

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**ГОДЛЕВСЬКА ХРИСТИНА БОРИСІВНА**



**БАГАТОЦІЛЬОВИЙ СИНТЕЗ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ  
АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПАРОВИМИ ТУРБІНАМИ АЕС  
ВЕКТОРНИМИ МЕТОДАМИ ОПТИМІЗАЦІЇ**

Спеціальність 05.13.07 – автоматизація процесів керування

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2013

Дисертацією є рукопис.

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

**Науковий керівник**

доктор технічних наук, професор  
**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, професор кафедри  
автоматизації теплоенергетичних  
процесів

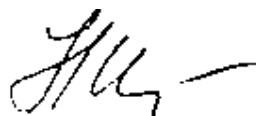
доктор технічних наук, професор  
**Канюк Геннадій Іванович**,  
Українська інженерно-педагогічна  
академія, м. Харків, завідувач кафедри  
теплоенергетики і енергозбереження

Захист відбудеться 4 липня 2013 р. о 14.30 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 «\_\_» червня 2013 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Н. В. Шаронова

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Парові турбіни на енергоблоках атомних електричних станцій (АЕС) з реакторами ВВЕР-1000 експлуатуються в Україні, Росії та Болгарії на протязі декількох десятиліть. Вимоги практики потребують підвищення якості керування паровими турбінами, що зумовлено задачами енергозбереження та енергоефективності, модернізацією енергоблоків АЕС, перспективою інтеграції різних енергосистем єдиної енергосистему. В системах автоматичного керування (САК) паровими турбінами в основному використовуються стандартні пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД) регулятори. Підвищення якості керування паровими турбінами може бути досягнуто як покращенням існуючих регуляторів, так і використанням принципово нових інтелектуальних регуляторів, у тому числі нечітких. Досвід впровадження нечітких регуляторів і нечітких систем керування в світовій енергетиці свідчить, що вони дозволяють поліпшити надійність та якість систем керування. Синтез нечітких регуляторів пов'язаний з багатоекстремальними цільовими функціями, для оптимізації яких використовують методи глобального пошуку – генетичні алгоритми. Задача підвищення якості систем керування для парових турбін на енергоблоках АЕС шляхом розвитку методів багатоцільового синтезу інтелектуальних систем керування векторними методами оптимізації, у тому числі генетичними алгоритмами, й визначає актуальність теми 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 держбюджетних тем «Розвиток теорії і методів параметричного синтезу багатоцільових і багатокритеріальних керованих систем з невизначеними параметрами» (№ ДР 0105U000585) та «Розвиток теорії та методів синтезу децентралізованого робастного керування розподіленими мережами поставок в умовах невизначеності» (№ ДР 0111U002285), у яких здобувач була виконавцем.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розробка моделей та методів багатоцільового параметричного синтезу інтелектуальних систем автоматичного керування паровими турбінами атомних електростанцій на основі векторної оптимізації прямих показників якості систем.

Для досягнення зазначеної мети поставлено такі задачі:

- аналіз задач і методів багатоцільового синтезу систем автоматичного керування паровими турбінами атомних електростанцій;
- розробка моделей і методів багатоцільового параметричного синтезу нелінійних систем автоматичного керування;
- моделювання динаміки й багатоцільовий синтез слідкуючого приводу парової турбіни;
- побудова нелінійних моделей для процесів автоматичного керування паровою турбіною К-1000-60/1500 в нормальних режимах експлуатації;
- багатоцільовий синтез інтелектуальних систем автоматичного керування паровими турбінами атомних електростанцій.

*Об'єктом дослідження* є процеси керування паровими турбінами атомних електростанцій в нормальних режимах експлуатації.

*Предметом дослідження* є моделі та методи багатоцільового синтезу інтелектуальних систем автоматичного керування паровими турбінами.

**Методи дослідження.** Фундаментальні положення теорії автоматичного керування, теорія операційного обчислення, обчислювальні методи інтегрування систем диференціальних рівнянь використовувались для розробки і дослідження показників якості систем керування паровими турбінами АЕС. Методи математичного моделювання, методи простору станів та передавальних функцій, теорія диференціальних рівнянь – при розробці математичних моделей для процесів керування паровими турбінами. Теорія оптимізації та теорія обчислень застосовувались при розробці й дослідженні модифікованих генетичних алгоритмів як методів оптимізації. Генетичні алгоритми використовувались в багатоцільовому синтезі систем керування паровими турбінами 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 багатоцільового параметричного синтезу інтелектуальних систем автоматичного керування паровими турбінами АЕС на основі розвитку моделей систем і методів оптимізації прямих показників якості.

Наукова новизна визначається наступними положеннями:

1. Отримали подальший розвиток математичні векторні моделі багатоцільових показників якості систем автоматичного керування з урахуванням обмежень технічної реалізації, критеріїв стійкості та прямих показників якості, що дозволяє формалізувати постановку задач багатоцільового параметричного синтезу систем автоматичного керування у вигляді векторного критерію.

2. Отримали подальший розвиток методи багатоцільового синтезу систем автоматичного керування на основі модифікації генетичних алгоритмів для оптимізації узагальненого векторного критерію, що підвищує надійність синтезу оптимальних систем керування.

3. Вперше виконано багатоцільовий синтез оптимального слідкуючого приводу парових турбін на основі нелінійних моделей фізичних процесів, що дозволяє підвищити точність процесів керування турбінами.

4. Вперше побудовані нелінійні математичні моделі для процесів автоматичного керування паровою турбіною АЕС, що дозволяє проводити багатоцільовий параметричний синтез систем керування і досліджувати різні закони керування турбіною.

5. Вперше на основі нелінійних моделей систем автоматичного керування паровою турбіною АЕС виконаний багатоцільовий синтез традиційних та нечітких систем керування для нормальних режимів експлуатації турбіни, що дозволяє порівнювати нечіткі регулятори з традиційними регуляторами.

**Практичне значення одержаних результатів** для підвищення якості автоматизації процесів керування в парових турбінах енергоблоків АЕС полягає у розробці методів багатоцільового параметричного синтезу систем автоматично-

го керування генетичними алгоритмами, що дозволяють підвищити ступінь наукової обґрунтованості технічних проектів. Отримані нелінійні моделі систем керування частотою обертання ротора парової турбіни для дослідження традиційних та перспективних інтелектуальних законів керування турбінами у нормальних режимах експлуатації, що дозволяє порівнювати інтелектуальні системи з традиційними системами. Практичне значення розроблених моделей та методів для синтезу систем автоматичного керування паровими турбінами підтверджується довідками про можливість впровадження на ВАТ «Турбоатом», ТОВ «НВП Моноліт Енерго», ДП «Харківський науково-дослідний інститут комплексної автоматизації» (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 багатоцільового синтезу систем автоматичного керування паровими турбінами АЕС генетичними алгоритмами; результати оптимізації різних систем; нелінійні математичні моделі парової турбіни АЕС; математичні моделі інтелектуальних САК частотою обертання ротора парової турбіни з нечіткими регуляторами; результати багатоцільового параметричного синтезу систем керування.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи доповідались та обговорювались на: III Міжнародній науково-практичній конференції «Матеріали електронної техніки та сучасні інформаційні технології METIT» (м. Кременчук, 2008); XV, XVII–XIX Міжнародних конференціях з автоматичного управління «Автоматика/Automatics» (м. Одеса, 2008; м. Харків, 2010; м. Львів, 2011; м. Київ, 2012); Міжнародній конференції з інтелектуальної інформації та технічних систем «INFOS» (Польща, м. Криниця, 2009); XV і XVIII Міжнародних науково-технічних конференціях «Силова електроніка і енергоефективність» (м. Алушта, 2009, 2012); IX Міжнародній міждисциплінарній науково-практичній школі-конференції «Сучасні проблеми гуманізації та гармонізації управління» (Харків, 2009); IV Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні та керуючі системи АЕС: аспекти безпеки» (м. Харків, 2010); V Міжнародній науковій конференції «Проектування інженерних і наукових додатків в середовищі MATLAB» (м. Харків, 2011); XV Міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка і молодь у XXI столітті» (м. Харків, 2011); XXV Міжнародній науковій конференції «Математичні методи в техніці та технологіях ММТТ» (м. Харків, 2012).

**Публікації.** Результати дисертації опубліковані в 17 наукових працях: 7 – у фахових наукових виданнях України, 9 – у матеріалах конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку. Повний обсяг дисертації складає 182 сторінки і містить 1 рисунок та 1 таблицю по тексту, 48 рисунків і 16 таблиць на 28 окремих сторінках, 182 найменування використаних джерел на 19 сторінках, 1 додаток на 5 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** проведено аналіз задач керування паровими турбінами АЕС і методів синтезу САК турбінами, обґрунтовані напрямки досліджень.

Парова турбіна посідає важливе місце в виробництві електричної енергії енергоблоком АЕС, технологічна схема якого представлена на рис. 1.

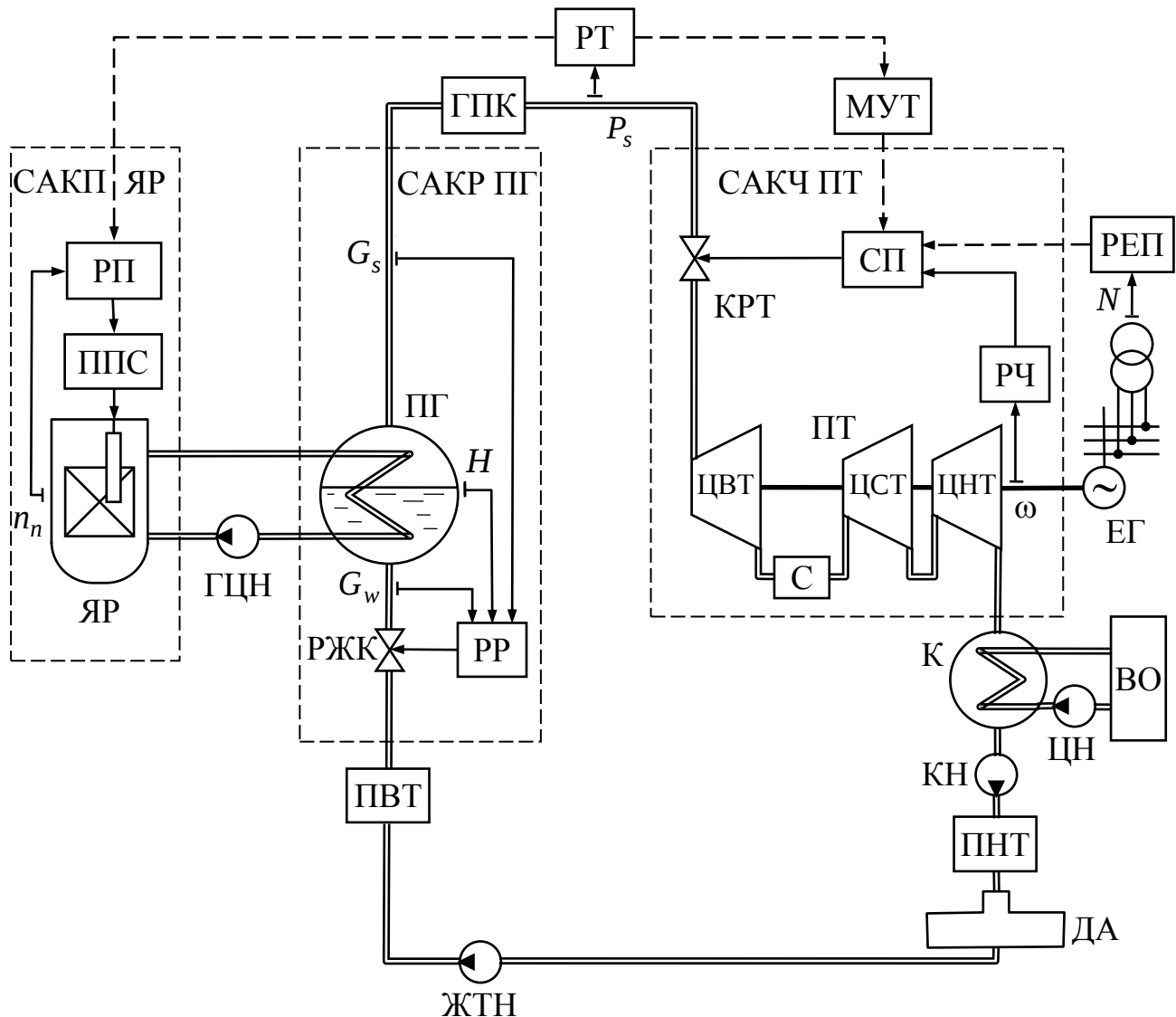


Рис. 1. Технологічна схема енергоблоку з реактором ВВЕР-1000

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

біни (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 оснащено автоматизованою системою керування, яка об'єднує системи керування окремими технологічними процесами: САК потужністю ЯР (САКП ЯР), САК рівнем води в парогенераторі (САКР ПГ), САК частотою обертання ротору ПТ (САКЧ ПТ) та інші.

Проаналізовані задачі керування паровими турбінами енергоблоків. Інженерні вимоги до якості реальних систем формуються у вигляді прямих показників якості (ППЯ), таких як перерегулювання, час регулювання, показники коливальності процесу. Проаналізовані різні підходи та методи багатоцільового параметричного синтезу традиційних та нечітких систем керування і обґрунтовані переваги використання для синтезу векторних методів оптимізації.

**Другий розділ** присвячений формуванню багатоцільових критеріїв якості керування та розвитку модифікованих генетичних алгоритмів (ГА) для оптимізації векторних показників якості систем керування і синтезу регуляторів.

Позначимо набір змінних параметрів задачі параметричного синтезу САК вектором  $x = (x_1, x_2, \dots, x_p) \in R^p$ . Показники якості САК визначимо за математичними моделями систем, які представлені у вигляді систем диференціальних рівнянь (СДР) або у вигляді передавальної функції (ПФ):

$$dX/dt = f(x, X, u), \quad dX/dt = A(x)X + B(x)u, \quad X(0) = X_0, \quad y = C(x)X, \quad (1)$$

$$W(x, s) = \beta(x, s)/\alpha(x, s), \quad \beta(x, s) = \sum_{i=0}^m \beta_i(x) s^{m-i}, \quad \alpha(x, s) = \sum_{i=0}^n \alpha_i(x) s^{n-i}, \quad (2)$$

де  $X$  – вектор стану,  $u$  – вхідна дія,  $y$  – керуюча змінна;  $f(x, X, u)$  – векторна функція формування моделі нелінійної САК;  $A(x)$ ,  $B(x)$ ,  $C(x)$  – матриці параметрів лінійної САК;  $X_0$  – вектор початкових умов. Часткові ППЯ – максимальне відхилення від сталого значення  $\sigma(x)$ , розмах коливань  $\zeta(x)$ , згасання коливань  $\lambda(x)$ , час регулювання  $t_c(x)$  та його відносне значення  $\tau(x) = t_c(x)/T_f$  обчислимо інтегруванням СДР (1) матричними методами. Тут  $[0; T_f]$  – інтервал інтегрування. При обчисленні часу регулювання заданий параметр зони сталого значення  $\delta_z = 0,05$ . Для багатоцільового параметричного синтезу систем керування розвинуті векторні критерії якості. В задачі синтезу САК враховано умови технічної реалізації та стійкості:

$$a_i \leq x_i \leq b_i, \quad i = \overline{1, p}; \quad \alpha_i(x) > 0, \quad i = \overline{0, n}; \quad \rho_k(x) > 0, \quad k = \overline{2, n-1}, \quad (3)$$

де  $\rho_k(x)$  – елементи першого стовпця таблиці Рауса. На основі цих умов формується допустима область  $D$ :

$$G_1 = \{x \mid a_i \leq x_i \leq b_i, i = \overline{1, p}\}; \quad G_2 = \{x \mid \alpha_i(x) > 0, i = \overline{0, n}\}; \quad (4)$$

$$G_k = \{x \mid \rho_{k-1}(x) > 0\}, \quad k = \overline{3, n}; \quad D_1 = G_1; \quad D_k = D_{k-1} \cap G_k, \quad k = \overline{2, n}; \quad (5)$$

$$H_0 = R^p \setminus D_1; \quad H_k = D_k \setminus D_{k+1}, \quad k = \overline{1, n-1}; \quad D = D_n. \quad (6)$$

Вимогам (3) відповідають скалярні штрафні функції:

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

в яких використовується операція зрізки  $v_+ = \max\{v, 0\}$ . Для затримання процесу синтезу в допустимій області використана векторна штрафна функція

$$F_S(x) = \begin{cases} (0; P(x)), & x \in H_0; \\ (1; S(x)), & x \in H_1; \\ (k; -\rho_k(x)), & x \in H_k, \quad k = \overline{2, n-1}. \end{cases} \quad (7)$$

Перехід в допустиму область системи керування зведено до оптимізації функції (7) на основі порівняння значень  $U = (U_1; U_2)$  і  $V = (V_1; V_2)$  операцією «краще»

$$U < V = \begin{cases} 1, & U_1 > V_1 \vee U_1 = V_1 \wedge U_2 < V_2; \\ 0, & U_1 < V_1 \vee U_1 = V_1 \wedge U_2 \geq V_2. \end{cases} \quad (8)$$

Задача синтезу САК за ППЯ сформульована як задача умовної оптимізації:

$$x \in D, \quad \sigma(x) \leq \sigma_m, \quad \zeta(x) \leq \zeta_m; \quad \tau(x) \rightarrow \min. \quad (9)$$

Така постановка не враховує пріоритет часткових показників якості. Розширимо області (4)–(6) областями для врахування нерівностей задачі (9):

$$G_{n+1} = \{x \mid \sigma(x) \leq \sigma_m\}, \quad G_{n+2} = \{x \mid \zeta(x) \leq \zeta_m\};$$

$$D_k = D_{k-1} \cap G_k, \quad k = \overline{n+1, n+2}; \quad H_k = D_k \setminus D_{k+1}, \quad k = \overline{n, n+1}; \quad H_{n+2} = D_{n+2}.$$

Для синтезу САК за ППЯ та (7) використана векторна цільова функція:

$$F(x) = \begin{cases} F_S(x), & x \notin D; \\ (n; \sigma(x) - \sigma_m), & x \in H_n; \\ (n+1; \zeta(x) - \zeta_m), & x \in H_{n+1}; \\ (n+2; \tau(x)), & x \in H_{n+2}. \end{cases} \quad (10)$$

Ця функція розривна та багатоекстремальна, тому для підвищення надійності синтезу САК використані генетичні алгоритми. Для оптимізації векторної ці-

льової функції (10) розроблені векторні методи адаптації кроку пошуку, Хука-Дживса, Нелдера-Міда, модифікований бінарний ГА *GAB* та комбіновані ГА з методами Хука-Дживса і Нелдера-Міда *GABHJ* та *GABNM*. В ГА використовується рангова селекція з принципом рулетки: популяція сортується порівнянням значень векторної функції операцією (8). Оптимізація ППЯ для порядків тестових САК від 3 до 7 підтвердила ефективність *GABNM*.

Лінійні ПІД регулятори включають пропорційний (П), інтегральний (І), диференціальний (Д) регулятори і за помилкою  $\varepsilon(t)$  формують керування  $u = u(t)$  шляхом добутку  $u_P$ ,  $u_I$ ,  $u_D$ , що визначаються рівняннями при нульових початкових умовах:

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

де  $K_P$ ,  $\lambda_I = 1/T_I$ ,  $\lambda_D = 1/T_D$ ,  $K_D = 10$  – параметри регуляторів,  $T_I$  і  $\tau_D = K_D T_D$  – постійні часу І та ідеального Д регуляторів. ПІ та ПІД регуляторам відповідають вектори параметрів  $x = (K_P, \lambda_I)$  і  $x = (K_P, \lambda_I, \lambda_D)$ . Нечіткий П регулятор, представлений на рис. 2, використовує систему нечіткого виводу (СНВ), яка включає базу правил та блоки фазифікації, нечіткого виводу та дефазифікації.

Рис. 2. Схема нечіткого П регулятора



Функції належності вхідної  $\xi$  та вихідної  $\eta$  змінних СНВ представлені на рис. 3, де  $\xi_n = -\xi_p$ ,  $\eta_n = -\eta_p$ ,  $\xi_p \in [0; 1]$ ,  $\eta_p \in [0; 1]$ . Вектор змінних параметрів нечіткого П регулятора  $x = (K_P, K_u, \xi_p, \eta_p)$ .

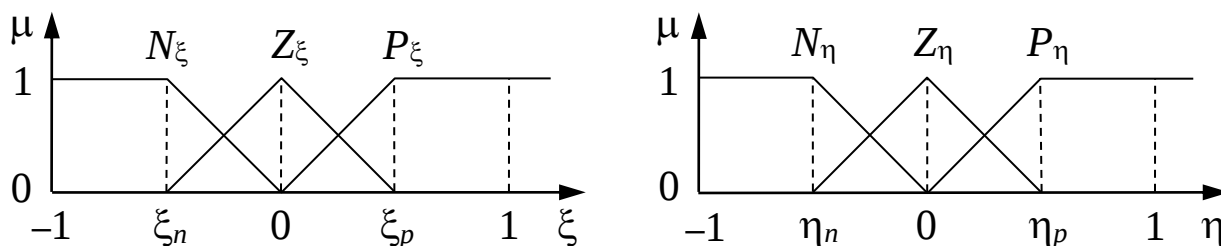


Рис. 3. Функції належності вхідної та вихідної змінних СНВ

Найпростіша 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  $\eta = P_\eta$ . Керуючу дію нечіткого ПІ регулятора представимо у вигляді:  $u = u_P + u_I$ ,  $u_P = f_F(x, K_P \varepsilon) K_u$ ,  $du_I/dt = \lambda_I \varepsilon$ .

**Третій розділ** присвячений моделюванню динаміки та багатоцільовому синтезу слідкуючого приводу клапана регулювання парової турбіни.

Принципова схема слідкуючого приводу ВАР «Турбоатом» на рис. 4 включає електрогидравлічний перетворювач (ЕП), відсічний золотник (ВЗ), сервомотор (СМ), датчики положення (ДП), електронну частину (ЕЧ). На цій схемі позначений тиск насоса  $p_n$  і злива  $p_c$ , координати положень золотника ЕП  $y$ , відсічного золотника  $s$  та сервомотора  $m$ .

Побудовані моделі ЕП, ВЗ, СМ та їх послідовного з'єднання. Визначено три структурні схеми СП і розроблені відповідні математичні моделі з різним числом датчиків: перша модель з датчиками положення ВЗ і СМ, змінним коефіцієнтом посилення  $K$  і коефіцієнтом  $k_s$  негативного зворотного зв'язку по ВЗ; друга модель з датчиком по СМ, коректуючою ланкою другого порядку, змінними коефіцієнтом посилення  $K$  і параметрами ланки; третя модель з датчиками положення СМ, ВЗ, ЕП, змінними коефіцієнтом посилення  $K$  і коефіцієнтами зворотного зв'язку з ВЗ  $k_s$  і ЕП  $k_y$ .

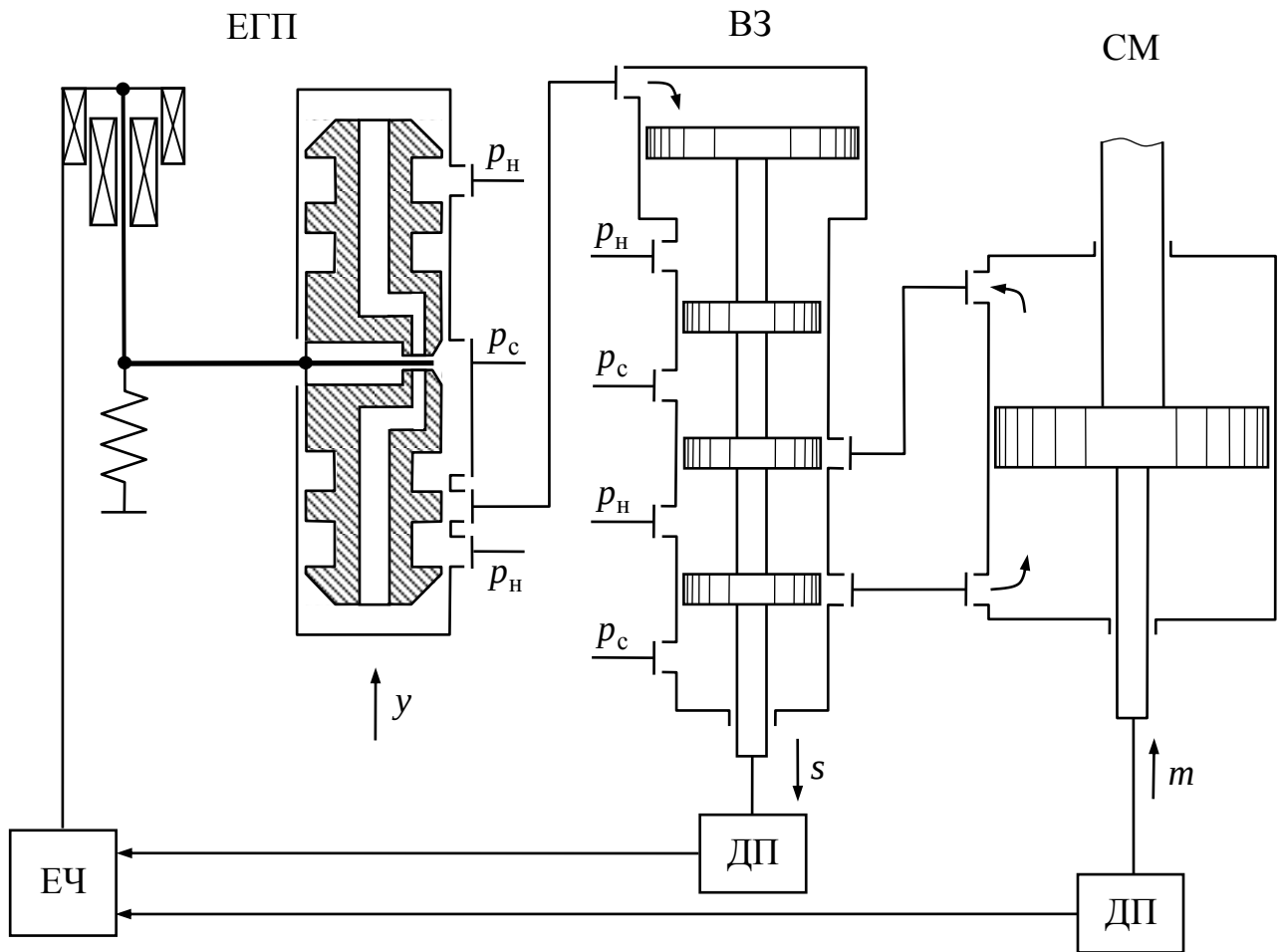


Рис. 4. Принципова схема слідкуючого приводу

Для слідкуючого приводу поставлені та розв'язані задачі багатоцільового синтезу. Результати синтезу третьої моделі приводу представлені у табл. 1, де для номера обчислювального експерименту  $N$  приведені оптимальні значення змінних параметрів  $K^*$ ,  $k_y^*$  і  $k_s^*$ , значення ППЯ  $\sigma^*$ ,  $\zeta^*$  і  $t_c^*$ . Ця модель забезпечує високу якість монотонного процесу за оптимальними значеннями коефіціє-

нта посилення  $K$ , значно більшого 1. Відповідні табл. 1 перехідні процеси представлені на рис. 5.

Таблиця 1

Результати синтезу слідкуючого приводу

| $N$ | $K^*$ | $k_y^*$ | $k_s^*$ | $\sigma^*$ | $\zeta^*$ | $t_c^*, c$ |
|-----|-------|---------|---------|------------|-----------|------------|
| 1   | 2,6   | 0,45    | 0,75    | 0,026      | 0,035     | 0,080      |
| 2   | 1,8   | 0,60    | 0,90    | 0,010      | 0,010     | 0,112      |
| 3   | 2,4   | 0,44    | 0,77    | 0,050      | 0,065     | 0,082      |
| 4   | 1,5   | 0,57    | 0,98    | 0,000      | 0,000     | 0,118      |

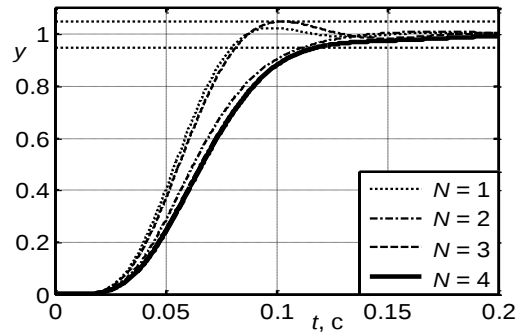


Рис. 5. Оптимальні процеси

Для приводу з трьома датчиками розроблена імітаційна нелінійна модель:

$$dX_D/dt = f_D(X_D, u), \quad X(0)_D = X_{D0}, \quad \mu_m = C_D X_D, \quad (11)$$

де  $X_D$  – вектор відносних змінних стану приводу,  $f_D$  – векторна функція,  $u$  – керуюча дія регулятора частоти,  $\mu_m$  – змінна положення сервомотора. Ця модель враховує обмеження відносних змінних стану – ЕГП, ВЗ і СМ (рис. 4):

$$-1 \leq \xi_y \leq 1, \quad -1 \leq \sigma_s \leq 1, \quad -1 \leq \mu_m \leq 0.$$

Порядок СДР (11)  $n = 14$ .

**Четвертий розділ** присвячено побудові математичних моделей для процесів керування частотою обертання ротора парової турбіни.

Принципова схема парової турбіни К-1000-60/1500 представлена на рис. 6 і включає клапан регулювання турбіни (КРТ), циліндр високого тиску (ЦВТ), об'єм перед ЦВД, об'єм в сепараторі-перегрівачі (СП), клапан сепаратора-перегрівача (КСП), об'єм за КСП, циліндр середнього тиску (ЦСТ), циліндр низького тиску (ЦНТ), об'єм перед ЦНТ, конденсатор (К). Пара під тиском  $p_0$  поступає в КРТ. Слідкуючий привід через систему важелів діє на КРТ, що змінює подачу пари в ЦВТ. Пара акумулюється в чотирьох об'ємах під тиском  $p_1, p_2, p_3, p_4$ . Енергія пари перетворюється в механічну енергію обертання ротора турбіни з круговою частотою  $\omega$ .

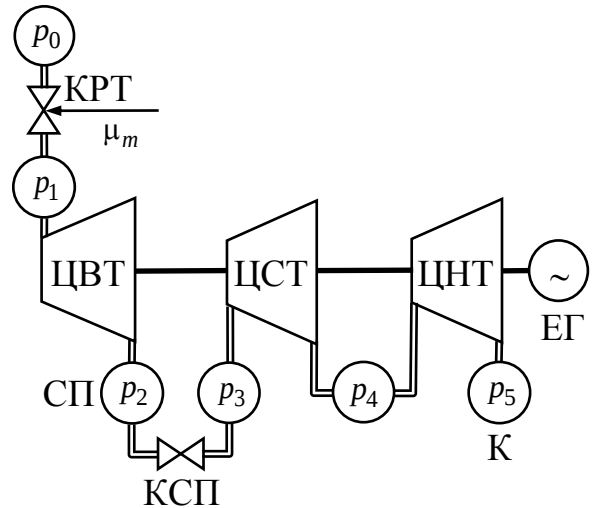


Рис. 6. Принципова схема турбіни

Здійснено перехід до відносних змінних тиску  $\pi_k = p_k/p_0$ ,  $k = \overline{1, 5}$ , частоти обертання ротора  $\varphi = (\omega - \omega_0)/\omega_0$  та потужності  $\nu = (N - N_0)/N_0$ , де  $\omega_0$  і

$N_0$  – кругова частота і потужність у номінальному режимі. Нелінійна модель парового тракту і руху ротора турбіни отримана перетворенням рівнянь матеріального балансу і динаміки ротора у вигляді СДР:

$$\begin{cases} d\pi_1/dt = K_{11}(1 + \mu_m) - K_{12} \sqrt{\pi_1^2 - \pi_2^2}, \\ d\pi_2/dt = K_{21} \sqrt{\pi_1^2 - \pi_2^2} - K_{22} \sqrt{\pi_2^2 - K_\beta(\pi_3 - \Pi\pi_2)^2}, \\ d\pi_3/dt = K_{31} \sqrt{\pi_2^2 - K_\beta(\pi_3 - \Pi\pi_2)^2} - K_{32} \sqrt{\pi_3^2 - \pi_4^2}, \\ d\pi_4/dt = K_{41} \sqrt{\pi_3^2 - \pi_4^2} - K_{42} \sqrt{\pi_4^2 - \pi_5^2}, \\ d\varphi/dt = b_a(v - v_s)/(1 + \varphi), \end{cases} \quad (12)$$

де використана змінна відносної потужності турбіни

$$v = k_1 \sqrt{\pi_1^2 - \pi_2^2} + k_2 \sqrt{\pi_3^2 - \pi_4^2} + k_3 \sqrt{\pi_4^2 - \pi_5^2} - v_4(1 + \varphi)^2 - v_5(1 + \varphi)^3 - 1$$

і збурююча дія потужності електричного генератора  $v_s$ . Обчислені значення параметрів моделі наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Параметри моделі парової турбіни К-1000-60/1500

| Параметр | Значення | Параметр  | Значення | Параметр    | Значення |
|----------|----------|-----------|----------|-------------|----------|
| $K_{11}$ | 3,2569   | $K_{42}$  | 2,4881   | $v_4$       | 0,0047   |
| $K_{12}$ | 3,3257   | $K_\beta$ | 4.8516   | $v_5$       | 0,0119   |
| $K_{21}$ | 0,0777   | $\Pi$     | 0,5460   | $\pi_{10}$  | 0,9100   |
| $K_{22}$ | 1,2841   | $b_a$     | 0,0694   | $\pi_{20}$  | 0,1842   |
| $K_{31}$ | 5,2077   | $k_1$     | 0,3704   | $\pi_{30}$  | 0,1805   |
| $K_{32}$ | 1,6345   | $k_2$     | 1,3275   | $\pi_{40}$  | 0,0552   |
| $K_{41}$ | 0,7986   | $k_3$     | 8,3090   | $\varphi_0$ | 0        |

Модель (12) представимо у векторному вигляді:

$$dX_t/dt = f_t(X_t, \mu_m, v_s), \quad X_t(0) = X_{t0}, \quad \varphi = C_t X_t, \quad (13)$$

де  $X_t = (\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \varphi)^T$  – вектор стану,  $f_t$  – векторна функція для правих частин СДР (12),  $C_t = (0, 0, 0, 0, 1)$ ,  $X_{t0} = (\pi_{10}, \pi_{20}, \pi_{30}, \pi_{40}, \varphi_0)^T$  відповідає номінальному режиму роботи турбіни. За моделями (11) і (13) розроблена нелінійна модель турбіни як об'єкта керування:

$$dX_T/dt = f_T(X_T, u, v_s), \quad \varphi = C_T X_T, \quad (14)$$

$$X_T = \begin{pmatrix} X_D \\ X_t \end{pmatrix}, \quad X_{T0} = \begin{pmatrix} 0 \\ X_{t0} \end{pmatrix}, \quad f_T(X_T, u, v_s) = \begin{pmatrix} f_D(X_D, u) \\ f_t(X_t, \mu_m, v_s) \end{pmatrix}, \quad C_T = (0 \quad C_t).$$

Порядок цієї моделі  $n=19$ . Вхідний сигнал – керуюча дія  $u$ , вихідна змінна – відносне відхилення частоти  $\varphi$ .

Система автоматичного керування частотою парової турбіни призначена для стабілізації частоти обертання ротора турбіни (рис. 1). Найбільш важливим випробуванням САКЧ є скидання навантаження турбіни. На основі нелінійної моделі (14) турбіни К-1000-60/1500 побудовані нелінійні моделі САКЧ для часткового скидання навантаження з різними законами керування.

Структурна схема САКЧ на рис. 7 включає суматор, регулятор частоти (РЧ), модель парової турбіни (ПТ) і від'ємний зворотний зв'язок. Сигнал помилки  $\varepsilon = \varphi_s - \varphi$ , отриманий за уставкою частоти  $\varphi_s$ , подається на вхід РЧ, що формує керуючу дію  $u$ . Оскільки у номінальному режимі  $\varphi_s = 0$ , то  $\varepsilon = -\varphi$ . Вхідною збурюючою дією САКЧ є

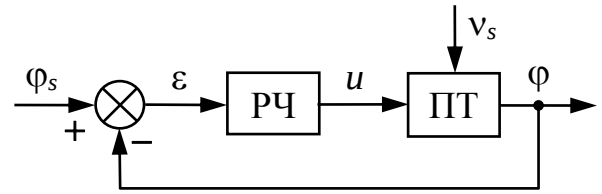


Рис. 7. Структурна схема САКЧ

сигнал зміни потужності  $v_s$ , вихідною змінною – частота  $\varphi$ . На основі моделі ПТ (14) побудовані лінійні та нелінійні математичні моделі САКЧ з різними регуляторами вигляду (1):

$$dX/dt = A(x)X + Bv_s, \quad dX/dt = f(x, X, v_s), \quad y(x, t) = 100CX,$$

де  $X$  – вектор стану системи,  $f$  – векторна функція,  $x$  – вектор змінних параметрів регулятора,  $y = 100\varphi$  – відхилення частоти від номінального значення у відсотках,  $C$  – вектор спостереження. Для моделі з ПІД регулятором порядку 21 зі змінними коефіцієнтами  $K_P$ ,  $\lambda_I$  і  $\lambda_D$  та  $u = -(K_P + K_D)\varphi + u_I + v_D$ :

$$X = \begin{pmatrix} X_T \\ u_I \\ v_D \end{pmatrix}, \quad x = \begin{pmatrix} K_P \\ \lambda_I \\ \lambda_D \end{pmatrix}, \quad f(x, X, v_s) = \begin{pmatrix} f_T(X_T, u, v_s) \\ -\lambda_I \varphi \\ -\lambda_D (v_D - K_D \varphi) \end{pmatrix}, \quad C = (C_T \quad 0 \quad 0).$$

Для нечіткого ПІ регулятора з вектором  $x = (K_P, \lambda_I, K_u, \xi_p, \eta_p)^T$ :

$$X = \begin{pmatrix} X_T \\ u_I \end{pmatrix}, \quad f(x, X, v_s) = \begin{pmatrix} f_T(X_T, u, v_s) \\ -\lambda_I \varphi \end{pmatrix}, \quad C = (C_T \quad 0),$$

де  $u = -f_F(x, -K_P \varphi) K_u + u_I$ ,  $f_F$  – нелінійна функція системи нечіткого виводу.

**П'ятий розділ** присвячено багатоцільовому синтезу оптимальних систем керування частотою обертання ротора парової турбіни К-1000-60/1500.

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.

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  $\zeta_m = 1$ ,  $\delta_z = 0,01$ , допустиме значення розмаху коливань частоти  $\zeta_m = 1$ . Результати оптимізації векторної функції (10) для лінійних регуляторів представлені в табл. 3 і на рис. 8. У всіх експериментах оптимальне значення коефіцієнта пропорційної складової регулятора  $K_P^*$  досягло верхнього обмеження  $b_1 = 100$ . У табл. 3 дані оптимальні значення параметрів РЧ  $\lambda_I^*$ ,  $\lambda_D^*$ , а також відповідні їм значення ППЯ:  $\sigma^*$ ,  $\zeta^*$  і  $t_c^*$ . Перехідні процеси зміни частоти дані на рис. 8.

Таблиця 3

Результати оптимізації ППЯ САКЧ

| РЧ  | $\lambda_I^*, c^{-1}$ | $\lambda_D^*, c^{-1}$ | $\sigma^*$ | $\zeta^*$ | $t_c^*, c$ |
|-----|-----------------------|-----------------------|------------|-----------|------------|
| P   | —                     | —                     | 3,628      | 2,981     | 3,56       |
| PI  | 26,51                 | —                     | 3,511      | 1,000     | 5,19       |
| PD  | —                     | 1,097                 | 3,477      | 2,675     | 3,16       |
| PID | 35,47                 | 1,099                 | 3,362      | 0,761     | 3,50       |

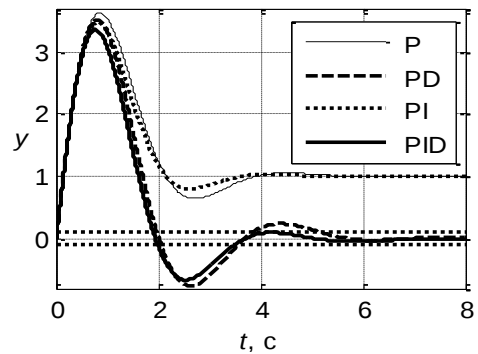


Рис. 8. Зміна частоти

Аналіз процесів в лінійних та нелінійних моделях САКЧ показав, що для нелінійних моделей характер процесів такий же, як і для лінійних моделей. Найкращий процес за ППЯ відповідає ПІД регулятору. Процеси зміни частоти для лінійної L та нелінійної N моделей САКЧ з ПІД регулятором показані на рис. 9 при збурюючій дії  $v_s = -0,2$  та оптимальних для лінійної моделі значеннях параметрів ПІД регулятора.

Ті ж результати отримані за спрощеною векторною цільовою функцією

$$F(x) = \begin{cases} (0; P(x)), & x \in H_0; \\ (1; \sigma(x) - \sigma_m), & x \in H_1; \\ (2; \zeta(x) - \zeta_m), & x \in H_2; \\ (3; \tau(x)), & x \in H_3. \end{cases} \quad (15)$$

Тому в подальшому синтезі використана не функція (10), а функція (15).

Виконано синтез параметрів регуля-

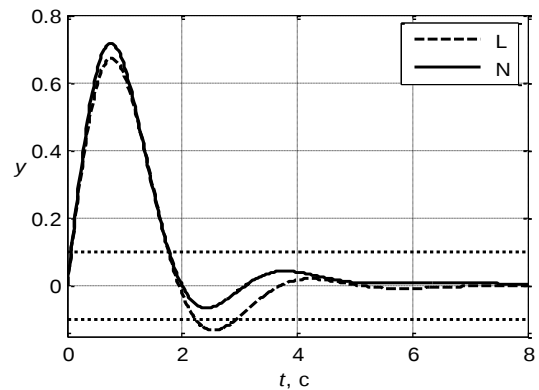


Рис. 9. Порівняння моделей

торів частоти на основі нелінійних моделей турбіни. Для задачі синтезу задані значення параметрів:  $\sigma_m = 2$ ,  $\zeta_m = 0,5$ , параметр зони сталого значення змінної  $y$   $\delta_y = 0,1$ , час спостереження  $T_f = 8$ с, число кроків інтегрування  $L = 800$ , збурення  $v_s = -0,4$ . Для інтегрування СДР використано системний метод першого ступеня. В табл. 4 для П (P), ПД (PD), ПІ (PI), ПІД (PID) і нечіткого ПІ (FPI) РЧ приведені оптимальні значення параметрів та ППЯ. Інші параметри нечіткого регулятора мають оптимальні значення:  $K_u^* = 11,513$ ,  $\xi_p^* = 0,494$ ,  $\eta_p^* = 0,428$ . На рис. 10 представлені процеси зміни частоти в оптимальних системах. Ці результати дозволяють зробити висновок, що ПІД регулятор і нечіткий ПІ регулятор з оптимальними значеннями параметрів забезпечують найбільш швидкі перехідні процеси з найменшим відхиленням частоти та нульовою статичною помилкою. В порівнянні з результатами синтезу лінійних систем керування турбіною в нелінійних системах показник розмаху коливань  $\zeta^*$  знизився, а час регулювання  $t_c^*$  збільшився.

Таблиця 4  
Оптимальні параметри і ППЯ

| РЧ  | $K_P^*$ | $\lambda_I^*$ | $\lambda_D^*$ | $\sigma^*$ | $\zeta^*$ | $t_c^*, \text{с}$ |
|-----|---------|---------------|---------------|------------|-----------|-------------------|
| P   | 100     | —             | —             | 1,58       | 0,25      | 3,950             |
| PD  | 100     | —             | 1,2           | 1,53       | 0,17      | 3,658             |
| PI  | 100     | 15            | —             | 1,57       | 0,44      | 4,257             |
| PID | 100     | 13            | 1,1           | 1,53       | 0,28      | 3,828             |
| FPI | 9,6     | 20            | —             | 1,29       | 0,38      | 3,452             |

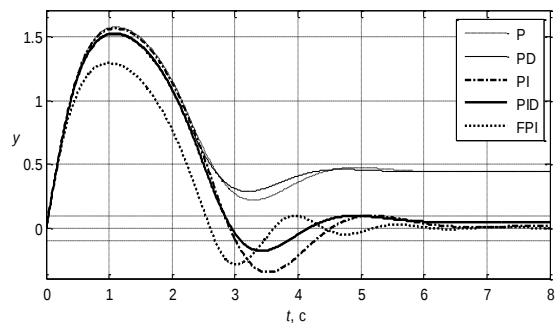


Рис. 10. Зміна частоти

На рис. 11 і рис. 12 представлено процес оптимізації векторної цільової функції параметрів ПІД регулятора векторним методом Нелдера-Міда з початковим кроком  $h = 1$  при  $x_1 = K_P$ ,  $x_2 = \lambda_D$ ,  $\lambda_D = \lambda_D^*$ . Відображені кращі точки пошуку, початкова точка  $x^{(0)} = (1; 1)$  відмічена кругом, кінцева – ромбом. На рис. 13 представлені перехідні процеси в САКЧ з оптимальним ПІД регулятором при збуренні  $v_s = -0,4$ .

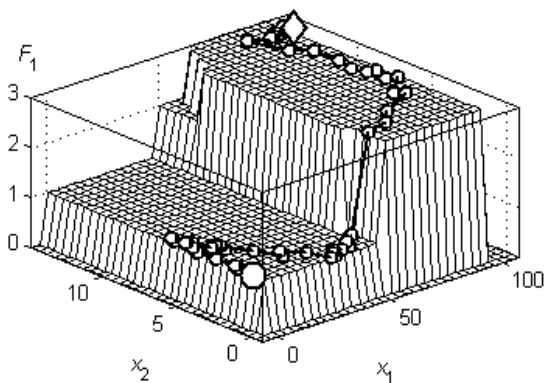


Рис. 11. Процес синтезу на  $F_1$

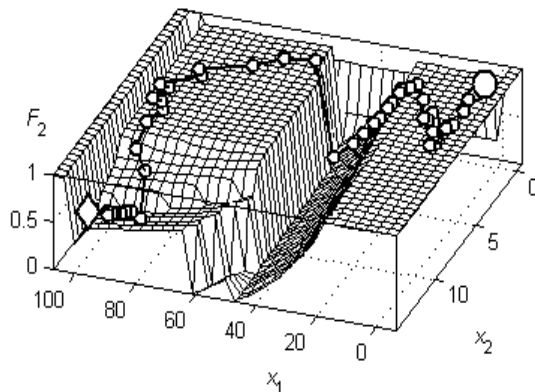


Рис. 12. Процес синтезу на  $F_2$

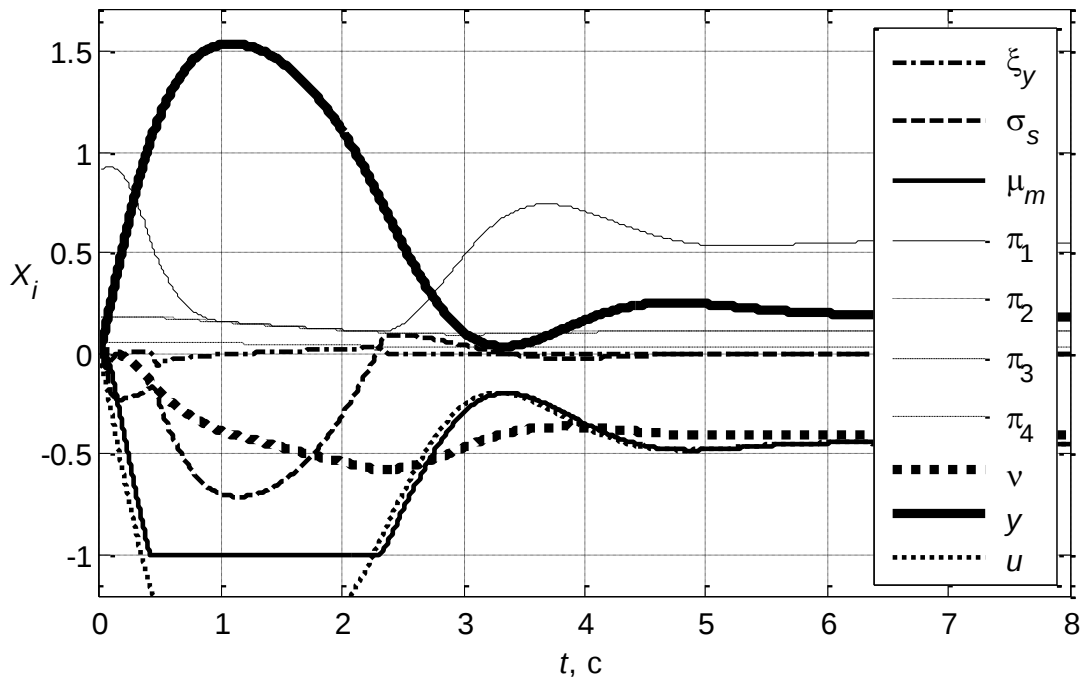


Рис. 13. Перехідні процеси в САКЧ з оптимальним ПІД регулятором

Проведено синтез лінійних і нечітких ПІ та ПІД регуляторів для різних значень збурення систем. У всіх обчислювальних експериментах нечіткі регулятори виявилися кращими за лінійні регулятори. Показники якості САКЧ з оптимальним нечітким ПІД регулятором незначно перевищують показники нечіткого ПІ регулятора.

У додатку наводяться матеріали щодо впровадження результатів дисертаційної роботи.

## ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню науково-практичної задачі багатоцільового синтезу інтелектуальних систем автоматичного керування паровими турбінами атомних електростанцій на основі оптимізації прямих показників якості систем векторними методами оптимізації. Основні результати роботи полягають в наступному:

1. Проведено аналіз задач багатоцільового синтезу систем автоматичного керування паровими турбінами АЕС і обґрунтовані переваги використання векторних методів для оптимізації прямих показників якості систем керування, що дозволяють суттєво підвищити надійність та рівень автоматизації проектування та вдосконалення систем керування.

2. Задачі багатоцільового синтезу систем автоматичного керування зведені до задач векторної оптимізації прямих показників якості на основі векторних цільових функцій показників з урахуванням практичної реалізації та критеріїв стійкості, що дозволило розробити моделі, методи і алгоритми формування та обчислення багатокритеріальних показників якості систем керування і формалізувати задачі багатоцільового синтезу систем. Розроблені методи багатоцільово-

вого синтезу систем керування шляхом побудови модифікованих генетичних алгоритмів для оптимізації векторних показників якості. Проведені дослідження ефективності векторних генетичних алгоритмів при оптимізації прямих критеріїв якості систем керування. Векторні методи дозволили послідовно розв'язати три основні задачі проектування систем керування: перейти до області стійкості, утримати процес синтезу в ній та знайти оптимальний розв'язок.

3. Побудовані лінійні та нелінійні моделі слідкуючого приводу парової турбіни у відносних змінних стану, на основі яких виконаний багатоцільовий синтез оптимального слідкуючого приводу методами векторної оптимізації, що дозволяє підвищити показники точності та якості процесів керування паровою турбіною.

4. Отримані нелінійні та лінійні математичні моделі в просторі станів у відносних змінних з різними ПД регуляторами та нечіткими ПД і ПД регуляторами для систем автоматичного керування частотою обертання ротора парової турбіни К-1000-60/1500 та обчислені значення постійних параметрів моделей, що дозволяє проводити багатоцільовий параметричний синтез систем керування та досліджувати ефективність різних законів керування турбіною.

5. На основі лінійних та нелінійних моделей систем автоматичного керування паровою турбіною атомної електростанції виконано багатоцільовий синтез традиційних та нечітких систем керування для нормальних режимів експлуатації турбіни векторними генетичними алгоритмами, що дозволило порівняти нечіткі регулятори з традиційними регуляторами. Обґрунтовано переваги використання нечітких регуляторів.

6. Результати дисертації перспективні для впровадження на ВАТ «Турбоатом», ТОВ «НВП Моноліт Енерго», ДП «Харківський науково-дослідний інститут комплексної автоматизації» (м. Харків), а також використовуються у навчальному процесі кафедри системного аналізу і управління Національного технічного університету «ХПІ».

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Федянина К. Б. (Годлевская К. Б.) Информационные технологии проектирования автоматической системы управления паровой турбиной атомной электростанции / К. Б. Федянина, В. П. Северин // Науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління «Нові технології». – Кременчук: КУЕІТУ. – 2008. – № 2 (20). – С. 250-254.

*Здобувачем розроблено математичне та інформаційне забезпечення для синтезу системи керування паровою турбіною атомної електростанції.*

2. Fedyanina K. (Godlevska K.) Optimal design of intelligent control systems of steam turbine using genetic algorithms / K. Fedyanina, I. Kucher, V. Severin // Intelligent Information and Engineering Systems. International Book Series «Information Science and Computing», Number 13. Supplement to the International Journal «Information Technologies and Knowledge». – 2009. – Volume 3. – Rzeszow, Poland – Sofia, Bulgaria: ITHEA. – P. 105-113.

*Здобувач проаналізував можливості синтезу інтелектуальних систем*

*керування паровою турбіною на основі генетичних алгоритмів.*

3. Федянина К. Б. (Годлевская К. Б.) Оптимизация следящего привода и систем управления паровой турбиной с использованием генетических алгоритмов / К. Б. Федянина, Е. А. Кучер, В. П. Северин // *Технічна електродинаміка*. – 2009. – Тем. вип. Ч. 5. – С. 86-91.

*Здобувачем виконана оптимізація слідкуючого приводу та систем керування паровою турбіною з використанням генетичних алгоритмів.*

4. Федянина К. Б. (Годлевская К. Б.) Параметрический синтез нечеткого регулятора для системы управления паровой турбиной с применением генетического алгоритма / К. Б. Федянина, В. П. Северин // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – № 32. – С. 33-39.

*Здобувачем виконаний синтез нечіткого регулятора для системи керування паровою турбіною модифікованим генетичним алгоритмом.*

5. Годлевская К. Б. Нелинейные модели систем автоматического управления паровой турбиной К-1000-60/1500 / К. Б. Годлевская, В. П. Северин // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – № 30. – С. 115-120.

*Здобувач розробив нелінійні математичні моделі систем автоматичного керування паровою турбіною та дослідив на їх основі процеси керування.*

6. Годлевская К. Б. Оптимизация нелинейных систем автоматического управления паровой турбиной АЭС / К. Б. Годлевская, В. П. Северин, В. Ф. Чернай // *Технічна електродинаміка*. – 2012. – Тем. вип. Ч. 1. – С. 144-149.

*Здобувачем проведена оптимізація систем керування паровою турбіною з різними законами керування на основі нелінійних математичних моделей.*

7. Годлевская К. Б. Многокритериальный параметрический синтез нелинейных систем автоматического управления паровой турбиной АЭС / К. Б. Годлевская, В. П. Северин // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – № 29. – С. 117-126.

*Здобувач виконав багатокритеріальний параметричний синтез нелінійних систем автоматичного керування паровою турбіною АЕС.*

8. Федянина К. Б. (Годлевская К. Б.) Информационные технологии проектирования автоматической системы управления паровой турбиной атомной электростанции / К. Б. Федянина, В. П. Северин // *Матеріали Третьої міжнародної науково-практичної конференції «Матеріали електронної техніки та сучасні інформаційні технології МЕТІТ-3»*. – Кременчук: КУЕІТУ. – 2008. – С. 247-248.

*Здобувачем розроблені інформаційні технології для синтезу системи автоматичного керування паровою турбіною атомної електростанції.*

9. Федянина К. Б. (Годлевская К. Б.) Моделирование и оптимизация систем автоматического управления паровой турбиной атомной электростанции / К. Б. Федянина, В. П. Северин, Е. Б. Ахиезер // *Автоматика-2008: доклады XV международной конференции по автоматическому управлению*. – Одесса: ОНМА, 2008. – С. 521-524.

*Здобувачем розроблені математичні моделі систем керування паровою*

*турбіною та виконана оптимізація прямих показників якості систем.*

10. Федянина К. Б. (Годлевская К. Б.) Применение генетических алгоритмов для оптимизации системы управления паровой турбиной / К. Б. Федянина // Сучасні проблеми гуманізації та гармонізації управління. Матеріали 9-ї Міжнародної міждисциплінарної науково-практичної школи-конференції. – Харків: Українська Асоціація «Жінки в науці та освіті», Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, 2009. – С. 304-305.

11. Федянина К. Б. (Годлевская К. Б.) Оптимальный синтез системы управления паровой турбиной и ее следящего привода для энергоблока с реактором ВВЭР-1000 / К. Б. Федянина, Е. А. Кучер, В. П. Северин // Проблемы обеспечения безопасности информационных и управляющих систем АЭС: сборник научных трудов / Под. ред. М. А. Ястребенецкого. – Одесса: Астропринт. – 2010. – С. 203-216.

*Здобувач виконав параметричний синтез систем керування паровою турбіною для енергоблоку ВВЕР-1000 векторними методами оптимізації.*

12. Федянина К. Б. (Годлевская К. Б.) Применение генетических алгоритмов для оптимального синтеза следящего привода и систем управления паровой турбиной / К. Б. Федянина, В. П. Северин // XVII Міжнародна конференція з автоматичного управління «Автоматика-2010». Тези доповідей. Том 1. – Харків: ХНУРЕ, 2010. – С. 299-301.

*Здобувач дослідив використання генетичних алгоритмів для параметричного синтезу слідкуючого приводу та систем керування паровою турбіною.*

13. Федянина К. Б. (Годлевская К. Б.) Синтез интеллектуальных систем управления паровой турбиной АЭС в среде MATLAB по векторному критерию / К. Б. Федянина, В. П. Северин // Труды V Международной научной конференции «Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB». – Харьков: ФЛП Шейнина Е. В. – 2011. – С. 320-342.

*Здобувачем розроблені методи синтезу інтелектуальних систем керування паровою турбіною на основі векторних критеріїв якості систем.*

14. Федянина К. Б. (Годлевская К. Б.) Перспективы синтеза интеллектуальных систем управления методами векторной оптимизации / К. Б. Федянина // Материалы XV Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». Том 7. – Харьков: ХНУРЕ. – 2011. – С. 228-229.

15. Федянина Х. Б. (Годлевська Х. Б.) Параметричний синтез нечіткого регулятора системи керування паровою турбіною атомної електростанції / Х. Б. Федянина, В. П. Северин // Автоматика/Automatics-2011. XVIII Міжнародна конференція з автоматичного управління: матеріали конференції. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – С. 130-131.

*Здобувач виконав параметричний синтез нечіткого регулятора системи керування паровою турбіною та порівняв його з традиційними регуляторами.*

16. Федянина К. Б. (Годлевская К. Б.) Нелинейная математическая модель паровой турбины АЭС для анализа управления технологическим процессом / К. Б. Федянина, В. П. Северин // Математические методы в технике и технологиях ММТТ-25: сб. трудов XXV Междунар. науч. конф.: в 10 т. Т. 4. Волгоград: ВГТУ; Харьков: НТУ «ХПИ», 2012. – С. 187-191.

*Здобувачем побудовані нелінійні математичні моделі парової турбіни як об'єкту керування для аналізу технологічних процесів в енергоблоці АЕС.*

17. Федянина Х. Б. (Годлевська Х. Б.) Синтез нелінійних систем керування паровою турбіною за прямими показниками якості / Х. Б. Федянина, В. П. Северин // Автоматика/Automatics–2012. XIX Міжнародна конференція з автоматичного управління: матеріали конференції. – К: НУХТ, 2012. – С. 283-284.

*Здобувач виконав багатоцільовий параметричний синтез нелінійних систем керування паровою турбіною за прямими показниками якості.*

## АНОТАЦІЇ

**Годлевська Христина Борисівна. Багатоцільовий синтез інтелектуальних систем автоматичного керування паровими турбінами АЕС векторними методами оптимізації.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2012.

Дисертація присвячена розв'язанню задач багатоцільового параметричного синтезу інтелектуальних систем автоматичного керування (САК) паровими турбінами АЕС з використанням генетичних алгоритмів на основі розвитку моделей САК і методів векторної оптимізації прямих показників якості. Отримані математичні векторні моделі показників якості систем, що враховують критерії стійкості, показники якості та дозволяють формалізувати постановки задач синтезу. Розроблені методи синтезу САК на основі модифікації генетичних алгоритмів для оптимізації узагальненого векторного критерію, що підвищує надійність синтезу оптимальних систем. Отримані нелінійні математичні моделі в просторі станів у відносних змінних з різними ПД регуляторами та нечіткими регуляторами для систем керування частотою обертання ротора парової турбіни К-1000-60/1500, що дозволяє проводити багатоцільовий синтез систем керування та досліджувати ефективність різних законів керування турбіною. На основі нелінійних моделей парової турбіни синтезовано традиційні та нечіткі системи керування для нормальних режимів експлуатації турбіни, що дозволило порівняти нечіткі регулятори з традиційними ПД регуляторами.

**Ключові слова:** системи автоматичного керування, парова турбіна, атомна електростанція, показники якості, багатоцільовий синтез, векторні методи оптимізації, генетичні алгоритми, нечіткий регулятор.

**Годлевская Кристина Борисовна. Многоцелевой синтез интеллектуальных систем управления паровыми турбинами АЭС методами векторной оптимизации.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация процессов управления. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2012.

Диссертация посвящена решению научно-практической задачи многоцелевого параметрического синтеза интеллектуальных систем автоматического управления паровых турбин атомных электростанций на основе оптимизации векторных показателей качества систем векторными методами оптимизации.

Проведен анализ задач многокритериального параметрического синтеза систем автоматического управления паровыми турбинами АЭС и показаны широкие возможности использования генетических алгоритмов для оптимизации прямых показателей качества, которые позволяют существенно повысить надежность и уровень автоматизации проектирования и усовершенствования систем управления.

Задачи многоцелевого параметрического синтеза систем управления сведены к задачам векторной оптимизации показателей качества при помощи формирования векторных целевых функций показателей с учетом критериев устойчивости и прямых показателей качества, которые позволили разработать модели и методы формирования и вычисления векторных показателей качества систем управления и формализовать постановки задач многоцелевого синтеза систем. Разработаны методы многоцелевого параметрического синтеза систем управления путем построения модифицированных методов прямого поиска и генетических алгоритмов для оптимизации векторных показателей качества. Проведены исследования эффективности векторных генетических алгоритмов при оптимизации прямых критериев качества для систем управления разного порядка с различным числом ограничений области устойчивости и переменных параметров. Векторные методы оптимизации позволили последовательно решить три основных задачи проектирования систем автоматического управления: перейти в область устойчивости, удержать процесс синтеза в этой области и найти оптимальное решение.

Построены нелинейные модели следящего привода паровой турбины, на основе которых выполнен многоцелевой синтез оптимального следящего привода, что позволяет повысить показатели точности и качества процессов управления паровой турбиной.

Получены нелинейные математические модели в пространстве состояний в относительных переменных с различными ПИД регуляторами и нечеткими регуляторами для систем автоматического управления частотой вращения ротора паровой турбины К-1000-60/1500 и вычислены значения постоянных параметров моделей, что позволяет проводить многоцелевой параметрический синтез систем управления и исследовать различные законы управления турбиной.

На основании нелинейных моделей систем автоматического управления паровой турбиной атомной электростанции выполнен многоцелевой синтез традиционных и нечетких систем управления для нормальных режимов эксплуатации турбины векторными методами оптимизации, что позволило сравнить нечеткие регуляторы с традиционными ПИД регуляторами.

Результаты диссертации перспективны для внедрения в ОАО «Турбоатом», ООО «НПО Монолит Энерго» (г. Харьков), ГП «Харьковский научно-исследовательский институт комплексной автоматизации» (г. Харьков), а также

используются в учебном процессе кафедры системного анализа и управления Национального технического университета «ХПИ».

**Ключевые слова:** системы автоматического управления, паровая турбина, атомная электростанция, показатели качества, многоцелевой синтез, векторные методы оптимизации, генетические алгоритмы, нечеткий регулятор.

**Godlevska Khrystyna Borysivna. Multipurpose synthesis of intelligent control systems of steam turbines of nuclear power stations using vector optimization methods.** – As 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, 2012.

The thesis is devoted to solving the problem of intelligent multipurpose synthesis of automatic control systems (ACS) steam turbine of nuclear power station using genetic algorithms based on models of ACS and methods of vector optimization direct quality indices. A mathematical model of the vector of quality systems, taking into account the criteria of sustainability, quality and allow to formalize the staging synthesis problems. The methods of synthesis of ACS from modifications of genetic algorithms for optimizing generalized vector criterion that improves the reliability of the synthesis of optimal systems. These nonlinear mathematical models in the state space of relative variables with different PID controllers and fuzzy controllers for control rotor speed of the turbine K-1000-60/1500 that allows multi-synthesis of control systems and study the effectiveness of different control laws turbine. Based on nonlinear models of steam turbine synthesized traditional and fuzzy control system for normal operation modes turbines, allowing to compare fuzzy controllers with the traditional PID controllers.

Key words: automatic control systems, steam turbine, nuclear power station, quality indices, multipurpose synthesis, vector optimization methods, genetic algorithms, fuzzy controller.

