

література



Навчально-методична

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. ІВАНА ПУЛЮЯ

КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

*Методичні вказівки до виконання курсового
проєкту з дисципліни*

Основи автоматизованого проєктування складних об'єктів та систем

для здобувачів освітнього рівня магістр за
спеціальністю

174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка"

Тернопіль 2023

Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни «Основи автоматизованого проєктування складних об'єктів та систем» для здобувачів освітнього рівня магістр за спеціальністю 174"Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка" / В.В. Левицький – Тернопіль: ТНТУ, 2023. - 36 с.

Методичні вказівки містить завдання для студентів, які вивчають дисципліну “ Основи автоматизованого проєктування складних об'єктів та систем ”. Виконання курсового проєкту сприятиме набуттю та закріпленню теоретичних і практичних знань щодо розв'язання інженерних задач математичного моделювання.

Розглянуто на засіданні кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій і рекомендовано до друку (протокол №6 від 7.12.2023 р.)

Схвалено та рекомендовано до друку НМК факультету прикладних інформаційних технологій та електроінженерії (протокол №4 від 12.12.2023 р.)

ПЕРЕДМОВА

Дисципліну “ Основи автоматизованого проектування складних об’єктів та систем ” вивчають студенти п’ятого курсу стаціонару та заочної форми навчання, які навчаються за спеціальністю 174 “Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка ”.

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

“ Основи автоматизованого проектування складних об’єктів та систем ”

1 Класифікація об’єктів та методів.

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 (Н-метод). Вилучання лінійно-залежних змінних для нестаціонарних об’єктів (К-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. Програмування 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.

Гradientні методи. Метод стохастичної апроксимації. Адаптивні методи ідентифікації статичних характеристик: Качмажа, Некрасова, Нагумо – Нода. Адаптивні методи ідентифікації динамічних характеристик з використанням диференціальних 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 курсового проєкту

1. Курсовий проєкт 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 зауваг 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. 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 χ^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 корельованність параметрів на вході та виході;
- j)* визначити лінійність залежності поміж вхідними параметрами (Нметод);
- 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.

№ вимірювання	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	y1	y2	y3	y4	y5
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	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	y1	y2	y3	y4	y5
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 δ г/л., x_2 – витрата пульпи Q_p , м³/ч., x_3 – витрата реагентів $Q_{рв}$, кг/т, x_4 – витрата реагентів $Q_{рс}$, кг/т, x_5 – зольність вихідного шламу A_{ci} %, x_6 – ситовий склад Z_1 (0–0,1) мм %, x_7 – ситовий склад Z_2 (>0,5) мм %, x_8 – фракційний склад Φ (1,5-1,6; 1,6-1,8) %, .

Параметри вимірювань на виході :

y_1 – зольність концентрату A^c_k , y_2 – зольність флотохвостів $A^c_{хв}$.

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*)

№ вимірювання	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	y_1	y_2
1	180	109	17.6	181	20.8	21.3	28.4	14.13	8.2	70.0
2	195	109	17.6	181	19.3	18.0	37.5	14.8	7.4	70.5
3	192	109	17.6	181	21.5	20.8	28.8	15.11	8.2	70.5
4	189	109	17.6	181	21.7	20.2	30.7	15.92	8.2	70.5
5	201	128	17.6	213	20.9	20.4	29.1	14.16	8.5	71.2
6	237	128	17.6	213	20.8	19.0	32.6	15.98	8.3	72.5
7	216	128	19.8	213	21.9	18.6	34.0	16.74	8.7	72.3
8	201	128	19.8	213	21.5	17.3	34.3	16.22	8.4	72.6
9	201	128	19.8	194	23.2	16.0	37.3	14.48	8.6	72.6
10	237	128	19.8	194	23.0	20.0	30.4	16.99	9.0	72.0
11	231	128	19.8	194	21.4	20.6	31.9	16.37	8.7	73.5
12	231	150	19.8	194	22.6	21.1	33.1	15.98	9.1	71.8
13	234	150	17.4	210	21.6	20.5	32.3	16.73	8.8	70.8
14	237	150	17.4	210	23.1	16.5	35.0	15.01	8.9	72.3
15	210	150	17.4	210	20.9	16.4	34.8	14.2	8.4	70.9
16	204	100	17.4	210	19.2	16.7	35.7	13.77	7.2	72.1
17	198	100	12.6	198	21.4	18.5	31.3	12.59	7.6	71.4

18	200	100	12.6	198	20.9	18.8	30.0	15.0	7.6	71.0
19	195	100	12.6	198	20.4	18.5	30.6	15.8	7.4	70.5
20	210	100	12.6	198	20.7	19.0	28.5	14.0	7.5	71.5
21	210	100	12.6	170	20.7	19.9	27.7	11.79	7.6	71.0
22	168	100	12.5	170	19.9	17.5	31.2	13.91	7.0	70.3
23	225	100	21.6	170	21.1	15.0	44.5	16.88	7.4	72.6
24	222	138	21.6	170	20.4	15.6	43.4	16.02	8.0	71.2
25	195	138	21.6	170	22.1	16.3	31.4	14.11	8.3	70.2
26	200	138	14.3	170	21.6	16.5	33.0	14.97	7.7	69.4
27	192	138	14.3	170	20.0	16.6	31.0	15.56	7.6	68.7
28	222	138	14.3	170	21.3	18.4	29.0	13.39	8.2	70.4
29	195	109	14.3	170	20.7	20.1	27.2	13.02	8.2	70.1
30	174	109	14.3	170	21.0	15.5	40.9	14.94	8.8	69.3
31	174	109	14.3	192	19.9	15.0	42.0	15.98	6.9	69.6
32	180	109	14.3	192	19.8	14.2	43.4	15.22	6.7	70.0
33	192	100	16.0	192	19.6	14.8	43.2	14.79	6.7	71.1
34	195	100	16.0	192	20.3	15.0	34.9	13.43	6.7	71.5
35	210	100	16.0	192	19.5	16.3	41.8	15.12	6.9	71.6
36	220	100	16.0	192	21.0	20.0	31.0	17.21	7.9	71.8
37	195	109	17.6	181	19.3	18.0	37.5	14.8	7.4	70.5
38	192	109	17.6	181	21.5	20.8	28.8	15.11	8.2	70.5
39	189	109	17.6	181	21.7	20.2	30.7	15.92	8.2	70.5

Подовження таблиці 3.

№ вимірювання	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	y1	y2
40	201	128	17.6	213	20.9	20.4	29.1	14.16	8.5	71.2
41	237	128	17.6	213	20.8	19.0	32.6	15.98	8.3	72.5
42	216	128	19.8	213	21.9	18.6	34.0	16.74	8.7	72.3
43	201	128	19.8	213	21.5	17.3	34.3	16.22	8.4	72.6
44	201	128	19.8	194	23.2	16.0	37.3	14.48	8.6	72.6
45	237	128	19.8	194	23.0	20.0	30.4	16.99	9.0	72.0
46	231	128	19.8	194	21.4	20.6	31.9	16.37	8.7	73.5
47	231	150	19.8	194	22.6	21.1	33.1	15.98	9.1	71.8
48	237	150	17.4	210	23.1	16.5	35.0	15.01	8.9	72.3
49	210	150	17.4	210	20.9	16.4	34.8	14.2	8.4	70.9
50	204	100	17.4	210	19.2	16.7	35.7	13.77	7.2	72.1

51	198	100	12.6	198	21.4	18.5	31.3	12.59	7.6	71.4
52	200	100	12.6	198	20.9	18.8	30.0	15.0	7.6	71.0
53	195	100	12.6	198	20.4	18.5	30.6	15.8	7.4	70.5
54	210	100	12.6	198	20.7	19.0	28.5	14.0	7.5	71.5
55	210	100	12.6	170	20.7	19.9	27.7	11.79	7.6	71.0
56	168	100	12.5	170	19.9	17.5	31.2	13.91	7.0	70.3
57	225	100	21.6	170	21.1	15.0	44.5	16.88	7.4	72.6
58	222	138	21.6	170	20.4	15.6	43.4	16.02	8.0	71.2
59	195	138	21.6	170	22.1	16.3	31.4	14.11	8.3	70.2
60	200	138	14.3	170	21.6	16.5	33.0	14.97	7.7	69.4
61	192	138	14.3	170	20.0	16.6	31.0	15.56	7.6	68.7
62	222	138	14.3	170	21.3	18.4	29.0	13.39	8.2	70.4
63	174	109	14.3	192	19.9	15.0	42.0	15.98	6.9	69.6
64	180	109	14.3	192	19.8	14.2	43.4	15.22	6.7	70.0
65	192	100	16.0	192	19.6	14.8	43.2	14.79	6.7	71.1
66	195	100	16.0	192	20.3	15.0	34.9	13.43	6.7	71.5
67	210	100	16.0	192	19.5	16.3	41.8	15.12	6.9	71.6
68	220	100	16.0	192	21.0	20.0	31.0	17.21	7.9	71.8
69	195	109	17.6	181	19.3	18.0	37.5	14.8	7.4	70.5
70	192	109	17.6	181	21.5	20.8	28.8	15.11	8.2	70.5
71	189	109	17.6	181	21.7	20.2	30.7	15.92	8.2	70.5
72	201	128	17.6	213	20.9	20.4	29.1	14.16	8.5	71.2
73	237	128	17.6	213	20.8	19.0	32.6	15.98	8.3	72.5
74	216	128	19.8	213	21.9	18.6	34.0	16.74	8.7	72.3
75	237	150	17.4	210	23.1	16.5	35.0	15.01	8.9	72.3
76	210	150	17.4	210	20.9	16.4	34.8	14.2	8.4	70.9
77	204	100	17.4	210	19.2	16.7	35.7	13.77	7.2	72.1
78	198	100	12.6	198	21.4	18.5	31.3	12.59	7.6	71.4

Закінчення таблиці 3.

№ вимірювання	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	y1	y2
79	200	100	12.6	198	20.9	18.8	30.0	15.0	7.6	71.0
80	195	100	12.6	198	20.4	18.5	30.6	15.8	7.4	70.5
81	210	100	12.6	198	20.7	19.0	28.5	14.0	7.5	71.5
82	210	100	12.6	170	20.7	19.9	27.7	11.79	7.6	71.0
83	168	100	12.5	170	19.9	17.5	31.2	13.91	7.0	70.3

84	225	100	21.6	170	21.1	15.0	44.5	16.88	7.4	72.6
85	222	138	21.6	170	20.4	15.6	43.4	16.02	8.0	71.2
86	180	109	17.6	181	20.8	21.3	28.4	14.13	8.2	70.0
87	195	109	17.6	181	19.3	18.0	37.5	14.8	7.4	70.5
88	192	109	17.6	181	21.5	20.8	28.8	15.11	8.2	70.5
89	189	109	17.6	181	21.7	20.2	30.7	15.92	8.2	70.5
90	201	128	17.6	213	20.9	20.4	29.1	14.16	8.5	71.2
91	237	128	17.6	213	20.8	19.0	32.6	15.98	8.3	72.5
92	216	128	19.8	213	21.9	18.6	34.0	16.74	8.7	72.3
93	201	128	19.8	213	21.5	17.3	34.3	16.22	8.4	72.6
94	201	128	19.8	194	23.2	16.0	37.3	14.48	8.6	72.6
95	225	100	21.6	170	21.1	15.0	44.5	16.88	7.4	72.6
96	222	138	21.6	170	20.4	15.6	43.4	16.02	8.0	71.2
97	180	109	17.6	181	20.8	21.3	28.4	14.13	8.2	70.0
98	195	109	17.6	181	19.3	18.0	37.5	14.8	7.4	70.5
99	210	100	16.0	192	19.5	16.3	41.8	15.12	6.9	71.6
100	192	109	17.6	213	20.8	19.0	32.6	15.98	8.3	72.5
101	225	100	21.6	170	21.1	15.0	44.5	16.88	7.4	72.6
102	222	138	21.6	170	20.4	15.6	43.4	16.02	8.0	71.2
103	180	109	17.6	181	20.8	21.3	28.4	14.13	8.2	70.0
104	195	109	17.6	181	19.3	18.0	37.5	14.8	7.4	70.5
105	192	109	17.6	181	21.5	20.8	28.8	15.11	8.2	70.5
106	189	109	17.6	181	21.7	20.2	30.7	15.92	8.2	70.5
107	192	138	14.3	170	20.0	16.6	31.0	15.56	7.6	68.7
108	222	138	14.3	170	21.3	18.4	29.0	13.39	8.2	70.4
109	174	109	14.3	192	19.9	15.0	42.0	15.98	6.9	69.6
110	180	109	14.3	192	19.8	14.2	43.4	15.22	6.7	70.0
111	192	100	16.0	192	19.6	14.8	43.2	14.79	6.7	71.1
112	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

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

$$x_1 - m_{x2}; \quad m_{x1} = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^m x_{1i}; \quad m_{x2} = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^m x_{2i}$$

$$S_{i2} = \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}; \quad S_{12} = \frac{\sum_{i=1}^{n/2} x_{1i}^2 - n_1 \cdot m_{x1}^2}{n_1 - 1} + \frac{\sum_{i=1}^{n_2} x_{2i}^2 - n_2 \cdot m_{x2}^2}{n_2 - 1}$$

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

2 Критерій χ^2 перевірки гіпотези щодо нормального закону розподілу даних

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

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

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

Теоретичні значення χ^2 наведено в табл. А.3 додатка.

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

???,

$$\sum_{i=1}^n x_i^2 - \left| \sum_{i=1}^n b_{2n} x_i \right|$$

$$V_p = \frac{S_x}{n}, \quad \text{де } S_x = \sum_{i=1}^n x_i^2$$

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

x_i – відсортований вектор вимірювань, a_i – коефіцієнти Шапіро-Уїлка (табл. А.7 додатка) 4
Критерій Колмогорова перевірки гіпотези щодо нормального закону розподілу даних

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

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

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

$$F_i^T = 0,5 + \Phi\left(\frac{x_i - m}{\sigma_x}\right), \quad \text{де } \Phi_0(z_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-t^2/2} dt,$$

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

m_x – середнє значення, σ_x – середнє квадратичне вiдхилення вектора вимiрювань. Критерiй $\lambda_0 = 1,36$ для $\alpha = 0,05$.

5 Перевiрка гiпотези щодо нормального закону розподiлу даних за асиметрiєю та ексцесом

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

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

Наближенi значення середнiх квадратичних вiдхилень асиметрiї й ексцесу

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

Асиметрiя $a = m_3/\sigma^3$, 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, σ – середнє квадратичне вiдхилення вектора вимiрювань.

6 Критерiй визначення корельованостi параметрiв

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

де n – кiлькiсть вимiрювань.

7 Визначення незалежностi вхiдних параметрiв 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.

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

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

8 Визначення інформативності параметрів на вході об'єкта

$$q_{\bar{x}}(y) = \frac{H_{\bar{x}}(y)}{H(y)}; \quad q_j = \frac{H_{x_j}(y)}{\sqrt{2\pi e}};$$

де $H(y) = I_{\bar{x}}(y) + H_x(y); \quad H(y) = \ln(\sigma_y \cdot$

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

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

$$A(z)y(t) = e(t) \text{ – AR-модель;}$$

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

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

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

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

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

де $A(z) = 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_n z^{-n}$;

$$B(z) = b_1 + b_2 z^{-1} + \dots + b_n z^{-n+1};$$

$$C(z) = 1 + c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2} + \dots + c_n z^{-n};$$

$$D(z) = 1 + d_1 z^{-1} + d_2 z^{-2} + \dots + d_n z^{-n};$$

$$F(z) = 1 + f_1 z^{-1} + f_2 z^{-2} + \dots + f_n z^{-n}.$$

12 Динамічна модель в просторі змінних стану

$$\begin{aligned}x'(t) &= Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) &= Cx(t) + Du(t)\end{aligned}$$

13 Матриці спостережності та керованості об'єкта

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} C \\ CA \\ \vdots \\ CA^{n-1} \end{bmatrix} \\ & \begin{bmatrix} B \\ AB \\ A^2B \\ \vdots \\ A^{n-1}B \end{bmatrix} \\ & MN = \begin{bmatrix} B \\ AB \\ A^2B \\ \vdots \\ A^{n-1}B \end{bmatrix} \\ & CA \begin{bmatrix} B \\ AB \\ A^2B \\ \vdots \\ A^{n-1}B \end{bmatrix} \end{aligned}$$

... — матриця спостережності;

$$MU = \begin{bmatrix} B & AB & A^2B & \dots & A^{n-1}B \end{bmatrix} \text{ — матриця керованості, де } A, B, C \text{ — матриці}$$

динамічної моделі в просторі змінних стану (див. п. 13).

14 Оцінювання адекватності моделі та об'єкта

$$n \quad 2$$

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

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y_i^M)^2} \text{ — середнє квадратичне відхилення значень виходу}$$

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

$p = \sqrt{1 - r^2}$ – степінь не лінійності;

$$\frac{n - k}{k - 2} \frac{1 - r^2}{1 - \eta^2}$$

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

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

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

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

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

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

$x_{y_j} = \frac{1}{v_j(y)} \sum_{i=1}^k x_{ij}^* v_{ij}(y)$ – 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;

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

$j=1 \dots i=1$ лях;

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

m_x , m_y – середні значення параметрів x та y ; σ_x , σ_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)	OE-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)	PEM- 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

Додаток

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

– Значення площі, покритої ординатами нормованої гаусової щільності

$Z\alpha$	0,0	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

.3 – Відсоткові точки розподілу χ^2

n	α									
	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 0,352	0,015 8	6,25 7,78	7,81 9,49	9,35	11,34	12,84
3	0,0717	0,115	0,216	0,711	0,211	9,24	11,07	11,14	13,28	14,86
4	0,207	0,297 0,554	0,484 0,831	1,15	0,584			12,83	15,09	16,75
5	0,412				1,06 1,61					

6	0,676									
7	0,989					10,64	12,59	14,45	16,81	18,55
8	1,34	0,872	1,24 1,69	1,64 2,17	2,20 2,83	12,05	14,07	16,01	18,48	20,28
9	1,73	1,24 1,65	2,18 2,70	2,73 3,33	3,49 4,17	13,36	15,51	17,53	20,09	21,96
10	2,16	2,09 2,56	3,25	3,94	4,87	14,68 15,99	16,92 18,31	19,02 20,48	21,67 23,21	23,59 25,19
11	2,60									
12	3,07					17,28	19,68	21,92	24,73	26,76
13	3,57	3,05 4,57	3,82 4,40	4,57 5,23	5,58 6,30	18,55	21,03	23,34	26,22	28,30
14	4,07	4,11 4,66	5,01 5,63	5,89 6,57	7,04 7,79	19,81	22,36	24,74	27,69	29,82
15	4,60	5,23	6,26	7,26	8,55	21,06 22,31	23,68 25,00	26,12 27,49	29,14 30,58	31,32 32,80
16	5,14									
17	5,70				9,31 10,08	23,54	26,30	28,85	32,00	34,27
18	6,26	5,81 6,41	6,91 7,56	7,96 8,67	10,86	24,77	27,59	30,19	33,41	35,72
19	6,84	7,01 7,63	8,23 8,91	9,39 10,12	11,65	25,99	28,87	31,53	34,81	37,16
20	7,43	8,26	9,59	10,85	12,44	27,20 28,41	30,14 31,41	32,85 34,17	36,19 37,57	38,58 40,00
21	8,03									
22	8,64		10,28	11,59	13,24	29,62	32,67		38,93	41,40
23	9,26	8,90 9,54	10,98	12,34	14,04	30,81	33,92	35,48	40,29	42,80
24	9,89	10,20	11,69	13,09	14,85	32,01	35,17	36,78 38,08	41,64	44,18
25	10,52	10,86 11,52	12,40 13,12	13,85 14,61	15,66 16,47	33,20 34,38	36,42 37,65	39,36 40,65	42,98 44,31	45,56 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 14,95	16,05 16,79	17,71 18,49	19,77 20,60	39,09 40,26	42,56 43,77	45,72 46,98	49,59 50,89	52,34 53,67
40	20,71									
60	35,53	22,16	24,43	26,51	29,05	51,81	55,76	59,34	63,69	66,77
120	83,85	37,48 86,92	40,48 91,58	43,19 95,70	46,46 100,62	74,40 140,23	79,08 146,57	83,30 152,21	88,38 158,95	91,95 163,65

4 – Відсоткові точки t -розподілу Стюдента

n	α				
	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

$n = N/2$	α					
	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

8	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

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	3
ЗМІСТ ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	5
Тема курсової роботи.....	5
Постановка задачі курсової роботи.....	5
Завдання / 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
Додаток А Таблиці значень критеріїв для розрахунків.....	23

Видавництво Тернопільського національного
технічного університету імені Івана Пулюя
вул. Руська 56, м.Тернопіль, 46001
Формат 60x90/16. Папір офсетний.
Наклад 20 прим. Зам.№127-11.03