УДК 681.51:658.518.88:658.562

МОДЕЛІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРОДУКЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПЕРІОДИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У НОРМАЛЬНИХ І ЕКСТРЕМАЛЬНИХ СТАНАХ ФУНКЦІОНУВАННЯ

Лисогор В.М., Веселовська Н.Р.
Вінницький державний аграрний університет

Введення. Стаття присвячена вирішенню трьох пов'язаних між собою прикладних задач:
1) розробці моделей визначеної траєкторії управління;
2) формулюванню критеріїв оцінки функціонування системи;
3) управлінню технологічними періодичними системами в нормальних і екстремальних станах функціонування.

Екстремальні стани характеризуються наявністю перед аварійних, аварійних, стресових (присутність людини-оператора в системі управління) ситуацій [1]. Проблема носить міждисциплінарний характер і успішно може бути вирішена з залученням різних методів моделювання [2] теоретичних підходів оцінки ефективності [3], методів синтезу управління динамічними системами [4].

У різних галузях народного господарства є безліч технологічних процесів (ТП), що відрізняються як засобом одержання цільового продукту, так і характером роботи устаткування. Установилася термінологія поділу ТП на беззупинні, періодичні і дискретні [5]. Найчастіше технологічні періодичні процеси називають дискретно-беззупинними [6], а з погляду на їхню динамічну поведінку – багатоетапними [7]. Характерною рисою багатоетапності ТПП у просторових координатах є їх багаторежимність, а тимчасової області - стадійність. Безліч стадій утворять технологічний цикл [8]. За час технологічного циклу проходять основні фізико-хімічні перетворення вихідних продуктів і компонентів у кінцеву цільову продукцію. При функціонуванні технологічних безупинних процесів також можна виділити технологічні цикли пуску, зупинки, екстремальних (предаварійних, аварійних, стресових) ситуацій. З викладеного слідує необхідність вирішення першої задачі − розробки математичних моделей стадій, що є частково-беззупинними подвійно диференційованими функціями, згодом "зшитих" у єдину модель технологічного циклу й утворюючих бажану траєкторію управління ТПП [8, 9].

Для рішення другої задачі висловимо такі твердження.

Останнім часом у теорії систем поряд з інтегральними критеріями якості системи управління, яка конструюється, (критерій вартості, критерій узагальненої роботи) [10,4] стали застосовувати критерії так званого управлінського ступеня дослідження, як частку від відношення рангу матриці дійсного управління (дослідження) до рангу матриці повного управління (дослідження) [11] . У роботі [12] замість рангу повного управління (дослідження) введене поняття рангу потенційного (ідеального) управління. Дана пропозиція є достатньою, тому що для сучасних ТП задача забезпечення повного управління та дослідження є досить складною, пов'язаною з вибором і оптимальним розміщенням вимірників і виконавчих пристроїв на об'єкті. З огляду на сказане, досить доцільно використовувати для рішення другої задачі − оцінки ефективності системи управління ТПП, що розроблюється, узагальнений інформаційний функціональнo-статистичний критерій [3]. Тут використовуються поняття реальної і потенційної (ідеальної) моделі створюваної системи управління.

Далі на підставі розроблених моделей технологічних циклів і критеріїв оцінок якості і критеріїв оцінок ефективності виконується синтез системи управління ТПП у нормальних і екстремальних станах. У нормальних станах важливою є класична задача аналітичного конструювання [4, 10] і формулюється в такий спосіб:

Нехай дана модель стану об'єкта, модель його вимірюваних виходів, інтегральний критерій якості. Синтезуємо таке управління, що задовольняє дані обмеження, що доставить екстремум інтегральному критерію. Задані умови задовольняє рішення рівняння Ріккаті. Цьому напрямку присвячено безліч робіт, наприклад [13,14]. Синтез управлінської системи ТПП в екстремальних станах відрізняється тим, що простір станів, керувань, спостережень розбиваємо на підпростори нормального й екстремального функціонування. У випадку забезпечення стійкості, що не спостерігаються, і параметрів, над якими не здійснюють управління, виконуємо синтез системи управління ТПП.

Основний зміст роботи. В загальному випадку об'єкт діагностування представляється у вигляді комплексу різноманітних динамічних і статистичних ланок, характеристики яких налагоджуються і контролюються в процесі діагностування. ОД складається з системи автоматичного керування і об'єкта, яким керують.

Окрім керуючих дій на об'єкт впливають випадкові внутрішні і зовнішні обурення. Формою для опису стану ОД є система диференціальних рівнянь, що визначає його математичну функціонально-статистичну модель:

$$\sum_{r,m=1}^{m} M_{rm}\left(t,t,\frac{d}{dt},\mathbf{Q}\right)=F_m(t,t,\mathbf{X},\mathbf{Y},\mathbf{Z},\Phi),$$

де $\sum$ - сума; $\frac{d}{dt}$ - оператор диференціювання по часу; $r,m=\overline{1},\overline{m}$, m - кількість рівнянь; t - поточне значення часу; τ - момент часу до якого ведеться спостереження об'єкту, $\mathbf{Q}\{q_1,q_2,...,q_m\}$ - вектор первинних параметрів; F_m - нелінійний оператор, що характеризує праву частину рівняння; $\mathbf{Y}\{y_1,y_2,...,y_m\}$ - вихідний вектор, вектор вихідної інформації; $\mathbf{X}\{x_1,x_2,...,x_m\}$ – вектор випадкових функцій часу, що характеризує вихідні параметри об'єкту; $\mathbf{Z}\{h_1,h_2,...,h_m\}$ - вектор випадкових функцій часу, що характеризують зовнішні і прямі внутрішні і керуючі впливу - $\Phi\{j_1,j_2,...,j_m\}$, M – поліноми відносно оператора диференціювання.

Отже, на вхід СД впливають випадкові функції часу, що характеризують стан ОД і визначаються випадковими векторами **U**, **X** (рис.1). Закони розподілу параметрів ОД можуть бути визначені за допомогою метода інтегрування диференціальних рівнянь, метода гармонійної або статистичної лінеаризації, метода Монте-Карло. Виходячи з [1-3,17], найбільш повною інтегральною оцінкою ймовірнісного стану ОД є його ентропія, зумовлена невизначеністю ймовірнісного стану кожного його параметра. Призначення СД і полягає в зменшенні цієї ентропії. Ця задача вирішується з позицій заміщення деякої кількості ентропії інформацією СД в процесі її функціонування.

Технологічні процеси (ТП), де можна виділити операції завантаження, герметизації, пуску, синтезу основного цільового продукту, зупинки, втрати герметизації, будемо називати технологічними періодичними процесами (ТПП), що відбуваються у багатовимірній системі "об'єкт діагностування-система діагностування" (рис.1). Часовий проміжок, що містить активну фазу функціонування системи назвемо циклом ТПП. У циклі виділимо основні режими, що протікають у межах визначеної стадії. Стикування режимів виконується за рахунок міжрежимних перехідних процесів, що "зшивають" стадії між собою [8, 9].

ТПП проведений у технологічному об'єкті (ТО) є оператором перетворення вектора вхідних компонентів у вектор виходів цільової продукції Y [15]. Якість цільової продукції будемо оцінювати за рахунок мінімізації непоєднання

$$\tilde{Y}(t)=\|Y^*(t)-Y(t)\|\Rightarrow\min \qquad (1)$$

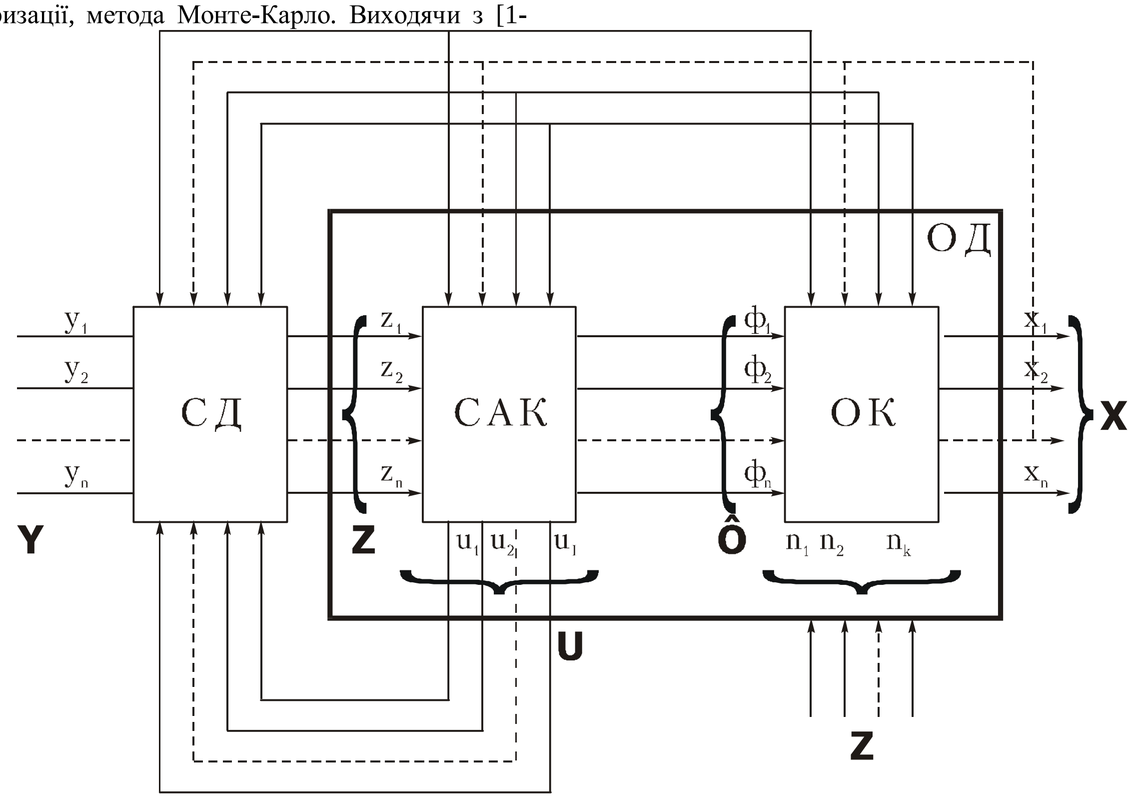

Рисунок 1 - Формалізована структурна схема потоків інформації в багатовимірній системі "об'єкт діагностування-система діагностування": ОД - об'єкт діагностування; СД - система діагностування; САК - система автоматичного керування; ОК - об'єкт керування ;Y$\{y_1,y_2,..,y_n\}$- вектор вихідної інформації; X$\{x_1,x_2,..,x_n\}$– вектор випадкових функцій часу, що характеризує вихідні параметри об'єкту; $\mathbf{Z}\{h_1,h_2,...,h_m\}$ - вектор випадкових функцій часу, який характеризує зовнішні Z$\{z_1,z_2,..,z_n\}$ та прямі внутрішні збурення і керуючі функції впливу - Ф$\{f_1,f_2,..,f_n\}$; U – функція зворотнього зв'язку де $Y^*(t)$ - якість продукції, що відповідає вимогам ДСТУ,

$Y(t)$ - поточні значення якості продукції, отримані в результаті проведеного ТПП.

На основі введених визначень можна побудувати математичну модель стадії ТПП.

$$X(t) = f^{i}(x;u;w_1;t) \qquad (2)$$

Модель виходів, що вимірюються

$$Y(t) = j^{\,i}(x;u;w_2;t); \quad t_i \le t \le t_{i+1} \qquad (3)$$

Тут $X \in R^n; U \in R^r; Y \in R^m; W_1 \in R^n; W_2 \in R^m; t \in R$ характеризують структуру простору станів X, управління U, вимірів Y, збурювань технологічного об'єкта W_1, збурювань вимірюваних виходів W_2.

У сталому положенні диференціальне рівняння (2) вироджується в алгебраїчний поліном і має вигляд:

$$O = f^{i}(x;u;w;t); \quad t_i \le t \le t_{i+1} \qquad (4)$$

Тоді моделі окремих стадій f^i (•) "зшиті" у єдину модель утворять оптимальну бажану траєкторію управління технологічного циклу f (x; u; w; t), яку можна представити таким чином

$$f(x;u;w;t) = \begin{vmatrix} f^{1}(x;u;w;t) \\ f^{2}(x;u;w;t) \\ f^{i}(x;u;w;t) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_1 + b_1 + c_1 t^2 \\ a_2 + b_2 + c_2 t^2 \\ a_i + b_i + c_i t^2 \end{vmatrix} \begin{matrix} t_1 \le t \le t_2 \\ t_2 \le t \le t_3 \\ t_i \le t \le t_{i+1} \end{matrix} \qquad (5)$$

Коефіцієнти a, b, c підбираються методами послідовних наближень на основі проведення активного експерименту з використанням автоматизованої системи наукових досліджень.

У результаті дії на об'єкт і його вимірювальні пристрої збурювань тривалість його окремих стадій істотно змінюється. Стикування математичних моделей окремих стадій у часі запропоноване [8, 9] здійснюється на основі векторів виявлення стадій $Y_{об} \in Y$ із простору вимірюваних виходів. Складові вектора виявлення $Y_{об}$ побічно характеризують явища на границях визначених стадій. Тоді модель бажаної траєкторії управління приймає такий вигляд:

$$f(x;u;w;t) = \sum_{i=1}^{g} f^{i}(x;u;w;t); Y_{об} = Y^{i}_{об} t_i \le t \le t_{i+1} \qquad (6)$$

Для оптимізації динамічної поведінки (2),(3) системи управління ТПП, що розроблюється, виберемо традиційний інтегральний квадратичний критерій якості у вигляді

$$Y = \tilde{X}^{T}(t_{i+1})P(t_{i+1})\tilde{X}(t_{i+1}) + \\ + \int_{t_i}^{t_{i+1}} \left[\tilde{X}^{T}(t)R_1^{i}(t)\tilde{X}(t) + U^{T}(t)R_2^{i}(t)U(t)\right]dt \qquad (7)$$

де $\tilde{X}(t) = [X_3(t) - X(t)]$ - непоєднання між заданими та поточними значеннями векторів станів. $P(t_{i+1})$ - позитивно напіввизначена матриця розмірності $n \times n$; $R_1(t)$; $R_2(t)$ - позитивно визначені матриці розмірності $n \times n$ і $n \times r$. Для аналізу інформаційної ефективності функціонування системи управління ТПП (2),(3) домовимося про умови її потенційної (ідеальної) і реальної керованості P^i і дослідження Q^i.

Введемо визначення.

Визначення I. Над системою (2), (3) здійснюється потенційне (ідеальне) управління тоді і тільки тоді, коли вектор-стовпець матриці управління породжує n-мірний простір

$$P_n^i = (B, AB, A^2B, ..., A^{n-1}B); \quad R_{ank}\ P^i = n \qquad (8)$$

Визначення 2. Над системою (2), (3) здійснюється потенційне (ідеальне) спостереження тоді і тільки тоді, коли вектора-рядка матриці дослідження породжують n -мірний простір

$$Q_n^i = (C, CA, CA^2, ..., CA^{n-1})^T; \quad R_{ank}\ Q_n^i = n \qquad (9)$$

З огляду на труднощі дослідження промислових ТПП, відкази елементів і ланцюгів зв'язку під час функціонування у виробничих умовах, ранги матриць реального управління P_p^i і дослідження Q_p^i будуть менші за n , тобто

$$R_{ank}\ P_p^i = m \lt n; \qquad R_{ank}\ Q_p^i = m \lt n \qquad (10)$$

У зв'язку з (9), (10) для аналізу створюваної системи управління ТПП доцільно використовувати узагальнений функціонально-статистичний критерій [3], який базується на основі математичних моделей СД з урахуванням роботи об'єкта діагностування (рис.1):

$$E = \frac{I_{max} \cdot C_{min}}{I_{maxmax} \cdot C},$$

де I_{max} - загальна кількість інформації;

C_{min} - початкова вартістьСД;

C - остаточна вартість;

I_{max} - загальна кількість інформації, що одержується потенційною системою.

Визначимо кількість інформації моделей, що розроблюються, стосовно до потенційного Y_n, реальному Y_p, екстремальному Y_e стану системи. Оцінимо витрати на створення потенційної $C_{min}(t, r)$ і реальної $\overline{C}$ (t, r) системи управління ТПП. Тоді узагальнена ймовірна характеристика потенційного процесу управління та спостереження виразиться формулою

$$K_n = \frac{Y_n(t,r)}{C_{min}(t,r)} = \frac{R_{ank}P_n^i}{C_{min}(t,r)} = \frac{R_{ank}Q_n^i}{C_{min}(t,r)} \qquad (11)$$

де P_n^i, Q_n^i - вектор-стовпець і вектор-рядок потенційного управління та дослідження. Аналізуючи бачимо, що кількість інформації Y_n заміщається рангами матриць управління і дослідження. Очевидно, що вектор-стовпець управління P_n^i і вектор-рядок дослідження Q_n^i між собою дуальні.

Аналогічно визначимо узагальнені імовірні характеристики реального й екстремального процесу управління та спостереження:

$$K_n = \frac{Y_p(t,r)}{\overline{C}(t,r)} = \frac{R_{ank}P_p^i}{\overline{C}(t,r)} = \frac{R_{ank}Q_p^i}{\overline{C}(t,r)} \qquad (12)$$

$$K_e = \frac{Y_э(t,r)}{\overline{C}(t,r)} = \frac{R_{ank}P_э^i}{\overline{C}(t,r)} = \frac{R_{ank}Q_э^i}{\overline{C}(t,r)} \qquad (13)$$

Тоді узагальнений функціонально-статистичний критерій оцінки ефективності в нормальних станах функціонування системи управління ТПП буде

$$E_p(t,r) = \frac{K_p(t,r)}{K_n(t,r)}; \qquad 0 \le E \le 1 \tag{14}$$

Узагальнений функціонально-статистичний критерій оцінки ефективності в екстремальних станах буде

$$E_e(t,r) = \frac{K_e(t,r)}{K_n(t,r)}; \qquad 0 \le E \le 1 \tag{15}$$

Введемо упорядкованість узагальнених ймовірностних характеристик і

$$K_e(t,r) \le K_p(t,r) \le K_n(t,r) \tag{16}$$

Упорядкованість узагальнених функціонально-статистичних критеріїв оцінок ефективності

$$E_e(t,r) \le E_p(t,r) \tag{17}$$

Розробивши моделі бажаної траєкторії управління (5),(6) критерії функціонування системи (7) - (17), можна виконати синтез системи управління ТПП у нормальних і екстремальних станах. Нехай лінійна система (2),(3) у межах стадії й за умов нормального функціонування має вигляд

$$\begin{aligned} \dot{X}(t) &= A^i(t)X(t) + B^i(t)U(t) + \\ &+ W_1(t); X(t_0) = X_0 \end{aligned} \tag{18}$$

$$Y(t) = C^i(t)X(t) + W_2(t); t_i \le t \le t_{i=1} \tag{19}$$

Тут $A^i(t), B^i(t), C^i(t)$ – матриці розмірності $n \times n, n \times r, m \times n$ відповідно. Система потенційно керована й досліджена згідно (8, 9). Для оцінки динамічних властивостей системи скористаємося критерієм (7). Задача полягає в синтезі такого управління $U(t)$, яке для (18),(19) надасть мінімум критерію (7) у нормальних умовах функціонування. Для задач з одним екстремумом (7) шукане управління існує і воно єдине. У випадку, якщо (7) має декілька екстремумів і містить точки перетину, то передбачається можливим вибір області зміни параметрів управлінських впливів, що обмежує область змін значень критерію так, що можна розглядати цей критерій з одним екстремумом.

Синтез управлінського впливу в цьому випадку [10] має вигляд

$$U(t) = -R_2^{-1}(t)B^T(t)P(t)X(t) \tag{20}$$

де $P(t)$ – симетрична матриця, обумовлена рішенням рівняння Ріккаті

$$\begin{aligned} \dot{P}(t) &= -P(t)A(t) - A(t)P(t) + \\ &+ P(t)B(t)R_2^{-1}(t)B^T(t)P(t) - R_1(t) \end{aligned} \tag{21}$$

На сьогоднішній день накопичена значна кількість методів вирішення рівняння Ріккаті. Для рішення (21) можна скористатися методом, наприклад, [14] .

Задача синтезу управлінь в екстремальних ситуаціях в основному аналогічна рішенню попередньої задачі. Особливість, що її відрізняє, зводиться до розбивки просторів станів, вимірів, управлінь на підпростори нормального й екстремального функціонування.

У цьому випадку модель об'єкта має вигляд:

$$\begin{aligned} \dot{X}(t) &= \begin{bmatrix} A_{11}^i(t) A_{21}^i(t) \\ A_{21}^i(t) A_{22}^i(t) \end{bmatrix} X(t) + \\ &+ \begin{bmatrix} B_1^i(t) \\ B_2^i(t) \end{bmatrix} U(t) + W_1(t) \end{aligned} \tag{22}$$

Модель вимірів представляється так

$$\begin{aligned} Y(t) &= [C_1^i(t), C_2^i(t)]X(t) + W_2(t); \\ t_i &\le t \le t_{i+1} \end{aligned} \tag{23}$$

$A_{11}^i(t)$ - матриця, що забезпечує функціонування в екстремальних станах структурою $n \times m; m < n.$

$A_{22}^i(t)$ - матриця невідновлених параметрів розміром $(n-m) \times (n-m)$. Матриці при управліннях і вимірах інтерпретуються аналогічно.

Для (22) і (23) домовимося про умови стабілізованості та визначеності в екстремальних станах. Об'єкт (22) задовольняє умовам стабілізованості в тому випадку, коли параметри матриці $A_{22}^i(t)$ асиметрично стійкі. Об'єкт (22) і його вимірювальна система (23) визначена в тому випадку, коли матриці і, відповідно, $A_{22}^i(t)$ містяться в підпросторах стійких станів.

Враховуючи, що в екстремальних умовах системи управління ТПП, яка конструюється, також коштує задача мінімізації непоєднання між заданими і дійсними значеннями координат станів, доцільно використовувати інтегральний критерій якості (7). Тоді рішення рівняння Ріккаті $P(t)$ для (22, 23) можна представити так

$$P(t) = \begin{bmatrix} P_{12}(t)P_{21}(t) \\ P_{21}(t)P_{22}(t) \end{bmatrix}; t_i \le t \le t_{i+1} \tag{24}$$

У випадку симетричності блочної матриці (24) $P_{21}(t) = P_{12}^T(t)$, рівняння Ріккаті зводиться до наступних трьох матричних рівнянь

$$\begin{aligned} -\dot{P}_{11}(t) &= C_1^T R_1 C_1 - [P_{11}(t)B_1 + P_{12}(t)B_2]R_2^{-1} \times \\ &\times [B_1^T P_{11}(t) + B_2^T P_{12}^T(t)] + \\ &A_{11}^T P_{11}(t) + A_{21}^T P_{12}(t) + P_{11}(t)A_{11} + P_{12}(t)A_{21} \end{aligned} \tag{25}$$

$$\begin{aligned} -\dot{P}_{12}(t) &= -[P_{11}(t)B_1 + P_{12}(t)B_2]R_2^{-1} \times \\ &\times [B_1^T P_{11}(t) + B_2^T P_{12}^T(t)] + \\ &A_{11}^T P_{12}(t) + A_{21}^T P_{22}(t) + P_{12}(t)A_{22} \end{aligned} \tag{26}$$

$$\begin{aligned} -\dot{P}_{22}(t) &= -[P_{12}^T(t)B_1 + P_{22}(t)B_2]R_2^{-1} \times \\ &\times [B_1^T P_{12}(t) + B_2^T P_{22}^T(t)] + \\ &A_{22}^T P_{22}(t) + P_{22}(t)A_{22} \end{aligned} \tag{27}$$

Видно, що при термінальних значеннях $P_{11}(t_k) = 0, P_{12}(t_k) = 0, P_{22}(t_k) = 0$ рівняння (26), (27) задовольняються умовами

$$P_{12}(t) = 0, P_{22}(t) = 0, t \le t_k \tag{28}$$

Тоді рівняння (25) приводиться до виду

$$\begin{aligned} -\dot{P}_{11}(t) &= C_1^T R_1 C_1 - P_{11}(t)B_1 R_2^{-1} B_1^T P_{11}(t) + \\ &+ A_{11}^T P_{11}(t) + A_{21}^T P_{12}(t) + P_{11}(t)A_{11}; \\ P_{11}(t_k) &= 0 \end{aligned} \tag{29}$$

Аналізуючи бачимо, що (29) звичайне рівняння Ріккаті, що надасть оптимальне канонічне значення керованості системи (22), (23) в екстремальних станах. Для рішення (29) використовуємо той же метод [14], рішення $P(t)$ підставимо в закон управління (20), а закон управління $U(t)$, у свою чергу, у вихідні рівняння (18) нормального чи стану (22) екстремального стану об'єкта, одержимо однорідне диференціальне рівняння відносно $X(t)$. Вирішивши (18), (22) отримаємо траєкторію зміни стану $X(t)$, що надасть мінімум інтегральному критерію (7).

Висновки. Етапи розробки методу моделей систем управління ТПП включають:

- виділення технологічного циклу, режимів, стадії, міжстадійних тимчасових проміжків ТПП;
- побудова математичних моделей стадій ТПП на основі експериментально-аналітичних методів з використанням АСНД;
- виділення та дослідження ознак виявлення границь стадій і екстремальних станів;
- "зшивання" моделей стадій у єдину модель технологічного циклу на основі ознак виявлення границь стадій; модель циклу представляє бажану траєкторію управління ТПП;
- розробку критеріального базису функціонування системи управління ТПП у нормальних і екстремальних станах, що полягають у розробці критерію продуктивності технологічного об'єкта, інтегрального квадратичного критерію, інформаційних критеріїв, оцінки ефективності системи управління ТПП;
- розробки динамічних моделей ТПП у просторі станів;
- синтезу керуючої системи ТПП для нормальних і екстремальних станів.

ЛІТЕРАТУРА

1. И.В.Кузьмин. Модель стресса в человеко-машинных системах. В кн. Информационные и моделирующие системы в электронике и электроэнергетике, Киев.: Наукова думка, 1980.
2. Основы моделирования сложных систем. Под ред. И.Б.Кузьмина, Киев.: Вища школа, 1981,- 360с.
3. И.В.Кузьмин. Оценка эффективности и оптимизация автоматизированных систем контроля и управления. - М.: Советское радио, 1971, - 294с.
4. А.А.Красовский, В.Н.Буков, В.С. Шендрик. Универсальные алгоритмы оптимального управления непрерывными процессами. - М.: Наука, 1977, - 272с.
5. Управляющие вычислительные машины в АСУ технологическими процессами. Под ред. Т.Харрисона, I том.- М.: Мир, 1975, - 530с.
6. Ак. В.В.Кафаров, В.П.Мешалкин, А.М.Федосеев, А.И.Черепанов. Иерархическая модель и квазидинамический алгоритм оптимизации качества продукции дискретно-непрерывных химико-технологических систем. Док. Академии наук СССР, 1983, том 270, № 3.
7. К.Н.Габелко. Последовательное улучшение многоэтапных процессов. Автоматика и телемеханика № 12, 1974,- с.72-80.
8. В.Н.Лысогор. Опыт разработки и внедрения АСУ ТП производства электродного кокса в аппаратах периодического действия.- М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1979, - 60с.
9. И.Б.Кузьмин, В.Н.Лысогор. О создании АСУ периодическими технологическими процессами. Тезисы докладов: IX Всесоюзное совещание по проблемам управления. Ереван, 1983, - с. 349-350.
10. Э.П.Сейдж, Ч.С.Уайт. Оптимальное управление системами.- М.: Радио и связь, 1982, - 392с.
11. К.А.Райевд. Декомпозиция линейной модели объекта управления. Труды Таллинского политехнического института. В кн. Расчет и проектирование систем технической кибернетики. Таллин, 1983, - с. 41-54.
12. Franksen O.I Structural Aspects of Control-lability and Observability-. Tensorial Aggregation, Franklin Institute, journal, 1979, vol 308 №2, pp79-104.
13. В.М.Кунцевич, М.М.Лычак. О решении дискретных матричных уравнений Ляпунова, Риккати и их обобщений. Кибернетика № 3, 1980, - с. 13-18.
14. В.А.Пузырев.Управление технологическими процессами производства микроэлектронных приборов. -М. : Радио и связь, 1984, - 160с.
15. В.В.Кафаров. Методы кибернетики в химии и химической технологии. -М.: Химия, 1971, - 496с.
16. Веселовська Н.Р. Математична модель системи “Об’єкт діагностування-система діагностування” для автоматизованної системи технологічного обладнання Вісник ВДСГІ. – Випуск №2.-1998.- С.147-151.
17. Кузьмін І.В, Веселовська Н.Р. Синтез алгоритму прийняття рішення в багатоальтернативній ситуації Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах .- №3. -1998.- С.107-110.

Статья поступила 15.03.06 г.
Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Саленком А.Ф.