  $\eta = N_\eta$ ; 2) якщо  $\xi = Z_\xi$ , то  $\eta = Z_\eta$ ; 3) якщо  $\xi = P_\xi$ , то  $\eta = P_\eta$ .  
 Вектор змінних параметрів нечіткого ПІ регулятора  $x = (K_P, \lambda_I, K_u, \xi_p, \eta_p)$ .

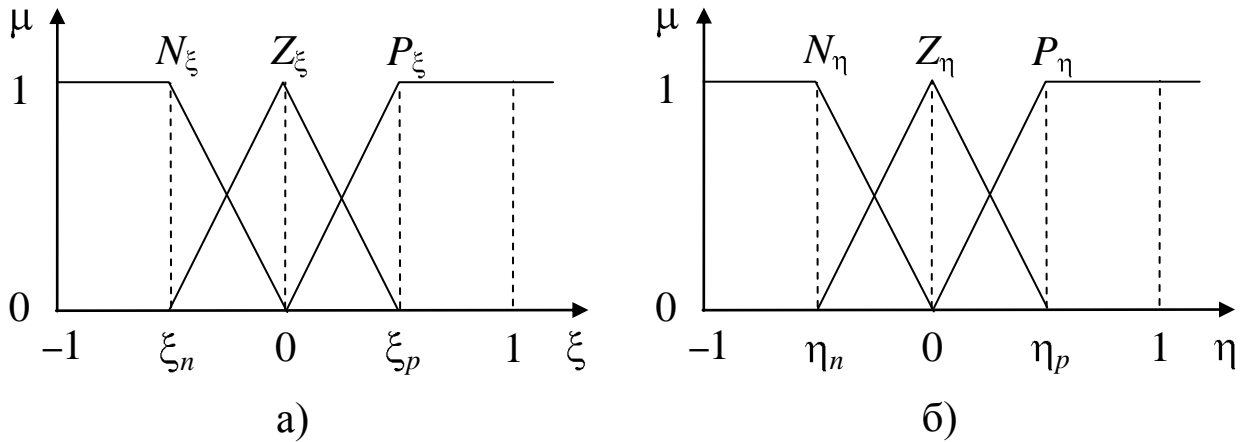


Рис. 9. Функції належності:  
 а) для вхідної змінної, б) для вихідної змінної

Керуючу дію нечіткого ПІ регулятора представимо у вигляді:

$$u = u_P + u_I, \quad u_P = f_F(x, K_P \varepsilon) K_u, \quad du_I/dt = \lambda_I \varepsilon.$$

У **четвертому розділі** проведений синтез оптимальних локальних систем керування енергоблоку з традиційними ПІД та нечіткими регуляторами.

САКП ЯР ВВЕР-1000 на рис. 1 включає реактор, датчик щільності потоку нейтронів  $n_n$ , регулятор потужності (РП) і привід поглинаючих стрижнів (ППС). Отримані нелінійні і лінійні моделі реактора як об'єкта керування:

$$dX_R/dt = f_R(X_R, v_s), \quad dX_R/dt = A_R X_R + B_R v_s, \quad v = C_R X_R, \quad (6)$$

де вектор стану реактора  $X_R$  включає відносні змінні нейтронної потужності  $v$ , концентрацій двох груп запізнених нейтронів, температур палива, оболонки твела і теплоносія, реактивність за переміщенням поглинаючого стрижня;  $v_s$  — уставка потужності;  $A_R$ ,  $B_R$  та  $C_R$  — матриці зі значеннями постійних обчислених параметрів реактора. На підставі моделей (6) і рівнянь законів керування розроблені моделі САКП з різними регуляторами потужності:

$$dX_N/dt = f_N(X_N, v_s), \quad dX_N/dt = A_N X_N + B_N v_s, \quad v = C_N X_N. \quad (7)$$

Для оптимізації показників якості систем керування сформований вектор  $x \in R^p$  з параметрів РП і накладені на значення змінних параметрів обмеження з  $a_i = 0$  і  $b_i = 100$ ,  $i = \overline{1, p}$ . Для отримання при вхідній дії  $v_s = 1(t)$  перехідних процесів без перерегулювання і коливальності з бажаним часом регулювання  $t_e = 100$  с для функції (5) використана відповідна покращена ІКО  $I(x)$  першого

порядку, а для функції (4) задані  $\sigma_m = 0$  і  $\zeta_m = 0$ , параметр зони сталого значення  $\delta_z = 0,05$ , значення  $\tau$  замінено на  $(\tau - t_c / T_f)^2$ .

У табл. 2 для різних ПІ регуляторів, лінійної L, нелінійної N та нечіткої F моделей систем (7) і критеріїв якості (Кр.) представлені оптимальні значення параметрів регуляторів  $K_p^*$ ,  $\lambda_I^*$ ,  $K_u^*$ ,  $\xi_p^*$ ,  $\eta_p^*$ , проєкцій векторної функції  $F_1^*$ ,  $F_2^*$ ,

часу регулювання  $t_c^*$ . За відповідними ПІ регуляторами на рис. 10 показані процеси зміни потужності у системах керування, оптимальні за ІКО (ISE) та ППЯ (DQI). На рис. 11, 12 представлений процес мінімізації ІКО для системи керування потужністю з ПІ регулятором, де на графіках проєкцій  $F_1(x)$  і  $F_2(x)$  векторної функції (5) змінних параметрів  $x_1 = K_p$  і  $x_2 = \lambda_I$  показана траєкторія пошуку.

Таблиця 2

Результати оптимізації параметрів РП

РП	Кр.	$K_p^*$	$\lambda_I^*$	$K_u^*$	$\xi_p^*$	$\eta_p^*$
L	ІКО	6,635	0,152	—	—	—
L	ППЯ	10,47	0,186	—	—	—
N	ППЯ	10,51	0,188	—	—	—
F	ППЯ	0,698	0,263	27,5	0,178	0,876

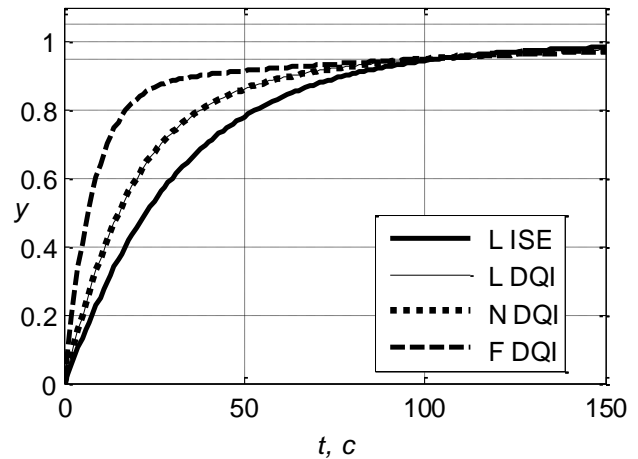
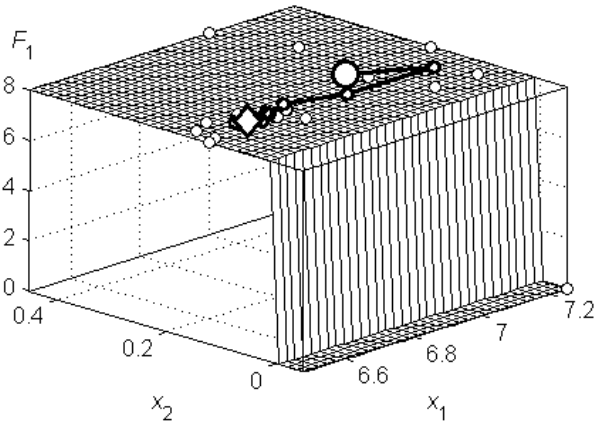
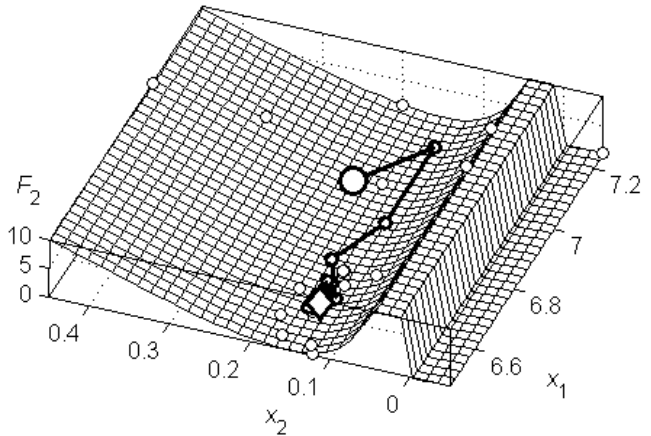


Рис. 10. Зміна потужності реактора

Рис. 11. Оптимізація САКП на  $F_1$ Рис. 12. Оптимізація САКП на  $F_2$ 

Технологічну систему керування парогенератором забезпечує САК рівнем води в парогенераторі (рис. 1). САКР ПГ включає ПГ, датчики рівня  $H$ , датчики витрат живильної води  $G_w$  і пари  $G_s$ , регулятор рівня (РР) і регулюючий живильний клапан (РЖК). Модель парогенератора як об'єкта керування, що моделює в ПГ процеси теплопередачі, паротворення та циркуляції, а також включає моделі ГПК, приводу клапана регулювання турбіни (КРТ) і виконавчого механізму РЖК, представлена в просторі станів:

$$dX_G/dt = A_G X_G + B_{Gq} q + B_{Gw} u + B_{Gs} u_s, \quad \xi_c = C_G X_G, \quad (8)$$

де вектор  $X_G$  складається з координат середніх температур теплоносія і металу теплообмінних трубок, об'єму води в ПГ, тиску робочого середовища в ПГ і пари в ГПК, рівня дзеркала випаровування і витрати пари через нього, переміщень РЖК і КРТ;  $q$  — координата потужності теплоносія,  $u$  і  $u_s$  — керуючі дії на РЖК і КРТ,  $\xi_c$  — координата рівня води;  $A_G$ ,  $B_{Gq}$ ,  $B_{Gw}$ ,  $B_{Gs}$ ,  $C_G$  — матриця і вектори постійних параметрів парогенератора. На вхід САКР подається уставка рівня  $\xi_{cs}$ , виходом є координата рівня  $\xi_c$ . Збурюючими діями є координата теплової потужності  $q$  і дія на КРТ  $u_s$ . РР формує дію  $u$ , яка подається до моделі ПГ і змінює вектор його стану  $X_G$ . За моделлю ПГ (8) і рівняннями регуляторів побудовані моделі САКР з різними типами РР:

$$dX_L/dt = A_L X_L + B_{Lc} \xi_{cs} + B_{Lq} q + B_{Ls} u_s, \quad \xi_c = C_L X_L. \quad (9)$$

Проведена ідентифікація параметрів моделей ПГ і САКР ПГВ-1000 за експериментальними даними процесів відхилення рівня з відключеним і включеним регулятором рівня. Для цього сформований вектор  $\xi$  відносних змінних  $\xi_i = (x_i - x_i^{(0)})/x_i^{(0)}$ ,  $i = \overline{1, 34}$ , де  $x_i$  — варійовані параметри,  $x_i^{(0)}$  — ненульові елементи матриць моделі (9), обчислені за конструктивними і технологічними параметрами ПГВ-1000. За вектором  $\xi$  сформована векторна функція вигляду (5) з обмеженнями  $-0,75 \leq \xi_i \leq 0,75$ ,  $i = \overline{1, 34}$  та заміною функції ІКО на функцію відхилення теоретичних процесів зміни рівня від експериментальних процесів за 140 точками. Векторними генетичними алгоритмами обчислені значення параметрів моделей ПГ і САКР. На рис. 13, 14 представлені процеси відхилення рівня в ПГ при відключеному і включеному РР: точками позначені експериментальні дані, штрихова лінія означає процеси за початковими значеннями змінних параметрів моделей, суцільна лінія означає процеси, що отримані оптимізацією векторної функції. За початковими значеннями змінних параметрів моделей й відключеному регулятору рівень швидко необмежено знижується (рис. 13). Після проведення ідентифікації спостерігається збіг процесів в моделях з експериментальними процесами.

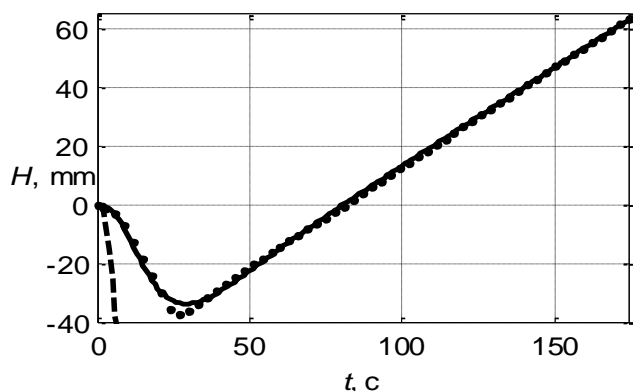


Рис. 13. Відхилення рівня без РР

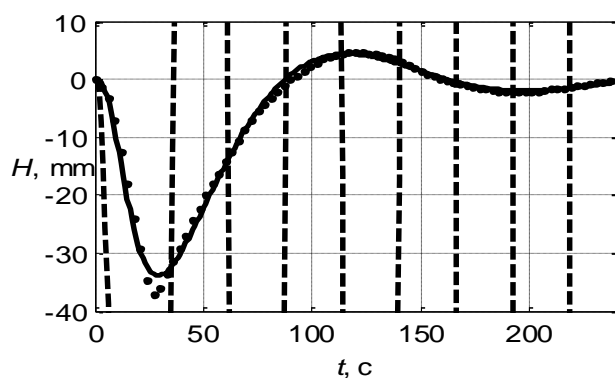


Рис. 14. Відхилення рівня з РР

Для оптимізації ППЯ САКР (9) при збуренні  $u_s = -1$  задано  $\delta_z = 0,05$ ,  $\sigma_m = 1$ ,  $\zeta_m = 0$ , сформовано вектор  $x$  з параметрів регуляторів. У табл. 3 для ПІ регулятора та нечіткого ПІ регулятора представлені оптимальні значення параметрів, максимального відхилення  $\sigma^*$  та часу регулювання  $t_c^*$ . На рис. 15 показані процеси зміни рівня ПГ при різних РР. Процес РІО відповідає ПІ регулятору з ідентифікованими значеннями параметрів. Нечіткий регулятор має незначну перевагу.

Рис. 16, 17 відображають кращі точки процесу оптимізації параметрів ПІ регулятора з вектором змінних параметрів  $x = (K_p, \lambda_I)$ .

Таблиця 3

Оптимізація параметрів РР

РР	$K_p^*$	$\lambda_I^*$	$K_u^*$	$\xi_p^*$	$\eta_p^*$	$\sigma^*$	$t_c^*, c$
ПІ	2,490	0,146	—	—	—	0,903	98,43
НПІ	0,403	0,144	1,884	0,257	0,400	0,905	97,60

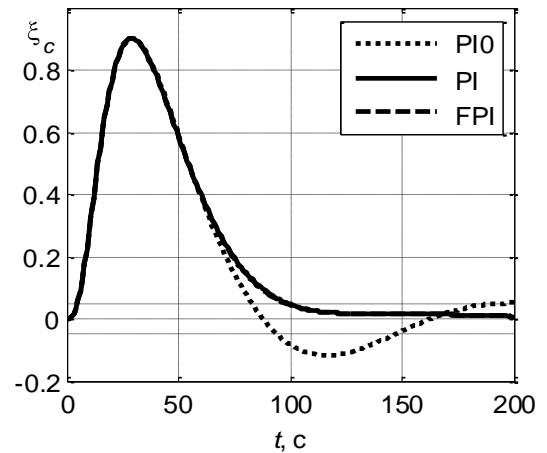
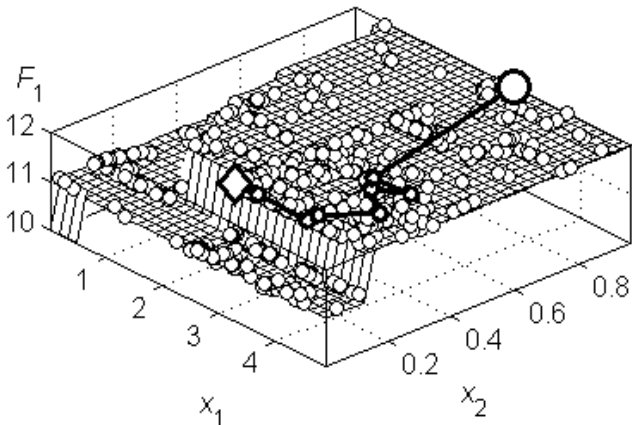
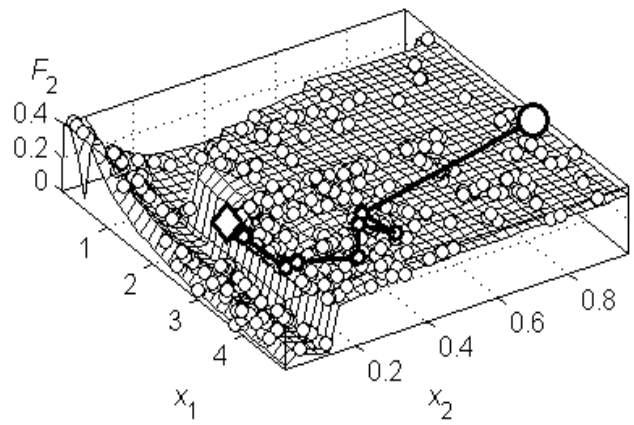


Рис. 15. Зміна рівня води

Рис. 16. Оптимізація САКР на  $F_1$ Рис. 17. Оптимізація САКР на  $F_2$ 

САКЧ ПТ на рис. 1 включає ПТ, датчик частоти  $\omega$ , регулятор частоти (РЧ), слідкуючий привід (СП) і клапан регулювання турбіни. Найважливішим завданням САКЧ є стабілізація частоти за різними збуреннями системи. За моделями СП, парового тракту турбіни та її ротора розроблені математичні моделі турбіни як об'єкта керування. Для оптимізації параметрів САКЧ сформований вектор  $x \in R^p$  з параметрів РЧ. Визначена модель САКЧ як системи стабілізації частоти при вхідній збурюючій дії  $v_s = -1(t)$ , відповідній переходу турбіни з режиму номінальної потужності до режиму холостого ходу, і вихідній координаті  $y$  відхилення частоти у відсотках:

$$dX_F(x,t)/dt = A_F(x)X_F(x,t) + B_F v_s, \quad y(x,t) = 100 C_F X_F(x,t).$$

Для отримання оптимальних процесів з мінімальним часом регулювання задані обмеження задачі оптимізації ППЯ: відповідне допустимому відхиленню частоти 4 % значення максимального відхилення відносної координати частоти у відсотках  $\sigma_m = 4$ , допустиме значення розмаху коливань частоти  $\zeta_m = 1$ ,  $\delta_z = 0,01$ . У табл. 4 для ПІ, ПІД та нечіткого ПІ регуляторів дані оптимальні значення їх параметрів, максимального відхилення  $\sigma^*$ , розмаху коливань  $\zeta^*$  і часу регулювання  $t_c^*$ . Відповідні табл. 4 перехідні процеси зміни частоти представлені на рис. 18.

Таблиця 4

Оптимізація параметрів РЧ

РЧ	$K_P^*$	$\lambda_I^*$	$\lambda_D^*$	$K_u^*$	$\xi_p^*$	$\eta_p^*$	$\sigma^*$	$\zeta^*$	$t_c^*, c$
ПІ	100,0	26,45	—	—	—	—	3,475	1,000	5,196
ПІД	98,13	33,54	1,695	—	—	—	3,360	0,904	4,200
НПІ	0,403	0,144	0,144	1,884	0,257	0,400	1,711	0,224	2,208

Процес оптимізації ПІ регулятора зі змінними параметрами  $x_1 = K_P$ ,  $x_2 = \lambda_I$  показаний на рис. 19 і 20. Аналіз цих результатів дозволяє зробити висновок, що найбільш ефективним типом регулятора частоти є нечіткий ПІ регулятор з оптимальними значеннями параметрів, який забезпечує найбільш швидкий перехідний процес із найменшим відхиленням частоти.

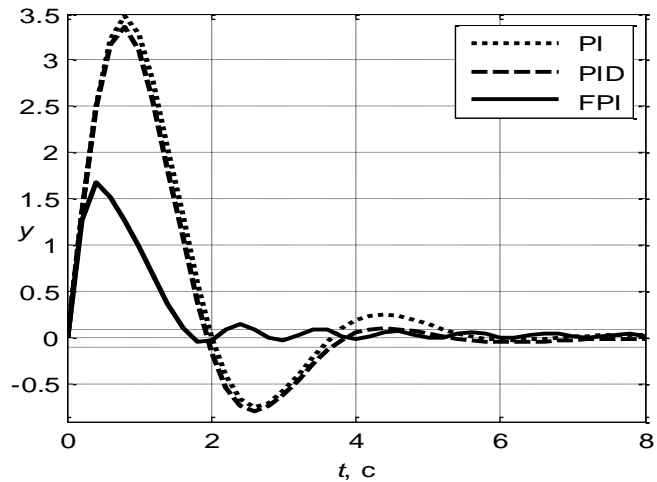
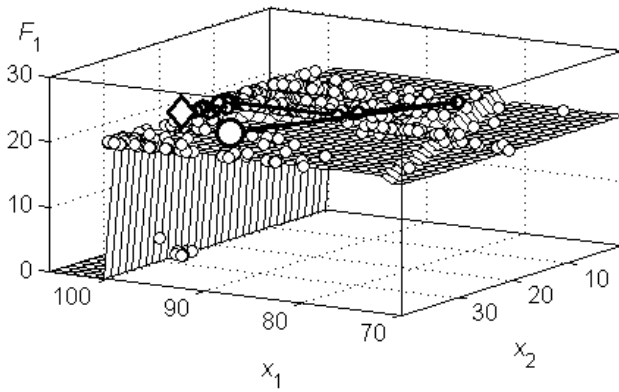
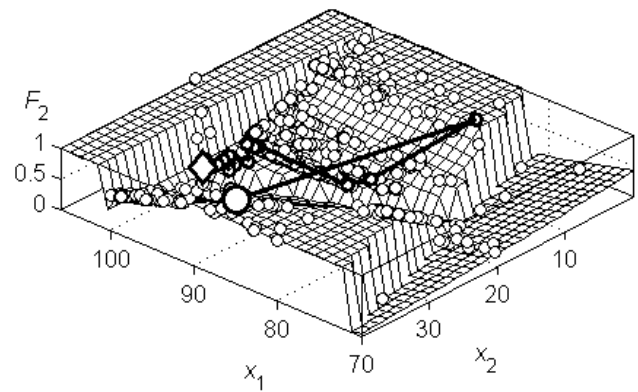


Рис. 18. Зміна частоти

**П'ятий розділ** присвячений багатокритеріальному параметричному синтезу систем керування енергоблоку АЕС в нормальних режимах експлуатації.

У режимі «Н» система керування потужністю підтримує постійну нейтронну потужність в діапазоні від 3% до 120% її номінального значення за заданою уставкою потужності (рис. 1). У режимі «Т» підтримки постійного тиску пари  $P_s$  на регулятор потужності поступає сигнал з регулятора тиску (РТ). САК енергоблоку повинна забезпечувати високу якість керування у всіх режимах.

Рис. 19. Оптимізація САКЧ на  $F_1$ Рис. 20. Оптимізація САКЧ на  $F_2$ 

Для параметричного синтезу САК енергоблоку в режимі «Н» побудовані математичні моделі систем керування енергоблоку АЕС, які включають взаємодіючі в нормальних режимах експлуатації реактор, парогенератор, парову турбіну та їх локальні системи керування. Принципова схема для моделювання САК енергоблоку представлена на рис. 1. На основі оптимальних локальних систем автоматичного керування розроблені математичні моделі САК енергоблоку в режимі керування потужністю реактора з різними регуляторами:

$$dX_Q/dt = A_Q X_Q + B_{Qq} q_s + B_{Qu} u_s, \quad q = C_H X_H,$$

де  $q$  і  $q_s$  – потужність та її уставка,  $u_s$  – збурюючі дія. Розв’язані задачі багатокритеріального синтезу САК потужністю.

Розроблені математичні моделі САК енергоблоку для керування тиском в режимі «Т» з різними регуляторами у відносних координатах:

$$dX_P/dt = A_P X_P + B_{Pu} u_s, \quad \pi_p = C_P X_P,$$

де  $\pi_p$  тиск в ГЦН. Проведено параметричний синтез систем керування тиском та знайдено оптимальні параметри регуляторів систем.

У **додатках** наводяться використані експериментальні характеристики парогенератора ПГВ-1000 і матеріали щодо впровадження результатів дисертаційної роботи.

## ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена розв’язанню науково-практичної задачі багатокритеріального параметричного синтезу інтелектуальних систем автоматичного керування енергоблоків АЕС на основі оптимізації векторних показників якості систем модифікованими генетичними алгоритмами. Основні результати роботи полягають в наступному:

1. Проведено аналіз задач багатокритеріального параметричного синтезу систем автоматичного керування енергоблоків АЕС і показані широкі можливості використання генетичних алгоритмів для оптимізації показників



якості, що дозволяють суттєво підвищити надійність та рівень автоматизації проектування та вдосконалення систем керування.

2. Задачі багатокритеріального параметричного синтезу систем автоматичного керування зведені до задач векторної оптимізації показників якості з обмеженою областю визначення за допомогою формування векторних цільових функцій показників з урахуванням критеріїв стійкості, прямих показників якості та покращених інтегральних квадратичних оцінок, що дозволило розробити моделі, методи і алгоритми формування та обчислення багатокритеріальних показників якості систем автоматичного керування і формалізувати постановки задач багатокритеріального синтезу систем.

3. Розроблені методи багатокритеріального параметричного синтезу систем керування шляхом побудови модифікованих генетичних алгоритмів для оптимізації векторних показників якості. Проведені дослідження ефективності векторних генетичних алгоритмів при мінімізації інтегральних квадратичних оцінок та оптимізації прямих критеріїв якості для систем керування різного порядку з різним числом обмежень області стійкості та змінних параметрів. Векторні генетичні алгоритми дозволили послідовно розв'язати три основні задачі проектування систем автоматичного керування: перейти до області стійкості, утримати процес синтезу в цій області і знайти оптимальний розв'язок. Виявлено, що збільшення числа змінних впливає сильніше на кількість обчислень векторних функцій, чим збільшення числа обмежень.

4. Отримані математичні моделі в просторі станів з відносними змінними та з різними регуляторами для локальних систем автоматичного керування нейтронною потужністю реактора ВВЕР-1000, рівнем води в парогенераторі ПГВ-1000 та частотою обертання ротора парової турбіни К-1000-60/1500. Параметри моделі системи керування рівнем води в парогенераторі ідентифіковані за експериментальними даними шляхом оптимізації генетичними алгоритмами векторних функцій, що враховують вимоги стійкості та мінімального відхилення від експериментальних даних, для інших систем обчислені значення постійних параметрів моделей. Векторними генетичними алгоритмами виконаний параметричний синтез оптимальних локальних систем автоматичного керування енергоблоку з традиційними ПД-регуляторами та нечіткими регуляторами, що дозволяє порівнювати нечіткі регулятори з традиційними.

5. Побудовані математичні моделі систем автоматичного керування енергоблоку АЕС, які включають взаємодіючі в нормальних режимах експлуатації реактор, парогенератор, парову турбіну та їх локальні системи керування, що дозволяє проводити параметричний синтез систем і досліджувати закони керування енергоблоком. На основі моделей систем автоматичного керування енергоблоку виконаний синтез регуляторів для нормальних режимів експлуатації.

6. Результати впроваджені на ДП ХПЗ ім. Т. Г. Шевченка (м. Харків) та в навчальному процесі кафедри системного аналізу і управління Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Джафари Хенджани Сейед Моджтаба. Моделирование и оптимизация систем автоматического управления энергетическим ядерным реактором / В. П. Северин, Сейед Моджтаба Джафари Хенджани // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2008. – № 26. – С. 18-23.

*Здобувачем отримані математичні моделі систем керування ядерним реактором і результати оптимізації прямих показників якості систем.*

2. Джафари Хенджани Сейед Моджтаба. Проблемы моделирования автоматизированного электропривода систем управления и защиты ядерных реакторов / Сейед Моджтаба Джафари Хенджани, В. П. Северин, В. Ф. Чернай // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2008. – № 30. – С. 171-174.

*Здобувач проаналізував проблеми математичного моделювання електроприводу на основі лінійного шагового електродвигуна.*

3. Джафари Хенджани Сейед Моджтаба. Примеры многокритериального синтеза систем автоматического управления путем минимизации интегральных квадратичных оценок / Сейед Моджтаба Джафари Хенджани, В. П. Северин // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2009. – № 4. – С. 123-130.

*Здобувачем обґрунтовано використання покращених інтегральних квадратичних оцінок для багатокритеріального синтезу систем керування.*

4. Jafari Henjani Seyed Mojtaba. Optimal synthesis of intelligent control systems of atomic power station using genetic algorithms / Seyed Mojtaba Jafari Henjani, V. P. Severin // Intelligent Information and Engineering Systems. International Book Series “Information Science and Computing”, Number 13. Supplement to the International Journal “Information Technologies and Knowledge”. – Rzeszow, Poland – Sofia, Bulgaria: ITNEA, 2009. – Volume 3. – P. 98-105.

*Здобувач провів аналіз можливостей інтелектуальних регуляторів систем керування енергоблоку, побудованих на основі нечіткої логіки.*

5. Джафари Хенджани Сейед Моджтаба. Алгоритмы пошагового многокритериального синтеза систем автоматического управления по интегральным квадратичным оценкам / Сейед Моджтаба Джафари Хенджани, В. П. Северин // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2009. – № 13. – С. 150-158.

*Здобувачем розроблені алгоритми пошагового синтезу САК на основі мінімізації покращених інтегральних оцінок якості чисельними методами.*

6. Джафари Хенджани Сейед Моджтаба. Моделирование и оптимизация систем автоматического управления уровнем воды в парогенераторах АЭС с реакторами ВВЭР-1000 / Сейед Моджтаба Джафари Хенджани, В. П. Северин // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2009. – № 10. – С. 9-14.

*Здобувач на основі моделей парогенератора провів аналіз показників якості його динамічних характеристик.*

7. Джафари Хенджани Сейед Моджтаба. Математическая модель автоматизированного электропривода на базе линейного шагового двигателя / Сейед Моджтаба Джафари Хенджани, Б. Г. Любарский, Е. С. Рябов, В. П. Северин, В. Ф. Чернай, Д. И. Якунин // Электроинформ. – Львів: ЕКОінформ, 2009. – С. 88-91

*Здобувачем розроблена математична модель лінійного шагового двигуна як виконавчого механізму системи керування ядерним реактором.*

8. Джафари Хенджани Сейед Моджтаба. Перспективы применения генетических алгоритмов для синтеза интеллектуальных систем управления энергоблока атомной электростанции / Сейед Моджтаба Джафари Хенджани, В. П. Северин, В. Ф. Чернай // Технічна електродинаміка. – Київ: Інститут електродинаміки НАН України, 2009. – Ч. 5. – С. 92-97.

*Здобувач дослідив застосування генетичних алгоритмів для синтезу інтелектуальних систем керування енергоблоком електростанції.*

9. Джафари Хенджани Сейед Моджтаба. Перспективы применения генетических алгоритмов для оптимизации следящего привода и систем управления паровой турбиной АЭС / Сейед Моджтаба Джафари Хенджани, В. П. Северин // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2010. – № 9. – С. 63-72.

*Здобувачем використані генетичні алгоритми для параметричного синтезу систем автоматичного керування паровою турбіною.*

10. Джафари Хенджани Сейед Моджтаба. Модели и методы оптимизации показателей качества систем автоматического управления энергетической реакторной установки ВВЭР-1000 / В. П. Северин, Сейед Моджтаба Джафари Хенджани // Автоматика-2008: доповіді XV міжнародної конференції з автоматичного управління. – Одеса: ОНМА, 2008. – С. 517-520.

*Здобувачем оптимізовані показники якості систем керування реакторної установки енергоблоку з різними регуляторами.*

11. Джафари Хенджани Сейед Моджтаба. Многокритериальный параметрический синтез систем автоматического управления минимизацией интегральных квадратичных оценок в среде MATLAB / Сейед Моджтаба Джафари Хенджани, В. П. Северин // Праці IV Всеросійської наукової конференції «Проектування інженерних і наукових додатків в середовищі MATLAB». – Астрахань: Видавничий дім «Астраханський університет», 2009. – С. 444-456.

*Здобувач дослідив методи синтезу систем автоматичного керування з використанням покращених інтегральних квадратичних оцінок.*

12. Джафарі Хенджані Сейед Моджтаба. Використання генетичних алгоритмів для багатокритеріального синтезу інтелектуальних систем керування енергоблоку АЕС / Сейед Моджтаба Джафарі Хенджані, В. П. Северин // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XVII міжнародна науково-практична конференція, 2009 р. – Харків, Мішкольц, Магдебург: НТУ «ХПІ», 2009. – С. 7.

*Здобувачем проаналізовано застосування генетичних алгоритмів для синтезу інтелектуальних систем керування енергоблоку електростанції.*

13. Джафари Хенджани Сейед Моджтаба. Векторная оптимизация параметров нечетких регуляторов для систем управления энергоблока атомной электростанции / Сейед Моджтаба Джафари Хенджани, В. П. Северин // Автоматика-2009: доклады XVI міжнародної конференції по автоматичному керуванню. – Чернівці: Чернівецький національний університет, 2009. – С. 135-137.

*Здобувач розробив моделі нечітких систем керування енергоблоку електростанції та розв'язав задачі оптимізації їх показників якості.*

## АНОТАЦІЇ

**Джафарі Хенджані Сейед Моджтаба. Багатокритеріальний синтез інтелектуальних систем керування енергоблоків АЕС генетичними алгоритмами.** – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2010.

Дисертація присвячена розв'язанню задач багатокритеріального параметричного синтезу інтелектуальних систем автоматичного керування (САК) енергоблоків атомних електростанцій (АЕС) генетичними алгоритмами на основі розвитку моделей САК і методів оптимізації їх прямих показників якості та покращених інтегральних квадратичних оцінок. Отримані математичні векторні моделі багатокритеріальних показників якості САК, що враховують критерії стійкості, показники якості та дозволяють формалізувати постановки задач синтезу САК. Розроблені методи синтезу САК на основі модифікації генетичних алгоритмів для оптимізації узагальненого векторного критерія, що підвищує надійність синтезу оптимальних САК. Виконаний синтез оптимальних САК з нечіткими регуляторами для парогенератора і парової турбіни, що дозволяє порівняти нечіткі регулятори з традиційними ПД-регуляторами. Побудовані математичні моделі САК енергоблоку АЕС, які включають взаємодіючі в нормальних режимах експлуатації ядерний реактор, парогенератор, парову турбіну та їх САК, що дозволяє проводити параметричний синтез систем та дослідити різні закони керування енергоблоком. На основі моделей САК енергоблоку виконаний синтез регуляторів для нормальних режимів експлуатації.

**Ключові слова:** енергоблок атомної електростанції, системи автоматичного керування, показники якості, параметричний синтез, методи векторної оптимізації, генетичні алгоритми, нечіткий регулятор.

**Джафари Хенджани Сейед Моджтаба. Многокритериальный синтез интеллектуальных систем управления энергоблоков АЭС генетическими алгоритмами.** – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация процессов управления. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2010.

Диссертация посвящена решению задач многокритериального парамет-

рического синтеза интеллектуальных систем автоматического управления (САУ) энергоблоков атомных электростанций (АЭС) генетическими алгоритмами на основе развития моделей САУ, методов оптимизации их прямых показателей качества и улучшенных интегральных квадратичных оценок.

Проведен анализ задач многокритериального параметрического синтеза систем автоматического управления энергоблоков АЭС и показаны широкие возможности использования генетических алгоритмов для оптимизации показателей качества, которые позволяют повысить надежность и уровень автоматизации проектирования и усовершенствования систем управления. Задачи многокритериального параметрического синтеза систем автоматического управления сведены к задачам векторной оптимизации показателей качества с ограниченной областью определения при помощи формирования векторных целевых функций показателей с учетом критериев устойчивости, прямых показателей качества и улучшенных интегральных квадратичных оценок, которые позволили разработать модели, методы и алгоритмы формирования и вычисления многокритериальных показателей качества систем автоматического управления и формализовать постановки задач многокритериального синтеза систем.

Разработаны методы многокритериального параметрического синтеза систем автоматического управления путем построения модифицированных генетических алгоритмов для оптимизации векторных показателей качества. Проведены исследования эффективности векторных генетических алгоритмов при минимизации интегральных квадратичных оценок и оптимизации прямых критериев качества для систем управления разного порядка с различным числом ограничений области устойчивости и переменных параметров. Векторные генетические алгоритмы позволили последовательно решить три основные задачи проектирования систем автоматического управления: перейти в область устойчивости, удержать процесс синтеза в этой области и найти в ней оптимальное решение.

Получены математические модели в пространстве состояний в относительных переменных и с различными регуляторами для локальных систем автоматического управления нейронной мощностью реактора ВВЭР-1000, уровнем воды в парогенераторе ПГВ-1000 и частотой вращения ротора паровой турбины К-1000-60\1500. Параметры модели системы управления уровнем воды в парогенераторе идентифицированы по экспериментальным данным путем оптимизации генетическими алгоритмами векторных функций, которые учитывают требования устойчивости и минимального отклонения от экспериментальных данных. Для других систем управления вычислены значения постоянных параметров моделей. Векторными генетическими алгоритмами выполнен многокритериальный параметрический синтез оптимальных локальных систем автоматического управления энергоблока с традиционными ПИД-регуляторами и нечеткими регуляторами, что позволяет сравнивать нечеткие регуляторы с традиционными.

Построены математические модели систем автоматического управления энергоблока АЭС, которые включают взаимодействующие в нормальных режимах эксплуатации ядерный реактор, парогенератор, паровую турбину и их

локальные системы управления, что позволяет проводить параметрический синтез систем и исследовать различные законы управления энергоблоком. На основе моделей систем автоматического управления энергоблока выполнен синтез регуляторов для нормальных режимов эксплуатации.

Результаты диссертации используются на ГП ХПЗ им. Т.Г. Шевченко (г. Харьков) и в учебном процессе кафедры системного анализа и управления Национального технического университета «Харьковский политехнический институт».

**Ключевые слова:** энергоблок атомной электростанции, системы автоматического управления, показатели качества, параметрический синтез, методы векторной оптимизации, генетические алгоритмы, нечеткий регулятор.

**Jafari Henjani Seyed Mojtaba. Multicriterion synthesis of intelligent control systems of generating unit of nuclear power station using genetic algorithms.** – Manuscript.

Dissertation for scientific degree of candidate of engineering science on speciality 05.13.07 – automation of control processes. – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, 2010.

The dissertation is devoted to solution of some problems in nuclear power station generating unit intellectual control systems using genetic algorithms on the basis of control system model development, optimization method of their direct quality indices and improved integral quadratic estimates. Some mathematical vector models were obtained for control system multicriterion quality indices with due consideration of stability and quality indices criteria, this increasing the reliability of optimal control system synthesis. Optimal control systems with fuzzy controllers were synthesized for steam generator and steam turbine, thus allowing comparison between fuzzy controllers and traditional PID controllers. Mathematical models built for nuclear power station generating unit control systems, including nuclear reactor, steam generator, steam turbine and their control systems interacting under normal operational modes, which permitted to perform parametrical synthesis of system and to study various power unit control laws. On the basis of power unit control system models controllers were synthesized for normal operational modes.

Key words: nuclear power station generating unit, automatic control systems, quality indices, parametric synthesis, vector optimization methods, genetic algorithms, fuzzy controller.