

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

**Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій**

**Методичні вказівки**

**для виконання курсової роботи з дисципліни**

# **«Ідентифікація та моделювання технологічних процесів»**

Тернопіль

2017

УДК 681.3  
М54

Укладач:  
*Левицький В.В.*, канд. техн. наук, доцент.

Методичні вказівки розглянуто й затверджено на засіданні методичного семінару кафедри комп'ютерно інтегрованих технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.  
Протокол № 1 від 28 серпня 2017 р.

Методичні вказівки для виконання курсової роботи з дисципліни  
М54 «Ідентифікація та моделювання технологічних процесів» / Укладач :  
*Левицький В.В.* – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 32 с.

УДК 681.3

Методичний посібник містить завдання для студентів, які вивчають дисципліну «Ідентифікація та моделювання технологічних процесів». Виконання курсової роботи сприятиме набуттю та закріпленню теоретичних і практичних знань щодо розв'язання інженерних задач математичного моделювання, а також закріпленню вміння програмувати в математичному пакеті Matlab.

Може бути використано студентами, аспірантами та науковими співробітниками, які займаються питаннями побудови та дослідження математичних моделей об'єктів за даними пасивного експерименту.

Відповідальний за випуск: *Левицький В.В.*, канд. техн. наук, доцент.

© Левицький В.В., ..... 2017  
© Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, ..... 2017

## ПЕРЕДМОВА

Дисципліну “Ідентифікація та моделювання технологічних процесів” вивчають студенти четвертого курсу стаціонару та п'ятого курсу заочної форми навчання, які навчаються за напрямом “Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”.

Метою вивчення дисципліни є набуття знань, умінь, навичок, які дозволили б розв'язувати задачі: організації та проведення експериментальних досліджень та опрацювання даних задля ідентифікації об'єктів та систем керування, побудови математичних моделей статички та динаміки, раціонального вибору методів ідентифікації задля розв'язування конкретної задачі керування технологічним процесом аналітичними та експериментальними методами.

### **Програма дисципліни “Ідентифікація та моделювання технологічних процесів”**

#### ***1 Класифікація об'єктів та методів ідентифікації.***

Постановка задачі ідентифікації. Основні означення та етапи процедури ідентифікації. Класифікація моделей та об'єктів дослідження за рівнем апріорної інформації. Класифікація методів ідентифікації. Деякі вимоги щодо методів ідентифікації. Імітаційне моделювання технологічних об'єктів.

#### ***2 Аналіз експериментальних даних для ідентифікації об'єкта.***

Види здобування експериментальних даних: активний та пасивний. Оцінювання статистичних величин. Методи оцінювання гіпотез про статистичні характеристики об'єктів: стаціонарність, закон розподілу, корельованість. Програмування статистичного аналізу експериментальних даних у Matlab

#### ***3 Структурна ідентифікація.***

Вилучання лінійно-залежних змінних для стаціонарних об'єктів (H-метод). Вилучання лінійно-залежних змінних для нестаціонарних об'єктів (K-метод). Визначання інформативності параметрів моделі. Оцінювання лінійності залежності між вхідним та вихідним параметрами. Повний перелік комбінацій структури моделі. Оптимізація обирання структури математичної моделі серед заданих можливих її комбінацій; поняття циклу, ядра, довжини і ваги циклу моделі, розщиплені моделі. Програмування задач структурної ідентифікації в Matlab.

#### ***4 Методи ідентифікації статичних характеристик об'єктів.***

Основи кореляційного та регресійного аналізу. Метод найменших квадратів. Кореляційна модель статички. Регресійні методи для об'єктів з кількома входами та кількома виходами: лінійні, нелінійні, степеневі, мішані. Метод гуртового обліку аргументів. Апроксимація статичних характеристик ортогональними функціями. Побудова моделі за різної кількості вимірювань змінних. Планування активного експерименту задля моделювання статичних характеристик об'єктів. Статистичний аналіз рівнянь регресії. Тестові сигнали. Програ-

мування задач визначання та аналізу моделей статичних характеристик технологічних об'єктів. Програмування задач статичних характеристик ідентифікації в Matlab.

### ***5 Динамічні характеристики об'єктів.***

Основні динамічні характеристики систем і об'єктів управління. Експериментальне здобуття перехідних, імпульсних та частотних характеристик. Визначання кореляційних функцій експериментальних даних, види кореляторів. Визначення спектральних щільностей експериментальних даних. Дискретизація, квантування та інтерполювання експериментальних даних. Дискретні моделі динаміки: методи Z-перетворювання задля моделювання динамічних об'єктів, різнісні рівняння. Види моделей динамічних характеристик: AR, ARX, ARMAX, OE, BJ, PEM. Динамічні моделі із змінними стану. Побудова неперервних динамічних моделей в Matlab.

### ***6 Методи ідентифікації динамічних характеристик.***

Дослідження динамічних характеристик за допомогою EOM: пакет System Identification Toolbox, th-модель, основні функції побудови та дослідження моделей динамічних характеристик об'єктів. Пакет Control System Toolbox. Призначення пакета. tf-модель. Функції задля визначання динамічних характеристик моделей. Графічний інтерфейс Control System Toolbox. Ідентифікація лінійних та нелінійних динамічних об'єктів. Методи, базовані на лінеаризації характеристик об'єктів. Частотні методи ідентифікації нелінійних динамічних об'єктів. Методи ідентифікації з апроксимацією характеристик об'єктів та сигналів. Ортогональні функції для апроксимації динамічних характеристик. Апроксимація імпульсної та перехідної функцій. Апроксимація кореляційних функцій. Апроксимація сигналів та їхніх характеристик. Апроксимація передавальної функції об'єкта.

### ***7 Аналіз якості ідентифікації.***

Критерії адекватності об'єкта та моделі. Визначення завадостійкості та чутливості параметрів моделей. Визначання керованості та наочності об'єктів. Точність ідентифікації. Помилки, пов'язані з наявністю шумів, неідеальності моделі, квантуванням вхідних та вихідних сигналів об'єкта, пропущених вимірювань сигналів.

### ***8 Адаптивні методи визначання параметрів моделі.***

Гرادієнтні методи. Метод стохастичної апроксимації. Адаптивні методи ідентифікації статичних характеристик: Качмажа, Некрасова, Нагумо – Нода. Адаптивні методи ідентифікації динамічних характеристик з використанням диференційних рівнянь та апроксимації ортогональними функціями. Методи ідентифікації параметрів моделі для прогнозування. Математичне моделювання типових технологічних об'єктів галузі. Програмування адаптивних методів ідентифікації в Matlab.

## **Вимоги щодо оформлення курсової роботи**

1 Курсова робота оформлюється на листах А4. Курсову роботу пишуть від руки, але графіки результатів обчислень, які виконано на комп'ютері, можна роздрукувати та вклеїти (або вставити) як рисунки.

2 Сторінки роботи, окрім титульної, має бути пронумеровано і підшито у швидкозшивачі.

3 Слід заповнювати лише один бік аркуша із залишенням полів задля уваг викладача.

4 Перша сторінка роботи – титульний лист (не нумерується), на якому такі відомості: назва навчального закладу, назва дисципліни, тема курсової роботи, навчальна група, прізвище та ініціали студента, посада і прізвище викладача – керівника курсової роботи.

5 Друга сторінка роботи – зміст курсової роботи з номерами сторінок: постановка задачі (загальна та індивідуальні завдання згідно з варіантом), опис об'єкта ідентифікації та дані вимірювань (згідно з варіантом), чотири розділи завдання (наведені нижче), висновки, список використаної літератури.

6 Для кожного розділу завдання курсової роботи треба навести:

- теоретичні відомості щодо методів розв'язування завдання;
- опис функцій Matlab задля завдання розділу;
- текст програми мовою Matlab;
- результати обчислень на комп'ютері (якщо значень масиву багато, то навести по 10 початкових та кінцевих значень);
- графіки результатів.

7 У висновках до курсової роботи слід узагальнити статистичні характеристики об'єкта, навести одержані у роботі математичні описи статичної та динамічної моделі, оцінки похибок моделей.

8 Наприкінці роботи треба поставити власний підпис та дату виконання роботи.

## **ЗМІСТ ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ**

**Тема курсової роботи:** «Ідентифікація та моделювання технологічних процесів за даними пасивного експерименту»

### **Постановка задачі курсової роботи**

Курсова робота присвячена розв'язанню задачі ідентифікації технологічних процесів у «широкому розумінні» і складається з таких завдань:

1 Аналіз статистичних характеристик об'єкта за даними пасивного експерименту та обрання структури моделі.

2 Визначання параметрів статичної моделі об'єкта за обраною структурою. Аналіз побудованої статичної моделі.

- 3 Визначання динамічних моделей об'єкта за даними пасивного експерименту.
- 4 Аналіз результатів побудови динамічної моделі.

Індивідуальні варіанти до завдань наведено в таблиці 1 (стор.8).

Опис двох технологічних об'єктів та дані вимірювань на їхніх входах та виходах (дані пасивного експерименту на об'єктах) наведено у таблицях 2 та 3, які обирають згідно з варіантом. Дані вимірювань розміщено на комп'ютерах у дисплейних класах в файлах *dan1.txt* та *process\_2.txt*, їх можна також одержати в електронному вигляді у викладача. Основні формули та функції для програмування в Matlab наведено у відповідних розділах методичного посібника.

### **Завдання 1 Аналіз статистичних характеристик об'єкта за даними пасивного експерименту та обрання структури моделі**

Для заданого набору значень вимірювань на входах та виходах технологічного процесу згідно з індивідуальним варіантом (табл.1, **стовпчик 2**) виконати такі обчислення в Matlab:

**1.1** Визначити середнє, медіану, дисперсію, середньоквадратичне відхилення для всіх вимірювань параметрів на вході (**стовпчик 3**) та виході (**стовпчик 4**).

**1.2** Побудувати графіки й гістограми кожного параметра.

**1.3** Обчислити матрицю коефіцієнтів корелювання параметрів.

**1.4** Виконати такі завдання відповідно до *індивідуального завдання* (табл. 1, **стовпчик 5**):

- a*) оцінити гіпотезу про стаціонарність даних за середніми значеннями і дисперсіях вимірювань;
- b*) оцінити гіпотезу про стаціонарність даних за критерієм серій;
- c*) оцінити гіпотезу про стаціонарність закону розподілу за t-критерієм;
- d*) оцінити гіпотезу про нормальність закону розподілу за критерієм Шапіро – Уїлка;
- e*) оцінити гіпотезу про нормальність закону розподілу за критерієм  $\chi^2$ ;
- f*) оцінити гіпотезу про нормальність закону розподілу за критерієм Колмогорова;
- g*) оцінити гіпотезу про нормальність закону розподілу за значеннями асиметрії та ексцесу;
- h*) визначити оптимальний крок квантування та довжину реалізації експериментальних даних;
- i*) оцінити корельованість параметрів на вході та виході;
- j*) визначити лінійність залежності поміж вхідними параметрами (Н-метод);
- k*) визначити ступінь нелінійності поміж входами й виходом;
- l*) визначити інформативність параметрів на вході об'єкта.

**1.5** На підставі попередніх досліджень дати рекомендації щодо структури моделі.

## **Завдання 2 Визначання параметрів статичної моделі об'єкта за обраною структурою. Аналіз побудованої статичної моделі**

**2.1** Побудувати статичну модель технологічного об'єкта відповідно до *індивідуального завдання* (табл. 1, **стовпчик 6**) у вигляді:

- a*) лінійної моделі всіх параметрів на вході об'єкта;
- b*) лінійної моделі перших трьох параметрів на вході об'єкта;
- c*) змішаної моделі першого й третього параметрів на вході об'єкта (за списком стовпчика 3);
- d*) змішаної моделі першого й четвертого параметрів на вході об'єкта (за списком стовпчика 3);
- e*) змішаної моделі другого й третього параметрів на вході об'єкта (за списком стовпчика 3);
- f*) ступеневої моделі третього ступеня для другого й третього параметрів на вході об'єкта (за списком стовпчика 3);
- g*) ступеневої моделі третього ступеня для першого й третього параметрів на вході об'єкта (за списком стовпчика 3);

**2.2** Визначити міру адекватності статичної моделі як середньоквадратичне відхилення моделі й об'єкта.

**2.3** Визначити завадостійкість моделі та міру обумовленості матриці.

## **Завдання 3 Визначання динамічних моделей об'єкта за даними пасивного експерименту.**

**3.1** Визначити кореляційні функції та побудувати їхні графіки.

**3.2** Визначити імпульсні характеристики й побудувати їхні графіки.

**3.3** Визначити частотні й спектральні характеристики.

**3.4** Побудувати відповідно до *індивідуального завдання* (табл. 1, **стовпчик 7**) параметричні моделі об'єкта в тета-форматі: AR – авторегресії, ARX – авторегресії із зовнішнім входом, ARMAX – авторегресії ковзного середнього, OE – “вихід-помилка”, BJ – Бокса-Дженкінса, PEM (узагальнену параметричну модель).

**3.5** За результатами побудови моделей у тета-форматі визначити відповідно до *індивідуального завдання* (табл. 1, **стовпчик 8**):

- a*) нулі й полюси моделей;
- b*) передавальні функції каналів та всієї моделі;
- c*) модель у вигляді змінних стану;
- d*) перехідні функції.

## Завдання 4 Аналіз результатів побудови динамічної моделі

4.1 Визначити значення виходу та помилки моделі.

4.2 Побудувати графіки виходу об'єкта й динамічної моделі в одному рисунку.

4.3 Визначити спостережність та керованість об'єкта.

Таблиця 1 – Індивідуальні варіанти до завдань курсової роботи

№ варіанта	Варіант файла даних	Варіанти даних на вході моделі (з файла даних)	Варіанти даних на виході моделі (з файла даних)	Варіанти до завдання 1	Варіанти статичної моделі (завдання 2.1)	Вигляд динамічних моделей (завдання 3.4)	Динамічні характеристики (завдання 3.5)
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
1	1	$x_1, x_2, x_3, x_4$	$y_1$	$a, d, l$	$a$	AR, ARMAX	$a$
2	1	$x_1, x_2, x_3, x_4$	$y_2$	$b, e, h$	$b$	AR, ARMAX	$b$
3	1	$x_1, x_2, x_3, x_5$	$y_3$	$c, f, i$	$c$	ARMAX, OE	$c$
4	1	$x_1, x_2, x_3, x_5$	$y_4$	$a, g, k$	$d$	ARMAX, OE	$d$
5	1	$x_1, x_3, x_5, x_6$	$y_5$	$b, d, j$	$e$	AR, OE	$a$
6	1	$x_1, x_3, x_5, x_6$	$y_1$	$c, e, l$	$f$	AR, OE	$b$
7	1	$x_1, x_3, x_4, x_5$	$y_2$	$a, f, h$	$g$	ARMAX, BJ	$c$
8	1	$x_1, x_3, x_4, x_5$	$y_3$	$b, g, i$	$a$	ARMAX, BJ	$d$
9	2	$x_1, x_2, x_3, x_6$	$y_1$	$c, d, k$	$b$	AR, PEM	$a$
10	2	$x_1, x_2, x_3, x_7$	$y_2$	$a, e, j$	$c$	AR, PEM	$b$
11	2	$x_1, x_3, x_4, x_6$	$y_1$	$b, f, l$	$d$	AR, ARMAX	$c$
12	2	$x_1, x_3, x_4, x_7$	$y_2$	$c, g, h$	$e$	AR, ARMAX	$d$
13	2	$x_2, x_3, x_4, x_5$	$y_1$	$a, d, i$	$f$	OE, BJ	$a$
14	2	$x_1, x_3, x_4, x_5$	$y_2$	$b, e, k$	$g$	OE, BJ	$b$
15	2	$x_1, x_2, x_3, x_4$	$y_1$	$c, f, j$	$a$	BJ, PEM	$c$



Закінчення таблиці 1.

№ варіанта	Варіант файлу даних	Варіанти даних на вході моделі (з файла даних)	Варіанти даних на виході моделі (з файла даних)	Варіанти до завдання 1	Варіанти статичної моделі (завдання 2.1)	Вигляд динамічних моделей (завдання 3.4)	Динамічні характеристики (завдання 3.5)
1	2	3	4	5	6	7	8
16	2	$x_2, x_3, x_5, x_7$	$y_2$	$a, g, l$	$b$	BJ, PEM	$d$
17	2	$x_1, x_2, x_6, x_8$	$y_2$	$b, d, h$	$c$	AR, ARMAX	$a$
18	2	$x_3, x_4, x_6, x_8$	$y_1$	$c, e, i$	$d$	AR, ARMAX	$b$
19	1	$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$	$y_5$	$a, f, k$	$e$	ARMAX, OE	$c$
20	1	$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$	$y_3$	$b, g, j$	$f$	ARMAX, OE	$d$
21	1	$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$	$y_4$	$c, d, l$	$q$	BJ, OE	$a$
22	1	$x_1, x_2, x_3, x_5$	$y_1$	$a, e, h$	$a$	BJ, OE	$b$
23	2	$x_1, x_5, x_7, x_8$	$y_1$	$b, f, i$	$b$	PEM, ARMAX	$c$
24	2	$x_3, x_4, x_5, x_8$	$y_2$	$c, g, k$	$c$	PEM, ARMAX	$d$
25	1	$x_1, x_2, x_3, x_5$	$y_2$	$a, d, j$	$d$	BJ, OE	$a$
26	1	$x_1, x_2, x_3, x_5$	$y_3$	$b, e, l$	$e$	BJ, OE	$b$
27	1	$x_1, x_2, x_4, x_5$	$y_4$	$c, f, h$	$f$	ARMAX, BJ	$c$
28	1	$x_3, x_4, x_6, x_8$	$y_5$	$a, g, i$	$g$	ARMAX, BJ	$d$
29	2	$x_1, x_2, x_3, x_5$	$y_1$	$b, d, k$	$a$	AR, ARMAX	$a$
30	2	$x_1, x_3, x_5, x_6$	$y_2$	$c, e, j$	$b$	AR, ARMAX	$b$

**Пояснення.** У стовпчику "Варіант файлу даних" зазначено цифру **1** – для файлу *dan1.txt* і відповідно цифру **2** – для файлу *process\_2.txt*. Ці файли містять значення вимірних параметрів на вході та виході технологічних процесів. Опис вихідних даних та значення експериментальних вимірювань наведено у наступному розділі.

# ВИХІДНІ ДАНІ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ

## 1 Варіант даних № 1 – файл dan1.txt

Технологічний процес виготовлення вершкового масла методом перетворення високожирних вершків має такі вимірювані параметри:

### Параметри вимірювань на вході:

- $x_1$  – температура вершків при пастеризації;
- $x_2$  – температура вершків при сепарації;
- $x_3$  – температура вершків у ваннах нормалізації;
- $x_4$  – температура вершків на вході маслоперетворювача;
- $x_5$  – температура розсолу;
- $x_6$  – масова частка вологи у вершках;
- $x_7$  – масова частка СЗМЗ у вершках;
- $x_8$  – масова частка жиру у вершках;
- $x_9$  – кислотність вершків.

### Параметри вимірювань на виході:

- $y_1$  – температура масла на виході маслоперетворювача;
- $y_2$  – кислотність масла;
- $y_3$  – масова частка жиру в маслі;
- $y_4$  – масова частка вологи в маслі;
- $y_5$  – масова частка СЗМЗ у маслі.

Дані вимірювань технологічного процесу виготовлення вершкового масла методом перетворення високожирних вершків на Ширяєвському маслозаводі наведені в таблиці 2.

Вимірювання проводилися **кожні 20 хвилин**.

Таблиця 2 – Варіант даних №1 ( файл dan1. txt)

№ вимірювання	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$
1	85	71	66	56	-1	24.3	2.56	73.14	17	12	22	82.5	15	2.5
2	86	71	67	57	0	24.1	2.4	73.5	19	15	21	82.5	15	2.5
3	88	69	68	56	-1	24	2.48	73.52	18	16	21	83	14	3
4	86	72	70	58	2	23.8	2.64	73.56	19	14	22	82.7	15	2.3
5	85	73	68	59	3	23.5	2.6	73.9	20	13	22	83	13	4
6	87	71	67	60	1	24	2.6	73.4	20	15	21	83.5	14	2.5
7	89	76	68	62	2	24.1	2.82	73.08	18	16	21	83	15	2
8	88	73	69	64	1	24.2	2.85	72.95	19	17	20	83.5	14	2.5
9	86	79	67	64	1	24	2.62	73.38	19	15	21	82.5	14	3.5

Подовження таблиці 2.

№ ви- мірю- вання	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$
10	85	80	67	65	0	23.7	2.4	73.9	19	15	22	82.5	13	4.5
11	85	81	69	65	-1	23.6	2.41	73.99	18	14	21	83	12	5
12	86	83	70	64	-2	23.4	2.42	74.18	17	14	22	83.5	13	3.5
13	87	90	70	62	-2	23.5	2.5	74	17	14	21	84	14	2
14	86	91	70	61	0	23.1	2.56	74.34	18	15	21	83	15	2
15	87	89	69	59	-1	23.2	2.57	74.23	18	16	22	83.5	15	1.5
16	89	85	69	56	1	23.3	2.7	74	19	16	20	83.7	13	3.3
17	90	82	66	55	1	23.6	2.68	73.72	18	17	20	83.4	12	4.6
18	89	70	67	57	2	23.9	2.68	73.42	17	16	21	83	12	5
19	88	68	68	60	3	24	2.57	73.43	17	14	22	82.8	12	5.2
20	88	70	69	61	3	24.1	2.31	73.59	18	15	21	83.2	14	2.8
21	87	75	67	63	1	24.1	2.35	73.55	19	15	22	83	15	2
22	86	78	68	64	2	24.2	2.36	73.44	19	14	22	83.4	12	4.6
23	86	80	70	61	2	24.2	2.36	73.44	20	14	22	83.8	13	3.2
24	87	85	70	60	1	24	2.4	73.6	21	16	21	84	13	3
25	87	87	68	58	2	23.8	2.6	73.6	20	16	21	83.6	13	3.4
26	88	86	67	57	-1	23.8	2.56	73.64	18	15	22	83.9	15	1.1
27	89	84	67	58	-1	23.7	2.58	73.72	18	15	21	83.5	12	4.5
28	87	82	69	58	0	23.5	2.62	73.88	17	15	22	83.1	12	4.9
29	88	81	68	56	0	23.4	2.57	74.03	19	16	21	82.8	14	3.2
30	89	79	68	55	0	23.6	2.62	73.78	19	16	20	82.6	13	4.4
31	87	76	68	57	-1	23.8	2.57	73.63	20	13	19	82.9	14	3.1
32	86	71	69	58	-2	24	2.54	73.46	19	13	21	83	12	5
33	85	68	70	60	-2	24.1	2.56	73.34	17	14	22	83.2	15	1.8
34	85	70	69	57	-2	24.1	2.56	73.34	17	14	21	83.5	15	1.5
35	85	75	69	62	-3	24.1	2.35	73.55	18	14	19	83.4	13	3.6
36	88	76	68	61	0	24.2	2.32	73.68	18	13	19	83.2	13	3.8
37	88	78	67	58	0	24.2	2.56	73.44	17	15	20	83.1	15	1.9
38	87	79	66	56	1	24.2	2.62	73.18	19	16	19	82.9	13	4.1
39	86	82	68	55	1	24	2.62	73.38	20	14	20	82.7	12	5.3
40	86	83	68	58	2	24	2.7	73.3	19	14	20	82.5	14	3.3
41	85	85	67	59	-2	24.1	2.7	73.2	18	13	20	83	13	4
42	86	82	69	61	-2	24.2	2.75	73.05	17	13	21	82.5	14	3.3
43	87	85	69	61	-1	24.2	2.76	73.04	18	15	19	82.7	13	4.3
44	88	86	67	61	-1	23.9	2.76	73.34	18	15	19	83	13	4
45	89	89	68	63	0	23.8	2.68	73.52	20	13	20	83.1	15	1.9
46	90	90	69	64	0	23.8	2.59	73.61	20	16	22	83.5	15	1.5
47	90	90	69	64	1	24	2.56	73.44	18	17	22	84	14	2
48	89	87	70	63	2	24	2.32	73.68	17	16	21	83	14	3

Закінчення таблиці 2.

№ вимірювання	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$
49	89	88	70	62	-1	24.2	2.32	73.47	18	15	21	82.5	15	2.5
50	88	86	68	60	-1	24.1	2.32	73.58	19	14	20	82.8	13	4.2
51	87	75	67	63	1	24.1	2.35	73.55	19	15	22	83	15	2
52	86	78	68	64	2	24.2	2.36	73.44	19	14	22	83.4	12	4.6
53	87	79	66	56	1	24.2	2.62	73.18	19	16	19	82.9	13	4.1
54	86	82	68	55	1	24	2.62	73.38	20	14	20	82.7	12	5.3
55	86	83	68	58	2	24	2.7	73.3	19	14	20	82.5	14	3.3
56	85	85	67	59	-2	24.1	2.7	73.2	18	13	20	83	13	4
57	87	71	67	60	1	24	2.6	73.4	20	15	21	83.5	14	2.5
58	89	76	68	62	2	24.1	2.82	73.08	18	16	21	83	15	2
59	88	73	69	64	1	24.2	2.85	72.95	19	17	20	83.5	14	2.5
60	86	79	67	64	1	24	2.62	73.38	19	15	21	82.5	14	3.5

## 2 Варіант даних № 2 – файл process\_2.txt

Технологічний процес флотації вуглезбагачувальної фабрики має наступні вимірювані параметри:

*Параметри вимірювань на вході (характеристики шламу, що надходить до флотаційної машини):*

- $x_1$  – щільність пульпи  $\delta$  г/л.,
- $x_2$  – витрата пульпи  $Q_{п}$ , м<sup>3</sup>/ч.,
- $x_3$  – витрата реагентів  $Q_{рв}$ , кг/т,
- $x_4$  – витрата реагентів  $Q_{рс}$ , кг/т,
- $x_5$  – зольність вихідного шламу  $A_{сі}$  %,
- $x_6$  – ситовий склад  $Z_1$  (0–0,1) мм %,
- $x_7$  – ситовий склад  $Z_2$  (>0,5) мм %,
- $x_8$  – фракційний склад  $\Phi$  (1,5-1,6; 1,6-1,8) %.

*Параметри вимірювань на виході :*

- $y_1$  – зольність концентрату  $A_{к}^c$ ,
- $y_2$  – зольність флотохвостів  $A_{хв}^c$ .

У таблиці 3 наведено дані вимірювань на входах ( $x_i$ ) і виходах ( $y_j$ ) технологічного процесу флотації Суходольської збагачувальної фабрики.

Виміри проводилися **кожні 10 хвилин**.

Таблиця 3 – Варіант даних № 2 (файл *process\_2.txt*)

<b>№ ви- мірю- вання</b>	<b><math>x_1</math></b>	<b><math>x_2</math></b>	<b><math>x_3</math></b>	<b><math>x_4</math></b>	<b><math>x_5</math></b>	<b><math>x_6</math></b>	<b><math>x_7</math></b>	<b><math>x_8</math></b>	<b><math>y_1</math></b>	<b><math>y_2</math></b>
<b>1</b>	180	109	17.6	181	20.8	21.3	28.4	14.13	8.2	70.0
<b>2</b>	195	109	17.6	181	19.3	18.0	37.5	14.8	7.4	70.5
<b>3</b>	192	109	17.6	181	21.5	20.8	28.8	15.11	8.2	70.5
<b>4</b>	189	109	17.6	181	21.7	20.2	30.7	15.92	8.2	70.5
<b>5</b>	201	128	17.6	213	20.9	20.4	29.1	14.16	8.5	71.2
<b>6</b>	237	128	17.6	213	20.8	19.0	32.6	15.98	8.3	72.5
<b>7</b>	216	128	19.8	213	21.9	18.6	34.0	16.74	8.7	72.3
<b>8</b>	201	128	19.8	213	21.5	17.3	34.3	16.22	8.4	72.6
<b>9</b>	201	128	19.8	194	23.2	16.0	37.3	14.48	8.6	72.6
<b>10</b>	237	128	19.8	194	23.0	20.0	30.4	16.99	9.0	72.0
<b>11</b>	231	128	19.8	194	21.4	20.6	31.9	16.37	8.7	73.5
<b>12</b>	231	150	19.8	194	22.6	21.1	33.1	15.98	9.1	71.8
<b>13</b>	234	150	17.4	210	21.6	20.5	32.3	16.73	8.8	70.8
<b>14</b>	237	150	17.4	210	23.1	16.5	35.0	15.01	8.9	72.3
<b>15</b>	210	150	17.4	210	20.9	16.4	34.8	14.2	8.4	70.9
<b>16</b>	204	100	17.4	210	19.2	16.7	35.7	13.77	7.2	72.1
<b>17</b>	198	100	12.6	198	21.4	18.5	31.3	12.59	7.6	71.4
<b>18</b>	200	100	12.6	198	20.9	18.8	30.0	15.0	7.6	71.0
<b>19</b>	195	100	12.6	198	20.4	18.5	30.6	15.8	7.4	70.5
<b>20</b>	210	100	12.6	198	20.7	19.0	28.5	14.0	7.5	71.5
<b>21</b>	210	100	12.6	170	20.7	19.9	27.7	11.79	7.6	71.0
<b>22</b>	168	100	12.5	170	19.9	17.5	31.2	13.91	7.0	70.3
<b>23</b>	225	100	21.6	170	21.1	15.0	44.5	16.88	7.4	72.6
<b>24</b>	222	138	21.6	170	20.4	15.6	43.4	16.02	8.0	71.2
<b>25</b>	195	138	21.6	170	22.1	16.3	31.4	14.11	8.3	70.2
<b>26</b>	200	138	14.3	170	21.6	16.5	33.0	14.97	7.7	69.4
<b>27</b>	192	138	14.3	170	20.0	16.6	31.0	15.56	7.6	68.7
<b>28</b>	222	138	14.3	170	21.3	18.4	29.0	13.39	8.2	70.4
<b>29</b>	195	109	14.3	170	20.7	20.1	27.2	13.02	8.2	70.1
<b>30</b>	174	109	14.3	170	21.0	15.5	40.9	14.94	8.8	69.3
<b>31</b>	174	109	14.3	192	19.9	15.0	42.0	15.98	6.9	69.6
<b>32</b>	180	109	14.3	192	19.8	14.2	43.4	15.22	6.7	70.0
<b>33</b>	192	100	16.0	192	19.6	14.8	43.2	14.79	6.7	71.1
<b>34</b>	195	100	16.0	192	20.3	15.0	34.9	13.43	6.7	71.5
<b>35</b>	210	100	16.0	192	19.5	16.3	41.8	15.12	6.9	71.6
<b>36</b>	220	100	16.0	192	21.0	20.0	31.0	17.21	7.9	71.8
<b>37</b>	195	109	17.6	181	19.3	18.0	37.5	14.8	7.4	70.5
<b>38</b>	192	109	17.6	181	21.5	20.8	28.8	15.11	8.2	70.5
<b>39</b>	189	109	17.6	181	21.7	20.2	30.7	15.92	8.2	70.5

Подовження таблиці 3.

<b>№ ви- мірю- вання</b>	<b>x<sub>1</sub></b>	<b>x<sub>2</sub></b>	<b>x<sub>3</sub></b>	<b>x<sub>4</sub></b>	<b>x<sub>5</sub></b>	<b>x<sub>6</sub></b>	<b>x<sub>7</sub></b>	<b>x<sub>8</sub></b>	<b>y<sub>1</sub></b>	<b>y<sub>2</sub></b>
<b>40</b>	201	128	17.6	213	20.9	20.4	29.1	14.16	8.5	71.2
<b>41</b>	237	128	17.6	213	20.8	19.0	32.6	15.98	8.3	72.5
<b>42</b>	216	128	19.8	213	21.9	18.6	34.0	16.74	8.7	72.3
<b>43</b>	201	128	19.8	213	21.5	17.3	34.3	16.22	8.4	72.6
<b>44</b>	201	128	19.8	194	23.2	16.0	37.3	14.48	8.6	72.6
<b>45</b>	237	128	19.8	194	23.0	20.0	30.4	16.99	9.0	72.0
<b>46</b>	231	128	19.8	194	21.4	20.6	31.9	16.37	8.7	73.5
<b>47</b>	231	150	19.8	194	22.6	21.1	33.1	15.98	9.1	71.8
<b>48</b>	237	150	17.4	210	23.1	16.5	35.0	15.01	8.9	72.3
<b>49</b>	210	150	17.4	210	20.9	16.4	34.8	14.2	8.4	70.9
<b>50</b>	204	100	17.4	210	19.2	16.7	35.7	13.77	7.2	72.1
<b>51</b>	198	100	12.6	198	21.4	18.5	31.3	12.59	7.6	71.4
<b>52</b>	200	100	12.6	198	20.9	18.8	30.0	15.0	7.6	71.0
<b>53</b>	195	100	12.6	198	20.4	18.5	30.6	15.8	7.4	70.5
<b>54</b>	210	100	12.6	198	20.7	19.0	28.5	14.0	7.5	71.5
<b>55</b>	210	100	12.6	170	20.7	19.9	27.7	11.79	7.6	71.0
<b>56</b>	168	100	12.5	170	19.9	17.5	31.2	13.91	7.0	70.3
<b>57</b>	225	100	21.6	170	21.1	15.0	44.5	16.88	7.4	72.6
<b>58</b>	222	138	21.6	170	20.4	15.6	43.4	16.02	8.0	71.2
<b>59</b>	195	138	21.6	170	22.1	16.3	31.4	14.11	8.3	70.2
<b>60</b>	200	138	14.3	170	21.6	16.5	33.0	14.97	7.7	69.4
<b>61</b>	192	138	14.3	170	20.0	16.6	31.0	15.56	7.6	68.7
<b>62</b>	222	138	14.3	170	21.3	18.4	29.0	13.39	8.2	70.4
<b>63</b>	174	109	14.3	192	19.9	15.0	42.0	15.98	6.9	69.6
<b>64</b>	180	109	14.3	192	19.8	14.2	43.4	15.22	6.7	70.0
<b>65</b>	192	100	16.0	192	19.6	14.8	43.2	14.79	6.7	71.1
<b>66</b>	195	100	16.0	192	20.3	15.0	34.9	13.43	6.7	71.5
<b>67</b>	210	100	16.0	192	19.5	16.3	41.8	15.12	6.9	71.6
<b>68</b>	220	100	16.0	192	21.0	20.0	31.0	17.21	7.9	71.8
<b>69</b>	195	109	17.6	181	19.3	18.0	37.5	14.8	7.4	70.5
<b>70</b>	192	109	17.6	181	21.5	20.8	28.8	15.11	8.2	70.5
<b>71</b>	189	109	17.6	181	21.7	20.2	30.7	15.92	8.2	70.5
<b>72</b>	201	128	17.6	213	20.9	20.4	29.1	14.16	8.5	71.2
<b>73</b>	237	128	17.6	213	20.8	19.0	32.6	15.98	8.3	72.5
<b>74</b>	216	128	19.8	213	21.9	18.6	34.0	16.74	8.7	72.3
<b>75</b>	237	150	17.4	210	23.1	16.5	35.0	15.01	8.9	72.3
<b>76</b>	210	150	17.4	210	20.9	16.4	34.8	14.2	8.4	70.9
<b>77</b>	204	100	17.4	210	19.2	16.7	35.7	13.77	7.2	72.1
<b>78</b>	198	100	12.6	198	21.4	18.5	31.3	12.59	7.6	71.4

Закінчення таблиці 3.

<b>№ ви- мірю- вання</b>	<b>x<sub>1</sub></b>	<b>x<sub>2</sub></b>	<b>x<sub>3</sub></b>	<b>x<sub>4</sub></b>	<b>x<sub>5</sub></b>	<b>x<sub>6</sub></b>	<b>x<sub>7</sub></b>	<b>x<sub>8</sub></b>	<b>y<sub>1</sub></b>	<b>y<sub>2</sub></b>
<b>79</b>	200	100	12.6	198	20.9	18.8	30.0	15.0	7.6	71.0
<b>80</b>	195	100	12.6	198	20.4	18.5	30.6	15.8	7.4	70.5
<b>81</b>	210	100	12.6	198	20.7	19.0	28.5	14.0	7.5	71.5
<b>82</b>	210	100	12.6	170	20.7	19.9	27.7	11.79	7.6	71.0
<b>83</b>	168	100	12.5	170	19.9	17.5	31.2	13.91	7.0	70.3
<b>84</b>	225	100	21.6	170	21.1	15.0	44.5	16.88	7.4	72.6
<b>85</b>	222	138	21.6	170	20.4	15.6	43.4	16.02	8.0	71.2
<b>86</b>	180	109	17.6	181	20.8	21.3	28.4	14.13	8.2	70.0
<b>87</b>	195	109	17.6	181	19.3	18.0	37.5	14.8	7.4	70.5
<b>88</b>	192	109	17.6	181	21.5	20.8	28.8	15.11	8.2	70.5
<b>89</b>	189	109	17.6	181	21.7	20.2	30.7	15.92	8.2	70.5
<b>90</b>	201	128	17.6	213	20.9	20.4	29.1	14.16	8.5	71.2
<b>91</b>	237	128	17.6	213	20.8	19.0	32.6	15.98	8.3	72.5
<b>92</b>	216	128	19.8	213	21.9	18.6	34.0	16.74	8.7	72.3
<b>93</b>	201	128	19.8	213	21.5	17.3	34.3	16.22	8.4	72.6
<b>94</b>	201	128	19.8	194	23.2	16.0	37.3	14.48	8.6	72.6
<b>95</b>	225	100	21.6	170	21.1	15.0	44.5	16.88	7.4	72.6
<b>96</b>	222	138	21.6	170	20.4	15.6	43.4	16.02	8.0	71.2
<b>97</b>	180	109	17.6	181	20.8	21.3	28.4	14.13	8.2	70.0
<b>98</b>	195	109	17.6	181	19.3	18.0	37.5	14.8	7.4	70.5
<b>99</b>	210	100	16.0	192	19.5	16.3	41.8	15.12	6.9	71.6
<b>100</b>	192	109	17.6	213	20.8	19.0	32.6	15.98	8.3	72.5
<b>101</b>	225	100	21.6	170	21.1	15.0	44.5	16.88	7.4	72.6
<b>102</b>	222	138	21.6	170	20.4	15.6	43.4	16.02	8.0	71.2
<b>103</b>	180	109	17.6	181	20.8	21.3	28.4	14.13	8.2	70.0
<b>104</b>	195	109	17.6	181	19.3	18.0	37.5	14.8	7.4	70.5
<b>105</b>	192	109	17.6	181	21.5	20.8	28.8	15.11	8.2	70.5
<b>106</b>	189	109	17.6	181	21.7	20.2	30.7	15.92	8.2	70.5
<b>107</b>	192	138	14.3	170	20.0	16.6	31.0	15.56	7.6	68.7
<b>108</b>	222	138	14.3	170	21.3	18.4	29.0	13.39	8.2	70.4
<b>109</b>	174	109	14.3	192	19.9	15.0	42.0	15.98	6.9	69.6
<b>110</b>	180	109	14.3	192	19.8	14.2	43.4	15.22	6.7	70.0
<b>111</b>	192	100	16.0	192	19.6	14.8	43.2	14.79	6.7	71.1
<b>112</b>	195	109	17.6	181	19.3	18.0	37.5	14.8	7.4	70.5

# ФОРМУЛИ ДЛЯ ПРОГРАМУВАННЯ ЗАВДАНЬ КУРСОВОЇ РОБОТИ

## 1 Перевірка гіпотези щодо стаціонарності даних за $t$ -критерієм

$$T_p = \frac{R}{S_{i2}},$$

де  $R = |m_{x1} - m_{x2}|$ ;  $m_{x1} = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_{1i}$ ;  $m_{x2} = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} x_{2i}$

$$S_{i2} = \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}; \quad S_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n/2} x_{1i}^2 - n_1 \cdot m_{x1}^2}{n_1 - 1}; \quad S_2^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} x_{2i}^2 - n_2 \cdot m_{x2}^2}{n_2 - 1}.$$

Відсоткові точки  $t$ -розподілу Стьюдента наведено в табл. А.4 додатка.

## 2 Критерій $\chi^2$ перевірки гіпотези щодо нормального закону розподілу даних

$$X_p^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(f_i - F_i)^2}{F_i}, \quad \text{де } F_i = n \cdot a_i, \quad a_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z_i^2}{2}}, \quad z_i = \frac{x_i^* - m_x}{\sigma_x}$$

$$x_i^* = x_{\min} + (i - 0,5)\Delta x, \quad \Delta x = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k}, \quad k = 1 + 3,31 \cdot \lg n,$$

$f_i$  – кількість значень вектора вимірювань  $x$  в  $i$ -му проміжку,  
 $m_x$  – середнє значення,  $\sigma_x$  – середнє квадратичне відхилення.

Теоретичні значення  $\chi^2$  наведено в табл. А.3 додатка.

## 3 Критерій Шапіро – Уїлка перевірки гіпотези щодо нормального закону розподілу даних

$$V_p = \frac{b^2}{S_x}, \quad \text{де } S_x = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2,$$

$$b = a_1(x_n - x_1) + a_2(x_{n-1} - x_2) + a_3(x_{n-2} - x_3) + \dots + a_{n/2}(x_{n/2+1} - x_{n/2}) = \sum_{i=1}^{n/2} a_i(x_{n-i+1} - x_i),$$

$x_i$  – відсортований вектор вимірювань,

$a_i$  – коефіцієнти Шапіро-Уїлка (табл. А.7 додатка)



#### 4 Критерій Колмогорова перевірки гіпотези щодо нормального закону розподілу даних

$$D_n \cdot \sqrt{n} < \lambda_0, \quad \text{де } D_n = \max |F_i^\Phi - F_i^T|.$$

$$F_{i+1}^\Phi = F_i^\Phi + p_i = \sum_{j=1}^i p_j, \quad F_1^\Phi = 0, \quad p_i = \frac{f_i}{n}, \quad i = 1, \dots, k,$$

$f_i$  – кількість значень вектора вимірювань  $x$  в  $i$ -му проміжку,  $k = 1 + 3,31 \cdot \lg n$ .

$$F_i^T = 0,5 + \Phi_0(z_i), \quad \text{де } \Phi_0(z_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{z_i} e^{-\frac{t^2}{2}} dt,$$

$$z_i = \frac{x_i^T - m_x}{\sigma_x}, \quad x_i^T = x_{\min} + (i-1)\Delta x, \quad \Delta x = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k},$$

$m_x$  – середнє значення,  $\sigma_x$  – середнє квадратичне відхилення вектора вимірювань. Критерій  $\lambda_0 = 1,36$  для  $\alpha = 0,05$ .

#### 5 Перевірка гіпотези щодо нормального закону розподілу даних за асиметрією та ексцесом

$$|a| < \lambda \sigma_a, \quad |e| < \lambda \sigma_e,$$

де  $\lambda = \Phi_0^{-1}(0,5 - 0,25\alpha)$ ,  $\Phi_0(z_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{z_i} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ ; для  $\alpha = 0,05$  критерій  $\lambda = 2,25$ .

Наближені значення середніх квадратичних відхилень асиметрії й ексцесу

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{6(n-1)}{(n+1)(n+3)}} \approx \sqrt{\frac{6}{n}}, \quad \sigma_e = \sqrt{\frac{24n(n-2)(n-3)}{(n-1)^2(n+3)(n+5)}} \approx \sqrt{\frac{24}{n}}.$$

Асиметрія  $a = m_3/\sigma^3$ , ексцес  $e = m_4/\sigma^4$ , де

$$m_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^3, \quad m_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^4,$$

$m_x$  – середнє значення,  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення вектора вимірювань.

#### 6 Критерій визначення корельованості параметрів

$$\Psi_n = \frac{0,95}{1,24(\ln n)^2 - 0,72 \cdot \ln n + 0,98},$$

де  $n$  – кількість вимірювань.

## 7 Визначення незалежності вхідних параметрів Н-методом

$$h_{i,j}^0 = x_j(i), \quad j=1,\dots,m; \quad i=1,\dots,n,$$

де  $m$  – кількість змінних на вході об'єкта,  $n$  – кількість вимірювань параметра.

$$h_{1j}^1 = \frac{h_{1j}}{h_{11}}; \quad h_{ij}^1 = h_{ij} - h_{1j}^1 \cdot h_{i1};$$

$$h_{2j}^2 = \frac{h_{2j}}{h_{22}}; \quad h_{ij}^2 = h_{ij}^1 - h_{2j}^2 \cdot h_{i2}^1.$$

## 8 Визначення інформативності параметрів на вході об'єкта

$$q_{\bar{x}}(y) = \frac{H_{\bar{x}}(y)}{H(y)}; \quad q_j(y) = \frac{H_{x_j}(y)}{H(y)};$$

де  $H(y) = I_{\bar{x}}(y) + H_{\bar{x}}(y)$ ;  $H(y) = \ln(\sigma_y \cdot \sqrt{2\pi e})$ ;

$$H_{\bar{x}}(y) = \ln\left(2\pi e \cdot \sqrt{\frac{\Delta_{xy}}{\Delta_{xx}}}\right); \quad H_{x_j}(y) = \ln\left(2\pi e \cdot \sqrt{\frac{\Delta_{xy}^j}{\Delta_{xx}^j}}\right).$$

## 9 Визначення коефіцієнтів статичної лінійної моделі

$$A = (MX^T \cdot MX)^{-1} \cdot MX^T \cdot Y,$$

де  $MX$  – матриця  $n$  вимірювань параметрів на  $m$  входах об'єкта

$$MX_{i,j} = x_j(i), \quad j=1,\dots,m; \quad i=1,\dots,n;$$

$Y$  – вектор вимірювань на виході об'єкта.

Вектор виходу статичної моделі ( $YM$ ) у матричному вигляді:

$$YM = MX \cdot A$$

## 10 Критерій зумовленості матриці

$$C_0 = \frac{\text{cond}(A)}{1 - \text{cond}(A) \cdot \frac{\|\Delta A\|}{\|A\|}},$$

де  $\text{cond}(A)$  – ступінь зумовленості.

## 11 Дискретні динамічні моделі

$A(z)y(t)=e(t)$  – AR-модель;

$A(z)y(t) = B(z)u(t)+e(t)$  – ARX-модель;

$A(z)y(t)= B(z)u(t - nk)+C(z)e(t)$  – ARMAX-модель;

$y(t) = \frac{B(z)}{F(z)}u(t - nk) + e(t)$  – OE - модель;

$y(t) = \frac{B(z)}{F(z)}u(t - nk) + \frac{C(z)}{D(z)}e(t)$  – BJ - модель;

$A(z)y(t) = \frac{B(z)}{F(z)}u(t - nk) + \frac{C(z)}{D(z)}e(t)$  – BJ - модель;

де  $A(z)=1+a_1z^{-1}+a_2z^{-2}+\dots+a_naz^{-na}$ ;

$B(z)=b_1+b_2z^{-1}+\dots+b_bz^{-nb+1}$ ;

$C(z)=1+c_1z^{-1}+c_2z^{-2}+\dots+c_nz^{-nc}$ ;

$D(z)=1+d_1z^{-1}+d_2z^{-2}+\dots+d_nz^{-nd}$ ;

$F(z)=1+f_1z^{-1}+f_2z^{-2}+\dots+f_nz^{-nf}$ .

## 12 Динамічна модель в просторі змінних стану

$$x'(t) = Ax(t)+Bu(t)$$

$$y(t) = Cx(t)+Du(t)$$

## 13 Матриці спостережності та керованості об'єкта

$$MN = \begin{bmatrix} C \\ CA \\ CA^2 \\ \dots \\ CA^{n-1} \end{bmatrix} \quad \text{— матриця спостережності;}$$

$MU = [B \ AB \ A^2B \ \dots \ A^{n-1}B]$  – матриця керованості, де  $A, B, C$  – матриці динамічної моделі в просторі змінних стану (див. п. 13).

## 14 Оцінювання адекватності моделі та об'єкта

$$R = \sum_{i=1}^n (y_i - y_i^M)^2 \quad \text{— нев'язка значень виходу об'єкта та моделі;}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y_i^M)^2}$$
 – середнє квадратичне відхилення значень виходу об'єкта та моделі, де  $y_i$  – вектор вимірювань на виході об'єкта,  $y_i^M$  – вектор значень на виході моделі.

### 15 Оцінювання лінійності залежності поміж параметрами на вході та виході об'єкта

$p = \sqrt{\eta^2 - r^2}$  – степінь не лінійності;

$F_p = \frac{n-k}{k-2} \times \frac{\eta^2 - r^2}{1 - \eta^2}$  – критерій  $F$  (Фішера);

$\theta_r = \frac{|r|}{\sigma_r}$ ,  $\theta_\eta = \frac{|\eta|}{\sigma_\eta}$  – значення критеріїв (понад 2.56);

$\sigma_r = \frac{1-r^2}{\sqrt{n}}$ ,  $\sigma_\eta = \frac{1-\eta^2}{\sqrt{n}}$  – середньоквадратичні відхилення оцінок коефіцієнта корелювання та дисперсійного відношення;

$\eta_{yx} = \frac{1}{\sigma_y} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^k (\bar{y}_{x_i} - m_y)^2 v_i(x)}$ , – дисперсійне відношення у відносно  $x$ ;

$\eta_{xy} = \frac{1}{\sigma_x} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^k (\bar{x}_{y_j} - m_x)^2 v_j(y)}$  – дисперсійне відношення  $x$  відносно  $y$ ;

$\bar{y}_{x_i} = \frac{1}{v_i(x)} \sum_{j=1}^k y_j^* v_{ij}(xy)$  – регресії  $y$  відносно  $x$ ;

$\bar{x}_{y_j} = \frac{1}{v_j(y)} \sum_{i=1}^k x_i^* v_{ij}(xy)$  – регресії  $x$  відносно  $y$ ;

$x^*$ ,  $y^*$  – середні значення інтервалів;  $\Delta x = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{K}$  – крок інтервалу;

$K = 1 + 3,222 \ln n$  – кількість інтервалів;

$v_i(x) = \sum_{j=1}^k v_{ij}(xy)$ ,  $v_j(y) = \sum_{i=1}^k v_{ij}(xy)$  – частоти значень  $x$  та  $y$  в інтервалах;

лах;

$v_{ij}(xy)$  – частоти сумісної появи  $x$  та  $y$  ;

$m_x, m_y$  – середні значення параметрів  $x$  та  $y$ ;

$\sigma_x, \sigma_y$  – середні квадратичні відхилення параметрів  $x$  і  $y$ .

Відсоткові точки F-розподілу наведено в табл. А.5 додатка.

## Стандартні функції Matlab, які може бути використано в курсовій роботі

Таблиця 4. Функції Matlab

Синтаксис функції	Призначення
abs(x)	Обчислення модуля значень масиву
sqrt(x)	Обчислення кореня квадратного значень масиву
log(x)	Обчислення натурального логарифму значень масиву
log10(x)	Обчислення десяткового логарифму значень масиву
exp(x)	Обчислення експоненти значень масиву
rand(n,m)	Створення матриці випадкових чисел з рівномірним законом розподілу розміром $n \times m$
sum(x)	Сума елементів вектора чи стовпчиків матриці
mean(x)	Середнє значення (математичне сподівання) вектора чи стовпчиків матриці
min(x)	Мінімальне значення вектора чи стовпчиків матриці
max(x)	Максимальне значення вектора чи стовпчиків матриці
std(x)	Стандартне відхилення вектора чи стовпчиків матриці
median(x)	Медіана вектора чи стовпчиків матриці
corrcoef(x,y)	Обчислення коефіцієнта кореляції поміж векторами
det(X)	Обчислення визначника матриці
inv(X)	Обчислення оберненої матриці
plot(x,y,'s')	Побудова графіка $y(x)$
subplot(m,n,k)	Формування в одному графічному вікні $m \times n$ рисунків
figure(n)	Відкриття графічного вікна за номером $n$
hist(x,k)	Побудова гістограми вектора $x$ за $k$ проміжками
covf(z,N)	Обчислення кореляційних функцій матриці $z=[y \ x]$
cra(z)	Обчислення значень імпульсної характеристики та матриці кореляційних функцій задля вимірювання $z=[y \ x]$
[g,e,sp]=spa(z)	Обчислення частотних характеристик $g$ та спектральних щільностей $sp$ задля матриці вимірювання $z=[y \ x]$
bodeplot(g)	Побудова графіків логарифмічних частотних характеристик (діаграма Боде) за значеннями оцінок частотних характеристик $g$

Синтаксис функції	Призначення
th=ar(y,nn)	AR-модель, $nn = na$ – ступінь полінома $A$
th=arx(z,nn)	ARX- модель: $nn = [na\ nb\ nk]$ , $na$ –ступінь полінома $A$ , $nb$ – ступінь полінома $B$ , $nk$ – значення затримки за входами ( $na>nb$ )
th=armax(z,nn)	ARMAX-модель: $nn = [na\ nb\ nc\ nk]$ , $na$ –ступінь полінома $A$ , $nb$ – ступінь полінома $B$ , $nc$ – ступінь полінома $C$ , $nk$ – значення затримки за входами, ( $na>nb$ )
th=oe(z,nn)	ОЕ-модель: $nn = [nb\ nf\ nk]$ , $nb$ – ступінь полінома $B$ , $nf$ – ступінь полінома $F$ , $nk$ – значення затримки за входами,
th=bj(z,nn)	BJ- модель: $nn = [nb\ nc\ nd\ nf\ nk]$ , $nb$ – ступінь полінома $B$ , $nc$ – ступінь полінома $C$ , $nd$ – ступінь полінома $D$ , $nf$ – ступінь полінома $F$ , $nk$ – значення затримки за входами ( $nd>nc$ ).
th=pem(z,nn)	РЕМ- модель: $nn = [na\ nb\ nc\ nd\ nf\ nk]$ , $na$ –ступінь полінома $A$ , $nb$ – ступінь полінома $B$ , $nc$ – ступінь полінома $C$ , $nd$ – ступінь полінома $D$ , $nf$ – ступінь полінома $F$ , $nk$ – значення затримки за входами, ( $na>nb$ ), ( $nd>nc$ )..
[p,zr] =th2tf(th)	Обчислення коефіцієнтів поліномів чисельника та знаменника передавальної функції за th-моделлю
w=tf ([p],[zr])	Побудова передавальної функції: $p$ – вектор коефіцієнтів чисельника, $zr$ – вектор коефіцієнтів знаменника
pole(w)	Обчислення полюсів передавальної функції $w$
zero(w)	Обчислення нулів передавальної функції $w$
step(w)	Побудова графіка перехідного процесу
impulse(w)	Побудова графіка імпульсної перехідної функції
bode(w)	Побудова логарифмічних частотних характеристик (діаграми Боде)
nyquist(w)	Побудова частотного годографа Найквіста
[A,B,C,D]=th2ss(th)	Формує матриці $A,B,C,D$ для моделі в просторі станів за th-моделлю
obsv(A,C)	Формування матриці спостережності
ctrb(A,B)	Формування матриці керованості
compare(z,th)	Побудова графіків значень вимірювань на виході об'єкта та th-моделі

## А. Таблиці значень критеріїв для розрахунків

Таблиця А.1– Ординати нормованої гауссової щільності розподілу

z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0, 06	0, 07	0,08	0, 09
0,0	0,3989	0,3989	0,3989	0,3988	0,3986	0,3984	0,3982	0,3980	0,3977	0,3973
0,1	0,3970	0,3956	0,3961	0,3956	0,3951	0,3945	0,3939	0,3932	0,3925	0,3918
0,2	0,3910	0,3902	0,3894	0,3884	0,3876	0,3967	0,3857	0,3847	0,3836	0,3825
0,3	0,3814	0,3802	0,3790	0,3778	0,3765	0,3752	0,3739	0,3725	0,3712	0,3697
0,4	0,3683	0,3668	0,3653	0,3637	0,3621	0,3605	0,3589	0,3572	0,3555	0,3538
0,5	0,3521	0,3503	0,3485	0,3467	0,3448	0,3429	0,3410	0,3391	0,3372	0,3352
0,6	0,3332	0,3312	0,3292	0,3271	0,3251	0,3230	0,3209	0,3187	0,3166	0,3144
0,7	0,3123	0,3101	0,3079	0,3056	0,3034	0,3011	0,2989	0,2966	0,2943	0,2920
0,8	0,2897	0,2874	0,2850	0,2827	0,2803	0,2780	0,2756	0,2732	0,2709	0,2685
0,9	0,2661	0,2637	0,2613	0,2589	0,2565	0,2541	0,2516	0,2492	0,2468	0,2444
1,0	0,2420	0,2396	0,2371	0,2347	0,2323	0,2299	0,2275	0,2251	0,2227	0,2203
1,1	0,2179	0,2155	0,2131	0,2107	0,2083	0,2059	0,2036	0,2012	0,1989	0,1965
1,2	0,1942	0,1919	0,1895	0,1872	0,1849	0,1826	0,1804	0,1781	0,1758	0,1736
1,3	0,1714	0,1691	0,1669	0,1647	0,1626	0,1605	0,1582	0,1561	0,1539	0,1518
1,4	0,1497	0,1476	0,1456	0,1435	0,1415	0,1394	0,1374	0,1354	0,1334	0,1315
1,5	0,1295	0,1276	0,1257	0,1238	0,1219	0,1200	0,1282	0,1163	0,1145	0,1127
1,6	0,1109	0,1092	0,1074	0,1057	0,1040	0,1023	0,1006	0,0989	0,0973	0,0957
1,7	0,0940	0,0925	0,0909	0,0893	0,0878	0,0863	0,0848	0,0833	0,0818	0,0804
1,8	0,0790	0,0775	0,0761	0,0748	0,0734	0,0721	0,0707	0,0694	0,0681	0,0669
1,9	0,0656	0,0644	0,0632	0,0620	0,0608	0,0596	0,0584	0,0573	0,0562	0,0051
2,0	0,0540	0,0529	0,0519	0,0508	0,0498	0,0488	0,0478	0,0468	0,0459	0,0449
2,1	0,0440	0,0431	0,0422	0,0413	0,0404	0,0396	0,0387	0,0379	0,0371	0,0363
2,2	0,0355	0,0347	0,0339	0,0332	0,0325	0,0317	0,0310	0,0303	0,0297	0,0290
2,3	0,0283	0,0277	0,0270	0,0264	0,0258	0,0252	0,0246	0,0241	0,0235	0,0229
2,4	0,0224	0,0219	0,0213	0,0208	0,0203	0,0198	0,0194	0,0189	0,0184	0,0180
2,5	0,0175	0,0171	0,0167	0,0163	0,0158	0,0154	0,0151	0,0147	0,0143	0,0139
2,6	0,0136	0,0132	0,0129	0,0126	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110	0,0107
2,7	0,0104	0,0101	0,0099	0,0096	0,0093	0,0091	0,0088	0,0086	0,0084	0,0081
2,8	0,0079	0,0077	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0067	0,0065	0,0063	0,0061
2,9	0,0060	0,0058	0,0056	0,0055	0,0055	0,0051	0,0050	0,0048	0,0047	0,0046
3,0	0,0044	0,0043	0,0042	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036	0,0035	0,0034
3,1	0,0033	0,0032	0,0031	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026	0,0025	0,0025
3,2	0,0024	0,0023	0,0022	0,0022	0,0021	0,0020	0,0020	0,0019	0,0018	0,0018
3,3	0,0017	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014	0,0013	0,0013
3,4	0,0012	0,0012	0,0012	0,0011	0,0011	0,0010	0,0010	0,0010	0,0009	0,0009
3,5	0,0009	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0006
3,6	0,0006	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004
3,7	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
3,8	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
3,9	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001

Таблиця А.2 – Значення площі, покритої ординатами нормованої гаусової щільності

$Z_{\alpha}$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,5000	0,4960	0,4920	0,4880	0,4840	0,4801	0,4761	0,4721	0,4681	0,4641
0,1	0,4602	0,4562	0,4522	0,4483	0,4443	0,4404	0,4364	0,4325	0,4286	0,4247
0,2	0,4207	0,4168	0,4129	0,4090	0,4052	0,4013	0,3974	0,3936	0,3897	0,3859
0,3	0,3821	0,3783	0,3745	0,3707	0,3669	0,3632	0,3594	0,3557	0,3520	0,3483
0,4	0,3446	0,3409	0,3372	0,3336	0,3300	0,3264	0,3228	0,3192	0,3156	0,3121
0,5	0,3085	0,3050	0,3015	0,2981	0,2946	0,2912	0,2877	0,2843	0,2810	0,2776
0,6	0,2743	0,2709	0,2676	0,2643	0,2611	0,2578	0,2546	0,2514	0,2483	0,2451
0,7	0,2420	0,2389	0,2358	0,2327	0,2296	0,2266	0,2236	0,2206	0,2177	0,2148
0,8	0,2119	0,2090	0,2061	0,2033	0,2005	0,1977	0,1949	0,1922	0,1894	0,1867
0,9	0,1841	0,1814	0,1788	0,1762	0,1736	0,1711	0,1685	0,1660	0,1635	0,1611
1,0	0,1587	0,1562	0,1539	0,1515	0,1492	0,1469	0,1446	0,1423	0,1401	0,1379
1,1	0,1357	0,1335	0,1314	0,1292	0,1271	0,1251	0,1230	0,1210	0,1190	0,1170
1,2	0,1151	0,1131	0,1112	0,1093	0,1075	0,1056	0,1038	0,1020	0,1003	0,0985
1,3	0,0968	0,0951	0,0934	0,0918	0,0901	0,0885	0,0869	0,0853	0,0838	0,0823
1,4	0,0808	0,0793	0,0778	0,0764	0,0749	0,0735	0,0721	0,0708	0,0694	0,0681
1,5	0,0668	0,0655	0,0643	0,0630	0,0618	0,0606	0,0594	0,0582	0,0571	0,0559
1,6	0,0548	0,0537	0,0526	0,0516	0,0505	0,0495	0,0485	0,0475	0,0465	0,0455
1,7	0,0446	0,0436	0,0427	0,0418	0,0409	0,0401	0,0392	0,0384	0,0375	0,0367
1,8	0,0359	0,0351	0,0344	0,0336	0,0329	0,0322	0,0314	0,0307	0,0301	0,0294
1,9	0,0287	0,0281	0,0274	0,0268	0,0262	0,0256	0,0250	0,0244	0,0239	0,0233
2,0	0,0228	0,0222	0,0217	0,0212	0,0207	0,0202	0,0197	0,0192	0,0188	0,0183
2,1	0,0179	0,0174	0,0170	0,0166	0,0162	0,0158	0,0154	0,0150	0,0146	0,0143
2,2	0,0139	0,0136	0,0132	0,0129	0,0125	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110
2,3	0,0107	0,0104	0,0102	0,0099	0,0096	0,0093	0,0091	0,0088	0,0086	0,0084
2,4	0,0082	0,0079	0,0077	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0067	0,0065	0,0063
2,5	0,0062	0,0060	0,0058	0,0057	0,0055	0,0053	0,0052	0,0050	0,0049	0,0048
2,6	0,0046	0,0045	0,0044	0,0042	0,0041	0,0040	0,0039	0,0037	0,0036	0,0035
2,7	0,0034	0,0033	0,0032	0,0031	0,0030	0,0029	0,0028	0,0028	0,0027	0,0026
2,8	0,0025	0,0024	0,0024	0,0023	0,0022	0,0021	0,0021	0,0020	0,0019	0,0019
2,9	0,0018	0,0018	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014	0,0013



Таблиця А.3 – Відсоткові точки розподілу  $\chi^2$ 

$n$	$\alpha$									
	0,995	0,990	0,975	0,950	0,900	0,10	0,05	0,025	0,010	0,005
1	0,000039	0,00016	0,00098	0,0039		2,71 4,61	3,84 5,99	5,02 7,38	6,63 9,21	7,88 10,60
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	0,0158	6,25 7,78	7,81 9,49	9,35	11,34	12,84
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	0,211	9,24	11,07	11,14	13,28	14,86
4	0,207	0,297	0,484	0,711	0,584			12,83	15,09	16,75
5	0,412	0,554	0,831	1,15	1,06					
					1,61					
6	0,676									
7	0,989	0,872				10,64	12,59	14,45	16,81	18,55
		1,24	1,24 1,69	1,64 2,17	2,20 2,83	12,05	14,07	16,01	18,48	20,28
8	1,34	1,65	2,18 2,70	2,73 3,33	3,49 4,17	13,36	15,51	17,53	20,09	21,96
9	1,73	2,09	3,25	3,94	4,87	14,68	16,92	19,02	21,67	23,59
10	2,16	2,56				15,99	18,31	20,48	23,21	25,19
11	2,60									
12	3,07	3,05 4,57	3,82 4,40	4,57 5,23	5,58 6,30	17,28	19,68	21,92	24,73	26,76
13	3,57	4,11 4,66	5,01 5,63	5,89 6,57	7,04 7,79	18,55	21,03	23,34	26,22	28,30
14	4,07	5,23	6,26	7,26	8,55	19,81	22,36	24,74	27,69	29,82
15	4,60					21,06	23,68	26,12	29,14	31,32
						22,31	25,00	27,49	30,58	32,80
16	5,14									
17	5,70	5,81 6,41	6,91 7,56	7,96 8,67	9,31 10,08	23,54	26,30	28,85	32,00	34,27
18	6,26	7,01 7,63	8,23 8,91	9,39 10,12	10,86	24,77	27,59	30,19	33,41	35,72
19	6,84	8,26	9,59	10,85	11,65	25,99	28,87	31,53	34,81	37,16
20	7,43				12,44	27,20	30,14	32,85	36,19	38,58
						28,41	31,41	34,17	37,57	40,00
21	8,03									
22	8,64	8,90 9,54	10,28	11,59	13,24	29,62	32,67	35,48	38,93	41,40
23	9,26	10,20	10,98	12,34	14,04	30,81	33,92	36,78	40,29	42,80
24	9,89	10,86	11,69	13,09	14,85	32,01	35,17	38,08	41,64	44,18
25	10,52	11,52	12,40	13,85	15,66	33,20	36,42	39,36	42,98	45,56
			13,12	14,61	16,47	34,38	37,65	40,65	44,31	46,93
26	11,16									
27	11,81	12,20	13,84	15,38	17,29	35,53	38,88	41,92	45,64	48,29
28	12,46	12,88	14,57	16,15	18,11	36,74	40,11	43,19	46,96	49,64
29	13,12	13,56	15,31	16,93	18,94	37,92	41,34	44,46	48,28	50,99
30	13,79	14,26	16,05	17,71	19,77	39,09	42,56	45,72	49,59	52,34
		14,95	16,79	18,49	20,60	40,26	43,77	46,98	50,89	53,67
40	20,71	22,16	24,43	26,51	29,05	51,81	55,76	59,34	63,69	66,77
60	35,53	37,48	40,48	43,19	46,46	74,40	79,08	83,30	88,38	91,95
120	83,85	86,92	91,58	95,70	100,62	140,23	146,57	152,21	158,95	163,65

Таблиця А.4 – Відсоткові точки  $t$ -розподілу Стьюдента

$n$	$\alpha$				
	0,10	0,050	0, 025	0,010	0,005
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657
2	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355
9 10	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250
	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106
12 13	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055
14 15	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012
	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977
	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947
16 17	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921
18 19	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898
20	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878
	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861
	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845
21	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831
22 23	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819
24 25	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807
	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797
	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787
26 27	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779
28 29	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771
30	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763
	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756
	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750
40 60	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704
120	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660
	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617

*Примітка.* Значення  $t$ -розподілу для  $\alpha = 0,995; 0,990; 0,975; 0,950; 0,900$  матимемо, якщо скористаємось співвідношення  $t_{n,1-\alpha} = -t_{n,\alpha}$ .

Таблиця А.6– Відсоткові точки розподілу серій

$\alpha$						
$n = N/2$	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01
5	2	2	3	8	9	9
6	2	3	3	10	10	11
7	3	3	4	11	12	12
<b>8</b>	4	4	5	12	13	13
9	4	5	6	13	14	15
10	5	6	6	15	15	16
11	6	7	7	16	16	17
12	7	7	8	17	18	18
13	7	8	9	18	19	20
14	8	9	10	19	20	21
15	9	10	11	20	21	22
16	10	11	11	22	22	23
18	11	12	13	24	25	26
20	13	14	15	26	27	28
25	17	18	19	32	33	34
30	21	22	24	37	39	40
35	25	27	28	43	44	46
40	30	31	33	48	50	51
45	34	36	37	54	55	57
50	38	40	42	59	61	63
55	43	45	46	65	66	68
60	47	49	51	70	72	74
65	52	54	56	75	77	79
70	56	58	62	81	83	85
75	61	63	65	86	88	90
80	65	68	70	81	93	96
85	70	72	74	97	99	101
90	74	77	79	102	104	107
95	79	82	84	107	109	112
100	84	86	88	113	115	117

Таблиця А.7– Коефіцієнти  $a_i$  критерію Шапіро-Уїлка (для N = 50)

$i$	$a_i$	$i$	$a_i$	$i$	$a_i$	$i$	$a_i$	$i$	$a_i$
1	0.375	6	0.169	11	0.111	16	0.068	21	0.031
2	0.257	7	0.155	12	0.102	17	0.061	22	0.024
3	0.226	8	0.143	13	0.093	18	0.053	23	0.017
4	0.203	9	0.132	14	0.085	19	0.046	24	0.010
5	0.185	10	0.121	15	0.076	20	0.039	25	0.003

## ЛІТЕРАТУРА

- 1 **Дейч А. М.** Методы идентификации динамических объектов / А.М. Дейч. – М.: Энергия, 1979. – 240 с.
- 2 **Гроп Д.** Методы идентификации систем / Д.Гроп – М.: Мир, 1979. – 302 с.
- 3 **Киричков В. Н.** Идентификация объектов систем управления технологическими процессами. / В. Н. Киричков. – К.: Выща школа, 1990. – 263 с.
- 4 **Бендат Дж.** Измерение и анализ случайных процессов / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М.: Мир, 1971. – 408 с.
- 5 **Дьяконов В. П.** Matlab. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник / В. П. Дьяконов, В. М. Круглов. – Спб.: Питер, 2002 – 448 с.
- 6 **Дьяконов В. П.** Matlab 6/6.1 /6.5+Simulink 4/5. Основы применения. Полное руководство пользователя / В. П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2002. – 768 с.
- 7 **Остапенко Ю. А.** Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів керування: Підручник / Ю. А. Остапенко. – К.: Задруга, 1999. – 424 с.
- 8 **Райбман Н.С.,** Построение моделей процессов производств / **Н.С. Райбман,** В. М. Чадаев. – М.: Энергия, 1976. – 376 с.
- 9 **Бондарь А. Г.** Планирование эксперимента / А. Г. Бондарь. – К.: Вища школа, 1980. – 264 с.

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	3
ЗМІСТ ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	5
Тема курсової роботи.....	5
Постановка задачі курсової роботи.....	5
Завдання 1 Аналіз статистичних характеристик об'єкта за даними пасивного експерименту та обрання структури моделі.....	6
Завдання 2 Визначання параметрів статичної моделі об'єкта за обраною структурою. Аналіз побудованої статичної моделі.. ....	7
Завдання 3 Визначання динамічних характеристик об'єкта за даними пасивного експерименту.....	7
Завдання 4 Аналіз результатів побудови динамічної моделі.....	8
ВИХІДНІ ДАНІ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	10
ФОРМУЛИ ДЛЯ ПРОГРАМУВАННЯ ЗАВДАНЬ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	16
СТАНДАРТНІ ФУНКЦІЇ МАТЛАВ, ЯКІ МОЖЕ БУТИ ВИКОРИСТАНО В КУРСОВІЙ РОБОТІ.....	21
<i>Додаток А</i> Таблиці значень критеріїв для розрахунків.....	23
ЛІТЕРАТУРА.....	29





Навчально-методична література

**Левицький В.В.**

Методичні вказівки

для виконання курсової роботи з дисципліни

**«ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ»**

Комп'ютерне макетування та верстка *А.П. Катрич*

Формат 60x90/16. Обл. вид. арк. 6,13. Тираж 10 прим. Зам. № 2830.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя.

46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4226 від 08.12.11.