

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 1

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Державного університету
«Житомирська політехніка»
протокол від 12.06.2025 р.
№ 04

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ для проведення практичних занять з навчальної дисципліни «МАТЕМАТИЧНІ ТА ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ»

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «магістр»
спеціальності 175 «Інформаційно-вимірювальні технології»
освітньо-професійна програма «Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні
системи»
факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Рекомендовано на засіданні
кафедри інформаційно-вимірювальних
технологій
«02» квітня 2025р., протокол № 4

Розробник: професор, завідувач кафедри інформаційно-вимірювальних технологій
ПОДЧАШИНСЬКИЙ Юрій, асистент кафедри інформаційно-вимірювальних
технологій ВОРОНОВА Тетяна

Житомир
2025

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 2

Методичні рекомендації для проведення практичних занять з дисципліни «МАТЕМАТИЧНІ ТА ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ» для студентів спеціальності 175 «Інформаційно-вимірювальні технології»/ Укладачі Ю.О.Подчашинський, Т.С.Воронова, – Житомир: ДУ «Житомирська політехніка», 2025. – 54 с.

Укладачі Ю.О.Подчашинський, Т.С.Воронова

Рецензенти:

к.т.н., доцент кафедри робототехніки, електроенергетики та автоматизації ім. проф. Б.Б. Самотокіна Громовий О.А.,

к.т.н., доцент, доцент кафедри робототехніки, електроенергетики та автоматизації ім. проф. Б.Б. Самотокіна Гуменюк А.А.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 3

ЗМІСТ

Практичне заняття 1

Моделювання складної системи, що задана диференціальним рівнянням

4

Практичне заняття 2

Розробка алгоритму та програми для генератора випадкових чисел на основі обчислення залишку від ділення

11

Практичне заняття 3

Розробка алгоритму та програми для генератора випадкових чисел на основі псевдовипадкової бінарної послідовності

16

Практичне заняття 4

Розрахунок перехідної характеристики інформаційно-вимірювальних систем

21

Практичне заняття 5

Ідентифікація динамічних характеристик інформаційно-вимірювальних систем за методом взаємної кореляційної функції

26

Практичне заняття 6

Адаптивна ідентифікація інформаційно-вимірювальних систем на основі регресійної моделі

34

Практичне заняття 7

Адаптивна ідентифікація інформаційно-вимірювальних систем на основі регресійно-авторегресійної моделі

39

Практичне заняття 8

Застосування фільтра Калмана для визначення поточних координат об'єкту вимірювання.....

46

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 4

Практичне заняття 1 МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНОЇ СИСТЕМИ, ЩО ЗАДАНА ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИМ РІВНЯННЯМ

1.1. План проведення практичного заняття

1. Стисло нагадати теоретичні відомості, необхідні для виконання індивідуального завдання практичного заняття.
2. Виконати попередній аналіз початкових даних індивідуального завдання (табл. 12.1).
3. Отримати різницеве рівняння для моделювання об'єкта управління.
4. Розробити програму моделювання об'єкта управління.
5. Отримати результати моделювання об'єкта управління.

Таблиця 1.1

№ варіанту	Диференційне рівняння	Метод чисельного інтегрування
1	$\ddot{y} + 3y = 5x$	прямокутників
2	$\ddot{y} + 3y = 5x$	трапецій
3	$2\ddot{y} - \dot{y} + y = 5\dot{x} - 2x$	прямокутників
4	$2\ddot{y} - \dot{y} + y = 5\dot{x} - 2x$	трапецій
5	$\dot{y} + 3y = 2\dot{x} + x$	прямокутників
6	$\dot{y} + 3y = 2\dot{x} + x$	трапецій
7	$\ddot{y} - \dot{y} + y = 3x$	прямокутників
8	$\ddot{y} - \dot{y} + y = 3x$	трапецій
9	$\ddot{y} + \dot{y} - 2y = 4x$	прямокутників
10	$\ddot{y} + \dot{y} - 2y = 4x$	трапецій
11	$\ddot{y} + \dot{y} - 5y = x$	прямокутників
12	$\ddot{y} + \dot{y} - 5y = x$	трапецій
13	$\ddot{y} - 5\dot{y} + y = 2x$	прямокутників
14	$\ddot{y} - 5\dot{y} + y = 2x$	трапецій
15	$\ddot{y} - 3\dot{y} + y = \dot{x} - 2x$	прямокутників
16	$\ddot{y} - 3\dot{y} + y = \dot{x} - 2x$	трапецій
17	$\dot{y} - 3y = \dot{x} + x$	прямокутників
18	$\dot{y} - 3y = \dot{x} + x$	трапецій
19	$\ddot{y} + \dot{y} + y = 5x$	прямокутників
20	$\ddot{y} + \dot{y} + y = 5x$	трапецій

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 5

Продовження таблиці 1.1

№ варіанту	Диференційне рівняння	Метод чисельного інтегрування
21	$\ddot{y} - 2\dot{y} + y = 3\dot{x} + x$	прямокутників
22	$\ddot{y} - 2\dot{y} + y = 3\dot{x} + x$	трапецій
23	$2\ddot{y} + \dot{y} + y = \dot{x} + 7x$	прямокутників
24	$2\ddot{y} + \dot{y} + y = \dot{x} + 7x$	трапецій
25	$\ddot{y} - 2\dot{y} + 3y = \dot{x}$	прямокутників
26	$\ddot{y} - 2\dot{y} + 3y = \dot{x}$	трапецій
27	$\ddot{y} + 2\dot{y} + y = 3\dot{x} - x$	прямокутників
28	$\ddot{y} + 2\dot{y} + y = 3\dot{x} - x$	трапецій
29	$\ddot{y} - 4\dot{y} + y = 3\dot{x} + 2x$	прямокутників
30	$\ddot{y} - 4\dot{y} + y = 3\dot{x} + x$	трапецій
31	$\dot{y} + 3y = 2\dot{x} + x$	трапецій
32	$\dot{y} + 3y = 2\dot{x} + x$	прямокутників
33	$\ddot{y} - \dot{y} + y = 3x$	трапецій
34	$\ddot{y} - \dot{y} + y = 3x$	прямокутників
35	$\ddot{y} + \dot{y} - 2y = 4x$	трапецій
36	$\ddot{y} + \dot{y} - 2y = 4x$	прямокутників
37	$\ddot{y} + \dot{y} - 5y = x$	трапецій
38	$\ddot{y} + \dot{y} - 5y = x$	прямокутників
39	$\ddot{y} - 5\dot{y} + y = 2x$	трапецій
40	$\ddot{y} - 5\dot{y} + y = 2x$	прямокутників

1.2. Приклад виконання завдання практичного заняття

1. Задано диференційне рівняння

$$2\ddot{y} + \dot{y} + y = \dot{x} + 7x, c$$

де x – вхідний сигнал ОУ; y – вихідний сигнал ОУ.

2. Вводимо оператор диференціювання та підставляємо його в диференційне рівняння:

$$D = \frac{d}{dt}; \quad D^2 = \frac{d^2}{dt^2};$$

$$2D^2y + Dy + y = x + 7Dx; \quad y + \frac{y}{D} + \frac{y}{D^2} = \frac{x}{D^2} - \frac{7x}{D}.$$

3. Замінюємо оператор диференціювання на оператор інтегрування, для цього ліву і праву частину рівняння ділимо на старшу ступінь D :

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 6

$$I = \frac{1}{D} = \int \dots dx; \quad I^2 = \frac{1}{D^2};$$

$$2y + yI + yI^2 = xI + 7xI^2.$$

4. Виконуємо пряме z-перетворення з використанням таблиці підстановки (табл. 1.2) для оператора інтегрування з урахуванням методу чисельного інтегрування:

$$y(t) \rightarrow Y(z); \quad x(t) \rightarrow X(z).$$

Таблиця 1.2

Кількість інтегрувань	Оператор для кусочно-постійної функції		Оператор для кусочно-лінійної функції	
	Позначення	Вираз	Позначення	Вираз
1	$I_{П1}$	$\frac{\tau}{z-1}$	I_{T1}	$\frac{\tau}{2} \cdot \frac{z+1}{z-1}$
2	$I_{П2}$	$\frac{\tau^2}{2} \cdot \frac{z+1}{(z-1)^2}$	I_{T2}	$\frac{\tau^2}{6} \cdot \frac{(z^2+4z+1)}{(z-1)^2}$

Застосовуємо метод трапецій для чисельного інтегрування:

$$I = \frac{\tau}{2} \cdot \frac{z+1}{z-1}; \quad I^2 = \frac{\tau^2}{6} \cdot \frac{z^2+4z+1}{(z-1)^2};$$

$$\begin{aligned} 2Y(z) + Y(z) \frac{\tau}{2} \cdot \frac{z+1}{z-1} + Y(z) \frac{\tau^2}{6} \cdot \frac{z^2+4z+1}{(z-1)^2} = \\ = X(z) \frac{\tau^2}{6} \cdot \frac{z^2+4z+1}{(z-1)^2} + X(z) \frac{7\tau}{2} \cdot \frac{z+1}{z-1}. \end{aligned}$$

5. Виносимо за дужки $Y(z)$, $X(z)$ та приводимо рівняння до спільного знаменника у лівій та правій частині. В результаті отримуємо:

$$\begin{aligned} Y(z) \left[2 + \frac{\tau}{2} \cdot \frac{z+1}{z-1} + \frac{\tau^2}{6} \cdot \frac{z^2+4z+1}{(z-1)^2} \right] &= X(z) \left[\frac{\tau^2}{6} \cdot \frac{z^2+4z+1}{(z-1)^2} + \frac{7\tau}{2} \cdot \frac{z+1}{z-1} \right]; \\ Y(z) \left[\frac{12(z-1)^2 + 3\tau(z+1)(z-1) + \tau^2(z^2+4z+1)}{6(z-1)^2} \right] &= \\ = X(z) \left[\frac{21\tau(z+1)(z-1) + \tau^2(z^2+4z+1)}{6(z-1)^2} \right]. \end{aligned}$$

6. Відкидаємо однакові значення знаменника лівої та правої частини рівняння, в чисельнику приводимо подібні доданки щодо ступенів z:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 7

$$Y(z)[(\tau^2 + 3\tau + 12)z^2 + (4\tau^2 - 24)z + (\tau^2 - 3\tau + 12)] = \\ = X(z)[(\tau^2 + 21\tau)z^2 + 4\tau^2 z + (\tau^2 - 21\tau)]$$

7. Переходимо до від'ємних ступенів змінної z шляхом ділення лівої і правої частини рівняння на старшу ступінь z :

$$Y(z)[(\tau^2 + 3\tau + 12) + (4\tau^2 - 24)z^{-1} + (\tau^2 - 3\tau + 12)z^{-2}] = \\ = X(z)[(\tau^2 + 21\tau) + 4\tau^2 z^{-1} + (\tau^2 - 21\tau)z^{-2}]$$

8. Виконуємо зворотне z -перетворення. Отримуємо різницеве рівняння та приводимо його до виду, зручному для моделювання:

$$y_n = \frac{24 - 4\tau^2}{\tau^2 + 3\tau + 12} y_{n-1} - \frac{\tau^2 - 3\tau + 12}{\tau^2 + 3\tau + 12} y_{n-2} + \frac{\tau^2 + 21\tau}{\tau^2 + 3\tau + 12} x_n + \\ + 4\tau^2 x_{n-1} + \frac{\tau^2 - 21\tau}{\tau^2 + 3\tau + 12} x_{n-2}.$$

9. Складаємо програму, яка буде обчислювати значення відліків, використовуючи різницеве рівняння. Вхідний сигнал ОУ є одиничним ступеневим впливом.

Лістинг програми моделювання

```
program pr1;
uses crt;
var y: array[-2..100] of real;
    x: array[-2..100] of real;
    f1: text;
    n: integer;
    i: integer;
    t: real;
begin
  clrscr;
  assign(f1, 'praktik1.txt'); rewrite(f1);
  write('N='); readln(n);
  write('t='); readln(t);
  y[-1]:=0; y[0]:=0; y[1]:=0;
  x[-1]:=0; x[0]:=0;
  for i:=1 to n do begin
    x[i]:=1;
    y[i]:=((12+3*sqr(t))/(sqr(t)*sqr(t)+21*sqr(t)))*
    yn[i-1]-((12+3*sqr(t))/(sqr(t)*sqr(t)+21*sqr(t)))*
    yn[i-1]-((4*sqr(t))/(sqr(t)*sqr(t)+21*sqr(t)))*
    yn[i-1]-((sqr(t)*sqr(t)-21*sqr(t))/(sqr(t)*sqr(t)+21*
    sqr(t)))*yn[i-2];
  end;
  writeln(f1, ' ');
```

```

writeln(f1, 'N=', n);
writeln(f1, 't=', t:2:2);
writeln(f1, ' ');
writeln(f1, ' ');
writeln(f1, '


|   |      |      |
|---|------|------|
| i | x[i] | y[i] |
|---|------|------|


');
writeln(f1, '


|   |      |      |
|---|------|------|
| i | x[i] | y[i] |
|---|------|------|


');
writeln(f1, '


|   |      |      |
|---|------|------|
| i | x[i] | y[i] |
|---|------|------|


');
for i:=0 to n do begin
    writeln(f1, '|| ', i:3, ' || ', x[i]:1:0, ' || ', y[i]:3:6, ' || ');
end;
writeln(f1, '


|   |      |      |
|---|------|------|
| i | x[i] | y[i] |
|---|------|------|


');
close(f1);
end.

```

Результати моделювання

Початкові умови: $y[-1] := 0$; $y[0] := 0$; $x[-1] := 0$; $x[0] := 0$

Кількість відліків та крок інтегрування:

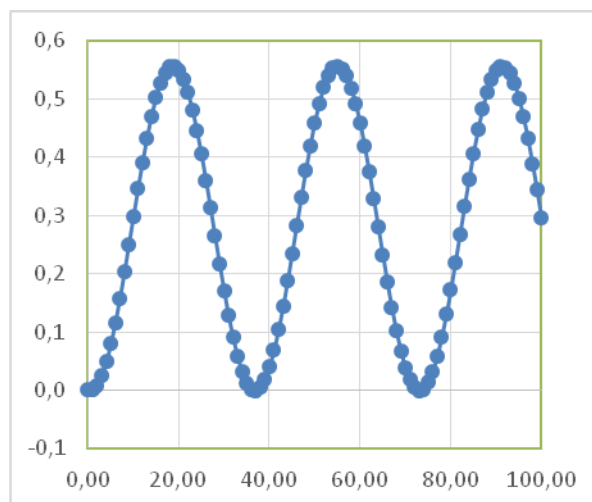
$N=100$; $t=0.10$

Табл. 12.3

i	x[i]	y[i]
1	1	0.000000
2	1	0.008292
3	1	0.024628
4	1	0.048521
5	1	0.079257
6	1	0.115920
7	1	0.157414
8	1	0.202501
9	1	0.249835
10	1	0.298003
11	1	0.345567
12	1	0.391108
13	1	0.433266
14	1	0.470782
15	1	0.502537
16	1	0.527583
17	1	0.545172
18	1	0.554779
19	1	0.556117
20	1	0.549147

.....		
96	1	0.469515
97	1	0.431810
98	1	0.389507
99	1	0.343868
100	1	0.296257

Вихідний сигнал ОУ, В



Час моделювання, с

Рис. 1.1. Результат чисельного рішення диференційного рівняння, що є результатом моделювання ОУ

1.3. Контрольні питання

1. Наведіть основні етапи моделювання САУ за допомогою ЕОМ.
2. Виконайте порівняльний аналіз різних методів апроксимації вхідних сигналів (кусочно-постійна і кусочно-лінійна апроксимація).
3. Порівняйте (графічно) помилки при одержанні вихідного сигналу ОУ при чисельному інтегруванні по формулі прямокутників і формулі трапецій.
4. Чому при дворазовому застосуванні операції чисельного інтегрування виникає необхідність застосування формули трапецій?
5. Як отримати з диференційного рівняння n -го порядку систему з n диференціальних рівнянь першого порядку?
6. Обґрунтуйте (графічно) алгоритм передбачення і виправлення (модифікований метод Ейлера).
7. Проведіть порівняльний аналіз методів чисельного інтегрування з точки зору початкових умов, що вимагаються для початку обчислень.
8. Як отримати початкові умови для багатокрокових методів чисельного інтегрування?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 10

9. Як оцінити похибку чисельного інтегрування для модифікованого методу Ейлера?

10. Поясніть, як оцінити похибку чисельного інтегрування для методу Рунге-Кутта?

11. Що таке процедура автоматичного регулювання кроку інтегрування?

12. Проведіть порівняльний аналіз методів чисельного інтегрування з точки зору точності і часу обчислень на ЕОМ.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 11

Практичне заняття 2

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМИ ДЛЯ ГЕНЕРАТОРА ВИПАДКОВИХ ЧИСЕЛ НА ОСНОВІ ОБЧИСЛЕННЯ ЗАЛИШКУ ВІД ДІЛЕННЯ

2.1. План проведення практичного заняття

1. Стисло нагадати теоретичні відомості, необхідні для виконання індивідуального завдання практичного заняття.
2. Виконати попередній аналіз початкових даних індивідуального варіанту (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

№ варіанту	X0	a	N	№ варіанту	X0	a	N
1	2	37	5	21	4	41	5
2	4	89	7	22	2	89	7
3	6	47	9	23	5	73	9
4	3	51	6	24	3	29	6
5	5	29	8	25	7	53	8
6	3	61	5	26	1	67	5
7	2	53	7	27	5	61	7
8	5	37	9	28	6	89	9
9	4	31	6	29	3	19	6
10	6	17	8	30	5	37	8
11	3	61	5	31	1	67	5
12	2	53	7	32	5	61	7
13	5	37	9	33	6	89	9
14	4	31	6	34	3	19	6
15	6	17	8	35	5	37	8
16	1	43	5	36	4	53	5
17	2	59	7	37	3	59	7
18	4	11	9	38	1	71	9
19	3	19	6	39	2	29	6
20	5	23	8	40	5	11	8

3. Для генерації випадкових чисел x_{i+1} потрібно використовувати три алгоритми на основі обчислення залишку від ділення:

$$x_{i+1} = (a \cdot x_i) / (\text{mod } N),$$

$$x_{i+1} = (a \cdot x_i + 1) / (\text{mod } N),$$

$$x_{i+1} = (a \cdot x_i + N - 1) / (\text{mod } N),$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 12

де a, N – деякі постійні числа, що є параметрами алгоритму, x_i – випадкове число, що отримано на попередньому кроці алгоритму, $\text{mod } N$ – операція обчислення залишку від ділення по модулю N .

4. Оцінити наявність періодичності у вихідних числах генератора.

5. Після цього потрібно розробити і програмно реалізувати алгоритми генерації випадкових чисел згідно п. 3. Початкові дані обрати згідно табл. 2.1.

6. Розробити програму, яка буде генерувати випадкові числа за заданими алгоритмами.

2.2. Приклад виконання завдання практичного заняття

Початкові дані для генерації випадкових чисел:

$a = 59, \quad x_0 = 3, \quad N = 7.$

Приклад розрахунку випадкових чисел на виході генератора наведено в табл.2.2.

Таблиця 2.2

i	x_i	$a \cdot x_i$	x_{i+1}
0	2	10	1
1	1	5	2
2	2	10	1
3	1	5	2
4	2	10	1
5	1	5	2

Розробимо програму, яка буде генерувати випадкові числа за заданими початковими даними і алгоритмами.

Лістинг програми моделювання

```

program pr2;
uses crt;
var x: array[0..1000] of integer;
i,n,a,c: integer;
f1: text;
begin
clrscr;
assign(f1,'pr2-1.txt'); rewrite(f1);
write('x[0]='); read(x[0]);
write('a='); read(a);
write('n='); read(n);
write('Кількість циклів: '); read(c);
writeln(f1,'X[0]=' ,x[0], ','; A=',a, ','; N=',n);
writeln(f1, ' ');
writeln(f1,'Алгоритм: X[i+1]:=(A*X[i]) mod N');

```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 13

```

writeln(f1, ' | i | x[i] | ax[i] | x[i+1] | ');
writeln(f1, ' ');
for i:=0 to c do begin
    x[i+1]:=(a*x[i]) mod n;
    writeln(f1, ' | i:5, ' | ' ,x[i]:5, ' |
',a*x[i]:5, ' | ' ,x[i+1]:5, ' | ');
end;
writeln(f1, ' ----- ');
writeln(f1, ' ');
writeln(f1, 'Алгоритм: X[i+1]:=(A*X[i]+1) mod N');
writeln(f1, ' | i | x[i] | ax[i]+1 | x[i+1] | ');
writeln(f1, ' ');
for i:=0 to c do begin
    x[i+1]:=(a*x[i]+1) mod n;
    writeln(f1, ' | i:5, ' | ' ,x[i]:5, ' |
',a*x[i]+1:5, ' | ' ,x[i+1]:5, ' | ');
end;
writeln(f1, ' ----- ');
writeln(f1, ' ');
writeln(f1, 'Алгоритм: X[i+1]:=(A*X[i]+N-1) mod N');
writeln(f1, ' | i | x[i] | ax[i]+N-1 | x[i+1] | ');
for i:=0 to c do begin
    x[i+1]:=(a*x[i]+N-1) mod n;
    writeln(f1, ' | i:5, ' | ' ,x[i]:5, ' |
',a*x[i]+n-1:5, ' | ' ,x[i+1]:5, ' | ');
end;
writeln(f1, ' ----- ');
writeln(f1, ' ');
close(f1);
end.

```

Результати моделювання

Початкові дані: X[0]=3; A=59; N=7

Алгоритм: X[i+1]:=(A*X[i]) mod N

i	x[i]	ax[i]	x[i+1]
0	3	177	2
1	2	118	6
2	6	354	4
3	4	236	5
4	5	295	1
5	1	59	3
6	3	177	2
7	2	118	6

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 14

	8		6		354		4	
	9		4		236		5	
	10		5		295		1	
	11		1		59		3	
	12		3		177		2	
	13		2		118		6	
	14		6		354		4	
	15		4		236		5	
	16		5		295		1	
	17		1		59		3	
	18		3		177		2	
	19		2		118		6	
	20		6		354		4	

Алгоритм: $X[i+1] := (A \cdot X[i] + 1) \bmod N$

	i		x[i]		ax[i]+1		x[i+1]	
	0		3		178		3	
	1		3		178		3	
	2		3		178		3	
	3		3		178		3	
	4		3		178		3	
	5		3		178		3	
	6		3		178		3	
	7		3		178		3	
	8		3		178		3	
	9		3		178		3	
	10		3		178		3	
	11		3		178		3	
	12		3		178		3	
	13		3		178		3	
	14		3		178		3	
	15		3		178		3	
	16		3		178		3	
	17		3		178		3	
	18		3		178		3	
	19		3		178		3	
	20		3		178		3	

Алгоритм: $X[i+1] := (A \cdot X[i] + N - 1) \bmod N$

	i		x[i]		ax[i]+N-1		x[i+1]	
	0		3		183		1	
	1		1		65		2	
	2		2		124		5	

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 15

	3		5		301		0	
	4		0		6		6	
	5		6		360		3	
	6		3		183		1	
	7		1		65		2	
	8		2		124		5	
	9		5		301		0	
	10		0		6		6	
	11		6		360		3	
	12		3		183		1	
	13		1		65		2	
	14		2		124		5	
	15		5		301		0	
	16		0		6		6	
	17		6		360		3	
	18		3		183		1	
	19		1		65		2	
	20		2		124		5	

2.3. Контрольні питання

1. Назвіть технічні та програмні засоби отримання випадкових чисел.
2. Назвіть основні засоби формування розрядів випадкових двійкових чисел в генераторі випадкових чисел.
3. Проведіть порівняльний аналіз паралельних і послідовних генераторів випадкових чисел.
4. Назвіть основні алгоритми отримання випадкових чисел у ЕОМ.
5. Як визначити період повторення випадкових чисел, отриманих від генератора?
6. Який вигляд має АКФ для генератора випадкових чисел?
7. Як отримати АКФ генератора випадкових чисел, використовуючи пряме і зворотне перетворення Фур'є?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 16

Практичне заняття 3

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМИ ДЛЯ ГЕНЕРАТОРА ВИПАДКОВИХ ЧИСЕЛ НА ОСНОВІ ПСЕВДОВИПАДКОВОЇ БІНАРНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ

Для управління різним виробничим обладнанням будується система автоматичного управління (САУ). При її розробці треба знати передаточну функцію цього обладнання (тобто об'єкта управління – ОУ). Передаточна функція визначається шляхом ідентифікації ОУ. Ідентифікація полягає в подачі на вхід ОУ тестового сигналу з фіксацією виходу ОУ.

В якості тестових сигналів використовуються:

- одиничний сигнал («сходинка»);
- синусоїда;
- «білий» шум.

«Білий» шум - випадкова функція з некорельованими значеннями відліків (не залежними один від одного). «Білий» шум генерується генератором «білого» шуму, який може бути апаратним або програмним.

3.1. План проведення практичного заняття

1. Стисло нагадати теоретичні відомості, необхідні для виконання індивідуального завдання практичного заняття.

2. Виконати попередній аналіз початкових даних індивідуального варіанту (табл. 3.1).

3. В результаті практичного заняття треба створити апаратну і програмну реалізацію генератора на виході якого випадковим чином з'являються 0 і 1, або +1 і -1 (псевдовипадкова бінарна послідовність).

4. Викладачем задається утворюючий поліном D псевдовипадкової бінарної послідовності. Старша ступінь полінома N визначає період повторення відліків вихідного сигналу генератора ($2^N - 1$), а також кількість елементів затримки (елементів пам'яті) в апаратній реалізації генератора.

5. Після цього потрібно розробити і програмно реалізувати алгоритми генерації випадкових чисел. Початкові дані обрати згідно табл. 3.1.

6. Розробити програму, яка буде генерувати випадкові числа за заданими алгоритмами.

Правила обчислення результату операції додавання за модулем 2:

$$0 \oplus 0 = 0, \quad 0 \oplus 1 = 1, \quad 1 \oplus 0 = 1, \quad 1 \oplus 1 = 0.$$

3.2. Приклад виконання завдання практичного заняття

Утворюючий поліном псевдовипадкової бінарної послідовності: $D^7 \oplus D^5 \oplus D^2$. Початковий стан елементів затримки Y_i в апаратній реалізації генератора наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.1

Варіант	Утворюючий поліном	Варіант	Утворюючий поліном
1	$D^8 \oplus D^6$	16	$D^7 \oplus D^1$
2	$D^7 \oplus D^5$	17	$D^6 \oplus D^4$
3	$D^8 \oplus D^5$	18	$D^6 \oplus D^3$
4	$D^6 \oplus D^5$	19	$D^6 \oplus D^2$
5	$D^8 \oplus D^7$	20	$D^6 \oplus D^1$
6	$D^8 \oplus D^5$	21	$D^9 \oplus D^8$
7	$D^8 \oplus D^4$	22	$D^9 \oplus D^7$
8	$D^8 \oplus D^3$	23	$D^9 \oplus D^1$
9	$D^8 \oplus D^2$	24	$D^9 \oplus D^2$
10	$D^8 \oplus D^1$	25	$D^7 \oplus D^5 \oplus D^4$
11	$D^7 \oplus D^6$	26	$D^7 \oplus D^6 \oplus D^3$
12	$D^7 \oplus D^5$	27	$D^7 \oplus D^5 \oplus D^1$
13	$D^7 \oplus D^4$	28	$D^7 \oplus D^4 \oplus D^1$
14	$D^7 \oplus D^3$	29	$D^7 \oplus D^6 \oplus D^2$
15	$D^7 \oplus D^2$	30	$D^7 \oplus D^5 \oplus D^1$

Таблиця 3.2

Елемент затримки	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
Початковий стан	1	0	0	1	0	0	1

Структурна схема генератора зображена на рис. 3.1.

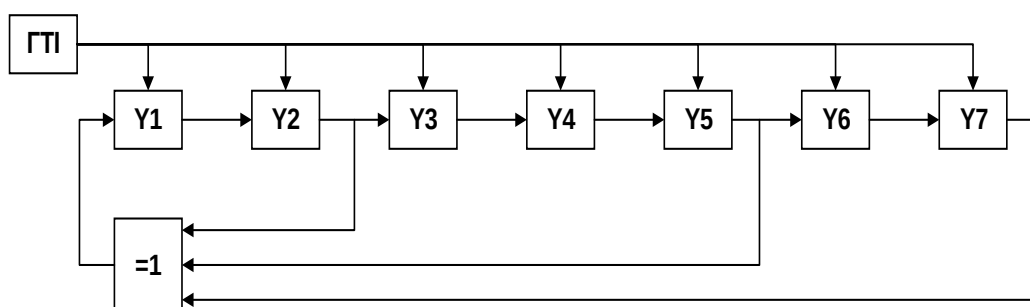


Рис. 3.1. Генератор псевдовипадкової бінарної послідовності:

Y_i – елементи затримки; ГПІ – генератор тактових імпульсів;
 $=1$ – суматор за модулем 2

Розробимо програму, яка буде генерувати псевдовипадкову бінарну послідовність.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 18

Лістинг програми моделювання

```

program pr3;
uses crt;
var
    y1,y2,y3,y4,y5,y6,y7: boolean;
    x1,x2,x3,x4,x5,x6,x7: boolean;
    res: boolean;
    d1,d2,d3,d4,d5,d6,d7: byte;
    sum: byte;
    i: integer;
    n: integer;
    f1: text;

begin clrscr;
assign(f1,'pr3.doc'); rewrite(f1);

res:=false; i:=0;
writeln('Поліном: [D7+D5+D2]');
write('y1='); readln(d1);
write('y2='); readln(d2);
write('y3='); readln(d3);
write('y4='); readln(d4);
write('y5='); readln(d5);
write('y6='); readln(d6);
write('y7='); readln(d7);
writeln(' ');
write('i='); readln(n);

y7:= d7=1;   x7:=y7;
y6:= d6=1;   x6:=y6;
y5:= d5=1;   x5:=y5;
y4:= d4=1;   x4:=y4;
y3:= d3=1;   x3:=y3;
y2:= d2=1;   x2:=y2;
y1:= d1=1;   x1:=y1;
res:=y2 xor y5 xor y7;

writeln(f1,'Поліном: [D7+D5+D2]');
writeln(f1,'Початкові умови:');
writeln(f1,'y1=',d1:2,' ' ;y2=',d2:2,' ' ;y3=',d3:2,'
;y4=',d4:2,
           ' ;y5=',d5:2,' ' ;y6=',d6:2,' ' ;y7=',d7:2);
writeln(f1,' ');

```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 19

```

writeln(f1,' i| S| y1 y2 y3 y4 y5 y6 y7');
writeln(f1,i:3,'| ',sum,'| ',d1:2,' ',d2:2,' ',d3:2,'
',d4:2,' ',d5:2,' ',d6:2,' ',d7:2);

for i:=1 to n do begin
  res:=y2 xor y5 xor y7;
  y7:=y6;
  y6:=y5;
  y5:=y4;
  y4:=y3;
  y3:=y2;
  y2:=y1;
  y1:=res;
  if (res=true) then sum:=1 else sum:=0;
  if (y1=true) then d1:=1 else d1:=0;
  if (y2=true) then d2:=1 else d2:=0;
  if (y3=true) then d3:=1 else d3:=0;
  if (y4=true) then d4:=1 else d4:=0;
  if (y5=true) then d5:=1 else d5:=0;
  if (y6=true) then d6:=1 else d6:=0;
  if (y7=true) then d7:=1 else d7:=0;

  writeln(f1,i:3,'| ',sum,'| ',d1:2,' ',d2:2,'
',d3:2,' ',d4:2,' ',d5:2,' ',d6:2,' ',d7:2);
  if (x1=y1) and
    (x2=y2) and
    (x3=y3) and
    (x4=y4) and
    (x5=y5) and
    (x6=y6) and
    (x7=y7) then
begin writeln(f1,'      ---=====--'); end;
end;
close(f1)
end.

```

Результати моделювання

Поліном: [D7+D5+D2]

Початкові умови:

```

y1= 1; y2= 0; y3= 0; y4= 1; y5= 0; y6= 0; y7= 1
i| S| y1 y2 y3 y4 y5 y6 y7
0| 0|  1  0  0  1  0  0  1
1| 1|  1  1  0  0  1  0  0

```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015							Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0			Екземпляр № 1			Арк 54 / 20

```

2 | 0 | 0 1 1 0 0 1 0
3 | 1 | 1 0 1 1 0 0 1
4 | 1 | 1 1 0 1 1 0 0
5 | 0 | 0 1 1 0 1 1 0
6 | 0 | 0 0 1 1 0 1 1
7 | 1 | 1 0 0 1 1 0 1
8 | 0 | 0 1 0 0 1 1 0
9 | 0 | 0 0 1 0 0 1 1
10 | 1 | 1 0 0 1 0 0 1

```

```

11 | 1 | 1 1 0 0 1 0 0
12 | 0 | 0 1 1 0 0 1 0
13 | 1 | 1 0 1 1 0 0 1
14 | 1 | 1 1 0 1 1 0 0
15 | 0 | 0 1 1 0 1 1 0
16 | 0 | 0 0 1 1 0 1 1
17 | 1 | 1 0 0 1 1 0 1
18 | 0 | 0 1 0 0 1 1 0
19 | 0 | 0 0 1 0 0 1 1
20 | 1 | 1 0 0 1 0 0 1

```

3.3. Контрольні питання

1. Назвіть технічні та програмні засоби отримання випадкових чисел.
2. Назвіть основні засоби формування розрядів випадкових двійкових чисел в генераторі випадкових чисел.
3. Проведіть порівняльний аналіз паралельних і послідовних генераторів випадкових чисел.
4. Назвіть основні алгоритми отримання випадкових чисел у ЕОМ.
5. Чим викликана необхідність переходу від випадкових чисел до псевдовипадкових послідовностей? Які умови при цьому необхідно виконати?
6. Намалюйте структурну схему і пояснити принцип роботи генератора нуль - послідовності максимальної довжини (НПМД). Характеристичний поліном $Q=D^3 \oplus D$; число розрядів регістру зсуву $N = 3$.
7. Визначить період повторення, кількість нулів і одиниць, що виробляються за період, для генератора НПМД, побудованого на регістрі зсуву, що містить 7 розрядів.
8. Визначить імовірності появи нулів і одиниць для генератора НПМД з числом розрядів регістру зсуву $N = 4$.
9. Який вигляд має АКФ для генератора НПМД?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 21

Практичне заняття 4

РОЗРАХУНОК ПЕРЕХІДНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

4.1. План проведення практичного заняття

1. Стисло нагадати теоретичні відомості, необхідні для виконання індивідуального завдання практичного заняття.

2. Виконати попередній аналіз початкових даних індивідуального варіанту (табл. 12.7).

3. Отримати різницеве рівняння для ОУ 1-го порядку та 2-го порядку. Початкові дані обрати згідно табл. 4.1 для ОУ 1-го порядку (коефіцієнт α_1) та 2-го порядку (коефіцієнти α_2 та β_2).

4. Розробити програму, яка буде обчислювати перехідну характеристику ОУ.

Таблиця 4.1

Варіант	Для ОУ 1-го порядку	Для ОУ 2-го порядку		Варіант	Для ОУ 1-го порядку	Для ОУ 2-го порядку	
	α_1	α_2	β_2		α_1	α_2	β_2
1	0,4	0,5	2,0	21	0,7	0,5	2,0
2	0,5	0,4	2,2	22	0,8	0,4	2,2
3	0,6	0,8	2,5	23	0,9	0,8	2,5
4	0,7	1,2	2,7	24	1,1	1,2	2,7
5	0,8	1,5	3,2	25	1,2	1,5	3,2
6	0,9	0,5	2,0	26	1,3	0,5	2,0
7	1,1	0,4	2,2	27	1,4	0,4	2,2
8	1,3	0,8	2,5	28	1,5	0,8	2,5
9	1,4	1,2	2,7	29	1,6	1,2	2,7
10	1,5	1,5	3,2	30	1,7	1,5	3,2
11	1,8	0,5	2,0	31	1,8	0,5	2,0
12	1,9	0,4	2,2	32	1,9	0,4	2,2
13	0,4	0,8	2,5	33	0,4	0,8	2,5
14	0,5	1,2	2,7	34	0,5	1,2	2,7
15	0,6	1,5	3,2	35	0,6	1,5	3,2
16	1,5	0,5	3,2	36	1,7	0,5	3,2
17	1,8	0,4	2,0	37	1,8	0,4	2,0
18	1,9	0,8	2,2	38	1,9	0,8	2,2
19	0,4	1,2	2,5	39	0,4	1,2	2,5
20	0,5	1,5	2,7	40	0,5	1,5	2,7

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 22

4.2. Приклад виконання завдання практичного заняття

Початкові дані для виконання завдання:

$$\alpha_1 = 1,9; \alpha_2 = 0,4; \beta_2 = 2,2.$$

Аперіодичний ОУ першого порядку має передаточну функцію:

$$K_0(z) = \frac{\alpha_1}{1 - (1 - \alpha_1)z^{-1}}.$$

Аперіодичний ОУ другого порядку має передаточну функцію:

$$K_0(z) = \frac{\alpha_2 - (\alpha_2 - \beta_2)z^{-1}}{1 - (2 - \alpha_2 - \beta_2)z^{-1} + (1 - \alpha_2)z^{-2}}.$$

Знайдемо різницеве рівняння для ОУ першого порядку:

$$K_0(z) = \frac{\alpha_1}{1 - (1 - \alpha_1)z^{-1}} = \frac{1,9}{1 - (1 - 1,9)z^{-1}} = \frac{1,9}{1 + 0,9z^{-1}},$$

$$\frac{1,9}{1 + 0,9z^{-1}} = \frac{Y(z)}{X(z)},$$

$$(1 + 0,9z^{-1}) \cdot Y(z) = 1,9 \cdot X(z),$$

$$Y(z) = 1,9 \cdot X(z) - 0,9z^{-1} \cdot Y(z).$$

Знайдемо різницеве рівняння для ОУ другого порядку:

$$K_0(z) = \frac{\alpha_2 - (\alpha_2 - \beta_2)z^{-1}}{1 - (2 - \alpha_2 - \beta_2)z^{-1} + (1 - \alpha_2)z^{-2}} =$$

$$= \frac{0,4 - (0,4 - 2,2)z^{-1}}{1 - (2 - 0,4 - 2,2)z^{-1} + (1 - 0,4)z^{-2}} = \frac{0,4 + 1,8z^{-1}}{1 + 0,2z^{-1} + 0,6z^{-2}},$$

$$\frac{0,4 + 1,8z^{-1}}{1 + 0,2z^{-1} + 0,6z^{-2}} = \frac{Y(z)}{X(z)},$$

$$Y(z) + 0,2Y(z) \cdot z^{-1} + 0,6Y(z) \cdot z^{-2} = 0,4X(z) + 1,8X(z) \cdot z^{-1},$$

$$Y(z) = 0,4X(z) + 1,8X(z) \cdot z^{-1} - 0,2Y(z) \cdot z^{-1} - 0,6Y(z) \cdot z^{-2}.$$

Виконуємо обернене Z-перетворення і отримуємо різницеве рівняння для ОУ першого порядку:

$$Y(z) = 1,9 \cdot X(z) - 0,9z^{-1} \cdot Y(z),$$

$$y(n) = 1,9x_n - 0,9y_{n-1}.$$

Виконуємо обернене Z-перетворення і отримуємо різницеве рівняння для ОУ другого порядку:

$$Y(z) = 0,4X(z) + 1,8X(z) \cdot z^{-1} - 0,2Y(z) \cdot z^{-1} - 0,6Y(z) \cdot z^{-2},$$

$$y(n) = 0,4x_n + 1,8x_{n-1} - 0,2y_{n-1} - 0,6y_{n-2}.$$

Лістинг програми моделювання

```
program pr4;
uses crt;
var y1,y2: array[-2..100] of real;
    x: array[-2..100] of real;
```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 23

```

f1: text;
n,i: integer;
a1,a2,b1,b2,b3,b4: real;

begin clrscr;
assign(f1,'PR4.doc'); rewrite(f1);
  writeln('ОУ1 Введіть коефіцієнти');
  write('x(n)='); readln(a1);
  write('y(n-1)='); readln(a2);
  writeln('ОУ2 Введіть коефіцієнти');
  write('x(n)='); readln(b1);
  write('x(n-1)='); readln(b2);
  write('y(n-1)='); readln(b3);
  write('y(n-2)='); readln(b4);
  writeln(' ');
  write('N='); readln(n);
  writeln('Натисніть Enter...'); readkey;
y1[-2]:=0; y1[-1]:=0; y1[0]:=0;
y2[-2]:=0; y2[-1]:=0; y2[0]:=0;
x[-2]:=0; x[-1]:=0; x[0]:=0;

for i:=1 to n do begin
  x[i]:=1;
  y1[i]:=a1*x[i]+a2*y1[i-1]; end;

for i:=1 to n do begin
  x[i]:=1;
  y2[i]:=b1*x[i]+b2*x[i-1]+b3*y2[i-1]+b4*y2[i-2];
end;
  writeln(f1,'y1[i]=(',a1:2:2,')*x[i]+(',a2:2:2,')*y[i-1]');
  writeln(f1,'y2[i]=(',b1:2:2,')*x[i]+(',b2:2:2,')*x[i-1]+(',b3:2:2,')*y[i-1]+(',b4:2:2,')*y[i-2]');
  writeln(f1,' ');
  writeln(f1,'N=',n);
  writeln(f1,' ');
  writeln(f1,' |          ОУ1          |          ОУ2          |');
  writeln(f1,'-----');
  writeln(f1,' N| x[n] |    y[n] | x[n] |    y[n] |');
  for i:=0 to n do begin
    writeln(f1,i:2,' | ',x[i]:1:1,' | ', y1[i]:3:6,' | ',x[i]:1:1,' | ', y2[i]:3:6,' |');
  end;
end;

```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 24

```

        writeln(f1, ' ');
        for i:=0 to n do begin  writeln(f1, y1[i]:3:6);
end;
        writeln(f1, ' ');
        for i:=0 to n do begin  writeln(f1, y2[i]:3:6);
end;
close(f1);  end.

```

Результати моделювання

```

y1[i]=(1.90)*x[i]+(-0.90)*y[i-1]
y2[i]=(0.40)*x[i]+(1.80)*x[i-1]+(-0.60)*y[i-1]+
(-6.0E-01)*y[i-2]
N=50

```

	OY1			OY2		

N	x[n]	y[n]	x[n]	y[n]		
0	0.0	0.000000	0.0	0.000000		
1	1.0	1.900000	1.0	0.400000		
2	1.0	0.190000	1.0	1.960000		
3	1.0	1.729000	1.0	0.784000		
4	1.0	0.343900	1.0	0.553600		
5	1.0	1.590490	1.0	1.397440		
6	1.0	0.468559	1.0	1.029376		
7	1.0	1.478297	1.0	0.743910		
8	1.0	0.569533	1.0	1.136028		
9	1.0	1.387420	1.0	1.072037		
10	1.0	0.651322	1.0	0.875161		
.....						
45	1.0	1.008728	1.0	0.999984		
46	1.0	0.992145	1.0	1.000001		
47	1.0	1.007070	1.0	1.000009		
48	1.0	0.993637	1.0	0.999994		
49	1.0	1.005726	1.0	0.999998		
50	1.0	0.994846	1.0	1.000005		

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 25

Вихідний сигнал ОУ, В

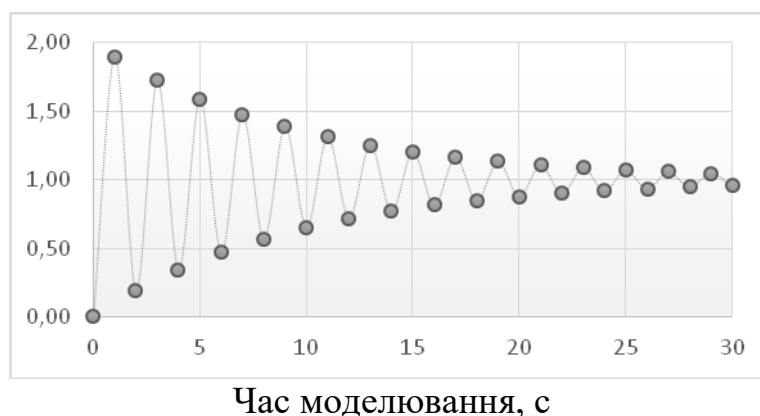


Рис. 4.1. Графік вихідного сигналу аперіодичного ОУ першого порядку

Вихідний сигнал ОУ, В

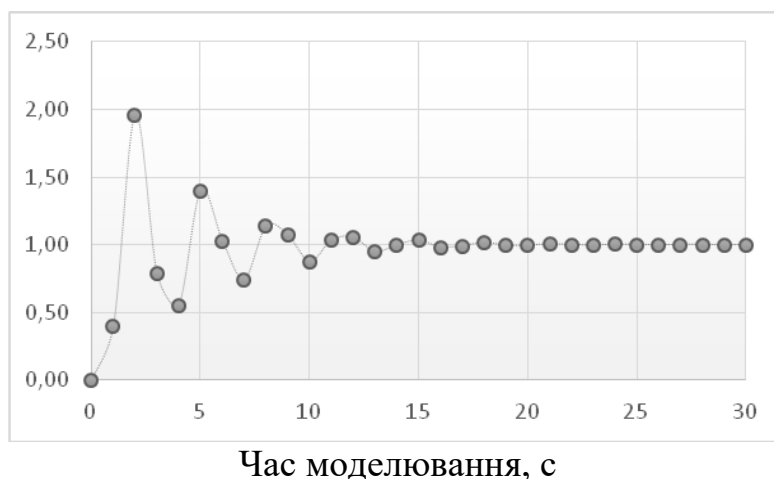


Рис. 4.2. Графік вихідного сигналу аперіодичного ОУ другого порядку

4.3. Контрольні питання

1. Дайте визначення перехідної та імпульсної характеристик ОУ.
2. Дайте пояснення фізичного змісту методу обчислення вихідної реакції ОУ шляхом згортки вхідного впливу і імпульсної характеристики ОУ.
3. Які властивості повинні мати сигнали, що використовуються для ідентифікації ОУ?
4. Намалюйте структурну схему для визначення динамічних характеристик ОУ в реальному масштабі часу. Поясніть її роботу.
5. Як одержати рівняння, що описує ОУ, по його передаточній функції?
6. Визначить вигляд перехідної характеристики аперіодичного ОУ першого порядку при таких значеннях коефіцієнта α в передатній функції: 0,5; 1; 1,5; 2,0; 2,5.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 26

Практичне заняття 5

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ЗА МЕТОДОМ ВЗАЄМНОЇ КОРЕЛЯЦІЙНОЇ ФУНКЦІЇ

5.1. План проведення практичного заняття

1. Стисло нагадати теоретичні відомості, необхідні для виконання індивідуального завдання практичного заняття.

2. Виконати попередній аналіз початкових даних індивідуального варіанту (див. табл. 5.1).

3. Імпульсну характеристику отримуємо, якщо на вхід ОУ подані випадкові числа (псевдовипадкова бінарна послідовність) від цифрового генератора шуму і визначимо ВКФ входу і виходу:

$$R_{xy}(n) = \lim_{N \rightarrow \infty} 1/(2N+1) \sum_i y(i)x(i-n), \quad (5.1)$$

де $n = 0, 1, \dots, N-1$, N – кількість дискретних відліків вхідного $x(i)$ та вихідного $y(i)$ сигналів.

Обмежуючись кінцевими вибірками сигналів $x(i)$ та $y(i)$, маємо:

$$R_{xy}(n) = 1/(N-n) \sum_{i=1}^{N-n} y(i)x(i+n). \quad (5.2)$$

4. Для оцінки якості цифрового генератора шуму обчислюється його автокореляційна функція (АКФ):

$$R_{xx}(n) = 1/(N-n) \sum_{i=1}^{N-n} x(i)x(i+n). \quad (5.3)$$

5. Розробити програму, яка буде генерувати псевдовипадкову бінарну послідовність, обчислювати її АКФ, подавати цю послідовність на вхід ОУ, обчислювати ВКФ та імпульсну характеристику ОУ.

5.2. Приклад виконання завдання на практичне заняття

Порахуємо АКФ для генератора випадкових чисел на основі псевдовипадкової бінарної послідовності, яку отримали на практичному занятті № 3 (рис.5.1). Подамо ці числа на вхід ОУ, заданого різницеvim рівнянням (табл. 5.2).



Вхідний сигнал ОУ від генератора випадкових чисел	01011001001101100100
Різницеве рівняння ОУ	$y(n) = 1,9x_n - 0,9y_{n-1}$

Рис. 5.1

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 27

Імпульсну характеристику отримуємо, якщо на вхід ОУ подані випадкові числа (псевдовипадкова бінарна послідовність) від цифрового генератора шуму і визначимо ВКФ входу і виходу.

Розробимо програму, яка буде генерувати псевдовипадкову бінарну послідовність, обчислювати її АКФ, подавати цю послідовність на вхід ОУ, обчислювати ВКФ та імпульсну характеристику ОУ.

Таблиця 5.1

k	N-k	X_1X_{k+1}	X_2X_{k+2}	X_3X_{k+3}	X_4X_{k+4}	X_5X_{k+5}	X_6X_{k+6}	X_7X_{k+7}	X_8X_{k+8}	X_9X_{k+9}	$X_{10}X_{k+10}$	$X_{11}X_{k+11}$	$X_{12}X_{k+12}$	$X_{13}X_{k+13}$	$X_{14}X_{k+14}$	$X_{15}X_{k+15}$	$X_{16}X_{k+16}$	$X_{17}X_{k+17}$	$X_{18}X_{k+18}$	$X_{19}X_{k+19}$	$X_{20}X_{k+20}$	АКФ
0	20	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0,45
1	19	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0,1579
2	18	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1111
3	17	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0,3529
4	16	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0,3125
5	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
6	14	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0,3571
7	13	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0,4615
8	12	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0,1667
9	11	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,2727
10	10	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0,8000
11	9	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0,3333
12	8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25
13	7	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0,8571
14	6	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0,8333
15	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
16	4	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1,2500
17	3	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	2,000
18	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1,000
19	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	3,000

Таблиця 5.2

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X_i	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0
Y_i	0,00	0,00	1,90	-1,71	3,44	-1,20	1,08	-0,97	2,77	-2,49	2,24
N	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
X_i	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	
Y_i	-0,12	2,01	1,81	3,53	-1,27	1,15	-1,03	2,83	-2,55	2,29	

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 28

Лістинг програми моделювання

```

program practik5;
uses crt;
label l1;
var x: array[0..40] of real;
    y: array[0..19,-1..22] of real; {AKF}
    y1: array[-2..100] of real; {for BKF}
    y2: array[0..19,-1..22] of real; {BKF}
    i,i2,j,n,n1,n2,k: integer;
    num: integer;
    a,b: real;
    f1: text;

begin clrscr;
assign(f1,'pr5.doc'); rewrite(f1);
n:=20;
k:=0;
writeln('Введіть X[1] - X[20]; {0;1}');
writeln;
l1: writeln('1-Варіант для прикладу; 2-Введіть свої
параметри; '); readln(num);

case num of
1: begin
    x[0]:=0;
    x[1]:=0; x[2]:=0; x[3]:=0; x[4]:=0; x[5]:=0;
    x[6]:=1; x[7]:=1; x[8]:=0; x[9]:=0; x[10]:=0;
    x[11]:=1; x[12]:=1; x[13]:=1; x[14]:=1; x[15]:=0;
    x[16]:=1; x[17]:=1; x[18]:=0; x[19]:=0; x[20]:=1;

    for i:=1 to 20 do begin
        i2:=i+20;
        x[i2]:=x[i];
    end;
end;

2: begin
    x[0]:=0;
    for i:=1 to 20 do begin
        write('x[' ,i, ']='); read(x[i]);
        i2:=i+20;
        x[i2]:=x[i];
    end;
end;

```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 29

```

        end;
    else writeln('Повтор'); goto l1;
end;

writeln('X:=');
writeln(' 1| 2| 3| 4| 5| 6| 7| 8|
9|10|11|12|13|14|15|16|17|18|19|20|');
for i:=1 to 20 do begin
    write(X[i]:2:0,'i');
end;
writeln;
writeln('21|22|23|24|25|26|27|28|29|30|31|32|33|34|35|3
6|37|38|39|40|');
for i:=21 to 40 do begin
    write(X[i]:2:0,'i');
end;

writeln(f1,'X:=');
writeln(f1,' 1| 2| 3| 4| 5| 6| 7| 8|
9|10|11|12|13|14|15|16|17|18|19|20|');
for i:=1 to 20 do begin
    write(f1,X[i]:2:0,'i');
end;
writeln(f1);
writeln(f1,'21|22|23|24|25|26|27|28|29|30|31|32|33|34|3
5|36|37|38|39|40|');
for i:=21 to 40 do begin
    write(f1,X[i]:2:0,'i');
end;
writeln;writeln(f1);

writeln(f1,'AKΦ'); writeln('AKΦ');

for i:=0 to 19 do begin
    y[i,-1]:=i;
    y[i,0]:=n-i;

    for j:=1 to 20 do begin
        y[i,j]:=x[j]*x[i+j]
    end;

    y[i,21]:=0;

```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 30

```

for j:=1 to 20 do begin

    if (y[i,j]=1) then y[i,21]:=y[i,21]+1
end;

y[i,22]:=y[i,21]/y[i,0];
end;
write(f1,' k|n1| 1| 2| 3| 4| 5| 6| 7| 8| 9|10');
write(f1,' |11|12|13|14|15|16|17|18|19|20| S|  АКФ');
writeln(f1);

for i:=0 to 19 do begin
    n1:=n-i;
    write(f1,i:2,'i');
    write(f1,n1:2,'i');

    for j:=1 to 21 do begin
        write(f1,y[i,j]:2:0,'i');
    end;

    write(f1,y[i,22]:2:4);
    writeln(f1);

end;
writeln(f1);writeln(f1);
writeln('OY1');
writeln;
writeln('OU-1: y[n]=A*x[n]+B*y[n-1]');
write(' Параметр A='); readln(a);
write(' Параметр B='); readln(b);

writeln(f1,'OY1');
writeln(f1);
writeln(f1,'OU-1: y[n]=A*x[n]+B*y[n-1]');
writeln(f1,' Параметр A=',a:3:3);
writeln(f1,' Параметр B=',b:3:3);

y1[-1]:=0;
for i:=0 to 20 do begin
    y1[i]:=A*x[i]+B*y1[i-1];
end;

```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 31

```

        write(f1, ' N'); for i:=0 to 10 do begin write(f1, 'i
', i:4); end;
        writeln(f1);
        write(f1, 'Xi'); for i:=0 to 10 do begin write(f1, 'i
', x[i]:4:0); end;
        writeln(f1);
        write(f1, 'Yi'); for i:=0 to 10 do begin write(f1, 'i
', y1[i]:4:2); end;
        writeln(f1);writeln(f1);

        write(f1, ' N'); for i:=11 to 20 do begin write(f1, 'i
', i:4); end;
        writeln(f1);
        write(f1, 'Xi'); for i:=11 to 20 do begin write(f1, 'i
', x[i]:4:0); end;
        writeln(f1);
        write(f1, 'Yi'); for i:=11 to 20 do begin write(f1, 'i
', y1[i]:4:2); end;

        writeln(f1);
        writeln(f1, 'BKΦ'); writeln('BKΦ');

        for i:=0 to 19 do begin

                y2[i, -1]:=i;
                y2[i, 0]:=2*n+1;

                for j:=1 to 20 do begin
                        y2[i, j]:=y1[j]*x[i+j]
                end;
                y2[i, 21]:=0;
                for j:=1 to 20 do begin
                        y2[i, 21]:=y2[i, 21]+y2[i, j]
                end;
                y2[i, 22]:=y2[i, 21]/y2[i, 0];
        end;
        write(f1, ' k|    1|    2|    3|    4|    5|    6|    7|    8|
9| 10');
        write(f1, '| 11| 12| 13| 14| 15| 16| 17| 18|
19| 20|    S|  BKF');
        writeln(f1);

        for i:=0 to 19 do begin

```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 32

```

n2:=2*n+1;
write(f1,i:2,'i');

for j:=1 to 21 do begin
    write(f1,y2[i,j]:3:2,'i');
end;

write(f1,y2[i,22]:2:4);
writeln(f1);
end;
close(f1);
readkey
end.

```

Результати моделювання

Вхідний сигнал

i= 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
x(i)= 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |

i= 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 |
x(i)= 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |

i= 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
x(i)= 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

Автокореляційна функція

k	n1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	1	1	1	1	2	S	AKФ	
											0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	S

0	20	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	9	0.4500
1	19	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0.1579
2	18	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.1111	
3	17	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	6	0.3529	
4	16	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	5	0.3125	
5	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0000	
6	14	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	5	0.3571	
7	13	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	6	0.4615	
8	12	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0.1667	
9	11	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0.2727	
10	10	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	8	0.8000	
11	9	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0.3333	
12	8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0.2500	
13	7	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	6	0.8571	
14	6	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	5	0.8333	

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 33

15	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0000
16	4	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	5 1.2500
17	3	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	6 2.0000
18	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2 1.0000
19	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	3 3.0000

Взаємна кореляційна функція

ОУ1: $y[n] = A \cdot x[n] + B \cdot y[n-1]$

Параметр $A = 1.900$

Параметр $B = -0.900$

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8
9	10								
x_i	0	0	1	0	1	1	0	0	1
0	0								
y_i	0.00	0.00	1.90	-1.71	3.44	-1.20	1.08	-0.97	2.77
2.49	2.24								

n	11	12	13	14	15	16	17	18	19
20									
x_i	1	1	0	1	1	0	0	1	0
0									
y_i	-0.12	2.01	-1.81	3.53	-1.27	1.15	-1.03	2.83	-
2.55	2.29								

5.3. Контрольні питання

1. Дайте визначення перехідної та імпульсної характеристик ОУ.
2. Дайте пояснення фізичного змісту методу обчислення вихідної реакції ОУ шляхом згортки вхідного впливу і імпульсної характеристики ОУ.
3. Що таке взаємна кореляційна функція ОУ?
4. Чим відрізняється імпульсна характеристика ОУ від ВКФ у випадку подачі на вхід “білого” шуму?
5. Які властивості повинні мати сигнали, що використовуються для ідентифікації ОУ за методом взаємної кореляційної функції?
6. Намалуйте структурну схему для визначення динамічних характеристик ОУ в реальному масштабі часу. Поясніть її роботу.
7. Як одержати рівняння, що описує ОУ, по його передаточній функції?
8. Визначить вигляд перехідної характеристики аперіодичного ОУ першого порядку при таких значеннях коефіцієнта α в передаточній функції: 0,5; 1; 1,5; 2,0; 2,5.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 34

Практичне заняття 6

АДАПТИВНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНО- ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ РЕГРЕСІЙНОЇ МОДЕЛІ

6.1. План проведення практичного заняття

1. Стисло нагадати теоретичні відомості, необхідні для виконання індивідуального завдання практичного заняття.

2. Виконати попередній аналіз початкових даних індивідуального варіанту (див. табл. 11.12).

3. Дослідити ОУ за його адаптивною регресійною моделлю. Структурна схема дослідження ОУ зображена на рис. 6.1, а структурна схема дослідження його регресійної моделі – на рис. 6.2.

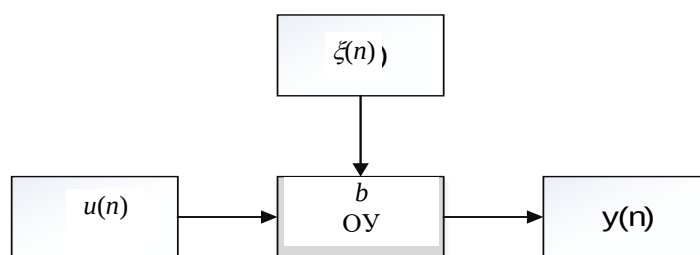


Рис.6.1

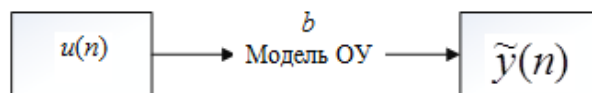


Рис. 6.2

Рівняння ОУ та його адаптивної регресійної моделі мають вигляд:

$$y(n) = bu(n) + \xi(n); \quad n \in \overline{1, n},$$

$$\tilde{y}(n) = \tilde{b}u(n); \quad \tilde{b} \rightarrow b,$$

де $y(n)$ – вихід ОУ; $\tilde{y}(n)$ – вихід адаптивної моделі ОУ;

$n = 0, 1, 2, \dots$ – дискретний час;

$u(n)$ – вхідний вплив;

$\xi(n)$ – збурююча дія (завада);

b – коефіцієнт різницевого рівняння ОУ;

$\tilde{b}$ – коефіцієнт різницевого рівняння адаптивної моделі ОУ.

4. Вивести рівняння для розрахунку функції втрат ОУ.

5. Розрахувати градієнт функції втрат.

6. Розрахувати коефіцієнти адаптивної регресійної моделі ОУ:

7. Для розрахунків потрібно скласти таблицю за формою табл. 6.1.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 35

Таблиця 6.1

n	$b(n)$	$\tilde{b}(n)$	$u(n)$	$Y(n)$	$\tilde{y}(n)$	$\xi(n)$	$\varepsilon(n)$	$F[\varepsilon(n)]$	∇F
1	7	...	1	...	...	0.1	...	...	...
2	7	...	1	...	...	-0.1	...	...	...
3	7	...	1	...	...	0.1	...	...	...
...	7	...	1	...	...	-0.1	...	...	...
20	7	...	1	...	...	0.1	...	...	...

8. Розробити програму, яка буде виконувати адаптивну ідентифікацію ОУ за розробленими рівняннями.

6.2. Приклад виконання завдання на практичне заняття

Отримаємо рівняння для розрахунку функції втрат ОУ:

- нев'язка: $\varepsilon(n) = y(n) - \tilde{y}(n)$,

- функція втрат:

$$F[\varepsilon(n)] = \varepsilon^2(n) = (y(n) - \tilde{y}(n))^2 = \\ = b^2 u^2(n) + 2bu(n)\xi(n) + \xi^2(n) - 2b\tilde{b}u^2(n) - 2\tilde{b}u(n)\xi(n) + \tilde{b}^2 u^2(n).$$

Розрахуємо градієнт функції втрат:

$$\nabla F[\varepsilon(n)] = \frac{dF}{db} = 2U(n)[y(n) - \tilde{y}(n)],$$

$$\xi(n) = \tilde{A}\tilde{N}O2 = \begin{cases} -0,1 & \text{якщо } \tilde{A}\tilde{A} \times = 0, \\ +0,1 & \text{якщо } \tilde{A}\tilde{A} \times = 1, \end{cases}$$

де ГВЧ – вихід генератора випадкових чисел на основі псевдовипадкової бінарної послідовності.

Розраховуємо коефіцієнти адаптивної регресійної моделі ОУ:

$$\tilde{b}(n) = \tilde{b}(n-1) + 2\gamma u(n) \cdot [y(n) - \tilde{b}(n-1) \cdot u(n)],$$

де γ - коефіцієнт підсилення.

Розробимо програму, яка буде виконувати адаптивну ідентифікацію ОУ за розробленими рівняннями.

Таблиця 6.2

Вхідна комбінація від генератора	01011001001101100100
Коефіцієнт ОУ “b”	7
Початкове значення коефіцієнта “b” моделі ОУ	1,5
Кількість відліків	20

Лістинг програми моделювання

```
program practik6;
uses crt;
```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 36

```

label l1;
var b,U: integer;
    x: array [1..20] of integer;
    b1,y,y1,Ex,E,FE,dF: array [1..30] of real;
    n,i: integer;
    num: integer;

begin clrscr;

writeln('Введіть X[1] - X[20]; {0;1}');
writeln;
l1: writeln('1-Варіант для прикладу; 2-Введіть свої
параметри;'); readln(num);

case num of
1: begin
    x[1]:=0; x[2]:=0; x[3]:=0; x[4]:=0; x[5]:=0;
    x[6]:=1; x[7]:=1; x[8]:=0; x[9]:=0; x[10]:=0;
    x[11]:=1; x[12]:=1; x[13]:=1; x[14]:=1; x[15]:=0;
    x[16]:=1; x[17]:=1; x[18]:=0; x[19]:=0; x[20]:=1;

    U:=1;
    b:=3;
    b1[1]:=1.5;
    n:=20;
    end;

2: begin
    for i:=1 to 20 do begin
        write('x[' ,i, ']='); read(x[i]);
        end;
        write('b(n)='); readln(b);
        write('b1(n)='); readln(b1[1]);
        n:=20;
    end;
else writeln('Повтор'); goto l1;
end;
for i:=1 to 20 do begin
    if (x[i]=0) then Ex[i]:=-0.1
    else Ex[i]:=0.1;
end;
writeln;
writeln('X:=');

```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 37

```

        writeln('      1|      2|      3|      4|      5|      6|      7|      8|
9|10|11|12|13|14|15|16|17|18|19|20|');
        for i:=1 to 20 do begin
            write(X[i]:2,'i');
        end;
        writeln;
        writeln('b(n)=' ,b);                writeln('b1(n)=' ,b1[1]:5:3);
writeln('N=' ,n);
        writeln;writeln('Натисніть      Enter      для      почитку');
readkey; clrscr;
        writeln; writeln('Будь ласка, почекайте....');
        delay(6000); clrscr;
        writeln('  n|b(n)|  b1(n)|U(n)|  y(n)|  y1(n)  |Ex(n)|  E(n)
|   FE      |   dF   |');
        y[1]:=b*U+Ex[1];
        y1[1]:=b1[1]*U;
        E[1]:=y[1]-y1[1];
        FE[1]:=sqr(E[1]);
        dF[1]:=2*U*E[1];
        for i:=2 to n do begin
            y[i]:=b*U+Ex[i];
            b1[i]:=b1[i-1]-0.4*U*E[i-1];
            y1[i]:=b1[i]*U;
            E[i]:=y[i]-y1[i];
            FE[i]:=E[i]*E[i];
            dF[i]:=2*U*E[i];
        end;
        for i:=1 to n do begin
            write(i:2,'|',b:4,'|',b1[i]:6:1,'|',U:4,'|',y[i]:2:3,'|
',y1[i]:7:2,'|');
            write(Ex[i]:5:1,'|',E[i]:6:2,'|',FE[i]:10:2,'|',dF[i]:7
:2,'|');
        writeln;
        end;
        readkey
        end.

```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 38

Результати моделювання

```

C:\DOCUME~1\Admin\0016-1\PR6\PR6\PRACTIK6.EXE
x[8]=1
x[9]=0
x[10]=0
x[11]=1
x[12]=1
x[13]=0
x[14]=1
x[15]=1
x[16]=0
x[17]=0
x[18]=1
x[19]=0
x[20]=0
b(n)=7
b1(n)=1.5
X:=
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
0 1 0 1 1 0 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0 0 1 0 0
b(n)=7
b1(n)=1.500
N=20
Press Enter to START

```

Рис. 6.3

n	b(n)	b1(n)	U(n)	y(n)	y1(n)	Ex(n)	E(n)	FE	dF
1	7	1.5	1	6.900	1.50	-0.1	5.40	29.16	10.80
2	7	-0.7	1	7.100	-0.66	0.1	7.76	60.22	15.52
3	7	-3.8	1	6.900	-3.76	-0.1	10.66	113.72	21.33
4	7	-8.0	1	7.100	-8.03	0.1	15.13	228.90	30.26
5	7	-14.1	1	7.100	-14.08	0.1	21.18	448.65	42.36
6	7	-22.6	1	6.900	-22.55	-0.1	29.45	867.54	58.91
7	7	-34.3	1	6.900	-34.34	-0.1	41.24	1700.38	82.47
8	7	-50.8	1	7.100	-50.83	0.1	57.93	3355.87	115.86
9	7	-74.0	1	6.900	-74.00	-0.1	80.90	6545.10	161.80
10	7	-106.4	1	6.900	-106.36	-0.1	113.26	12828.40	226.53
11	7	-151.7	1	7.100	-151.67	0.1	158.77	25207.14	317.54
12	7	-215.2	1	7.100	-215.17	0.1	222.27	49406.00	444.55
13	7	-304.1	1	6.900	-304.08	-0.1	310.98	96711.32	621.97
14	7	-428.5	1	7.100	-428.48	0.1	435.58	189728.37	871.16
15	7	-602.7	1	7.100	-602.71	0.1	609.81	371867.61	1219.62
16	7	-846.6	1	6.900	-846.63	-0.1	853.53	728519.06	1707.07
17	7	-1188.0	1	6.900	-1188.05	-0.1	1194.95	1427897.36	2389.89
18	7	-1666.0	1	7.100	-1666.03	0.1	1673.13	2799348.03	3346.25
19	7	-2335.3	1	6.900	-2335.28	-0.1	2342.18	5485785.23	4684.35
20	7	-3272.1	1	6.900	-3272.15	-0.1	3279.05	10752139.04	6558.09

Рис. 6.4

6.3. Контрольні запитання

1. По якому критерію оцінюється якість адаптивної ідентифікації параметрів ОУ?
2. Перерахуйте основні етапи рішення задачі ідентифікації.
3. Наведіть рівняння лінійного динамічного ОУ і рівняння оптимальної моделі, порівняйте їх.
4. Сформулюйте умову оптимального рішення задачі адаптивної ідентифікації.
5. Намалюйте блок-схему ітеративного алгоритму, роз'ясніть її роботу.
6. Намалюйте блок-схему рекурентного алгоритму, роз'ясніть її роботу.
7. Виконайте порівняльний аналіз ітеративного і рекурентного алгоритму адаптивної ідентифікації.
8. Отримайте рівняння оптимальної моделі і вираз для функції втрат ОУ.
9. Як впливає значення коефіцієнтів у матриці підсилення на точність і час налаштування оптимальної моделі?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 39

Практичне заняття 7

АДАПТИВНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНО- ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ РЕГРЕСІЙНО- АВТОРЕГРЕСІЙНОЇ МОДЕЛІ

7.1. План проведення практичного заняття

1. Стисло нагадати теоретичні відомості, необхідні для виконання індивідуального завдання практичного заняття.

2. Виконати попередній аналіз початкових даних індивідуального варіанту (див. табл. 7.1).

3. Дослідити ОУ за його адаптивною регресійно-авторегресійною моделлю. Структурна схема дослідження ОУ зображена на рис. 7.1, а структурна схема дослідження його регресійно-авторегресійної моделі – на рис. 7.2.

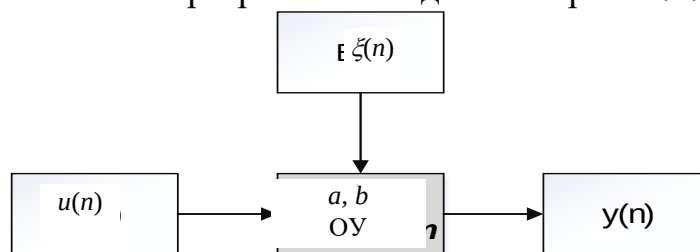


Рис. 7.1

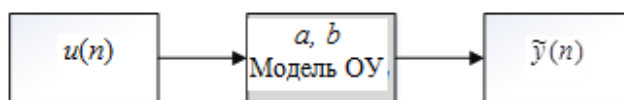


Рис. 7.2

Рівняння ОУ та його адаптивної регресійно-авторегресійної моделі мають вигляд:

$$y(n) = -ay(n-1) + bu(n) + \xi(n); \quad N \in \overline{1, n},$$

$$\tilde{y}(n) = -\tilde{a}y(n-1) + \tilde{b}u(n); \quad \tilde{a} \rightarrow a, \tilde{b} \rightarrow b,$$

де $y(n)$ – вихід ОУ; $\tilde{y}(n)$ – вихід адаптивної моделі ОУ;

$n = 0, 1, 2, \dots$ – дискретний час;

$u(n)$ – вхідний вплив;

$\xi(n)$ – збурююча дія (завада);

a, b – коефіцієнти різницевого рівняння ОУ;

$\tilde{a}, \tilde{b}$ – коефіцієнти різницевого рівняння адаптивної моделі ОУ.

4. Вивести рівняння для розрахунку функції втрат ОУ.

5. Розрахувати градієнт функції втрат.

6. Розрахувати коефіцієнти адаптивної регресійної моделі ОУ:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 40

7. Для розрахунків потрібно скласти таблицю за формою табл. 7.2.

Таблиця 7.1

№ ва- ріанту	Коефіцієнт ПСДС			Початкове значення коефіцієнту моделі ПСДС			Кількість відліків вхідного сигналу	Крок зміни коефіцієнтів моделі ПСДС
	b_1	a_2	b_2	$\tilde{b}_1$	$\tilde{a}_2$	$\tilde{b}_2$		
1	2	0,9	0,70	1,0	0,7	0,55	100	0,05
1	2	0,9	0,70	1,0	0,7	0,55	100	0,05
2	3	1,0	0,75	1,5	0,8	0,50	150	0,10
3	4	1,1	0,80	2,0	0,7	0,55	200	0,15
4	5	0,9	0,85	2,5	0,8	0,60	100	0,20
5	6	1,0	0,90	3,0	0,7	0,65	150	0,05
6	7	1,1	0,95	1,0	0,8	0,55	200	0,10
7	8	0,9	1,00	1,5	0,7	0,50	100	0,15
8	2	1,0	1,05	2,0	0,8	0,55	150	0,20
9	3	1,1	1,10	2,5	0,7	0,60	200	0,05
10	4	0,9	1,15	3,0	0,8	0,65	100	0,10
11	5	1,0	1,20	1,0	0,7	0,55	150	0,15
12	6	1,1	1,25	1,5	0,8	0,50	200	0,20
13	7	0,9	0,70	2,0	0,7	0,55	100	0,05
14	8	1,0	0,75	2,5	0,8	0,60	150	0,10
15	2	1,1	0,80	3,0	0,7	0,65	200	0,15
16	3	0,9	0,85	1,0	0,8	0,55	100	0,20
17	4	1,0	0,90	1,5	0,7	0,50	150	0,05
18	5	1,1	0,95	2,0	0,8	0,55	200	0,10
19	6	0,9	1,00	2,5	0,7	0,60	100	0,15
20	7	1,0	1,05	3,0	0,8	0,65	150	0,20
21	8	1,1	1,10	1,0	0,7	0,55	200	0,05
22	2	0,9	1,15	1,5	0,8	0,50	100	0,10
23	3	1,0	1,20	2,0	0,7	0,55	150	0,15
24	4	1,1	1,25	2,5	0,8	0,60	200	0,20
25	5	0,9	1,00	3,0	0,7	0,65	100	0,05
26	6	1,0	1,05	1,0	0,8	0,55	150	0,10
27	7	1,1	1,10	1,5	0,7	0,50	200	0,15
28	8	0,9	1,15	2,0	0,8	0,55	100	0,20
29	2	1,0	1,20	2,5	0,7	0,60	150	0,15
30	3	1,1	1,25	3,0	0,8	0,65	200	0,20
31	5	1,0	0,85	1,0	0,7	0,55	150	0,15
32	6	1,1	0,90	1,5	0,8	0,50	200	0,20
33	7	0,9	0,95	2,0	0,7	0,55	100	0,05
34	8	1,0	1,00	2,5	0,8	0,60	150	0,10

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 41

35	2	1,1	1,05	3,0	0,7	0,65	200	0,15
----	---	-----	------	-----	-----	------	-----	------

Продовження таблиці 7.1

№ ва- ріанту	Коефіцієнт ПСДС			Початкове значення коефіцієнту моделі ПСДС			Кількість відліків вхідного сигналу	Крок зміни коефіцієнтів моделі ПСДС
	b_1	a_2	b_2	$\tilde{b}_1$	$\tilde{a}_2$	$\tilde{b}_2$		
36	3	0,9	1,00	1,0	0,8	0,55	100	0,20
37	4	1,0	1,05	1,5	0,7	0,50	150	0,05
38	5	1,1	1,10	2,0	0,8	0,55	200	0,10
39	6	0,9	1,15	2,5	0,7	0,60	100	0,15
40	7	1,0	1,20	3,0	0,8	0,65	150	0,20

Таблиця 7.2

n	$a(n)$	$b(n)$	$\tilde{a}(n)$	$\tilde{b}(n)$	$u(n)$	$Y(n)$	$\tilde{y}(n)$	$\xi(n)$	$\varepsilon(n)$	$\varepsilon^2(n)$
1	1,1	1,1	0,7	0,5	1	...	...	0.1	...	...
2	1,1	1,1			1	...	...	-0.1	...	...
3	1,1	1,1			1	...	...	0.1	...	...
...	1,1	1,1			1	...	...	-0.1	...	...
20	1,1	1,1			1	...	...	0.1	...	...

8. Розробити програму, яка буде виконувати адаптивну ідентифікацію ОУ за розробленими рівняннями.

7.2. Приклад виконання завдання на практичне заняття

Отримаємо рівняння для розрахунку функції втрат ОУ:

- нев'язка: $\varepsilon(n) = y(n) - \tilde{y}(n)$,

- функція втрат:

$$F[\varepsilon(n)] = \varepsilon^2(n) = (y(n) - \tilde{y}(n))^2.$$

Розрахуємо градієнт функції втрат:

$$\nabla F[\varepsilon(n)] = \left(\frac{dF}{da}, \frac{dF}{db} \right),$$

$$\begin{bmatrix} \tilde{a}_n \\ \tilde{b}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{n-1} \\ \tilde{b}_{n-1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \gamma_a & \gamma_{ab} \\ \gamma_{ba} & \gamma_b \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \frac{dF}{da} \\ \frac{dF}{db} \end{bmatrix}, \quad \gamma_{ab} = \gamma_{ba} = 0,$$

$$\tilde{a}_n = \tilde{a}_{n-1} - \gamma_a \frac{dF}{da}, \quad \tilde{b}_n = \tilde{b}_{n-1} - \gamma_b \frac{dF}{db}.$$

Розраховуємо коефіцієнти адаптивної регресійної моделі ОУ:

$$\tilde{a}_n(n) = \tilde{a}_n(n-1) - 2\gamma_a y(n-1) [y(n) - (-\tilde{a}_n(n-1)y(n-1) + \tilde{b}_n(n-1)u(n))],$$

$$\tilde{b}_n(n) = \tilde{b}_n(n-1) - 2\gamma_b y(n-1) [y(n) - (-\tilde{a}_n(n-1)y(n-1) + \tilde{b}_n(n-1)u(n))],$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 42

де γ_a, γ_b - коефіцієнти підсилення.

Розробимо програму, яка буде виконувати адаптивну ідентифікацію ОУ за розробленими рівняннями.

Лістинг програми моделювання

```

program praktik17;
uses crt;
label l1;
const n=20;
      U=1;
      ga=0.1;
      gb=0.2;

var  a1,b1,y,y1,Ex,E: array[0..20] of real;
      x: array[1..20] of byte;
      a,b: real;
      i,num: integer;

begin clrscr;

writeln('Vvedite X[1] - X[20]; {0;1}');
writeln;
l1:   writeln('1-Варіант      для      прикладу;      2-Введіть      свої
параметри;'); readln(num);

case num of
1: begin
      x[1]:=0; x[2]:=0; x[3]:=0; x[4]:=0; x[5]:=0;
      x[6]:=1; x[7]:=1; x[8]:=0; x[9]:=0; x[10]:=0;
      x[11]:=1; x[12]:=1; x[13]:=1; x[14]:=1; x[15]:=0;
      x[16]:=1; x[17]:=1; x[18]:=0; x[19]:=0; x[20]:=1;
      a:=1.0;
      b:=0.75;
      a1[1]:=0.8;
      b1[1]:=0.5;
      end;

2: begin
      for i:=1 to 20 do begin
        write('x[' ,i, ']='); read(x[i]);
        end;

        write('a='); readln(a);
        write('b='); readln(b);
        write('a1(1)='); readln(a1[1]);
        write('b1(1)='); readln(b1[1]);
      end;
else writeln('Повтор'); goto l1;
end;

```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 43

```

for i:=1 to 20 do begin
    if (x[i]=0) then Ex[i]:=-0.1
    else Ex[i]:=0.1;
end;

writeln;

writeln('X:=');
writeln('      1|      2|      3|      4|      5|      6|      7|      8|
9|10|11|12|13|14|15|16|17|18|19|20|');
for i:=1 to 20 do begin
    write(X[i]:2,'i');
end;

writeln;

writeln('a=',a);
writeln('b=',b);
writeln('a1(1)=',a1[1]:5:3);
writeln('b1(1)=',b1[1]:5:3);
writeln('N=',n);

writeln;writeln('Натисніть Enter для почитку'); readkey; clrscr;
writeln; writeln('Будь ласка, почекайте....');
delay(3000); clrscr;

writeln(' n| a(n)| b(n)| a1(n)| b1(n)|U(n)| y(n) | y1(n) |Ex(n)|
E(n) | E^2(n)|');

y[1]:=-a*y[0]+b*U+Ex[1];
y1[1]:=-a1[1]*y[0]+b1[1]*U;
E[1]:=y[1]-y1[1];

for i:=2 to n do begin
    y[i]:=-a*y[i-1]+b*U+Ex[i];
    a1[i]:=a1[i-1]-2*ga*y[i-1]*(y[i]-(-a1[i-1]*y[i-1]+b1[i-
1]*U));
    b1[i]:=b1[i-1]-2*gb*y[i-1]*(y[i]-(-a1[i-1]*y[i-1]+b1[i-
1]*U));
    y1[i]:=-a1[i]*y[i-1]+b1[i]*U;
    E[i]:=y[i]-y1[i];
end;

for i:=1 to n do begin

```

```

write(i:2,'|',a:5:2,'|',b:5:2,'|',a1[i]:6:3,'|',b1[i]:6:3,'|',U:
4,'|',y[i]:6:3,'|',y1[i]:7:4,'|');
write(Ex[i]:5:2,'|',E[i]:8:5,'|',sqr(E[i]):7:5,'|');
writeln;
end;

readkey
end.

```

Результати моделювання

```

C:\DOCUME~1\Admin\0016-1\FD65-1\alinchik\PR7\VPRACTIK7.EXE
x[12]=1
x[13]=0
x[14]=1
x[15]=1
x[16]=0
x[17]=0
x[18]=1
x[19]=0
x[20]=0
a=1.1
b=1.1
a1<1>=0.7
b1<1>=0.5
X:=
  1  2  3  4  5  6  7  8  9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
  0  1  0  1  1  0  0  1  0  0  1  1  0  1  1  0  0  1  0  0
a= 1.1000000000E+00
b= 1.1000000000E+00
a1<1>=0.7000
b1<1>=0.5000
N=20
Press Enter to START

```

Рис. 7.3

n	a<n>	b<n>	a1<n>	b1<n>	U<n>	y<n>	y1<n>	Ex<n>	E<n>	E^2<n>
1	1.10	1.10	0.700	0.500	1	1.000	0.5000	-0.10	0.50000	0.25000
2	1.10	1.10	0.640	0.380	1	0.100	-0.2600	0.10	0.36000	0.12960
3	1.10	1.10	0.629	0.357	1	0.890	0.2942	-0.10	0.59581	0.35499
4	1.10	1.10	0.553	0.206	1	0.221	-0.2860	0.10	0.50699	0.25704
5	1.10	1.10	0.515	0.129	1	0.957	0.0154	0.10	0.94145	0.88633
6	1.10	1.10	0.455	0.010	1	-0.053	-0.4252	-0.10	0.37266	0.13887
7	1.10	1.10	0.466	0.032	1	1.058	0.0563	-0.10	1.00154	1.00309
8	1.10	1.10	0.361	-0.179	1	0.036	-0.5602	0.10	0.59657	0.35589
9	1.10	1.10	0.352	-0.195	1	0.960	-0.2082	-0.10	1.16824	1.36478
10	1.10	1.10	0.261	-0.379	1	-0.056	-0.6290	-0.10	0.57300	0.32832
11	1.10	1.10	0.279	-0.342	1	1.262	-0.3268	0.10	1.58840	2.52302
12	1.10	1.10	0.151	-0.598	1	-0.188	-0.7885	0.10	0.60073	0.36088
13	1.10	1.10	0.218	-0.465	1	1.207	-0.4237	-0.10	1.63022	2.65762
14	1.10	1.10	0.073	-0.754	1	-0.127	-0.8421	0.10	0.71496	0.51116
15	1.10	1.10	0.126	-0.648	1	1.340	-0.6321	0.10	1.97199	3.88873
16	1.10	1.10	0.034	-0.832	1	-0.474	-0.8775	-0.10	0.40364	0.16292
17	1.10	1.10	0.256	-0.389	1	1.521	-0.2678	-0.10	1.78909	3.20085
18	1.10	1.10	0.163	-0.574	1	-0.473	-0.8220	0.10	0.34857	0.12150
19	1.10	1.10	0.354	-0.192	1	1.521	-0.0244	-0.10	1.54514	2.38746
20	1.10	1.10	0.337	-0.227	1	-0.673	-0.7387	-0.10	0.06590	0.00434

Рис. 7.4

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 45

7.3. Контрольні питання

1. По якому критерію оцінюється якість адаптивної ідентифікації параметрів ОУ?
2. Перерахуйте основні етапи рішення задачі ідентифікації.
3. Наведіть рівняння лінійного динамічного ОУ і рівняння оптимальної моделі, порівняйте їх.
4. Сформулюйте умову оптимального рішення задачі адаптивної ідентифікації.
5. Який вигляд має ітеративний алгоритм адаптивної ідентифікації?
6. Який вигляд має рекурентний алгоритм адаптивної ідентифікації?
7. Намалюйте блок-схеми ітеративного та рекурентного алгоритмів, роз'ясніть їх роботу.
8. Виконайте порівняльний аналіз ітеративного і рекурентного алгоритму адаптивної ідентифікації.
9. Отримайте рівняння оптимальної моделі і вираз для функції втрат ОУ.
10. Як впливає значення коефіцієнтів у матриці підсилення на точність і час настроювання оптимальної моделі?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 46

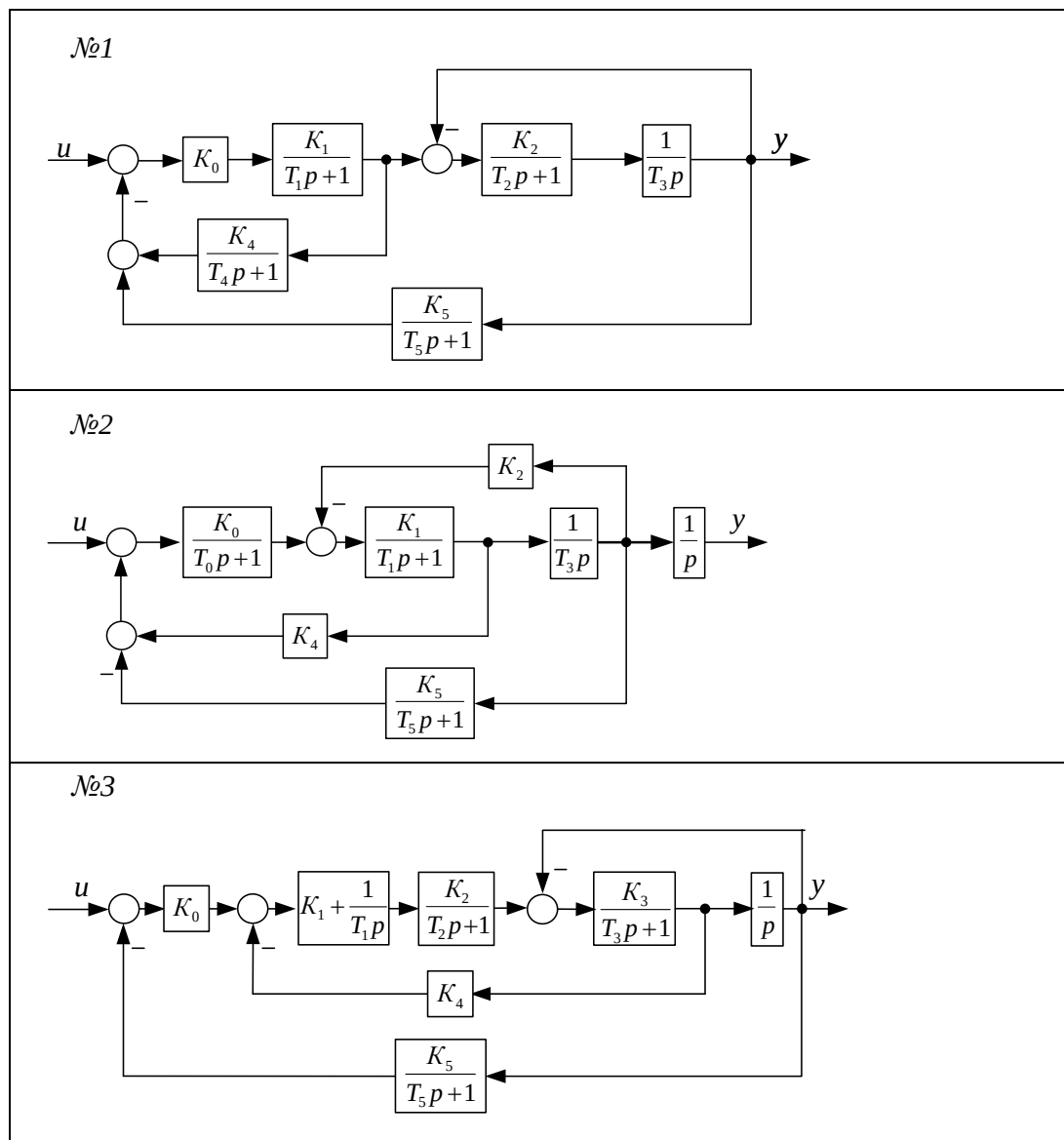
Практичне заняття 8

ЗАСТОСУВАННЯ ФІЛЬТРА КАЛМАНА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОТОЧНИХ КООРДИНАТ ОБ'ЄКТУ ВИМІРЮВАННЯ

8.1. План проведення практичного заняття

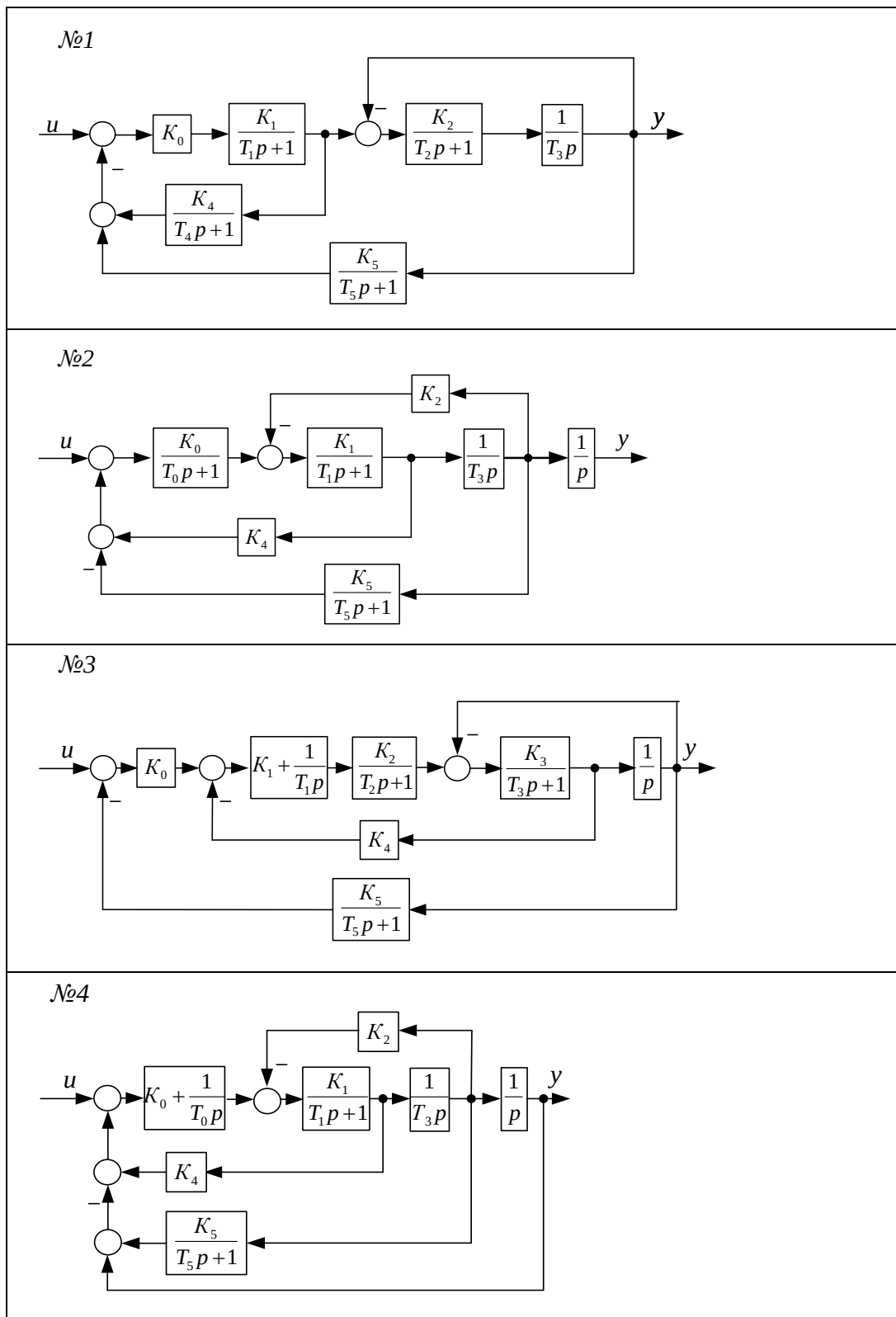
1. Згідно свого варіанту обрати структурну схему системи автоматичного управління (див. табл. 8.1) та параметри цієї схеми (див. табл. 8.2).
2. Зробити розрахунок фільтра Калмана.
3. Виконати моделювання системи управління зі спостерігачем.
4. Побудувати графіки вимірюного і точного вихідних сигналів координат ОУ та зашумленого і оціненого значення виходу системи.
5. Порівняти графіки та зробити висновки.

Таблиця 8.1



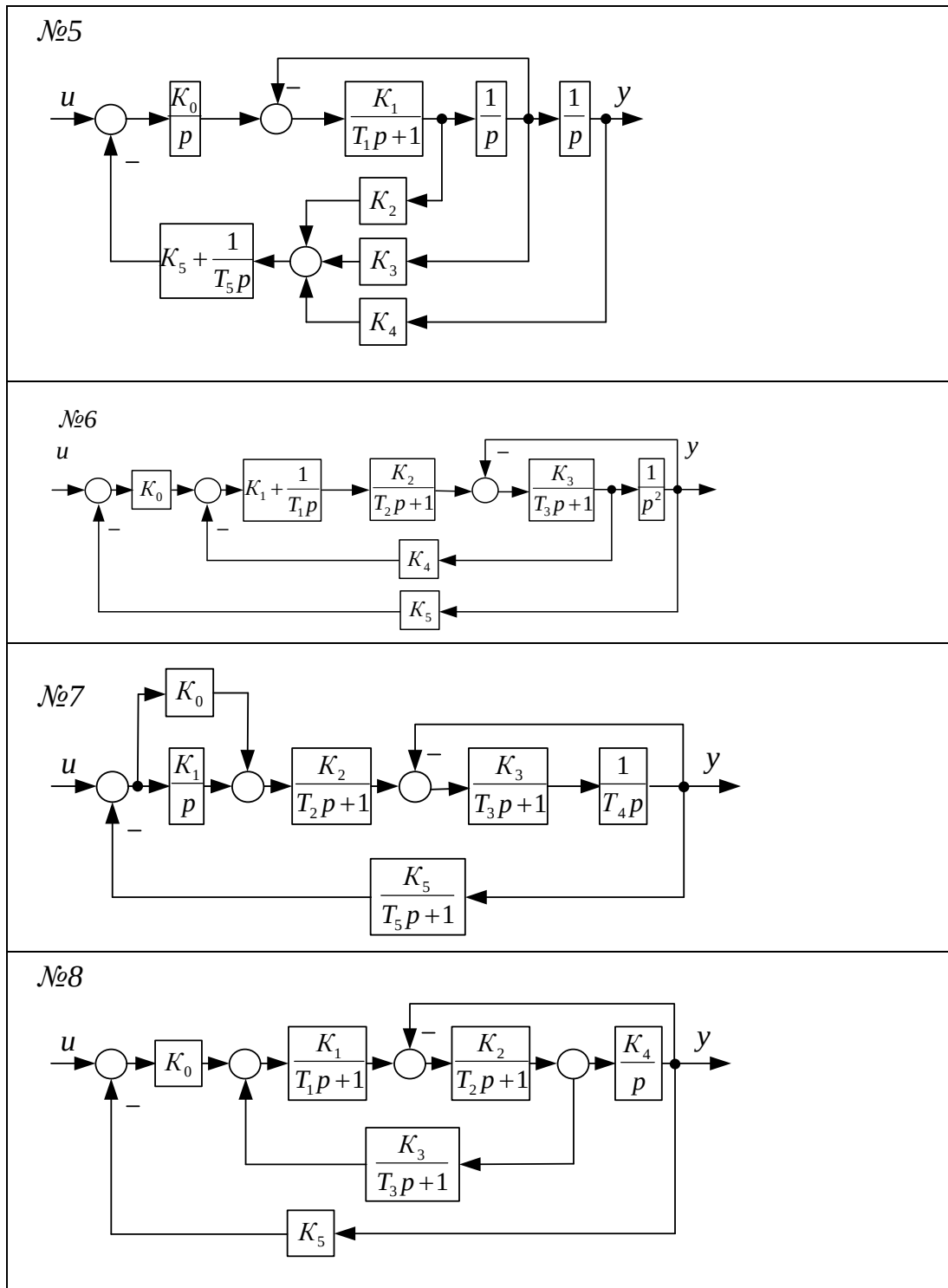
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 47

Продовження таблиці 8.1



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 48

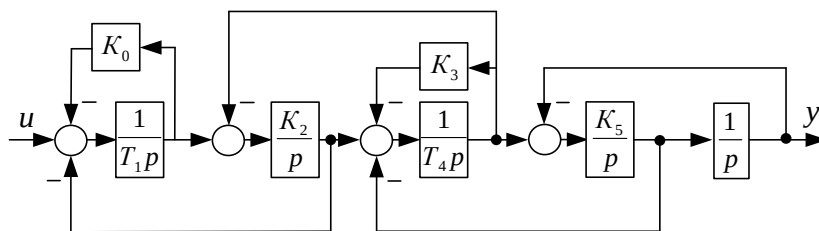
Продовження таблиці 8.1



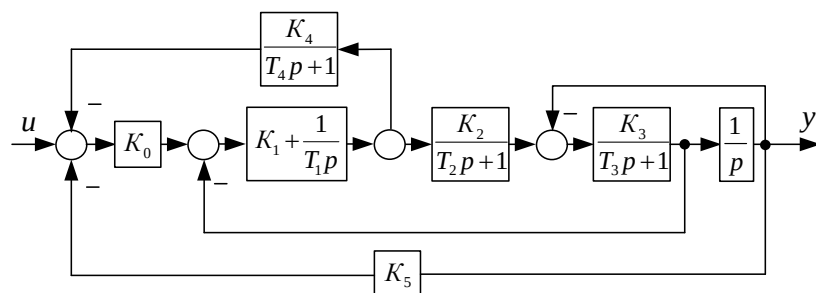
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 49

Продовження таблиці 8.1

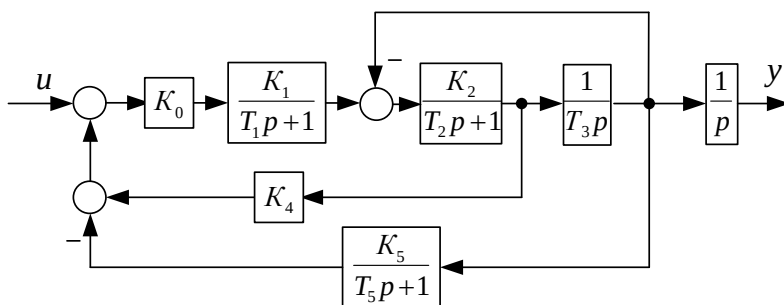
№9



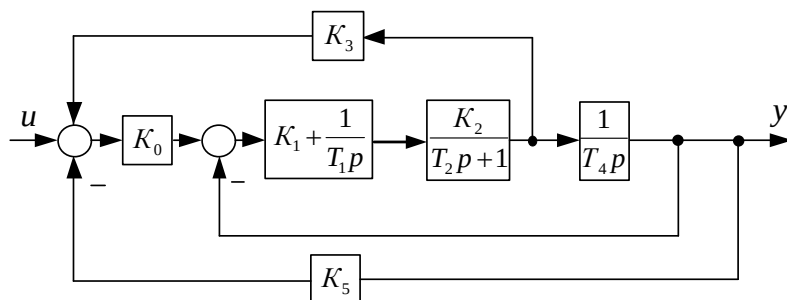
№10



№11

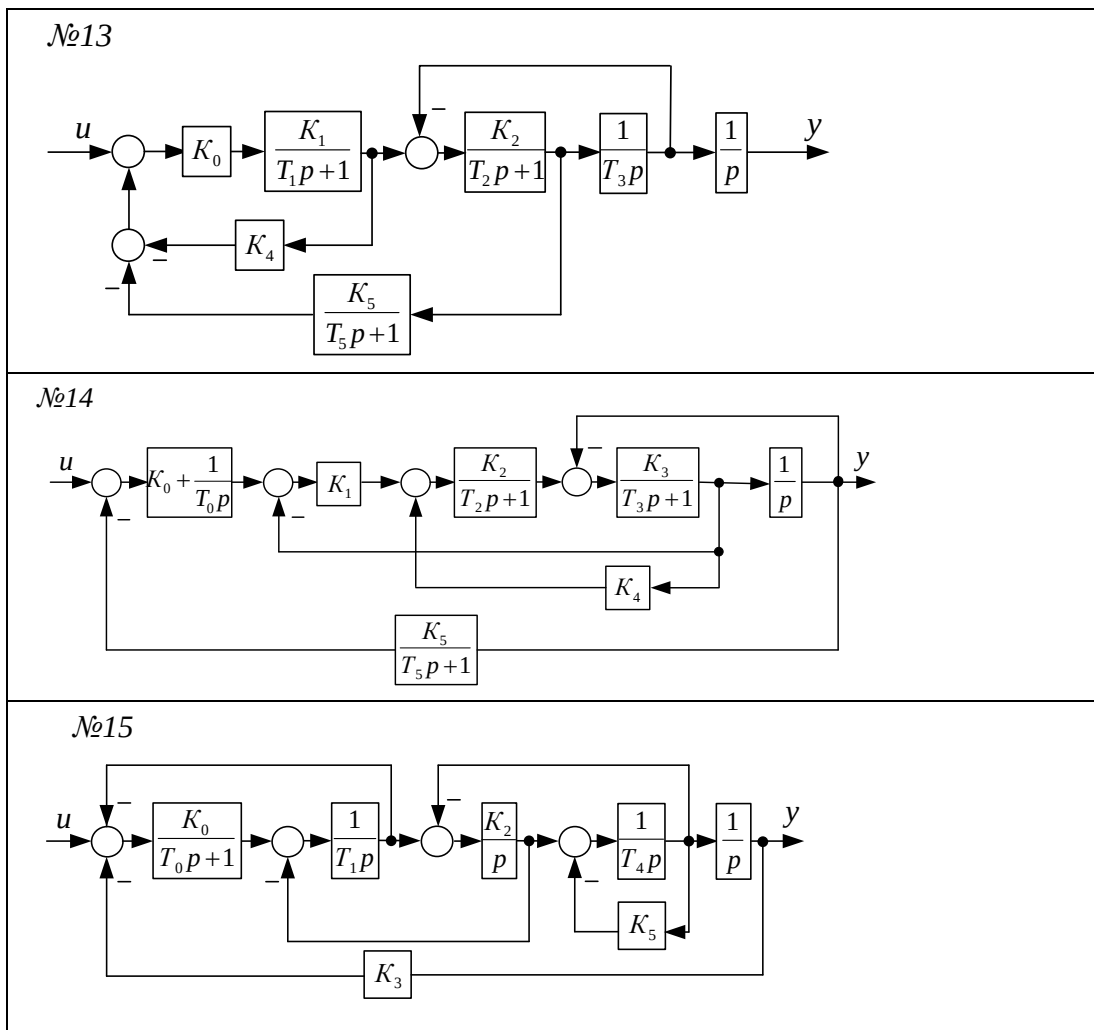


№12



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 50

Продовження таблиці 8.1



Таблиця 8.2

Вариант	№ схеми	Параметри ланок структурної схеми											
		K ₀	T ₀	K ₁	T ₁	K ₂	T ₂	K ₃	T ₃	K ₄	T ₄	K ₅	T ₅
1	15	7.3	0.2	-	0.2	4.0	-	0.5	-	-	0.2	0.7	-
2	13	5.0	-	1.0	0.2	4.1	0.8	-	0.3	0.2	-	0.1	0.2
3	11	0.4	-	0.4	1.0	2.2	0.6	-	2.3	0.1	-	2.0	0.1
4	9	0.5	-	-	0.4	2.5	-	1.5	-	-	0.5	5.7	-
5	7	1.4	-	1.0	-	8.7	0.1	0.7	0.2	-	2.5	0.5	0.1
6	5	0.3	-	7.7	0.3	3.6	-	1.5	-	8.1	-	9.0	0.8
7	3	4.8	-	2.5	0.1	0.5	0.2	0.6	0.1	1.5	-	1.5	0.2
8	1	10	-	7.1	0.5	5.0	0.1	-	2.0	0.5	0.2	0.3	0.1
9	2	2.1	0.5	1.5	0.3	0.8	-	1.0	1.0	0.1	-	0.5	0.1
10	4	3.8	0.2	7.7	1.3	70	-	-	0.4	1.2	-	2.0	0.3

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 51

Продовження таблиці 8.2

Варі- ант	№ схе- ми	Параметри ланок структурної схеми											
		K ₀	T ₀	K ₁	T ₁	K ₂	T ₂	K ₃	T ₃	K ₄	T ₄	K ₅	T ₅
11	6	0.1	-	9.5	0.2	2.5	0.5	0.8	0.3	0.1	-	0.3	-
12	8	1.2	0.1	9.5	0.5	1.0	0.1	0.5	0.1	2	-	0.1	-
13	10	2.7	-	3.5	1.0	2.7	1.3	4.8	0.7	0.3	1.5	0.5	-
14	12	5.2	-	0.7	1.0	5.3	0.7	0.1	-	-	2.5	0.1	-
15	14	1.1	3.0	0.9	-	3.5	0.2	1.2	0.7	0.1	-	3.6	0.1
16	15	2.1	0.3	-	0.6	8.5	-	1.7	-	-	0.4	0.1	-
17	13	2.7	-	1.5	1.7	8.3	2.9	-	0.7	0.5	-	0.2	0.1
18	11	0.7	-	0.3	0.4	1.6	1.2	-	0.4	0.2	-	2.6	0.1
19	9	0.2	-	-	0.6	7.5	-	0.6	-	-	0.8	0.9	-
20	7	7.5	-	1.0	-	3.2	0.2	9.5	0.1	-	0.5	8.2	0.2
21	5	0.1	-	2.1	0.5	5.1	-	7.5	-	3.9	-	5.0	0.6
22	3	1.8	-	8.5	0.5	1.5	0.3	0.5	0.5	5.0	-	9.5	0.1
23	1	2.1	-	5.0	0.2	10	0.3	-	0.5	3.0	0.8	0.1	0.5
24	2	0.5	0.8	0.7	0.1	1.5	-	1.0	0.2	0.5	-	8.5	0.1
25	4	12	0.1	0.1	0.5	100	-	-	0.5	0.1	-	4.6	0.1
26	6	0.2	-	7.5	0.1	2.5	0.1	5.0	0.7	0.2	-	0.2	-
27	8	6.9	0.3	4.1	0.7	7.3	0.2	3.8	0.5	3.3	-	0.2	-
28	10	2.5	-	2.9	1.0	9.5	1.4	9.5	0.4	0.1	0.2	1.0	-
29	12	0.2	-	0.2	1.0	5.3	0.2	0.2	-	-	1.1	0.1	-
30	14	2.8	2.0	1.8	-	7.5	0.6	7.2	0.2	0.2	-	3.6	0.1
31	15	0.1	0.2	2.1	0.2	4.0	-	0.5	-	-	0.2	0.7	-
32	13	1.2	-	8.5	0.2	4.1	0.8	-	0.3	0.2	-	0.1	0.2
33	11	2.7	-	5.0	1.0	2.2	0.6	-	2.3	0.1	-	2.0	0.1
34	9	5.2	-	0.7	0.4	2.5	-	1.5	-	-	0.5	5.7	-
35	7	1.1	-	0.1	-	8.7	0.1	0.7	0.2	-	2.5	0.5	0.1
36	5	2.1	-	7.5	0.3	3.6	-	1.5	-	8.1	-	9.0	0.8
37	3	2.7	-	4.1	0.1	0.5	0.2	0.6	0.1	1.5	-	1.5	0.2
38	1	0.7	-	2.9	0.5	5.0	0.1	-	2.0	0.5	0.2	0.3	0.1
39	2	0.2	0.5	0.2	0.3	0.8	-	1.0	1.0	0.1	-	0.5	0.1
40	4	7.5	0.2	1.8	1.3	70	-	-	0.4	1.2	-	2.0	0.3

8.2. Приклад виконання завдання практичного заняття

Лістинг програми моделювання

```
Sys1=ss(tf(100,[1 1 100]));
```

```
U=ones(1000,1); % вхідний сигнал одиничний ступеневий вплив 1000 відліків
```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 52

```

T=linspace(0,10,1000)'; % вектор часу від 0 до 10 с 1000
відліків
Y=lsim(Sys1,U,T); % моделювання точного виходу системи
YN=Y+0.05*randn(1000,1); % вихід з шумом СКЗ 0.05
figure; plot(T,U,'-g',T,Y,'-b',T,YN,'-r'); grid on; % графік
вхідного та вихідного сигналу системи
xlabel('Час, с'); ylabel('Амплітуда вихідного сигналу, В');
[A,B,C,D]=ssdata(Sys1) % виводимо значення матриць системи
P=ss(A, [B B], C, [D D]) % будуємо систему із спотерігачем
Kest=kalman(P,0.1,0.05) % будуємо фільтр Калмана
YK=lsim(Kest,[U YN],T); % розраховуємо оцінку виходу системи в
фільтрі Калмана
figure; plot(T,U,'-g',T,Y,'-b',T,YN,'-r',T,YK(:,1),'-c'); grid
on; % графік вхідного та вихідного сигналу системи
xlabel('Час, с'); ylabel('Амплітуда вихідного сигналу, В');

```

Результати моделювання

```

A =
-1.0000   -12.5000
  8.0000         0

B =
     4
     0

C =
     0     3.1250

D =
     0

a =
           x1      x2
    x1      -1   -12.5
    x2       8      0

b =
           u1     u2
    x1      4      4
    x2      0      0

c =
           x1      x2
    y1       0    3.125

d =
           u1     u2
    y1      0      0
Continuous-time model.

a =

```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 53

$$b = \begin{matrix} & x1_e & x2_e \\ x1_e & -1 & -20.26 \\ x2_e & 8 & -11.14 \end{matrix}$$

$$c = \begin{matrix} & u1 & y1 \\ x1_e & 4 & 2.483 \\ x2_e & 0 & 3.56 \end{matrix}$$

$$d = \begin{matrix} & x1_e & x2_e \\ y1_e & 0 & 3.125 \\ x1_e & 1 & 0 \\ x2_e & 0 & 1 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} & u1 & y1 \\ y1_e & 0 & 0 \\ x1_e & 0 & 0 \\ x2_e & 0 & 0 \end{matrix}$$

I/O groups:

Group name I/O Channel(s)

KnownInput I 1

Measurement I 2

OutputEstimate O 1

StateEstimate O 2,3

Continuous-time model.

B

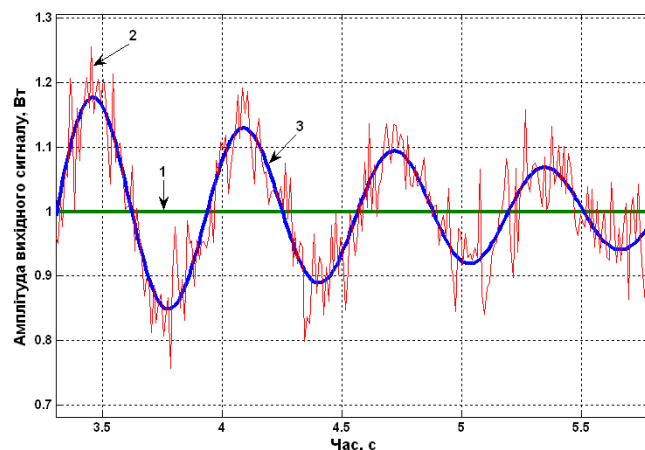


Рис. 8.1. Порівняння виміряного і точного значення вихідної координати системи управління: 1- вхідний сигнал, 2- вихід з шумом, 3 - точний вихід системи

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-20.09- 05.02/2/175.00.1/Б/ОК8- 2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 54 / 54

В

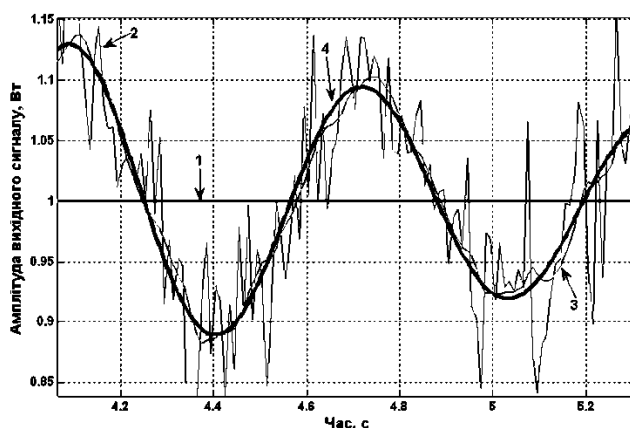


Рис. 8.2. Порівняння точного значення, виміряного значення та результату оцінювання фільтром Калмана вихідної координати системи управління: 1- вхідний сигнал, 2- вихід з шумом, 3 – оцінка виходу системи у фільтрі Калмана, 4– точний вихід системи

8.3. Контрольні питання

1. Що являє собою фільтр Калмана?
2. Які функції є в пакеті Matlab для синтезу фільтра Калмана?
3. Які основні блоки входять в структурну схему отримання оцінок координат ОУ?
4. Що таке матриця вимірювання H ?
5. Назвіть матриці об'єкта керування.