

УДК 681.3

С.Л. Мердух, Р.Б. Медведєв

ПАКЕТ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ БЕЗПЕРЕРВНИХ ТА ДИСКРЕТНИХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У КОНТУРАХ КЕРУВАННЯ

Описується підхід до моделювання та розрахунку динамічних процесів, що протікають в об'єктах та контурах керування. Внаслідок громіздких обчислень та необхідності візуалізації отриманих результатів для подальшого їх опрацювання було розроблено пакет прикладних програм для розрахунку безперервних та дискретних моделей динамічних процесів і контурів керування у часовій області. Представлені у роботі моделі, побудовані на основі обчислювальних методів, є основою розробленого програмного комплексу.

Вступ

На відміну від відомих інженерних методів класичної теорії керування [1–6], побудованих в основному на обробці емпіричного матеріалу, використанні перетворення Лапласа, графічному зображенні та подальшому аналізу різних характеристик та ін., сучасна теорія керування базується на методах обчислювальної математики [7]. Саме внаслідок цього для реалізації задач моделювання та розрахунку динамічних процесів, що протікають в об'єктах та контурах керування, виникає необхідність створення комплексу прикладних програм, побудованих на основі обчислювальних методів, а саме: методів вирішення систем звичайних диференціальних та нелінійних алгебраїчних рівнянь, лінеаризації рівнянь моделі в околі деякої стаціонарної робочої точки, обчислення власних значень матричних рівнянь для оцінки динамічних властивостей лінійних систем, дискретизації рівнянь моделей стану та їх вирішення, використання Z-перетворення [8].

Розглянемо систему автоматичного керування технологічним процесом із одним входом і одним виходом (рис. 1).

Для визначення керування, яке потрібно подати на виконуючий пристрій технологічного процесу, необхідно вміти передбачати його реакцію на деяку кількість можливих керуючих діянь. Таке передбачення може бути отримано через модель динаміки технологічного процесу [7].

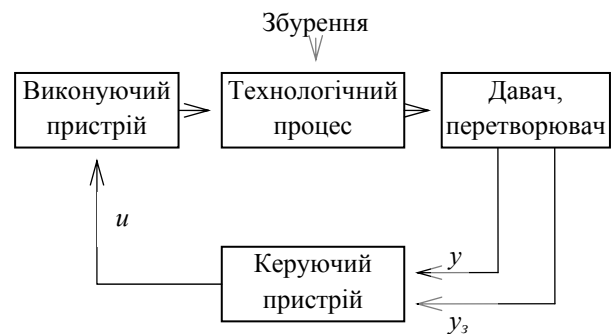


Рис. 1. Система автоматичного керування технологічним процесом:

u – зовнішнє діяння, y , u_3 – дійсне та задане значення вихідної змінної відповідно

Модель технологічного процесу потрібна для проектування керуючого пристрою, або точніше, для закладеного в ньому закону керування. З цією метою динаміка технологічного процесу може бути описаною у часовій області за допомогою диференціальних рівнянь. Слід зазначити, що мова йде саме про модель динаміки щодо задач керування, а не будь-яких інших задач, пов'язаних з іншими якостями технологічного процесу [9].

Математична модель динаміки реального технологічного процесу є компромісом між її адекватністю процесу, що описується, з одного боку, і зручністю її використання для рішення конкретної технологічної задачі, з іншого. Від точності моделі в усіх випадках залежить якість керування.

Чим точніше побудована модель і чим більший ступінь адекватності моделі реальному процесу, тим, звичайно, точніше вирішується задача керування. Однак збільшення точності математичного опису об'єкта пов'язано із збільшенням витрат часу та інших ресурсів на розробку самої моделі. Крім того, ускладнюється сам закон керування і, що суттєво, його технічна реалізація [10].

Для опису хіміко-технологічних систем у просторі станів цілком логічно вважати компонентами вектора стану конкретні фізичні величини (температури, рівні, концентрації тощо).

Визначимо вектори параметрів, що характеризують керований хіміко-технологічний процес (рис. 2): 1) U – вектор керування; 2) X – вектор стану; 3) Y – вектор виходу; 4) Z – вектор збурень; Z' – підвектор – неозначеності, що вносяться при керуванні органами реалізації керуючих діянь; Z'' – підвектор – збурення, прикладені до керованого процесу; Z''' – підвектор – похибки та неоднозначності, що вносяться давачами технологічних параметрів та результатами лабораторних аналізів.

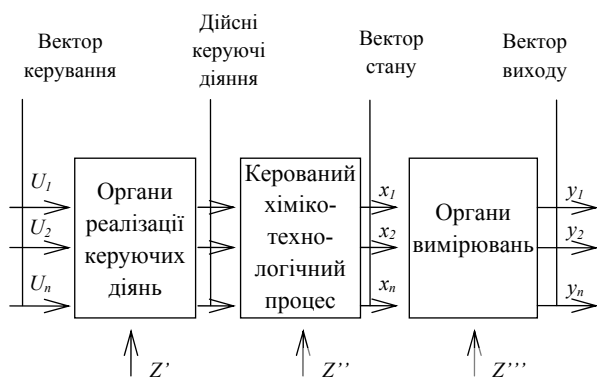


Рис. 2. Керований хіміко-технологічний процес

Для того щоб описати розвиток процесу за часом, приймається гіпотеза про те, що майбутній стан процесу залежить від стану в початковий момент; від значень керуючих діянь і збурень на інтервалі керування. Тоді мірою зміни процесу за часом буде, згідно із щойно прийнятими позначеннями векторів, похідна від вектора стану за часом:

$$\frac{d\bar{X}(t)}{dt} = \bar{F}[\bar{X}(t), \bar{U}(t), \bar{Z}(t)]. \quad (1)$$

Рівняння (1) зв'язує стан процесу із входами (керуючими діяннями та збуреннями). Крім того, для повного опису технологічного процесу необхідні ще рівняння зв'язків "вихід-стан" та прямий ("транзитний", без пам'яті) вплив керуючих діянь на вихід:

$$\bar{Y}(t) = \bar{G}[\bar{X}(t), \bar{U}(t)]. \quad (2)$$

До цього треба додати стан у початковий момент:

$$\bar{X}(t_0) = \bar{X}_0 \quad (3)$$

і зазначити, що в (1) та (2) \bar{F} та \bar{G} в загальному випадку – нелінійні вектор-функції.

Одне із центральних місць в математичних моделях посідають рівняння балансу маси та енергії, які складаються згідно загальної форми [7]:

$$\begin{bmatrix} \text{швидкість} \\ \text{накопичування} \\ \text{властивості} \end{bmatrix} = \sum \begin{bmatrix} \text{швидкість} \\ \text{входу} \\ \text{властивості} \end{bmatrix} - \sum \begin{bmatrix} \text{швидкість} \\ \text{виходу} \\ \text{властивості} \end{bmatrix} + \sum \begin{bmatrix} \text{швидкість утворення} \\ \text{властивості у процесі} \end{bmatrix}.$$

Реалізувати таку загальну форму дозволяють рівняння стану або рівняння руху об'єкта (1), а також рівняння виходу або рівняння вимірювань (2).

У даній роботі розглядається декілька прикладів (базовою обрана технологія виробництва аміаку із коксового газу), а саме: математична модель ємності із одним вхідним потоком, математична модель ємності з двома вхідними потоками, математична модель установки транспортування газового потоку.

1. Математичні моделі

Модель у формі «вхід-стан-вихід»

Об'єкт керування – ємність з одним вхідним потоком. Стан об'єкта визначається позицією x_1 клапана вентиля та рівнем x_2 рідини, керуюче діяння – напругою u_1 , вимірюваний вихід – видатком y_1 рідини, що витікає (рис. 3).

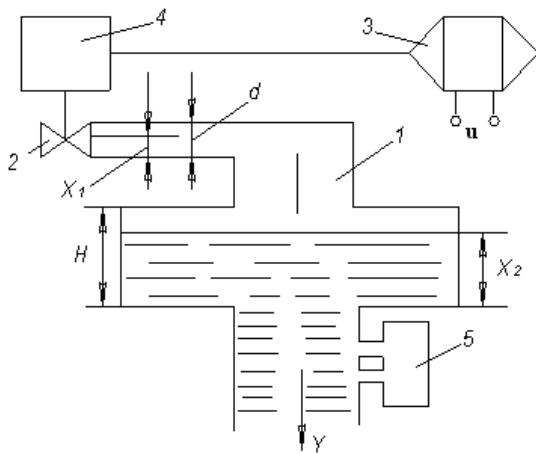


Рис. 3. Ємність із одним вхідним потоком
1 – ємність; 2 – вентиль; 3 – електродвигун; 4 – редуктор; 5 – дифманометр

Припускаючи, що швидкість обертання виконавчого двигуна пропорційна u_1 , дістанемо для x_1 :

$$\frac{dx_1}{dt} = k_1 u_1, \quad 0 \leq x_1 \leq d, \quad (4)$$

що справедливо для всіх x_1 . Далі, припускаючи, що вільна поверхня притоку лінійно залежить від x_1 , дістанемо для x_2 :

$$\frac{dx_2}{dt} = k_2 x_1 - k_3 x_2, \quad 0 \leq x_2 \leq H. \quad (5)$$

При незмінному перетині труби стоку видаток рідини є пропорційний гідростатичному тиску, який в свою чергу пропорційний рівню рідини (рівняння виходу):

$$y = k_3 x_2. \quad (6)$$

Рівняння стану об'єкта можна поєднати в одне векторно-матричне рівняння стану:

$$\begin{pmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ K_2 & -K_3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} K_1 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} U_1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (7)$$

або

$$\dot{X} = AX + BU,$$

де

$$X = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \end{pmatrix}, A = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ K_2 & -K_3 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} K_1 \\ 0 \end{pmatrix}, U = \begin{pmatrix} U_1 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Рівняння виходу також може бути подане у векторно-матричній формі:

$$Y = (0 \quad K_3) \cdot \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \end{pmatrix} \quad \text{або} \quad Y = C \cdot X, \quad (8)$$

де $C = (0 \quad K_3)$.

Початкові умови:

$$x(0) = (x_1(0), x_2(0))^T.$$

Нерівності $0 \leq x_1 \leq d, \quad 0 \leq x_2 \leq H$ визначають припустиму множину станів, а фізична неможливість реалізації напруги живлення двигуна більшої за деяку величину, визначає припустиму множину керувань. Таким чином, модель об'єкта керування, сформульована в термінах "вхід-стан-вихід", складається із рівняння стану; рівняння виходу; початкових умов; припустимої множини станів; припустимої множини керувань.

Розглянута в прикладі модель ємності виявилася лінійною, детермінованою, стаціонарною та безперервною.

Загальний вигляд такої моделі:

$$\begin{cases} \dot{\bar{X}} = A \cdot \bar{X} + B \cdot \bar{U}, & \bar{X}(0) = \bar{X}_0; & A[n \times n] \\ \bar{Y} = C \cdot \bar{X} & & B[n \times r]; \quad C[m \times n] \end{cases} \quad (9)$$

1.1. Математична модель двовимірного об'єкта. Розробимо математичну модель для ємності з двома вхідними потоками рідини, компонентами A та B (рис. 4).

Ціллю керування є підтримка заданого рівня в ємності та складу вихідного потоку. Якщо припустити, що в ємності відбувається ідеальне перемішування рідин, то це означатиме, що фізичні параметри суміші в резервуарі (склад, температура, щільність, питома теплоємність) дорівнюють відповідним параметрам вихідного потоку. Розглянемо як керуючі діяння об'ємні швидкості u_1, u_2 подавання компонентів A та B (м/год).

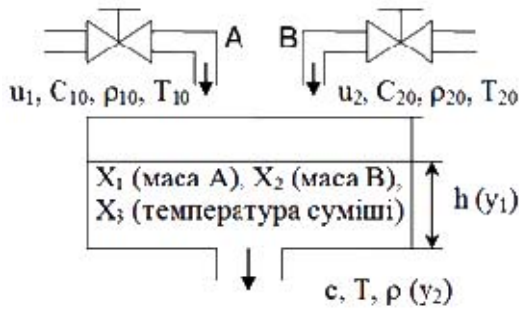


Рис. 4. Ємність із двома вхідними потоками

Вимірюваними вихідними величинами є рівень рідини $y_1 = h$ та щільність вихідного потоку $y_2 = \rho$. Враховуючи ціль керування, обираємо змінними стану масу компоненти A в суміші – x_1 (кг), масу компоненти B – x_2 (кг) та температуру суміші T – x_3 (°C).

Було здобуто математичну модель двовимірною об'єкта керування у вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь стану:

$$\dot{X}_1 = u_1 \rho_{10} - \frac{k}{\rho S} x_1, \quad (10)$$

$$\dot{X}_2 = u_2 \rho_{20} - \frac{k}{\rho S} x_2, \quad (11)$$

$$\dot{X}_3 = T = \frac{1}{x_1 + x_2} \left[\begin{matrix} u_1 \rho_{10} (T_{10} - T) + \\ u_2 \rho_{20} (T_{20} - T) + \\ q(T_0 - T) \end{matrix} \right]. \quad (12)$$

Рівняннями виходу будуть:

$$y_1 = \frac{x_1 + x_2}{\rho \cdot S}, \quad (13)$$

$$y_2 = \frac{x_1}{x_1 + x_2} \rho_1(x_3) + \frac{x_2}{x_1 + x_2} \rho_2(x_3). \quad (14)$$

У загальній векторній формі модель можна зобразити у вигляді:

$$\begin{cases} \dot{\bar{X}} = \bar{F}(\bar{X}, \bar{U}), \bar{X}(0) = \bar{X}_0; \\ \bar{Y} = \bar{G}(\bar{X}); \end{cases} \quad (15)$$

де

$$\bar{X} = (x_1, x_2, x_3)^T; \quad \bar{U} = (u_1, u_2)^T; \quad \bar{Y} = (y_1, y_2)^T,$$

а компонентами нелінійних вектор-функцій $F(X, U)$ та $G(X)$ є праві частини цих рівнянь.

Крім перелічених до моделі входять змінні, котрі за нашими припущеннями не вимірюються: T_{10} , T_{20} та T_0 , які слід розглядати як збурення, а також η_1 , η_2 – випадкові похибки вимірювань. Якщо замість діючих значень цих змінних підставити їхні середні значення, то в моделі з'являться випадкові вектори:

$$\begin{aligned} \dot{\bar{X}} &= \bar{F}(\bar{X}, \bar{U}) + \bar{\xi}(t), \quad \bar{X}(0) = \bar{X}_0, \quad (16) \\ \bar{Y} &= \bar{G}(\bar{X}) + \bar{\eta}(t). \end{aligned}$$

На відміну від детермінованої, цю модель можна назвати стохастичною моделлю об'єкта керування. Слід також відзначити універсальність детермінованої моделі: вона може бути використана для різних пар компонентів A та B з відомими фізичними властивостями, різними геометричними розмірами ємностей.

1.2. Математична модель технологічної установки транспортування газового потоку. Схему технологічної установки, де електричний двигун (D) з тиристорним керуванням (T) обертає компресор (K), який поставляє потік газу G_1 , у дві з'єднані послідовно ємності (C_1, C_2) показано на рис. 5 [11].

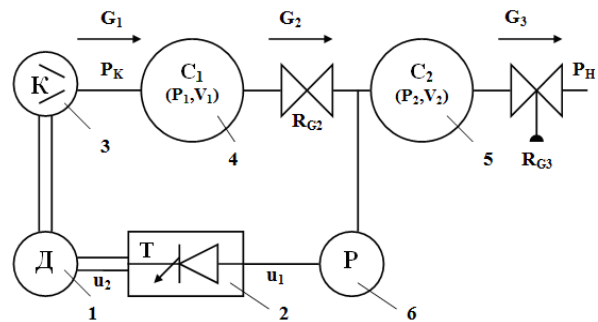


Рис. 5. Схema установки транспортування газового потоку: 1 – двигун; 2 – тиристор; 3 – компресор; 4, 5 – ємності; 6 – регулятор потоку

Регулятор P регулює потік газу G_2 (об'ємну швидкість) між ємкостями. Значення G_2 треба стабілізувати на деякому заданому рівні; R_{G_2} – постійний опір потоку, R_{G_3} – змінний (регульований) опір; P_k – тиск на виході компресора; P_1, P_2 – тиск в ємкостях; P_n – тиск на навантаженні.

Вважаючи все, що показано на рис. 5, як деяку технологічну систему, було розглянуто окремо дві її підсистеми (агрегат двигун-компресор та вузол ємностей) в процесі моделювання.

Отриману математичну модель динаміки установки (безперервну модель стану) можна представити наступним чином [12].

У класичній узагальненій формі рівняннями стану будуть:

$$\begin{aligned} \dot{X}_1 &= F_1(x_1, x_2, x_3, u_1, u_2); \\ \dot{X}_2 &= F_2(x_1, x_2, x_3, u_1, u_2); \\ \dot{X}_3 &= F_3(x_1, x_2, x_3, u_1, u_2). \end{aligned} \quad (17)$$

Як вихідні застосовуються ті величини, що представляють інтерес для розв'язуваної задачі. Для нашого прикладу це будуть: y_1 – тиск P_2 ; y_2 – потік маси G_2 . Таким чином, рівняннями виходу будуть:

$$y_1 = p_2; \quad (18)$$

$$y_2 = d_2 \sqrt{(p_1 - p_2) p_2} = 0.4 \sqrt{(p_1 - p_2) p_2} \quad (19)$$

2. Пакет прикладних програм

Як інструмент реалізації описаного вище було розроблено пакет прикладних програм «Керування хіміко-технологічними процесами».

Створений пакет програм призначений для розрахунку безперервних та дискретних динамічних процесів та контурів керування у часовій області.

Для реалізації алгоритмів розрахунку було використано широко розповсюджене середовище програмування VBA Excel [20]. У результаті було створено файл Excel – STAU.xlsm.

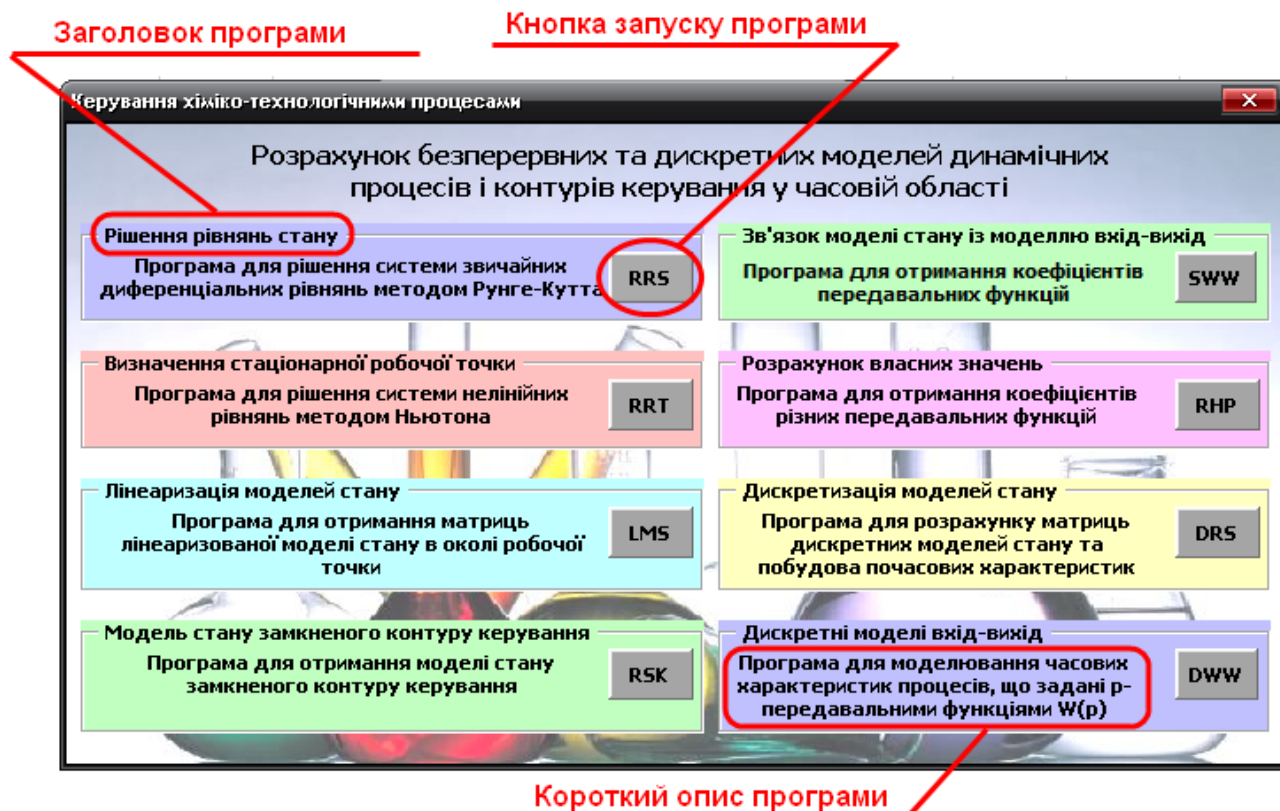


Рис. 6. Головне вікно пакета прикладних програм

Після запуску файлу з'являється аркуш Excel, у якому користувач може обрати необхідну дію: запустити пакет програм, побудувати графік (при наявності розрахунків) та очистити сторінку.

Розроблений пакет містить вісім програм (рис. 6):

- програма рішення рівнянь стану RRS;
- програма визначення стаціонарної робочої точки RRT;
- програма лінеаризації моделі стану LMS;
- програма побудови моделі стану замкненого контуру керування RSK;
- програма зв'язку моделі стану та моделі «вхід-вихід» SWW;
- програма розрахунку власних значень RHP;
- програма вирішення дискретних рівнянь стану DRS;
- програма вирішення дискретного диференціального рівняння DWW.

Розглянемо структуру та можливості кожної із них.

2.1. Рішення рівнянь стану, програма RRS. Система рівнянь стану у вигляді (15) є системою N нелінійних звичайних диференціальних рівнянь першого порядку [13]. Для її приблизного розв'язання існує досить багато методів обчислювальної математики, які базуються, зокрема, на тому, що безперервний час t подається у вигляді ряду дискретних значень $t = k \cdot T$, де T – інтервал між двома сусідніми значеннями. У даному програмі реалізований алгоритм розрахунку рівнянь стану за допомогою методу Рунге-Кутта [13].

Програмний модуль складається із двох підпрограм: підпрограма розрахунку правих частин РСН та підпрограма розрахунку вихідних параметрів WP, який програмується споживачем. Однак через те, що ці параметри розраховуються на основі параметрів стану за допомогою простих алгебраїчних залежностей, ніяких складностей тут не виникає.

Після запуску програми відбувається введення початкових даних у діалозі зі споживачем (порядок системи, кількість керування, кількість виходів, інтервал квантуван-

ня та ін.).

Вивід результатів організовано на аркуш Excel. Також є можливість графічної побудови отриманих результатів.

Результати роботи програми на прикладі установки транспортування газового потоку показані на рис. 7 і відображують зміну вихідних параметрів – тиску P_2 та видатку G_2 за часом для наступних початкових умов та значень керувань: порядок системи – 3; кількість керувань – 2; кількість виходів – 2; керування – $u_1 = 0,08$; $u_2 = 1$; початкові умови – $x_1 = 0,1$; $x_2 = 0,1$; $x_3 = 0,1$).

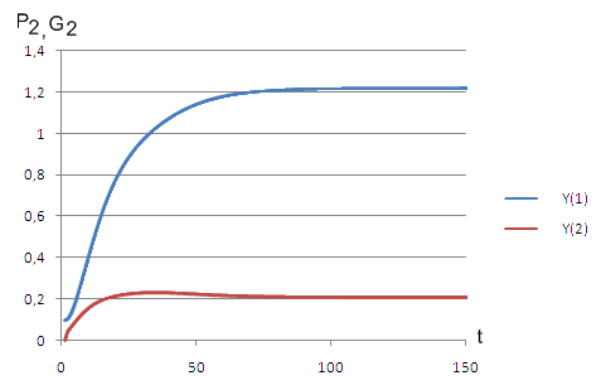


Рис. 7. Залежність тиску P_2 та видатку G_2 від часу

2.2. Визначення стаціонарної робочої точки, програма RRT. Для визначення стаціонарного режиму динамічної системи, за яким всі змінні залишаються стабільними, треба, щоб ліві частини і рівняння стану дорівнювали нулю. Це призводить до системи, найчастіше нелінійних, алгебраїчних рівнянь з кількома невідомими. Рішення (корені) такої системи дають координати шуканої робочої точки. В основу алгоритму рішення покладено відомий ньютонівський метод послідовних наближень, або метод дотичних [13].

У програмі RRT виділимо дві підпрограми інвертування матриці INV та розрахунку правих частин РСН.

Підпрограма INV виконує стандартну процедуру інвертування матриці із перевіркою умови $Y(1,1) = 0$. При виконанні цієї умови матриця не є такою, що може бути інвертована. В цьому випадку обчислення перериваються, стає потрібним новий цикл

розрахунків з іншими початковими наближеннями.

Підпрограма обчислення правих частин РСН містить у собі, крім правих частин рівнянь стану, ще рівняння виходу, в лівій частині яких знаходяться бажані значення вихідних параметрів. Як і при вирішенні рівнянь стану, цю підпрограму треба підготувати самому споживачеві. Особливістю підготовки є те, що керуванням надаються імена старших елементів масиву X . Наприклад, якщо $n = 6$, то при чотирьох параметрах стану і двох керуваннях, керування будуть мати імена $X(5), X(6)$.

Налагодження програми забезпечує введення у діалоговому режимі значень розмірності n , відхилення DEL і початкових наближень стану та керувань $X(1), \dots, X(n)$. Звичайно, ці наближення мають лежати поблизу очікуваних значень рішення, що найчастіше буває відомо із технологічних міркувань.

Результати розрахунків для ємності з двома входами (для значень вихідних параметрів $y_1 = 0,3$, $y_2 = 1250$ та наступними початковими умовами: $x_1 = 300$; $x_2 = 300$; $x_3 = 50$; $x_4 = 0,005$; $x_5 = 0,015$) виводяться у діалоговому вікні (рис. 8).

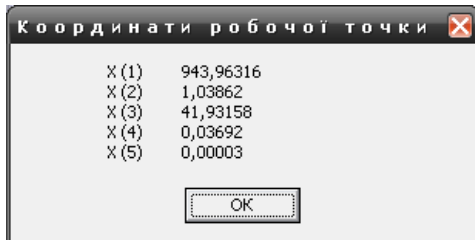


Рис. 8. Результати роботи програми RRT

2.3. Лінеаризація моделі стану, програма LMS. Багато досліджень динаміки хіміко-технологічних процесів ґрунтуються на лінійних моделях. Для цього нелінійні функції F_i , G_i замінюються на лінійні в околі робочої точки, координати якої відповідають конкретному технологічному режиму. Найчастіше, це стаціонарна точка знайдена за допомогою програми RRT.

Структурно програма LMS, як і попередні програми, складається із підпрограм РСН правих частин рівнянь стану та рівнянь виходу. У програмі змінні стану X та керу-

вання U поєднані в одному масиві $V(n+m)$: перші n елементів цього масиву є параметрами стану, останні m – керування. Таким самим чином, масив $F(n+r)$ містить коефіцієнти функцій F та G . У програмі виконується послідовно обчислення частинних похідних у кількості $(n+r) \cdot (n+m)$ та занесення результатів у масиви A, B, C, D . У процесі обчислень виконуються багаторазові звернення до підпрограми РСН, де містяться підготовлені споживачем функції – праві частини рівнянь стану та рівнянь виходу. При налагодженні програми у діалоговому режимі вводяться відхилення DEL та координати робочої точки у кількості $n+m$. Вивід результатів роботи програми виконується головною програмою у вигляді матриць стану A , керування B , спостереження C , транзитиву D .

Наведемо результати роботи програми при наступних координатах робочої точки: $x_1 = 1,3982$; $x_2 = 1,1125$; $x_3 = 0,8$; $u_1 = 0,7865$; $u_2 = 1$ (рис. 9).

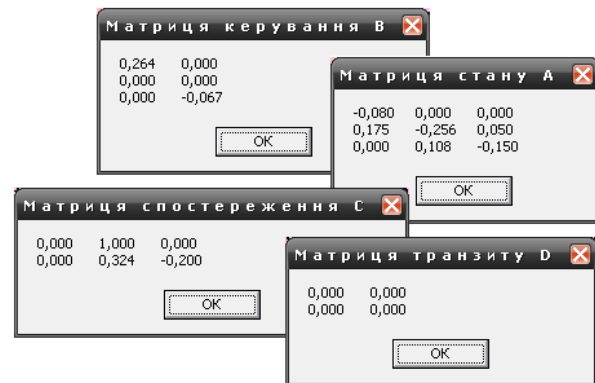


Рис. 9. Результати роботи програми LMS

2.4. Модель стану замкненого контуру керування, програма RSK. На основі розглянутих заходів з моделювання хіміко-технологічних процесів у просторі станів, визначення координат робочої точки, лінеаризації моделі і здійснення таким чином переходу до найбільш зручної та простої моделі можна поставити наступну задачу. Для класичного замкненого контуру керування: а) скласти моделі стану для технологічного процесу та для керуючого пристрою; б) скласти модель стану замкненого контуру.

Програма RSK як вхідні використо-

вує матриці моделі технологічного процесу у просторі станів, яка лінеаризована в околиці робочої точки, а також дані про закон керування (k_n, k_i, k_d) . Дані вводяться за допомогою раніше підготовленого текстового документу. Програма виконує обчислення та вивід матриці A^* – масив $A(n+1, n+1)$, матриці $B^* = (b_w^*, b_z^*)$ – масив $B(n+1, 2)$, вектор-рядка C^* масив $C(n+1)$, коефіцієнтів $d^{*T} = (d_w^*, d_z^*)$ – масив $D(2)$.

Якщо програма RSK використовується для розрахунку замкненого контуру із законом керування без I -складової, то останній стовпець матриці A складається тільки із нульових елементів. Щодо використання D -складової, то це можливо лише тоді, коли матриця транзиту дорівнює нулю. Підпрограма інвертування матриць INV аналогічний тому, що використовується у програмі RRT.

Приклад застосування програми RSK показаний на рис. 10. Дані про конкретні значення параметрів закону керування $(k_n = 7, k_I = 0,75)$ взяті з відомих інженерних методик їх визначення [14, 16]. Як вхідні використані матриці лінеаризованих моделей стану.

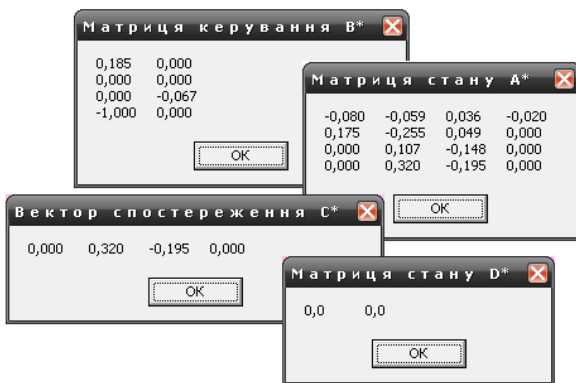


Рис. 10. Результати роботи програми LMS

2.5. Зв'язок між моделлю стану та моделлю «вхід-вихід», програма SWW. Дуже важливим є також питання про перехід від моделі стану до передавальної функції $W(p)$ [15]:

$$W(p) = \frac{y(p)}{u(p)} = \bar{c}^T (pE - A)^{-1} b + d. \quad (20)$$

Рівняння (20) є шуканим рівнянням зв'язку між моделлю "вхід-вихід" та моделлю стану з параметрами A, \bar{b}, \bar{c}^T, d . У обчислювальному аспекті в рівнянні (20) найбільш складним є отримання зворотної матриці $(pE - A)^{-1}$ як функції від p . Зрозуміло, що звичайні методи інверсії чисельних матриць в цьому випадку неприйнятні. Як особливий може бути використаний алгоритм Фадєєва, який використано у програмі SWW [19].

За даним алгоритмом здійснюється розрахунок коефіцієнтів поліномів чисельника та знаменника передавальної функції.

Як вихідні дані для цієї програми використовується лінійна форма моделі стану, введення матриць якої виконується за допомогою текстового файлу. Всі розрахунки і вивід результатів виконуються у головному модулі.

Розглянемо приклад розрахунків за допомогою програми SWW коефіцієнтів передавальних функцій (рис. 11). Як вхідні дані використано: моделі стану об'єктів, що лінеаризовані в околі робочої точки – це результати роботи програми LMS; моделі стану замкнених контурів керування – результати роботи програми RSK.

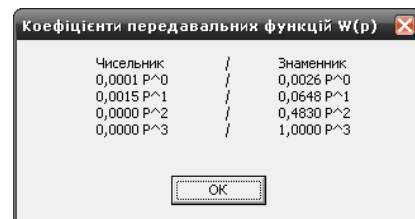


Рис. 11. Результати роботи програми SWW

2.6. Розрахунок власних значень, програма RHP. Велике значення для оцінки динамічних властивостей лінійних систем мають їхні власні значення (числа) p_i . Це є незалежним від форми моделей, якими описуються ці системи: система порядку n має рівно n власних значень. З кожним власним значенням пов'язаний характер поведінки системи у функції часу [13, 17].

Програма RHP виконує у діалозі із споживачем пошук власних значень характеристичного полінома. У програмі є три підпрограми: VHP – будовання характеристичного полінома з матриці стану A ; GOR – схема Горнера [13] (для пошуку дійсних коренів); KOL – схема Колатца [17] (для пошуку комплексних коренів).

За допомогою програми RHP для матриці A (лінеаризована модель) було спочатку знайдено характеристичний поліном, а потім визначено його корені (рис. 12).

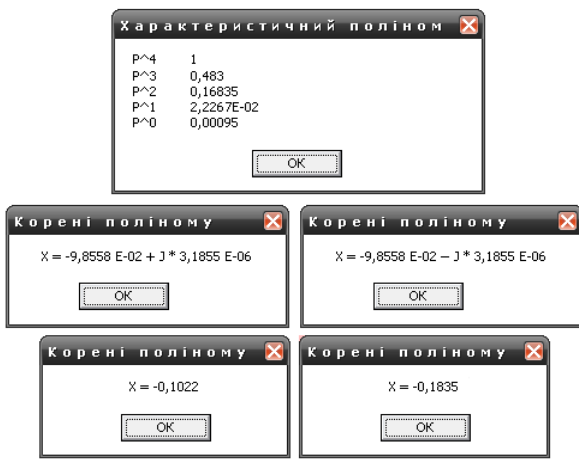


Рис. 12. Результати роботи програми SWW

В дискретних моделях на місяцях $\bar{U}(t)$, $\bar{X}(t)$ та $\bar{Y}(t)$ з'являються відповідні послідовності дискретних за часом значень u_k , x_k та y_k дістаємо:

$$X_{k+1} = \rho \cdot X_k + R \cdot U_k; \quad (21)$$

$$Y_k = c \cdot X_k + D \cdot U_k. \quad (22)$$

Таким чином, матриці рівнянь виходу внаслідок дискретизації не змінились, а до рівнянь стану увійшли нові матриці: P (фундаментальна матриця системи) та R (матриця керування). Ця обставина може бути пояснена таким чином. Щоб перейти від безперервного рівняння стану до дискретного, необхідно розв'язати рівняння, що описує вихідну безперервну систему і в отриманому результаті використати тільки ті значення, які відповідають моментам квантування.

У програмі DRS як вихідний використовується вже не безперервний, а дискретний випадковий сигнал. Його отримують за допомогою стандартної функції RND, вихідний сигнал якої еквівалентний сигналу білого шуму.

Використання програми DRS можливе за двома пунктами. За пунктом 1 – отримання матриць P та R дискретних моделей – дало результати, які наведені на рис. 13. Слід звернути увагу на те, що, як і слід було очікувати, величина T впливає на результат.

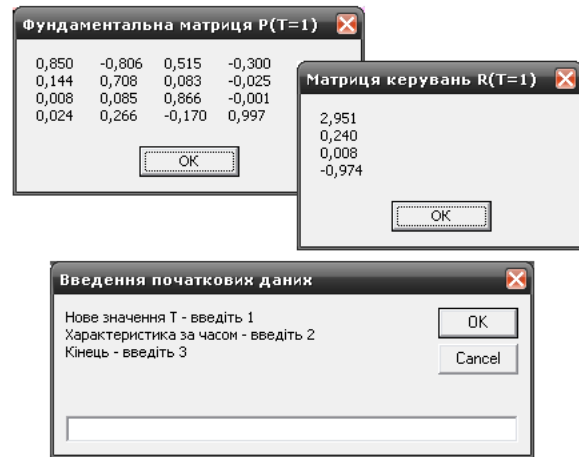


Рис. 13. Результати роботи програми DRS за першим пунктом (отримання матриць P та R)

Використання програми DRS за пунктом 2 здійснюється у діалозі зі споживачем. Після встановлення кількості параметрів стану, входу та виходу треба зазначити, для яких саме входів-виходів будуть виконуватися розрахунки та побудова почасових характеристик (рис. 14). В процесі роботи залишається можливість повернення до попередніх етапів з метою зміни деяких умов: інтервалу дискретизації, початкових умов.

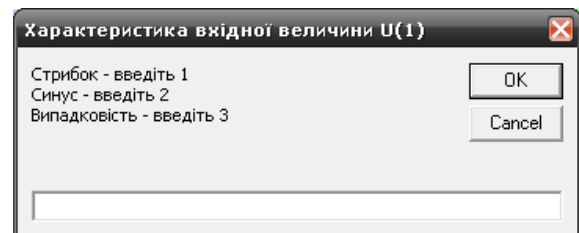


Рис. 14. Можливі вхідні сигнали системи

На рис. 15 показані реакції об'єкта

та замкненого контуру на одиничний поштовх, отримані графічно за допомогою програми DRS.

2.8. Вирішення дискретного диференціального рівняння, програма DWW. Програма DWW вирішення дискретних моделей у формі "вхід-вихід" дозволяє виконувати моделювання часових характеристик процесів, що задані p -передавальними функціями $W(p)$ [18].

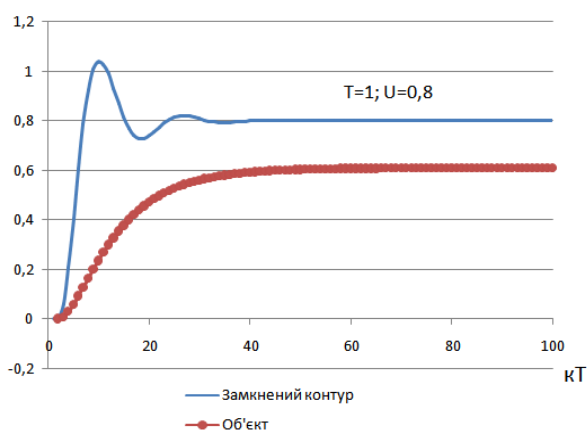


Рис. 15. Часові характеристики за DRS

Розраховуються реакції на східчасті, синусоїдальні та випадкові вхідні діяння. Як вхідні дані програма дістає коефіцієнти поліномів чисельника та знаменника.

Результати використання програми DWW показані на рис. 16.

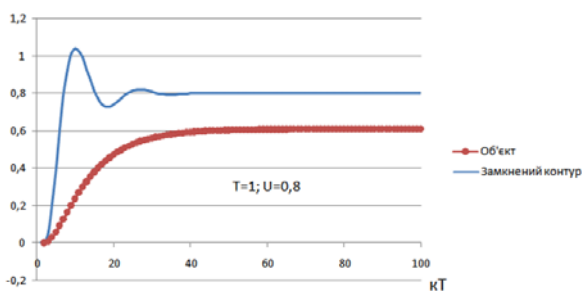


Рис. 16. Часові характеристики за DWW

Як видно із графіка, отримані часові характеристики збігаються з тими, що були отримані за допомогою програми DRS, коли ми за допомогою вектор-рядка c^{-T} обираємо якийсь конкретний канал "вхід-вихід".

Висновки

У роботі розглянуто коло питань, пов'язаних із керуванням хіміко-технологічними процесами у часовій області. На основі безперервних та дискретних моделей динамічних процесів виконані розрахунки локальних систем керування із застосуванням розробленого пакету прикладних програм, побудованих на основі чисельних методів.

Розроблений пакет прикладних програм – це сучасний зручний інструмент, що може бути використаний як для цілей розробки реальних проектів АСУ в різних технологічних областях, так і для навчальних цілей.

1. *Фельдбаум А.А., Бутковский А.Г.* Методы теории автоматического управления. – М.: Наука, 1971. – 794 с.
2. *Згуровский М.З.* Современная теория управления. – Киев: УМК ВО, 1989. – 195 с.
3. *Ротач В.Я.* Теория автоматического управления: учебник для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 396 с.
4. *Ивахненко А.Г.* Кибернетические предсказывающие устройства. – Киев: Наукова думка, 1965. – 213 с.
5. *Анисимов И.В.* Основы автоматического управления технологическими процессами нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. – Л.: Издательство «Химия», 1967. – 408 с.
6. *Перов В.Л.* Основы теории автоматического регулирования химико-технологических процессов. – М.: Издательство «Химия», 1970. – 352 с.
7. *Медведев Р.Б.* Керування хіміко-технологічними процесами. Навчальний посібник. – К.: ІСДО, 1994. – 160 с.
8. *Мирошник И.В.* Теория автоматического управления // Нелинейные и оптимальные системы. – СПб: Питер, 2006 – 271 с.
9. *Бондарь А.Г., Медведев Р.Б., Федоров А.В.* Реализация подсистемы управления блоком синтеза в АСУ ТП производства аммиака // Управляющие системы и машины. – 1980. – № 4. – С. 37–40.
10. *Медведев Р.Б., Минаков А.С., Федоров А.В.* Система автоматизированного управления процессом синтеза аммиака из коксового газа // Кокс и химия. – 1982. – № 11. – С. 43–46.
11. *Brack G.* Prozess und Regelkreisdynamik. – Berlin: Verl.Technik. – 1988. – 88 s.

12. *Плановский А.Н., Николаев П.И.* Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. – М.: Химия, 1987. – 495 с.
13. *Брановицкая С.В., Медведев Р.Б., Фиалков Ю.А.* Вычислительная математика в химии и химической технологии. – Киев: Вища школа, 1986. – 215 с.
14. *Гурецкий Х.* Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. – М.: Машиностроение, 1974. – 327 с.
15. *Глушков В.М.* Энциклопедия кибернетики. – Київ: Головна редакція УРЕ, 1973. – Т. 1– 583 с.; Т. 2– 571 с.
16. *Дудников Е.Г.* Автоматическое управление в химической промышленности: Учебник для вузов. – М.: Химия, 1987. – 368 с.
17. *Хемминг Р.В.* Численные методы. – М.: Наука, 1972. – 398 с.
18. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красавского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.
19. *Копченова Н.В., Марон Н.А.* Вычислительная математика в примерах и задачах. – М.: Наука, 1972. – 368 с.
20. *Уокенбах Дж.* Профессиональное программирование на VBA в Excel. – Вильямс, 2006. – 800 с.

Про авторів:

Мердух Світлана Леонідівна,
аспірантка,

Медведев Ромуальд Броніславович,
кандидат технічних наук, професор.

Місце роботи авторів:

Національний технічний
університет України «КПІ»,
Україна, Київ-03056,
проспект Перемоги, 37.
Тел.: (044) 454 9783.
E-mail: merdukh.svetlana@yandex.ru
E-mail: medvedev@ntu-kpi.kiev.ua

Одержано 24.10.2011