

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 1

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Державного університету
«Житомирська політехніка»
Протокол № 4
від 15 серпня 2024 р

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

для самостійної роботи студентів
з навчальної дисципліни

«МАТЕМАТИЧНІ ТА ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ»

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «магістр»
спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»
освітньо-професійна програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка»
факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки

кафедра метрології та інформаційно-вимірювальної техніки

Рекомендовано на засіданні
кафедри метрології та
інформаційно-вимірювальної
техніки

26 лютого 2024 р., протокол № 2

Розробники: д.т.н., професор, завідувач кафедри метрології та інформаційно-
вимірювальної техніки ПОДЧАШИНСЬКИЙ Юрій,
асистент кафедри метрології та інформаційно-вимірювальної техніки
ВОРОНОВА Тетяна

Житомир
2024

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 2

Методичні рекомендації для самостійної роботи студентів з навчальної дисципліни «МАТЕМАТИЧНІ ТА ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ» для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «магістр» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / Розробники Ю.О. Подчашинський, Т.С. Воронова. – Житомир: ЖДТУ, 2024. – 59 с.

Розробники: Ю.О. Подчашинський, Т.С. Воронова

Рецензенти:

к.т.н., доцент кафедри АтаКІТ ім. проф. Б.Б. Самотокіна Добржанський О.О.;
доцент кафедри МтаІВТ Чепюк Л.О.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 3

ЗМІСТ

ВСТУП	4
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 1. МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ, ЩО ЗАДАНИЙ ДИФЕРЕНЦІЙНИМ РІВНЯННЯМ.....	5
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 ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ	22
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 5. ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ МЕТОДОМ ВЗАЄМНОЇ КОРЕЛЯЦІЙНОЇ ФУНКЦІЇ.....	27
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 6. АДАПТИВНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ ЗА ЙОГО РЕГРЕСІЙНОЮ МОДЕЛЛЮ	37
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 7. АДАПТИВНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ ЗА ЙОГО РЕГРЕСІЙНО-АВТОРЕГРЕСІЙНОЮ МОДЕЛЛЮ	42
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 8. ЗАСТОСУВАННЯ ФІЛЬТРА КАЛМАНА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПОТОЧНИХ КООРДИНАТ ТА ПАРАМЕТРІВ РУХУ ОБ'ЄКТІВ УПРАВЛІННЯ.....	48
ЛІТЕРАТУРА.....	59

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 4

ВСТУП

Фахова дисципліна “Математичні та програмні засоби моделювання пристроїв та систем управління” – складова частина підготовки здобувачів вищої освіти спеціальності «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка» на здобуття ступеня магістра. Дані методичні вказівки використовуються при викладанні цієї дисципліни здобувачам вищої освіти факультету інформаційно-комп’ютерних технологій та містять теоретичні відомості, завдання на самостійну роботу.

Кожний здобувач вищої освіти працює з індивідуальним варіантом, який задається викладачем. Для успішного виконання практичних занять студенти повинні вміти працювати на персональному комп’ютері та складати програми на одній із алгоритмічних мов програмування.

Звіт по результатах виконання робіт повинен бути оформлений відповідно до існуючих вимог. У звіті вказується найменування та мета заняття, наводяться початкові дані індивідуального варіанту завдання. До звіту додаються теоретичні розрахунки, програми та результати обчислень, отримані в результаті виконання завдання. В кінці звіту наводяться висновки про досягнення мети практичного заняття.

В результаті виконання робіт студенти набувають навиків складання математичних моделей об’єктів управління (ОУ) та систем автоматичного управління (САУ), перетворення цих моделей в форму, прийнятну для моделювання на цифровій ЕОМ, та виконання процедури моделювання ОУ і САУ. Ці знання і навички можуть бути використані при розробці комп’ютеризованих систем управління і автоматики.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 5

ЗАВДАННЯ 1

МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ, ЩО ЗАДАЄТЬСЯ ДИФЕРЕНЦІЙНИМ РІВНЯННЯМ

1.1. План виконання завдання

1. Стисло нагадати теоретичні відомості, необхідні для виконання індивідуального завдання.
2. Виконати попередній аналіз початкових даних індивідуального завдання (табл. 1.1).
3. Отримати різницеве рівняння для моделювання об'єкта управління.
4. Розробити програму моделювання об'єкта управління.
5. Отримати результати моделювання об'єкта управління.

Табл. 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
21	$\ddot{y} - 2\dot{y} + y = 3\dot{x} + x$	прямокутників

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 6

№ варіанту	Диференційне рівняння	Метод чисельного інтегрування
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

1.2. Приклад виконання завдання

1. Задано диференційне рівняння

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

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 :

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

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

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	$I_{П1}$	$\frac{\tau}{z-1}$	$I_{Л1}$	$\frac{\tau}{2} \cdot \frac{z+1}{z-1}$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 7

2	I_{I2}	$\frac{\tau^2}{2} \cdot \frac{z+1}{(z-1)^2}$	I_{T2}	$\frac{\tau^2}{6} \cdot \frac{(z^2+4z+1)}{(z-1)^2}$
---	----------	--	----------	---

Застосовуємо метод трапецій для чисельного інтегрування:

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

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

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

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

$$Y(z) \left[2 + \frac{\tau}{2} \cdot \frac{z+1}{z-1} + \frac{\tau^2}{6} \cdot \frac{z^2+4z+1}{(z-1)^2} \right] = X(z) \left[\frac{\tau^2}{6} \cdot \frac{z^2+4z+1}{(z-1)^2} + \frac{7\tau}{2} \cdot \frac{z+1}{z-1} \right];$$

$$Y(z) \left[\frac{12(z-1)^2 + 3\tau(z+1)(z-1) + \tau^2(z^2+4z+1)}{6(z-1)^2} \right] =$$

$$= X(z) \left[\frac{21\tau(z+1)(z-1) + \tau^2(z^2+4z+1)}{6(z-1)^2} \right].$$

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

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

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

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;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 8

```

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+aqr(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] |
|---|------|------|


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


|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  |  |
|--|--|--|


');
close(f1);
end.

```

Результати моделювання

Початкові умови: $y[-1]=0$; $y[0]=0$; $x[-1]=0$; $x[0]=0$
Кількість відліків та крок інтегрування:
 $N=100$; $t=0.10$

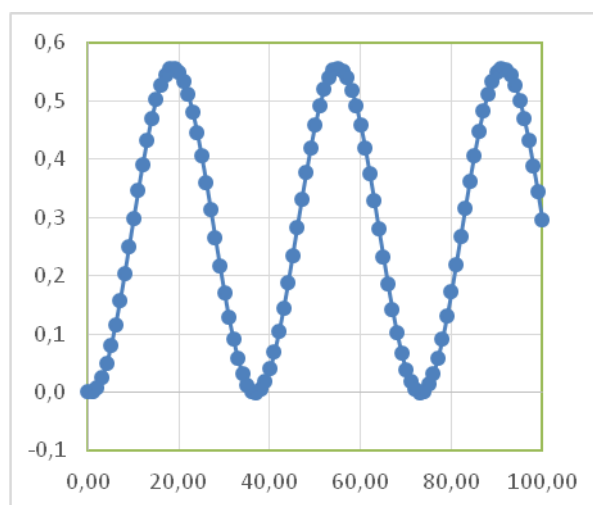
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 9

Табл. 1.3

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 10

Вихідний сигнал ОУ, В



Час моделювання, с

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

1.3. Контрольні запитання

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?
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- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 11

ЗАВДАННЯ 2

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

2.1. План виконання завдання

1. Стисло нагадати теоретичні відомості, необхідні для виконання індивідуального завдання.
2. Виконати попередній аналіз початкових даних індивідуального варіанту (табл. 2.1).
3. Для генерації випадкових чисел x_{i+1} потрібно використовувати три алгоритми на основі обчислення залишку від ділення:

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

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

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

Табл. 2.1

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 12

2.2. Приклад виконання завдання

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.

Табл. 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');
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,' | ',x[i],'| ',a*x[i],'| ',x[i+1],'| ');
',a*x[i]:5,' | ',x[i+1]:5,' | ');
end;
writeln(f1,' -----');
```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 13

```
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
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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 14

	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	
	3		5		301		0	
	4		0		6		6	
	5		6		360		3	
	6		3		183		1	
	7		1		65		2	
	8		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- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 15

	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- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 16

ЗАВДАННЯ 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 («сходінка»);
- 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 виконання завдання

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

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 (табл. 3.1). 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.

Табл. 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	$D^6 \oplus D^1$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 17

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	$D^7 \oplus D^5 \oplus D^1$

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

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.

Табл. 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.

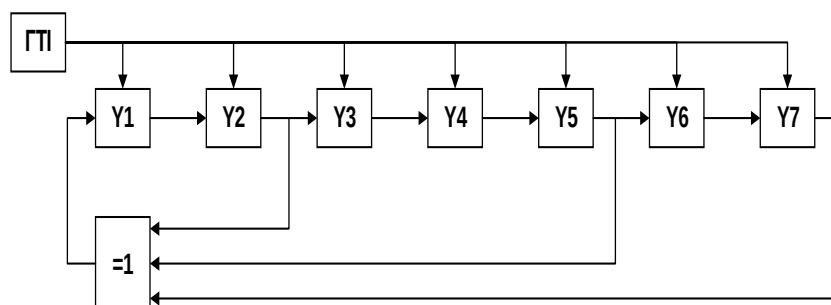


Рис. 3.1. Генератор псевдовипадкової бінарної послідовності:

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- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 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,

```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 19

```

        ' ;y5=',d5:2,' ;y6=',d6:2,' ;y7=',d7:2);
writeln(f1,' ');

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,'      ---== ПОВТОР ===--'); end;
end;
close(f1)
end.

```

Результати моделювання

Поліном: [D7+D5+D2]

Початкові умови:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 20

$y_1 = 1; y_2 = 0; y_3 = 0; y_4 = 1; y_5 = 0; y_6 = 0; y_7 = 1$

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
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
----- ПОВТОР -----								
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
----- ПОВТОР -----								

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 21

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 нуля - 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- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 22

ЗАВДАННЯ 4

РОЗРАХУНОК ПЕРЕХІДНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

4.1. План виконання завдання

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

2. Виконати попередній аналіз початкових даних індивідуального варіанту (табл. 4.1).

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.

Табл.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	16	0,7	0,5	2,0
2	0,5	0,4	2,2	17	0,8	0,4	2,2
3	0,6	0,8	2,5	18	0,9	0,8	2,5
4	0,7	1,2	2,7	19	1,1	1,2	2,7
5	0,8	1,5	3,2	20	1,2	1,5	3,2
6	0,9	0,5	2,0	21	1,3	0,5	2,0
7	1,1	0,4	2,2	22	1,4	0,4	2,2
8	1,3	0,8	2,5	23	1,5	0,8	2,5
9	1,4	1,2	2,7	24	1,6	1,2	2,7
10	1,5	1,5	3,2	25	1,7	1,5	3,2
11	1,8	0,5	2,0	26	1,8	0,5	2,0
12	1,9	0,4	2,2	27	1,9	0,4	2,2
13	0,4	0,8	2,5	28	0,4	0,8	2,5
14	0,5	1,2	2,7	29	0,5	1,2	2,7
15	0,6	1,5	3,2	30	0,6	1,5	3,2

4.2. Приклад виконання завдання

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:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 23

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

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 24

```

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;
  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;

```


Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 25

close(f1); end.

Результати моделювання

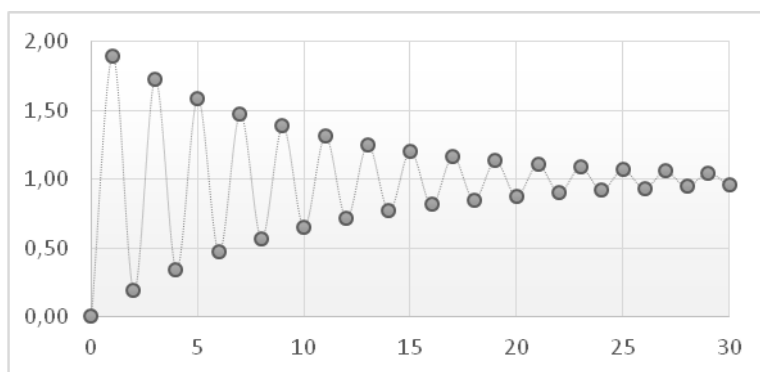
$y1[i] = (1.90) * x[i] + (-0.90) * y[i-1]$

$y2[i] = (0.40) * x[i] + (1.80) * x[i-1] + (-0.60) * y[i-1] + (-6.0E-01) * y[i-2]$

N=50

	ОУ1		ОУ2	
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

Вихідний сигнал ОУ, В



Час моделювання, с

Рис.4.1. Графік вихідного сигналу аперіодичного ОУ першого порядку

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 26

Вихідний сигнал ОУ, В

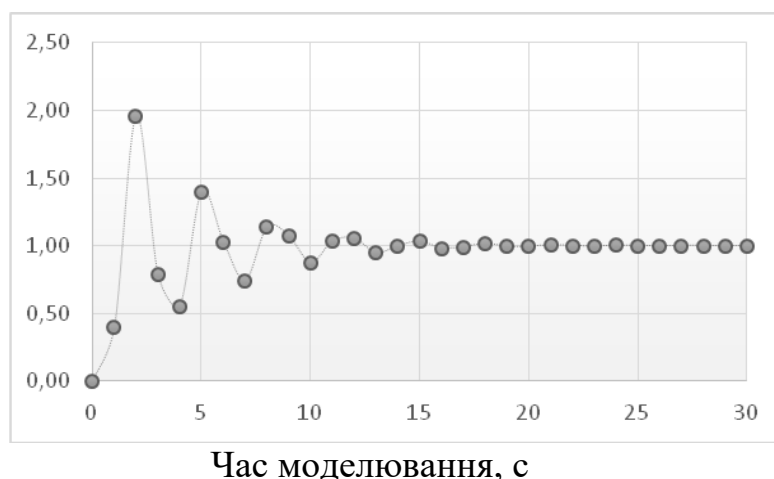


Рис.4.2. Графік вихідного сигналу аперіодичного ОУ другого порядку

4.3. Контрольні запитання

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- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 27

ЗАВДАННЯ 5

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ МЕТОДОМ ВЗАЄМНОЇ КОРЕЛЯЦІЙНОЇ ФУНКЦІЇ

При моделюванні ОУ одним із завдань є визначення (ідентифікація) його динамічних характеристик. Ця задача може бути вирішена за методом взаємної кореляційної функції (ВКФ) вхідного і вихідного сигналів.

При дослідженні даного методу будемо припускати, що процеси, що протікають в ОУ, стаціонарні і ергодичні.

Точне рішення задачі ідентифікації вимагає спостереження за процесами, які досліджуються, на достатньо великому (теоретично нескінченному) відрізку часу. Але в реальній системі потрібно обмежувати час спостереження, поширюючи отримані дані на нескінченний інтервал спостереження. Отримані при такому підході результати будуть наближеними.

Оцінка ступеня такого наближення – одне з важливих завдань, що вирішуються при моделюванні ОУ.

5.1. План виконання завдання

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

2. Виконати попередній аналіз початкових даних індивідуального варіанту (див. табл. 4.1).

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.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 28

5.2. Приклад виконання завдання

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 різницевим рівнянням (табл. 5.1).



Рис. 5.1.

Таблиця 5.1

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

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.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арх 59 / 29

Таблиця 5.2

к	N-к	$X_1 X_{k+1}$	$X_2 X_{k+2}$	$X_3 X_{k+3}$	$X_4 X_{k+4}$	$X_5 X_{k+5}$	$X_6 X_{k+6}$	$X_7 X_{k+7}$	$X_8 X_{k+8}$	$X_9 X_{k+9}$	$X_{10} X_{k+10}$	$X_{11} X_{k+11}$	$X_{12} X_{k+12}$	$X_{13} X_{k+13}$	$X_{14} X_{k+14}$	$X_{15} X_{k+15}$	$X_{16} X_{k+16}$	$X_{17} X_{k+17}$	$X_{18} X_{k+18}$	$X_{19} X_{k+19}$	$X_{20} X_{k+20}$	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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 30

Таблиця 5.3

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Xi	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0
Yi	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	
Xi	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	
Yi	-0,12	2,01	1,81	3,53	-1,27	1,15	-1,03	2,83	-2,55	2,29	

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;
end;

```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 31

```

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;
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|36|
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|35|
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

```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 32

```

        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;

    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);

```


Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 33

```
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;
```

```
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]
```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 34

```

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
    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|

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 35

Автокореляційна функція

k	n1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	S	AKΦ
		0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	9	
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	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	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	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	0.0000
6	14	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	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	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	0	2	0.1667
9	11	0	1	0	0	1	0	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	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	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	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	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	0	5	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	0.0000
16	4	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	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	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	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	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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 36

5.3. Контрольні запитання

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- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 37

ЗАВДАННЯ 6

АДАПТИВНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ ЗА ЙОГО РЕГРЕСІЙНОЮ МОДЕЛЛЮ

6.1. План виконання завдання

1. Стисло нагадати теоретичні відомості, необхідні для виконання індивідуального завдання.
2. Виконати попередній аналіз початкових даних індивідуального варіанту (див. табл. 4.1).
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.

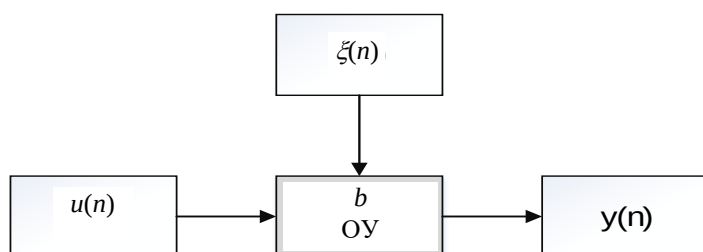


Рис.6.1.



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- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 38

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

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:

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

$$\xi(n) = \tilde{A}\tilde{O}2 = \begin{cases} -0,1 & \text{якщо } \tilde{A}\hat{A}^\times = 0, \\ +0,1 & \text{якщо } \tilde{A}\hat{A}^\times = 1, \end{cases}$$

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 39

Лістинг програми моделювання

```

program practik6;
uses crt;
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

```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 40

```

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('b(n)=', b);          writeln('b1(n)=', b1[1]:5:3);
writeln('N=', n);
writeln;writeln('Натисніть Enter для початку'); 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.

```

Результати моделювання

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арх 59 / 41

```

C:\DOCUME~1\Адмін\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- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 42

ЗАВДАННЯ 7

АДАПТИВНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ ЗА ЙОГО РЕГРЕСІЙНО-АВТОРЕГРЕСІЙНОЮ МОДЕЛЛЮ

7.1. План виконання завдання

1. Стисло нагадати теоретичні відомості, необхідні для виконання індивідуального завдання.
2. Виконати попередній аналіз початкових даних індивідуального варіанту (див. табл. 4.1).
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.

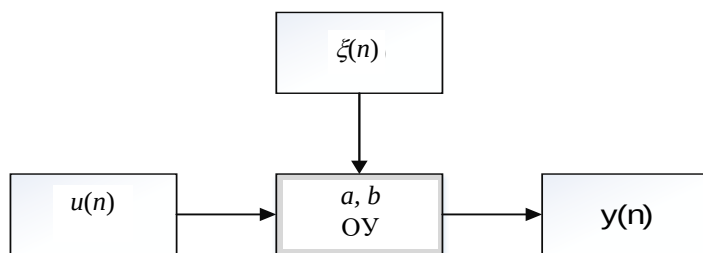


Рис. 7.1.



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:

7. Для розрахунків потрібно скласти таблицю за формою табл. 7.1.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 43

Таблиця 7.1

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

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:

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

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

де γ_a, γ_b - коефіцієнти підсилення.

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

Лістинг програми моделювання

```
program practik7;
uses crt;
label l1;
const n=20;
      U=1;
      ga=0.1;
      gb=0.2;
```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 44

```

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('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;
    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;

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

```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 45

```

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 початку'); 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;

```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 46

```
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\PRACTIK7.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]=0.700
b1[1]=0.500
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- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 47

7.3. 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. 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 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- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 48

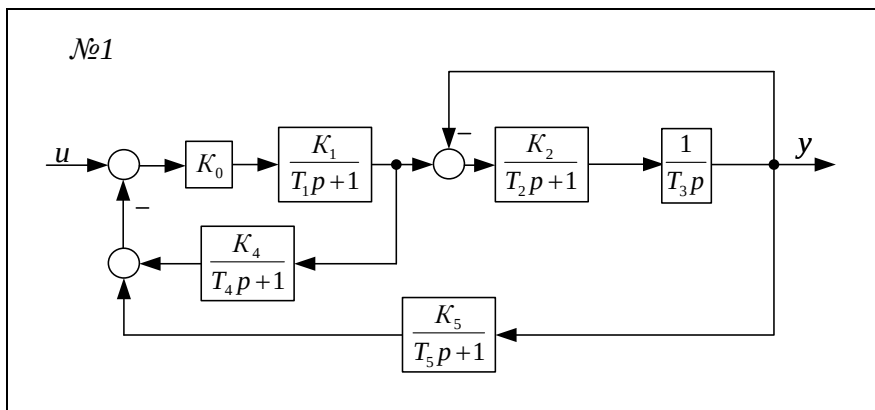
ЗАНЯТТЯ 8

ЗАСТОСУВАННЯ ФІЛЬТРА КАЛМАНА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПОТОЧНИХ КООРДИНАТ ОБ'ЄКТІВ УПРАВЛІННЯ

8.1. План виконання завдання

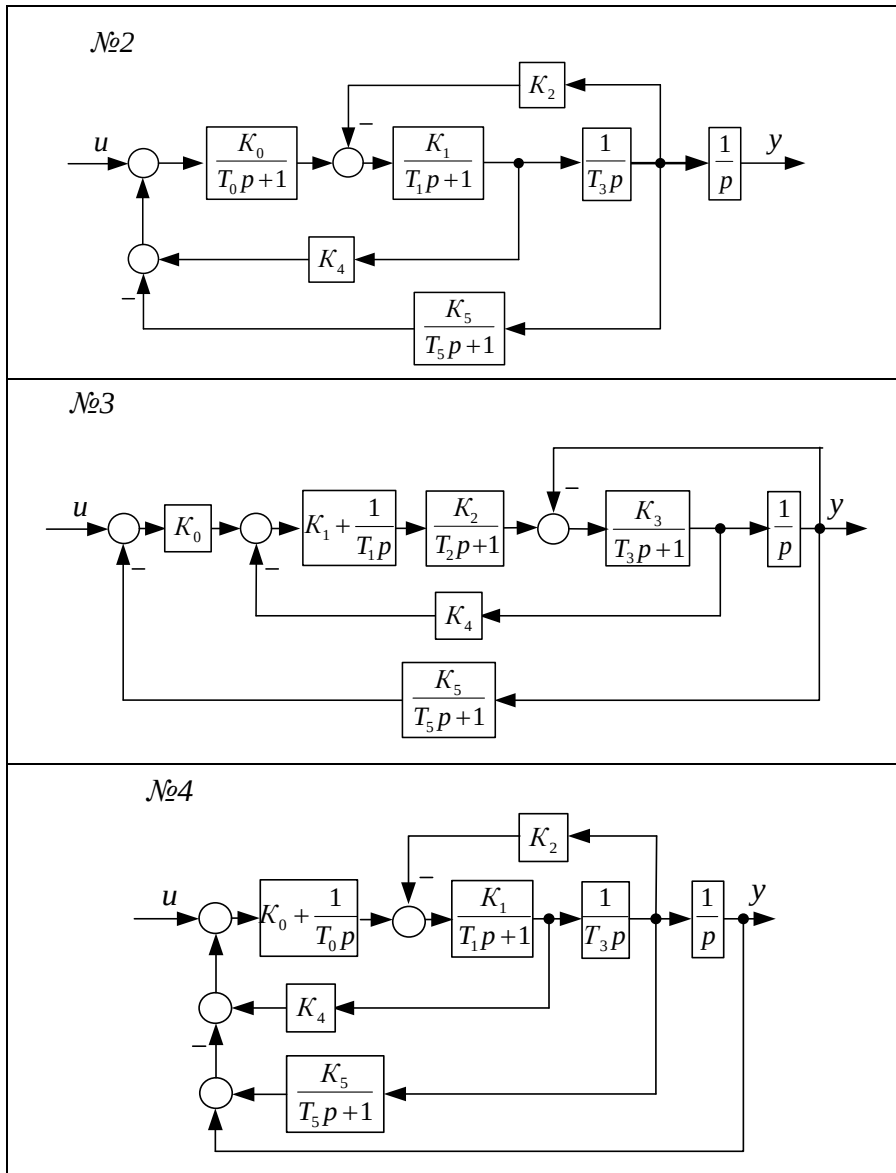
1. Згідно свого варіанту обрати структурну схему системи автоматичного управління (табл.8.1) та параметри цієї схеми (табл.8.2).
2. Зробити розрахунок фільтра Калмана.
3. Виконати моделювання системи управління зі спостерігачем.
4. Побудувати графіки вимірюного і точного вихідних сигналів координат ОУ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

Табл.8.1



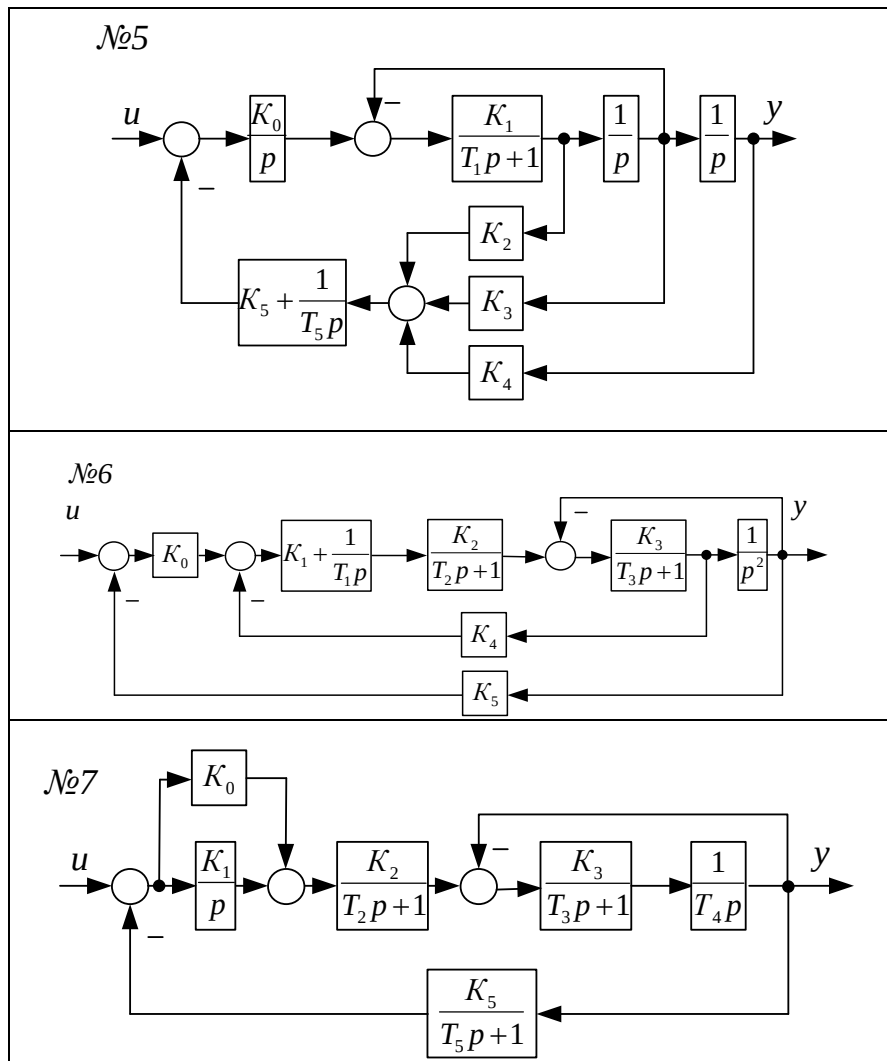
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 49

Продовження табл.8.1



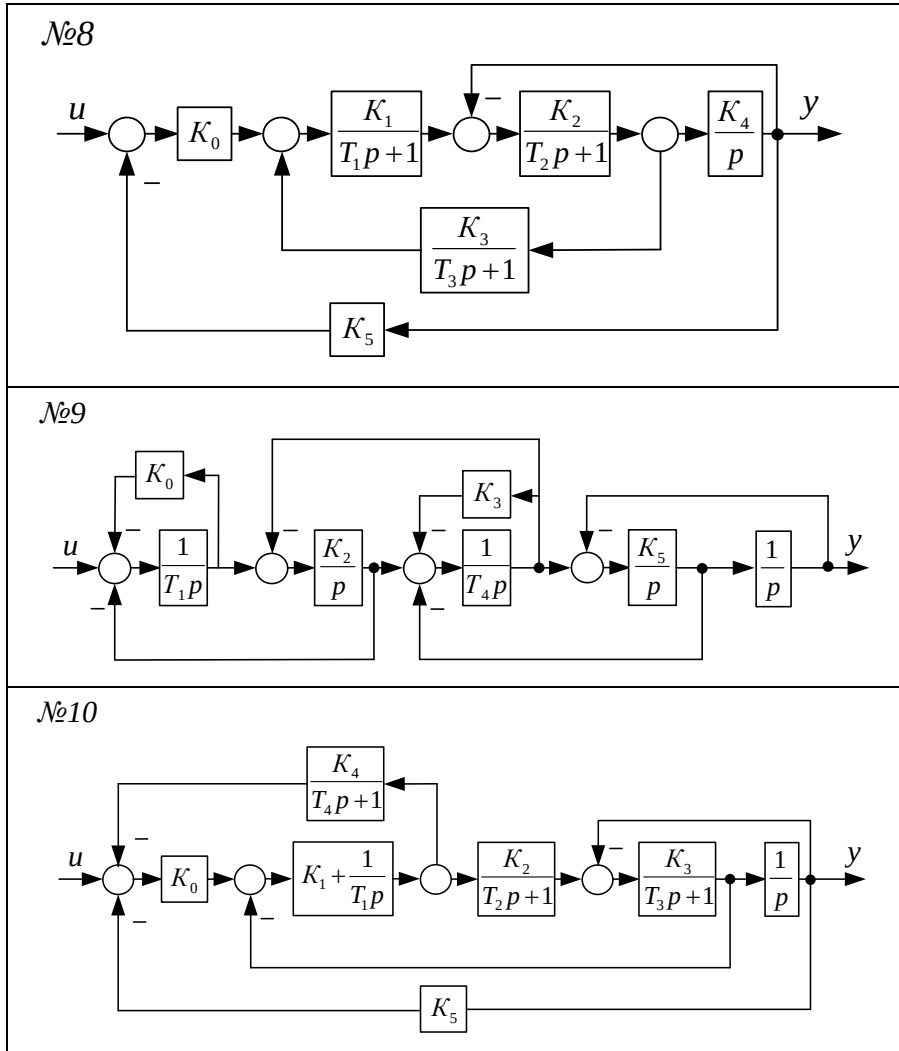
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 50

Продовження табл.8.1



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 51

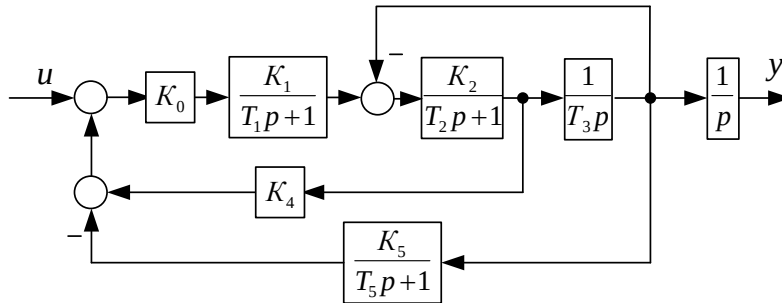
Продовження табл.8.1



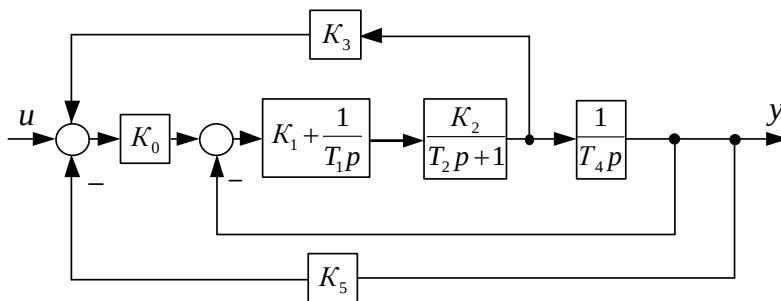
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 52

Продовження табл.8.1

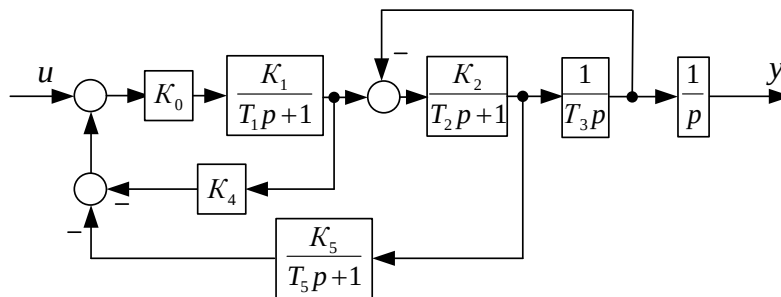
№11



№12



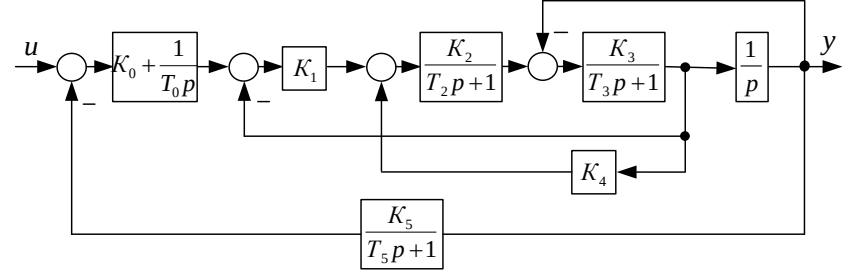
№13



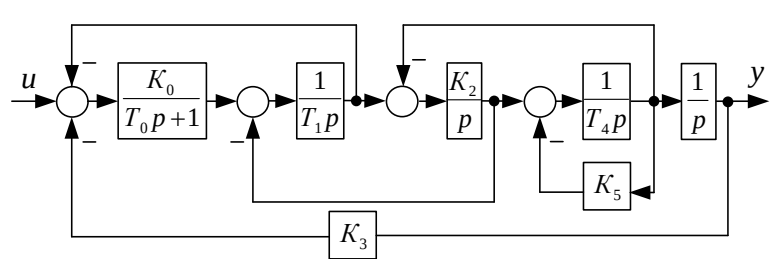
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 53

Продовження табл.8.1

№14



№15



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 54

Табл.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
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
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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 55

8.2. Приклад виконання завдання

Лістинг програми моделювання

```

Sys1=ss(tf(100,[1 1 100]));
U=ones(1000,1); % вхідний сигнал одиничний ступеневий
% вплив 1000 відліків
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');

```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 56

Результати моделювання

A =

$$\begin{bmatrix} -1.0000 & -12.5000 \\ 8.0000 & 0 \end{bmatrix}$$

B =

$$\begin{bmatrix} 4 \\ 0 \end{bmatrix}$$

C =

$$\begin{bmatrix} 0 & 3.1250 \end{bmatrix}$$

D =

$$\begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix}$$

a =

$$\begin{matrix} & x1 & x2 \\ x1 & -1 & -12.5 \\ x2 & 8 & 0 \end{matrix}$$

b =

$$\begin{matrix} & u1 & u2 \\ x1 & 4 & 4 \\ x2 & 0 & 0 \end{matrix}$$

c =

$$\begin{matrix} & x1 & x2 \\ y1 & 0 & 3.125 \end{matrix}$$

d =

$$\begin{matrix} & u1 & u2 \\ y1 & 0 & 0 \end{matrix}$$

Continuous-time model.

a =

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

b =

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

c =

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

d =

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 57

```

u1  y1
y1_e  0  0
x1_e  0  0
x2_e  0  0
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.

```

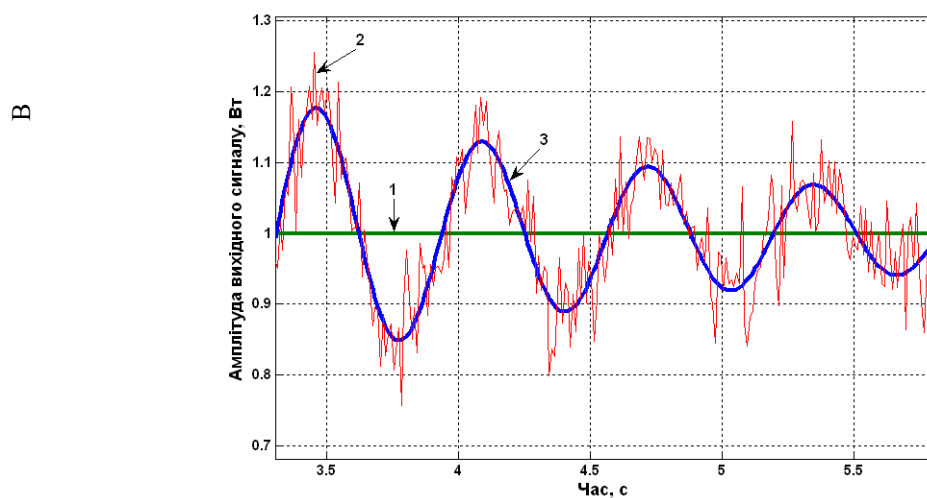


Рис.8.1. Порівняння виміряного і точного значення вихідної координати системи управління: 1- вхідний сигнал, 2- вихід з шумом, 3 - точний вихід системи

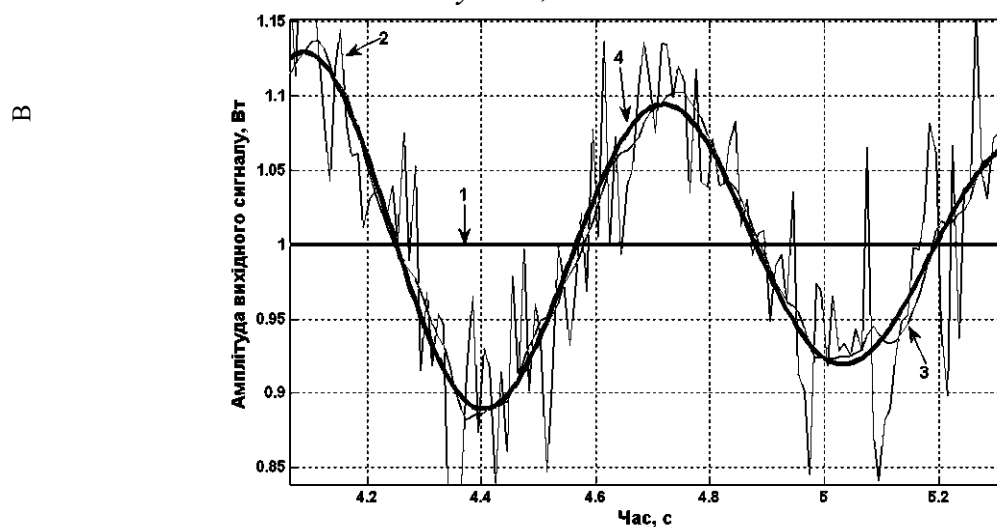


Рис.8.2. Порівняння точного значення, виміряного значення та результату оцінювання фільтром Калмана вихідної координати системи управління: 1- вхідний сигнал, 2- вихід з шумом, 3 - точний вихід системи, 4 - результат оцінювання фільтром Калмана

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 58

*3 – оцінка виходу системи у фільтрі Калмана,
4 – точний вихід системи*

8.3. Контрольні запитання

4.1 Що являє собою фільтр Калмана?

4.2 Які функції є в пакеті Matlab для синтезу фільтра Калмана?

4.3 Які основні блоки входять в структурну схему отримання оцінок координат ОУ?

4.4 Що таке матриця вимірювання H ?

4.5 Назвіть матриці об'єкта керування.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/4/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 59 / 59

ЛІТЕРАТУРА

1. Математичні та програмні засоби моделювання інформаційновимірювальних систем : навч. посібник / Подчашинський Ю.О., Чепюк Л.О., Воронова Т.С., Лугових О.О., Шавурська Л.Й. – Житомир : Житомирська політехніка, 2024. – 264 с.
2. Павленко П. М. Основи математичного моделювання систем і процесів : навч. посіб. / П. М. Павленко, С. Ф. Філоненко, О. М. Чередников, В. В. Трейтак. – К. : НАУ, 2017. – 392 с.
3. Моделювання та оптимізація систем : підручник / В. М. Дубовой, Р. Н. Кветний, О. І. Михальов, А. В. Усов. – Вінниця : ПП «ТД«Еднльвейс», 2017. – 804 с.
4. Безвесільна О. М. Наукові дослідження в галузі автоматизації та приладобудування. Проектування та моделювання комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем : підручник, затверджений Вченою радою Державного університету "Житомирська політехніка" / О. М. Безвесільна, Ю. О. Подчашинський. – Київ : ДП «Редакція інформаційного бюлетеня «Офіційний вісник Президента України», 2021. – 896 с.
5. Кузьмичов А. І. Ймовірнісне та статистичне моделювання в Excel для прийняття рішень : навч. посібник / А. І. Кузьмичов, Н. Г. Бишовець, Г. В. Куценко та ін. – К. : Ліра К, 2019. – 300 с.
6. Пасічник В. В. Моделювання складних систем / В. В. Пасічник, Я. І. Виклюк, Р. М. Камінський. – Львів : Новий світ, 2021. – 404 с.
7. Рябенський В. М. Моделювання пристроїв обробки цифрових сигналів / В. М. Рябенський, Л. В. Солобутко. – К. : Кондор, 2021. – 352 с.
8. Федосов Б. Т. Моделювання електромеханічних систем : навч. посібник / Б. Т. Федосов, С. Г. Чорний, В. П. Щокін. – К. : Кондор, 2018. – 204 с.
9. Павлиш В. А. Основи біотехнічних систем та їх моделювання / В. А. Павлиш, Л. К. Гліненко. – Львів : Львівська політехніка, 2020. – 380 с.
10. Онисик С. Б. Моделювання об'єктів керування. Поняття. Тлумачення. Моделі. Дослідження / С. Б. Онисик. – Львів : Львівська політехніка, 2019. – 300 с.