

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 110 / 1

Лабораторна робота № 4 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ АДАПТИВНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

Мета роботи: розробка алгоритмів адаптивної ідентифікації та дослідження умов їх збіжності.

4.1. Теоретичні відомості. Теоретичні основи адаптивної ідентифікації

Однією із складових частин процесу моделювання складної динамічної системи (ПСУ) є її ідентифікація. У загальному випадку ідентифікація динамічних об'єктів полягає у визначенні їхньої структури і параметрів по даним, що спостерігаються, тобто по вхідному впливу і вихідній величині ПСУ. Ця задача виникає при створенні адаптивних систем, тобто таких, у яких на основі ідентифікації ПСУ виробляються оптимальні управляючі дії. До різноманітних варіантів задачі ідентифікації приводять статистичні методи опрацювання інформації в різноманітних областях науки і техніки.

Адаптивна ідентифікація здійснюється за допомогою моделі відповідної структури, параметри якої в процесі ідентифікації змінюються таким чином, щоб із найменшою похибкою відображати параметри ПСУ. Функціональна схема процесу адаптивної ідентифікації наведена на рис. 4.1.

Різниця вихідних величин ПСУ і моделі утворює нев'язку

$$\varepsilon(z(n), c) = y(n) - \tilde{y}(n), \quad (4.1)$$

де $z(n)$ – значення входу і виходу ПСУ, отримані в результаті спостережень; c – вектор параметрів моделі, що настроюється.

Будемо вважати, що ПСУ є стаціонарною, тобто її параметри не залежать від часу.

Якість адаптивної ідентифікації (ступінь наближення моделі до ПСУ в процесі її налаштування) оцінюється по середніх втратах

$$J(c) = M\{F[\varepsilon(z(n), c)]\}, \quad (4.2)$$

де $M\{\cdot\}$ – математичне очікування;

$F[\cdot]$ – функція втрат (ступінь небажаності нев'язки).

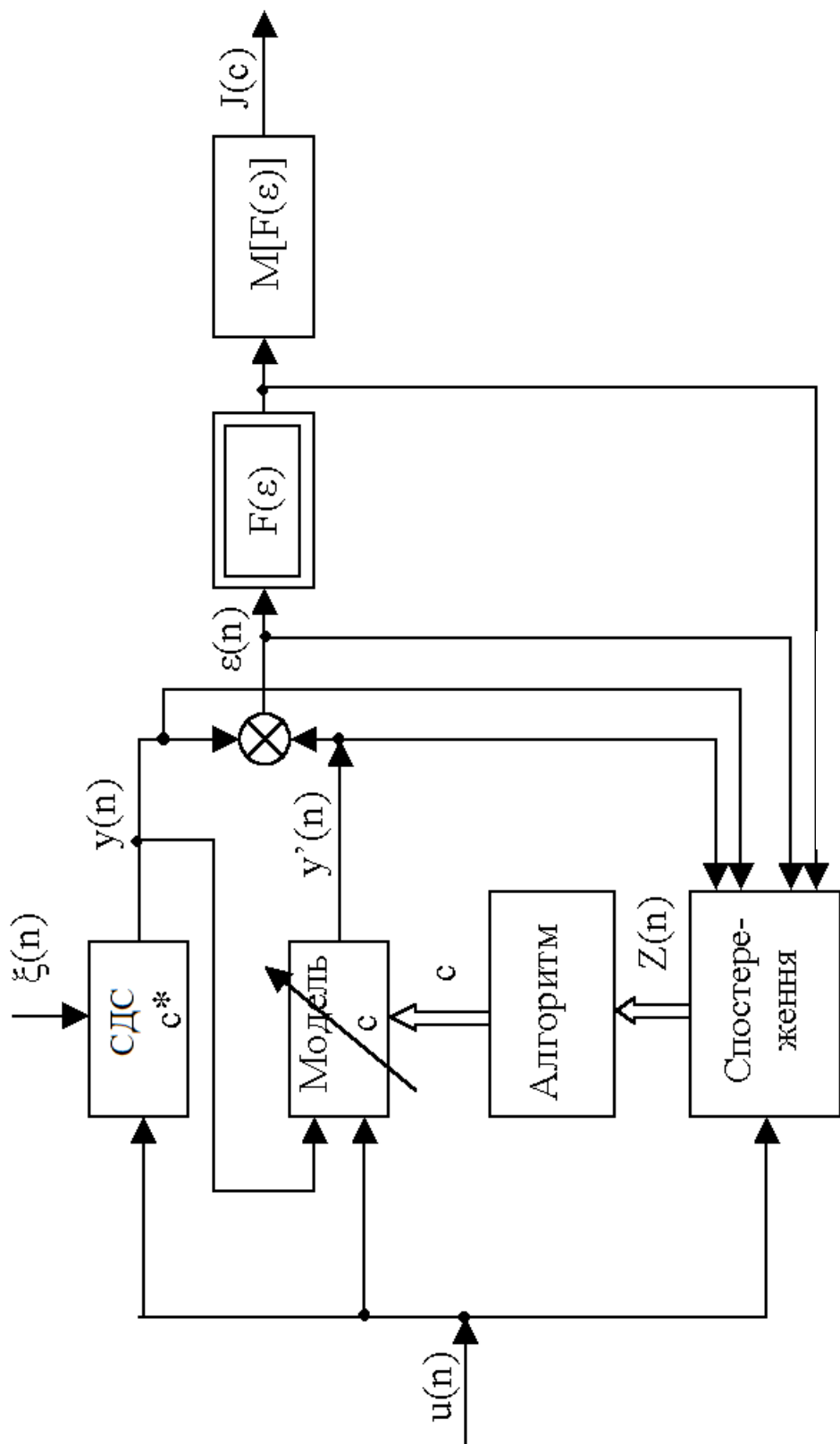


Рис. 4.1

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 110 / 3

Функція втрат може обчислюватися по різним формулам.

Найчастіше використовують:

– порогову функцію втрат (рис. 4.2, а)

$$F(\varepsilon) = \begin{cases} 1, & |\varepsilon| \geq \varepsilon_0, \\ 0 & |\varepsilon| < \varepsilon_0, \end{cases}$$

– лінійну функцію втрат (рис. 4.2, б)

$$F(\varepsilon) = |\varepsilon|,$$

– квадратичну функцію втрат (рис. 4.2, в)

$$F(\varepsilon) = \varepsilon^2.$$

В лабораторній роботі використовується квадратична функція втрат, тобто втрати пропорційні квадрату нев'язки:

$$F[\varepsilon] = \varepsilon^2(z(n), c). \quad (4.3)$$

Алгоритм ідентифікації полягає в тому, що на основі доступних для спостереження значень вхідних і вихідних величин змінюють параметри моделі, що настроюється, так, щоб із ростом числа кроків настроювання моделі середні втрати $J(c)$ досягали мінімального значення.

Таким чином, для рішення задач ідентифікації необхідно:

- визначити клас ПСУ, що досліджуються;
- на основі відомостей про ПСУ сформулювати модель, що настроюється (визначити її структуру);
- вибрати критерій якості ідентифікації (по середньому квадрату втрат);
- побудувати алгоритм ідентифікації.

Рівняння лінійної динамічної ПСУ з двома входами (рис. 4.3) представляється у вигляді лінійного різницевого рівняння

$$y(n) + \sum_{m=1}^N a_m^* y(n-m) = \sum_{m=0}^N b_m^* u(n-m) + \sum_{m=1}^N d_m^* [\xi(n-m) - (n-m)], \quad (4.4)$$

де $y(n)$ – вихід ПСУ;

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

$u(n)$ – вхідний вплив;

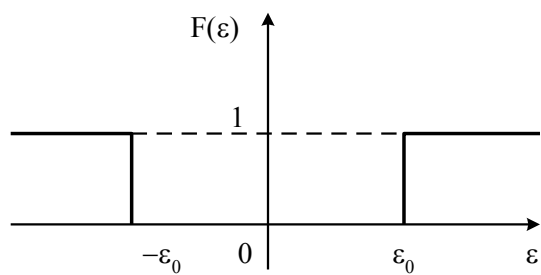
$\xi(n)$ – збурююча дія (завада).

Оптимальною моделлю, що настроюється, будемо вважати таку модель, для якої $M\{\varepsilon^2(n)\}$ досягає мінімально можливого значення при певних значеннях її параметрів.

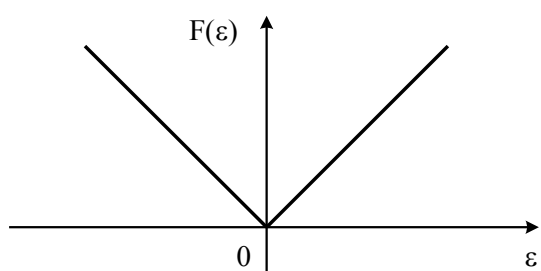
Для ПСУ з рівнянням (4.4) рівняння оптимальної моделі має вигляд

$$\tilde{y}(n) = - \sum_{m=1}^N a_m y(n-m) + \sum_{m=0}^N b_m u(n-m) + \sum_{m=1}^N d_m [y(n-m) - \tilde{y}(n-m)]. \quad (4.5)$$

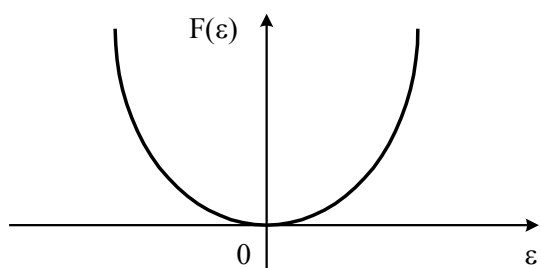
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 110 / 4



а)



б)



в)

Рис. 4.2

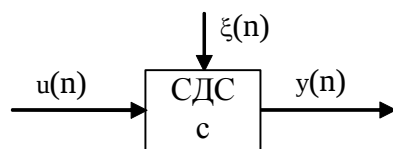


Рис. 4.3

Введемо позначення вектора параметрів моделі

$$c = (a_1, \dots, a_n, b_1, \dots, b_n, d_1, \dots, d_n) \quad (4.6)$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 110 / 5

Оптимальне рішення задачі ідентифікації для даної моделі, що настроюється, позначимо

$$c^* = (a_1^*, \dots, a_n^*, b_1^*, \dots, b_n^*, d_1^*, \dots, d_n^*). \quad (4.7)$$

У відповідності з обраним критерієм якості ідентифікації (формула (4.2)) можна записати

$$J^*(c^*) = M\{\varepsilon^2(z(n), c^*)\} = \min_c. \quad (4.8)$$

Оптимальне рішення c^* можна знайти з критерію якості (4.8) за допомогою методу найменших квадратів, що призводить до рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь.

Умова, що визначає оптимальне рішення задачі ідентифікації $c = c^*$, має вигляд

$$\nabla J(c) = M\{\nabla_c F[\varepsilon(z(n), c)]\} = 0, \quad (4.9)$$

де ∇J – градієнт середніх втрат;

$\nabla_c F$ – градієнт функції втрат,

$$\nabla_c F = (\partial/\partial c_1, \dots, \partial/\partial c_N).$$

Векторне рівняння (4.9) еквівалентно системі нелінійних алгебраїчних рівнянь щодо компонент вектора c . У зв'язку з труднощами, що виникають при аналітичному рішенні рівняння (4.9), переходять до наближених методів. Це значить, що рівняння (4.9) замінюється різницеvim рівнянням, рішення якого $c(n)$ з плином часу прагне до оптимального рішення c^* .

Якщо градієнт середніх втрат $\nabla J(n)$ відомий (на основі попередніх спостережень за ПСУ і моделлю, що настроюється), то алгоритм адаптації (ітеративний алгоритм) має вигляд

$$C(n) = c(n-1) - \Gamma(n) \nabla J(c(n-1)), \quad (4.10)$$

де $\Gamma(n)$ - матриця підсилення;

c_0 – початкова умова (звичайно вибирається довільно).

Блок-схема ітеративного алгоритму показана на рис. 4.4, де ЕЗ - елемент затримки.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 110 / 6

Якщо градієнт середніх втрат невідомий (цілком невідома щільність розподілу завад і спостережень), то алгоритм ідентифікації (рекурентний алгоритм) має вигляд

$$C(n) = C(n-1) - \Gamma(n) \nabla_c F[E(\varepsilon(n), (c(n-1)))] \quad (4.11)$$

Блок-схема рекурентного алгоритму показана на рис. 4.5.

Практичну реалізацію алгоритмів, що відповідають формулам (4.10) і (4.11), доцільно здійснити на ЕОМ.

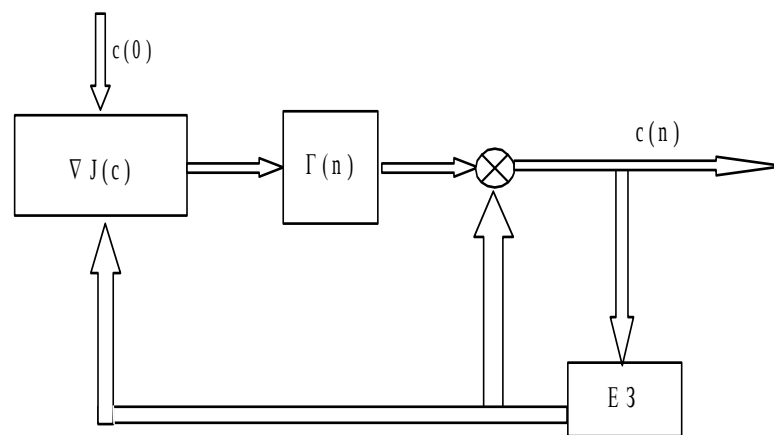


Рис. 4.4

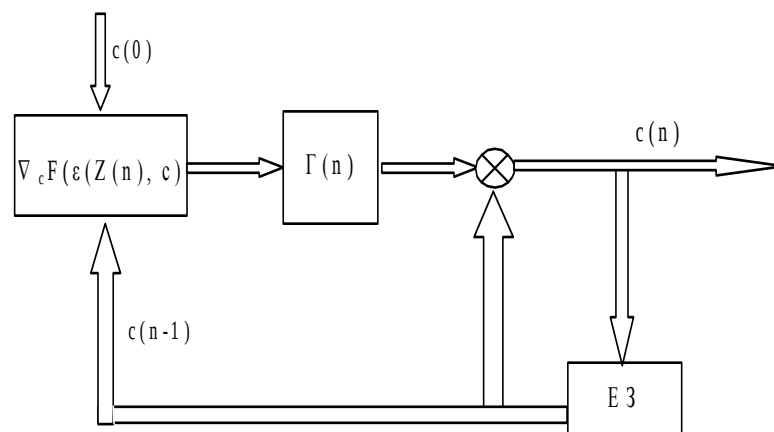


Рис. 4.5

4.2. Метод та алгоритми адаптивної ідентифікації систем

Алгоритм програми дослідження методів адаптивної ідентифікації наведений на рис. 4.6.

У роботі досліджуються два методи адаптивної ідентифікації:

- по ітеративному алгоритму, що описується формулою (4.10);
- по рекурентному алгоритму, що описується формулою (4.11).

При дослідженні цих методів використовуються такі ПСУ:
 – регресивна (Р - об’єкт)

$$y(n) = bu(n) + \xi(n);$$

(4.12)

– регресивно-авторегресивна (РАР - об’єкт)

$$y(n) = -ay(n - 1) + bu(n) + \xi(n).$$

(4.13)

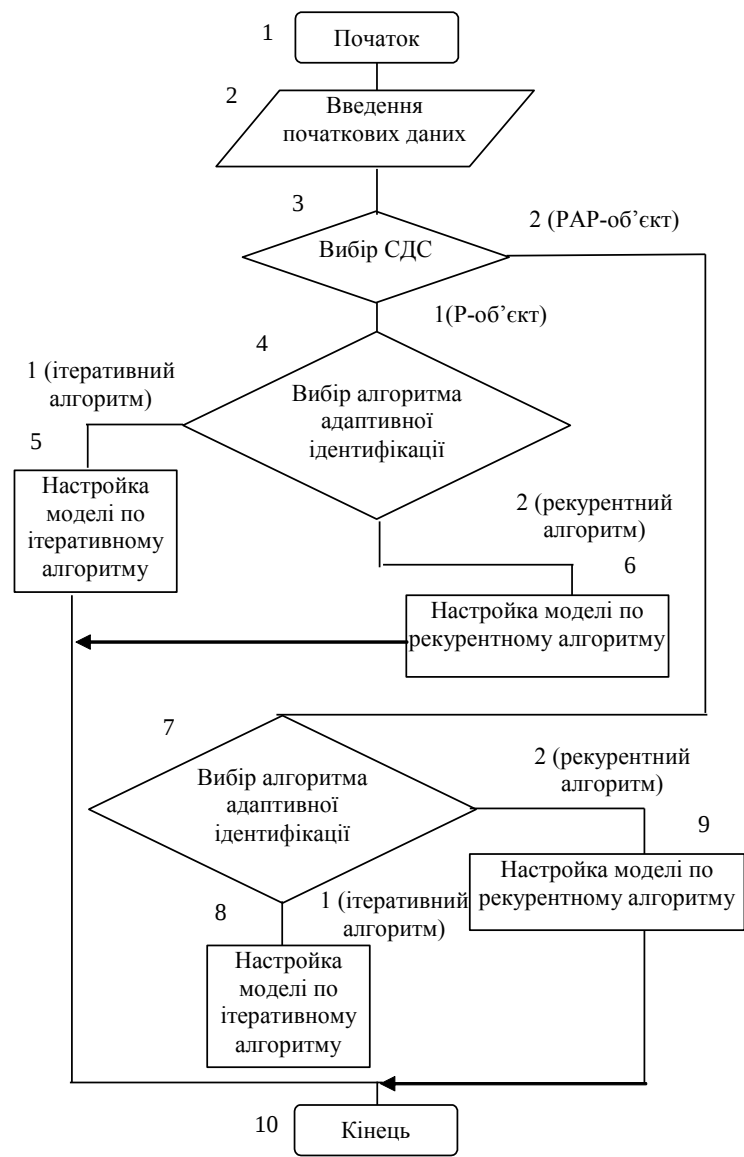


Рис. 4.6

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 110 / 8

Відповідно до (8.5), тобто виходячи із загального рівняння оптимальної моделі, рівняння оптимальних моделей будуть мати такий вигляд:

– для Р - об'єкта

$$\tilde{y}(n) = \tilde{b}u(n); \quad (4.14)$$

– для РАР - об'єкта

$$\tilde{y}(n) = -\tilde{a}(n-1) + \tilde{b}u(n). \quad (4.15)$$

Функція втрат

$$F[\varepsilon(n)] = \varepsilon^2(n) = (y(n) - \tilde{y}(n))^2 \quad (4.16)$$

У даній лабораторній роботі використовуються такі вхідні впливи для ПСУ і моделі:

– одиничний стрибок

$$u(n) = 1, n = 0, 1, \dots, N-1; \quad (4.11)$$

– цифровий шум, одержаний від генератора випадкових чисел;

– гармонічний сигнал

$$u(n) = A \sin(2\pi fn / N + \varphi_0), \quad (4.18)$$

де A – амплітуда сигналу;

f – частота сигналу;

φ_0 – початкова фаза;

$n = 0, 1, \dots, N-1$;

N – число дискретних відліків сигналу.

Розглянемо одержання виразу для обчислення коефіцієнтів оптимальної моделі Р - об'єкта для рекурентного методу.

Функція втрат буде мати вигляд (див. формули (4.12), (4.14), (4.16)):

$$\varepsilon(n) = y(n) - \tilde{y}(n) = bu(n) - \tilde{b}u(n) + \xi(n); \quad (4.19)$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 110 / 9

$$\begin{aligned}
F[\varepsilon(n)] &= [\varepsilon^2(n)] = (bu(n) - \tilde{b}u(n) + \xi(n))^2 = \\
&= b^2u^2(n) - 2\tilde{b}bu^2(n) - 2\tilde{b}u(n) \cdot \xi(n) + \\
&+ b^2u^2(n) + 2bu(n) \cdot \xi(n) + \xi^2(n).
\end{aligned} \tag{4.20}$$

Гradient функції втрат

$$\begin{aligned}
\nabla_c F[\varepsilon(n)] &= \partial F[\varepsilon(n)] / \partial \hat{b} = 2\hat{b}u^2(n) - 2bu^2(n) - \\
&- 2u(n) \cdot \xi(n) = 2u(n) \cdot (\tilde{b}u(n) - bu(n) - \xi(n)) = \\
&= -2u(n) \cdot (y(n) - \tilde{b}u(n)).
\end{aligned} \tag{4.21}$$

Підставляючи результат із (4.21) у (4.11) і враховуючи, що вектор коефіцієнта моделі $c = (b)$, одержуємо вираз для визначення коефіцієнта b оптимальної моделі Р - об'єкта:

$$\tilde{b}(n) = \tilde{b}(n-1) + 2\gamma u(n) \cdot [y(n) - \tilde{b}(n-1) \cdot u(n)], \tag{4.22}$$

де γ - коефіцієнт підсилення.

Розглянемо РАР - об'єкт і його оптимальну модель. Вектор коефіцієнтів моделі $c = (\hat{a}, b)$.

Вираз для визначення коефіцієнтів оптимальної моделі має вигляд (для рекурентного методу):

$$\begin{aligned}
\tilde{a}(n) &= \tilde{a}(n-1) - 2\gamma_a y(n-1) \cdot [y(n) - (-\tilde{a}(n-1) \times \\
&\times y(n-1) + \tilde{b}(n-1) \cdot u(n))]
\end{aligned} \tag{4.23}$$

$$\begin{aligned}
\tilde{b}(n) &= \tilde{b}(n-1) - 2\gamma_b y(n-1) \cdot [y(n) - (-\tilde{a}(n-1) \times \\
&\times y(n-1) + \tilde{b}(n-1) \cdot u(n))]
\end{aligned} \tag{4.24}$$

де γ_a, γ_b - коефіцієнти підсилення.

Для ітеративного методу обчислення проводяться по тим же формулам (4.22) – (4.24), що і для рекурентного методу, але для одержання градієнту середніх втрат (формула (4.10)) проводиться обчислення функції втрат при фіксованих коефіцієнтах моделі для усього вхідного впливу (N дискретних відліків) із наступним визначенням середнього арифметичного значення функції втрат.

Початкові дані програми:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 110 / 10

- ПСУ, що досліджується;
 - метод адаптивної ідентифікації, що досліджується;
 - тип вхідного впливу;
 - кількість відліків.
- Вихідні дані програми:
- вихід ПСУ;
 - вихід оптимальної моделі;
 - коефіцієнти оптимальної моделі в процесі настроювання.

4.3. Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні відомості, необхідні для виконання роботи.
2. Одержати рівняння оптимальної моделі для Р - об'єкта і РАР - об'єкта, переконатися в їхній відповідності формулам (4.14), (4.15).
3. Одержати вираз для визначення коефіцієнтів моделі РАР - об'єктів для рекурентного методу адаптивної ідентифікації, переконатися в їхній відповідності формулам (4.22) - (4.24)
4. Виконати попередній аналіз початкових даних індивідуального варіанту (табл. 4.1). Приклад програми моделювання – Додаток Г.
5. Для Р - об'єкта одержати залежність зміни функції втрат $F(\varepsilon)$ (див. (4.16)) від зміни коефіцієнта моделі $b'(n)$ у заданому діапазоні значень $(\tilde{b}(0) - \tilde{b}(N))$ для трьох типів вхідних впливів $u(n)$. Результати занести в табл. 4.2.
6. Для Р – об'єкта одержати залежність зміни коефіцієнта оптимальної моделі $\tilde{b}$ від часу в процесі настроювання моделі по ітеративному методу адаптивної ідентифікації для трьох типів вхідного впливу $u(n)$. Коефіцієнт підсилення γ підібрати так, щоб на заданому інтервалі в N відліків забезпечити точність настроювання моделі до 5%. Результати спостережень занести в табл. 4.3.
7. Дослідити зміну функції втрат для РАР - об'єкта в залежності від зміни коефіцієнта моделі $\tilde{b}(n)$ при фіксованому коефіцієнті моделі $a'=a$. Заповнити таблицю, аналогічну табл. 4.2.
8. Виконати дослідження адаптивної ідентифікації для РАР - об'єкта (аналогічно п.п. 5 і 6). Заповнити дві таблиці, враховуючи наявність двох коефіцієнтів для ПСУ і моделі (a, b і $\tilde{a}, \tilde{b}$).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015						Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1						Арк 110 / 11

Таблиця 4.1

№ ва- ріанту	Коефіцієнт ПСУ			Початкове значення коефіцієнту моделі ПСУ			Кількість відліків вхідного сигналу	Крок зміни коефіцієнтів моделі ПСУ
	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

Таблиця 4.2

п	Коефіцієнт ПСУ b	Коефіцієнт моделі $b'(n)$	Функція втрат $F(\varepsilon)$ при входному впливі:		
			одиничний стрибок	цифровий шум	гармонічний сигнал
1					
2					
...					
N					

Таблиця 4.3

п	Коефіцієнт ПСУ $\tilde{b}$	Коефіцієнт моделі $b(n)$	Коефіцієнт оптимальної моделі при входному впливі:		
			одиничний стрибок	цифровий шум	гармонічний сигнал
1					
2					
...					
N					

4.4. Зміст звіту

1. Найменування і мета роботи.
2. Початкові дані індивідуального варіанту.
3. Графік входного та вихідного сигналів, функції втрат і зміни коефіцієнтів адаптивної моделі об'єктів.
4. Заповнені таблиці 11.13 та 11.14.
5. Висновки по роботі.

4.5. Контрольні питання

1. По якому критерію оцінюється якість адаптивної ідентифікації параметрів ПСУ?
2. Перерахуйте основні етапи рішення задачі ідентифікації.
3. Наведіть рівняння лінійного динамічного ПСУ і рівняння оптимальної моделі, порівняйте їх.
4. Сформулюйте умову оптимального рішення задачі адаптивної ідентифікації.
5. Який вигляд має ітеративний алгоритм адаптивної ідентифікації?
6. Намалюйте блок-схему ітеративного алгоритму, роз'ясніть її роботу.
7. Який вигляд має рекурентний алгоритм адаптивної ідентифікації?
8. Намалюйте блок-схему рекурентного алгоритму, роз'ясніть її роботу.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 110 / 13

9. Виконайте порівняльний аналіз ітеративного і рекурентного алгоритму адаптивної ідентифікації.

10. Отримайте рівняння оптимальної моделі і вираз для функції втрат Р-об'єкта.

11. Отримайте рівняння оптимальної моделі і вираз для функції втрат РАР -об'єкта.

12. 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 відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 110 / 14

Додаток Г

Приклад програми реалізація методів адаптивної ідентифікації

```
% Математичні та програмні засоби моделювання ПСУ
% Лабораторна робота № 4
% Дослідження методів адаптивної ідентифікації
% Регресійна та регресійно-авторегресійна математичні моделі системи
% Рекурентний та ітераційний алгоритми адаптивної ідентифікації
% Функція втрат (функція від похибки адаптивної моделі) - порогова, лінійна,
квадратична
% Використовуються вхідні сигнали: 1) ступеневий вплив; 2) синусоїда; 3)
випадковий сигнал

% --- Початкові дані ---
clear variables;
% Система: регресійна/регресійно-авторегресійна = 1/2
Type_system=1;
% Алгоритм адаптивної ідентифікації: рекурентний/ітераційний = 1/2
Type_ident=1;
% Функція втрат: порогова/лінійна/квадратична = 1/2/3
Type_fdelta=3;
% Порог функції втрат, В
E0=0.1;
% Похибка вимірювань виходу системи, В
Delta_y=0.05;
% Тип вхідного сигналу: степеневий/синусоїда/випадковий = 1/2/3
Type_x=1;
% Амплітуда вхідного сигналу системи, В
A_x=1;
% Частота вхідного сигналу системи, Гц
f_x=0.5;
% Час спостереження за системою, с
T_ident=10;
% Кількість відліків та кроків рекурентного алгоритму на інтервалі спостереження
N_rec=100;
% Кількість кроків ітераційного алгоритму
N_it=50;
% Коефіцієнти різницевого рівняння системи
as=0.7; bs=1.8;
% Початкові значення коефіцієнтів різницевого рівняння моделі
am0=0.6; bm0=0.8;
% Коефіцієнт підсилення алгоритму адаптивної ідентифікації
gamma_a=0.05; gamma_b=0.05;

% --- Формування вхідного сигналу системи ---
T=(linspace(0, T_ident, N_rec))'; % відліки часу в дискретних точках на
інтервалі спостереження
if Type_x==1 % ступеневий вплив
    Xs=A_x*ones(N_rec,1);
else if Type_x==2 % синусоїда
    Xs=A_x*sin(2*pi*f_x*T);
else % випадковий сигнал
    Xs=A_x*rand(N_rec,1);
end;
end; % if

% --- Адаптивна ідентифікація ---
% Вихід системи
Ys=bs*Xs+Delta_y/3*randn(N_rec,1); % Система регресійна
```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 110 / 15

```

if Type_system==2 % Система регресійно-авторегресійна
    Ys(1)=bs*Xs(1);
    for i=2:N_rec
        Ys(i)=-as*Ys(i-1)+bs*Xs(i)+Delta_y/3*randn;
    end;
end;
if Type_ident==1 % рекурентний алгоритм адаптивної ідентифікації
    % Вихід адаптивної моделі
    Ym=zeros(N_rec,1);
    am=zeros(N_rec,1);
    bm=zeros(N_rec,1);
    am(1)=am0; bm(1)=bm0;
    Ym(1)=bm(1)*Xs(1);
    for i=2:N_rec
        if Type_system==1 % Система регресійна
            bm(i)=bm(i-1)+2*gamma_b*Xs(i)*(Ys(i)-bm(i-1)*Xs(i));
            Ym(i)=bm(i)*Xs(i);
        else % Система регресійно-авторегресійна
            am(i)=am(i-1)-2*gamma_a*Ys(i-1)*(Ys(i)+am(i-1)*Ys(i-1)-bm(i-1)*Xs(i));
            bm(i)=bm(i-1)+2*gamma_b*Xs(i)*(Ys(i)+am(i-1)*Ys(i-1)-bm(i-1)*Xs(i));
            Ym(i)=-am(i)*Ym(i-1)+bm(i)*Xs(i);
        end;
    end;
    figure; plot(T,Xs,'k-',T,Ys,'r-',T,Ym,'g-','LineWidth',2); grid on;
    xlabel('Час, c'); ylabel('Вхід та вихід системи та моделі, B');
    title('Вхід та вихід системи та моделі');
    legend('вхід', 'вихід системи', 'вихід моделі');
    figure; plot(T,(Ys-Ym).^2,'k-','LineWidth',2); grid on;
    xlabel('Час, c'); ylabel('Функція втрат, B^2');
    title('Функція втрат (від похибки моделі) - квадратична');
    as1=as*ones(N_rec,1); bs1=bs*ones(N_rec,1);
    figure;
    if Type_system==1
        plot(T,bs1,'r--',T,bm,'r-','LineWidth',1); grid on;
        legend('b системи', 'b моделі');
    else
        plot(T,as1,'k--',T,bs1,'r--',T,am,'k-',T,bm,'r-','LineWidth',1); grid
on;
        legend('a системи', 'b системи', 'a моделі', 'b моделі');
    end;
    xlabel('Час, c'); ylabel('Коефіцієнти адаптивної моделі');
    title('Рекурентний алгоритм адаптивної ідентифікації');
else % ітераційний алгоритм адаптивної ідентифікації
    Ym=zeros(N_rec,1);
    am=zeros(N_it,1);
    bm=zeros(N_it,1);
    am(1)=am0; bm(1)=bm0;
    Func_D=zeros(N_it,1);
    for j=1:N_it % кроки ітераційного алгоритму
        % Вихід адаптивної моделі
        Ym(1)=bm(j)*Xs(1);
        for i=2:N_rec
            if Type_system==1 % Система регресійна
                Ym(i)=bm(j)*Xs(i);
            else % Система регресійно-авторегресійна
                Ym(i)=-am(j)*Ym(i-1)+bm(j)*Xs(i);
            end;
        end;
        Func_D(j)=sum((Ys-Ym).^2)/N_rec;
    end;
end;

```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 110 / 16

```

    if j==N_it
        break;
    end;
    if Type_system==1 % Система регресійна
        bm(j+1)=bm(j)+2*gamma_b*sum(Xs)/N_rec*sqrt(Func_D(j));
    else % Система регресійно-авторегресійна
        am(j+1)=am(j)-2*gamma_a*sum(Ys)/N_rec*sqrt(Func_D(j));
        bm(j+1)=bm(j)+2*gamma_b*sum(Xs)/N_rec*sqrt(Func_D(j));
    end;
end;
figure; plot(T,Xs,'k-',T,Ys,'r-',T,Ym,'g-','LineWidth',2); grid on;
xlabel('Час, c'); ylabel('Вхід та вихід системи та моделі, B');
title('Вхід та вихід системи та моделі');
legend('вхід', 'вихід системи', 'вихід моделі');
figure; plot((1:N_it)',Func_D,'k-','LineWidth',2); grid on;
xlabel('Крок ітераційного алгоритму'); ylabel('Середня функція втрат, B^2');
title('Середня функція втрат (від похибки моделі) - квадратична');
as1=as*ones(N_it,1); bs1=bs*ones(N_it,1);
figure;
if Type_system==1
    plot((1:N_it)',bs1,'r--',(1:N_it)',bm,'r-','LineWidth',1); grid on;
    legend('b системи', 'b моделі');
else
    plot((1:N_it)',as1,'k--',(1:N_it)',bs1,'r--',(1:N_it)',am,'k-',
    (1:N_it)',bm,'r-','LineWidth',1); grid on;
    legend('a системи', 'b системи', 'a моделі', 'b моделі');
end;
xlabel('Крок ітераційного алгоритму'); ylabel('Коефіцієнти адаптивної моделі');
title('Рекурентний алгоритм адаптивної ідентифікації');
end;

```

Результати адаптивної ідентифікації за рекурентним алгоритмом

```

% Математичні та програмні засоби моделювання ІВС
% Лабораторна робота № 4
% Дослідження методів адаптивної ідентифікації
% Регресійна та регресійно-авторегресійна математичні моделі системи
% Рекурентний та ітераційний алгоритми адаптивної ідентифікації
% Функція втрат (функція від похибки адаптивної моделі) - порогова,
лінійна, квадратична
% Використовуються вхідні сигнали: 1) ступеневий вплив; 2) синусоїда; 3)
випадковий сигнал

% --- Початкові дані ---
clear variables;
% Система: регресійна/регресійно-авторегресійна = 1/2
Type_system=1;
% Алгоритм адаптивної ідентифікації: рекурентний/ітераційний = 1/2
Type_ident=1;
% Функція втрат: порогова/лінійна/квадратична = 1/2/3
Type_fdelta=3;
% Порог функції втрат, B
E0=0.1;
% Похибка вимірювань виходу системи, B
Delta_y=0.05;

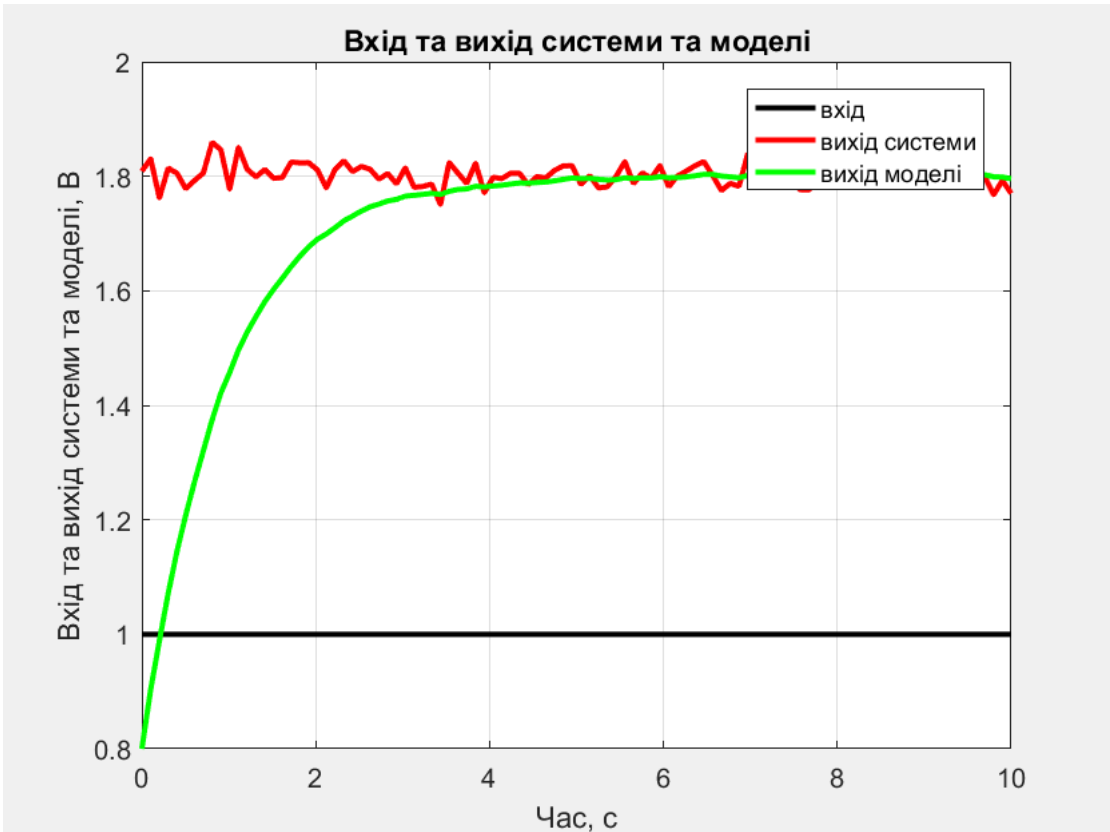
```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 110 / 17

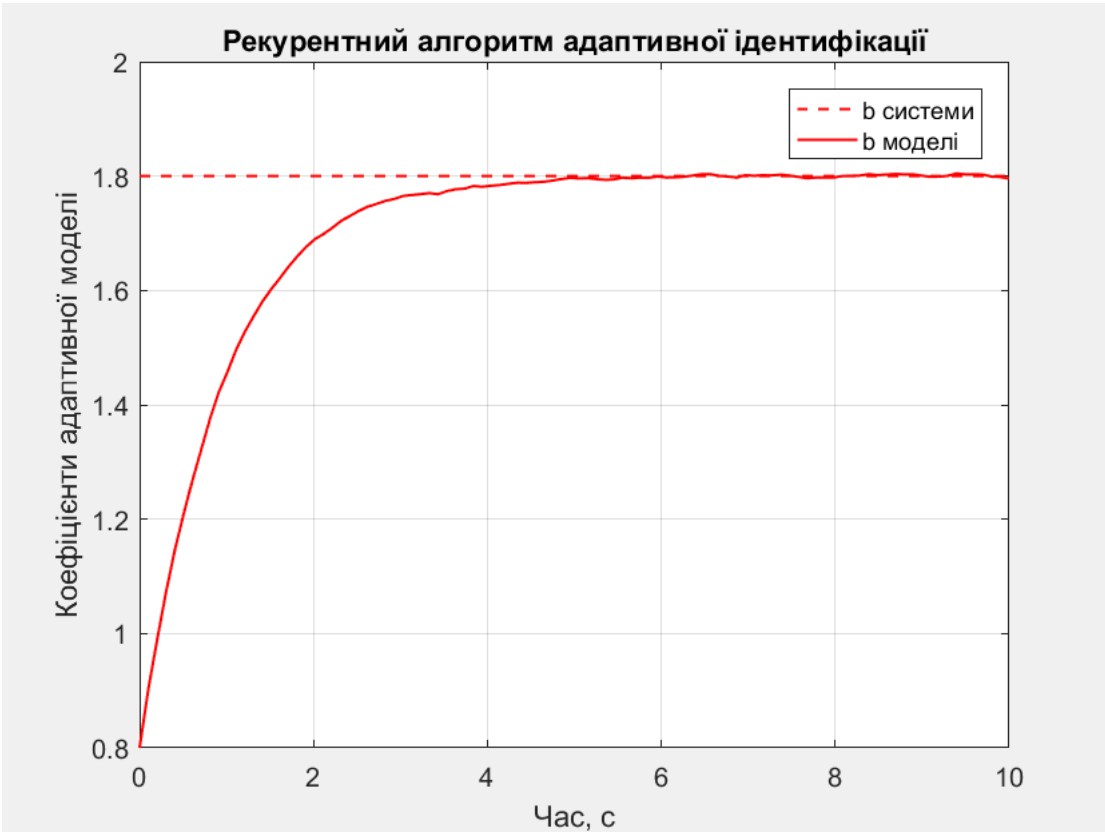
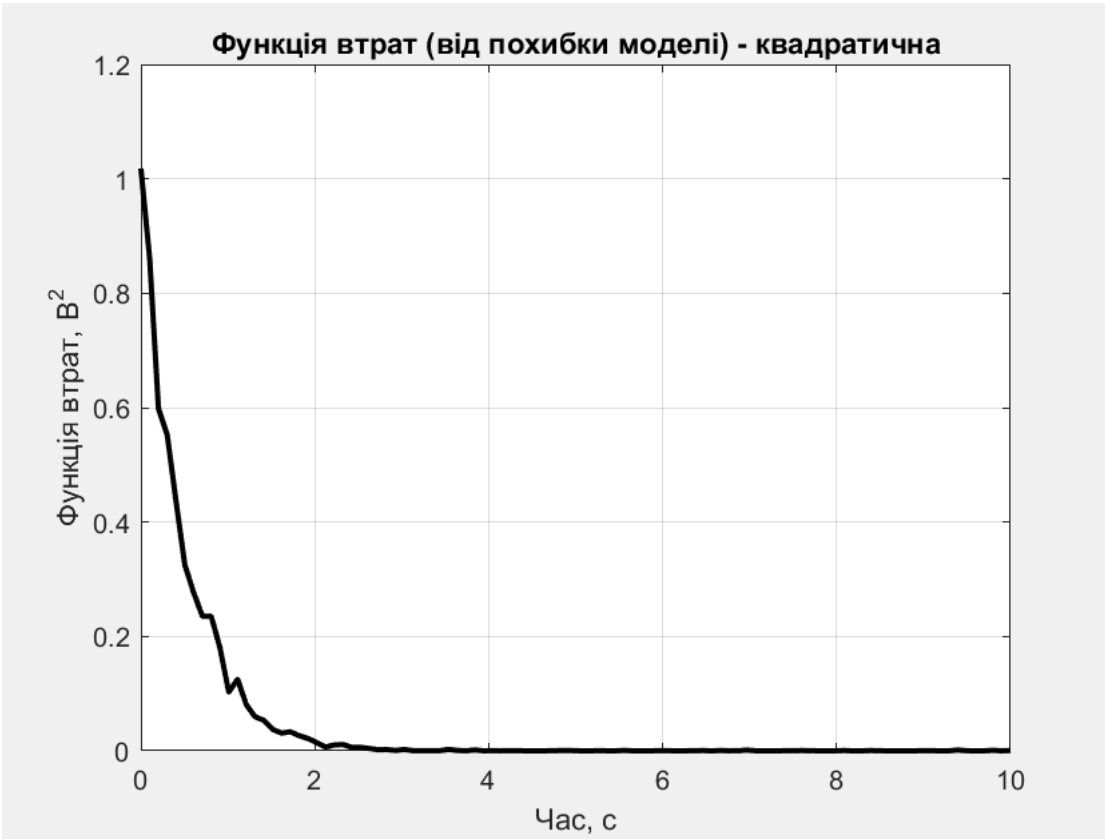
```

% Тип вхідного сигналу: степеневий/синусоїда/випадковий = 1/2/3
Type_x=1;
% Амплітуда вхідного сигналу системи, В
A_x=1;
% Частота вхідного сигналу системи, Гц
f_x=0.5;
% Час спостереження за системою, с
T_ident=10;
% Кількість відліків та кроків рекурентного алгоритму на інтервалі спостереження
N_rec=100;
% Кількість кроків ітераційного алгоритму
N_it=50;
% Коефіцієнти різницевого рівняння системи
as=0.7; bs=1.8;
% Початкові значення коефіцієнтів різницевого рівняння моделі
am0=0.6; bm0=0.8;
% Коефіцієнт підсилення алгоритму адаптивної ідентифікації
gamma_a=0.05; gamma_b=0.05;

```

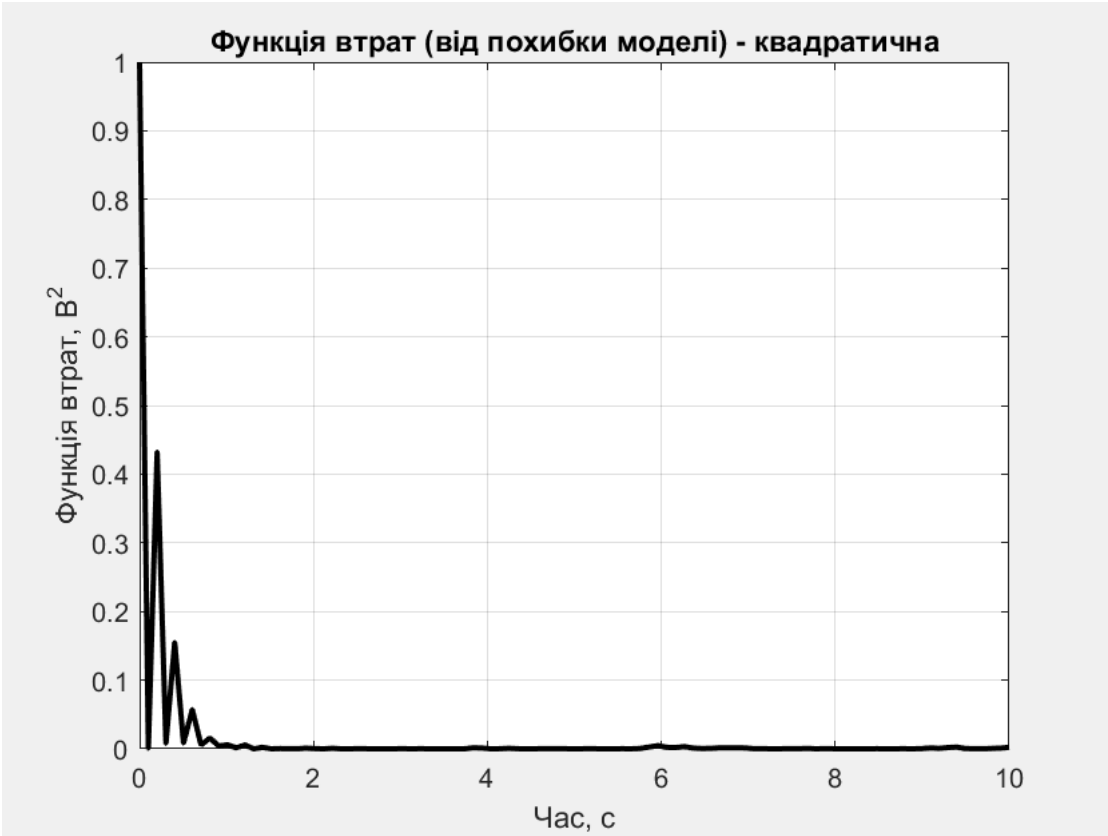


Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 110 / 18



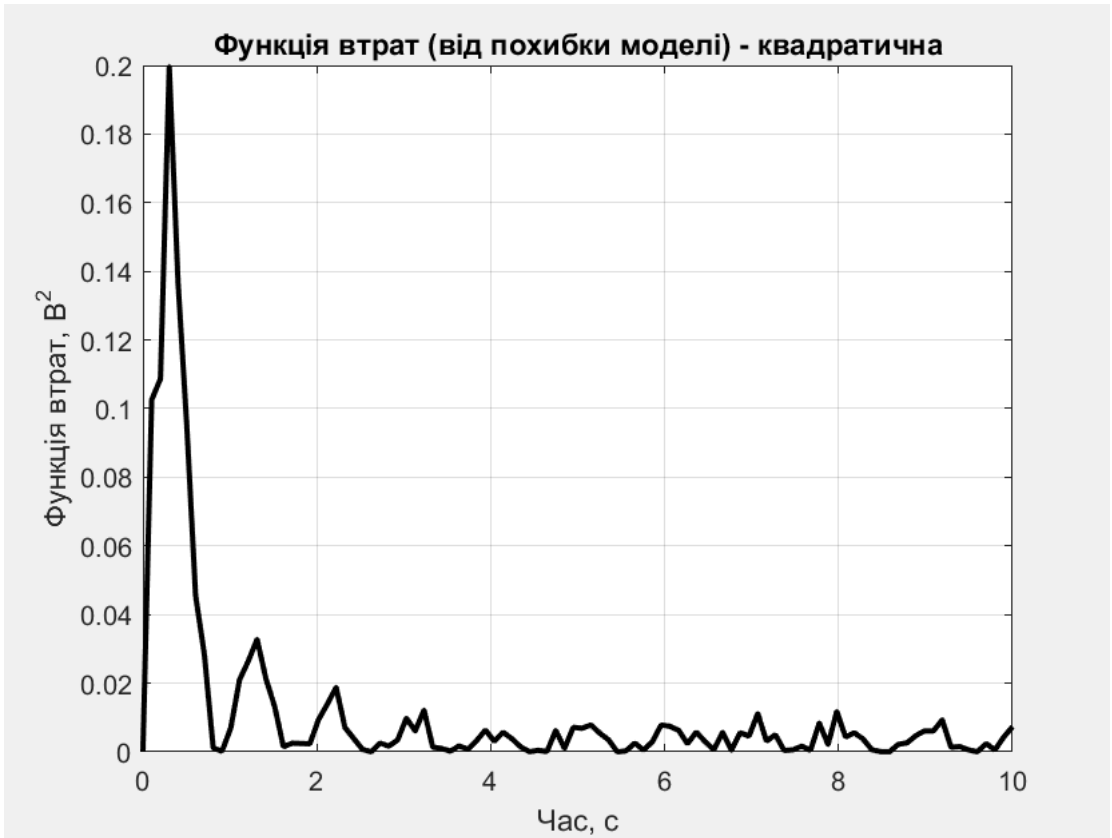
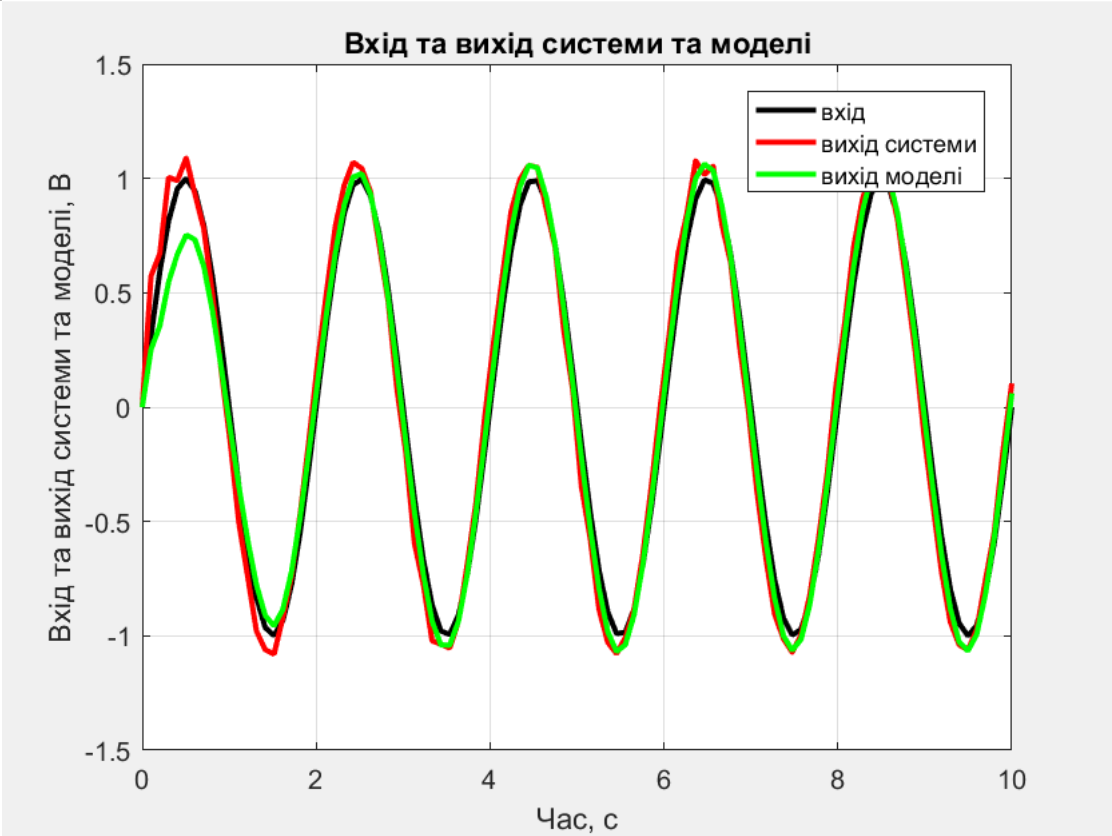
% Система: регресійна/регресійно-авторегресійна = 1/2

```
Type_system=2;  
% Тип вхідного сигналу: степеневий/синусоїда/випадковий = 1/2/3  
Type_x=1;
```



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 110 / 20

```
% Система: регресійна/регресійно-авторегресійна = 1/2
Type_system=2;
% Тип вхідного сигналу: степеневий/синусоїда/випадковий = 1/2/3
Type_x=2;
```

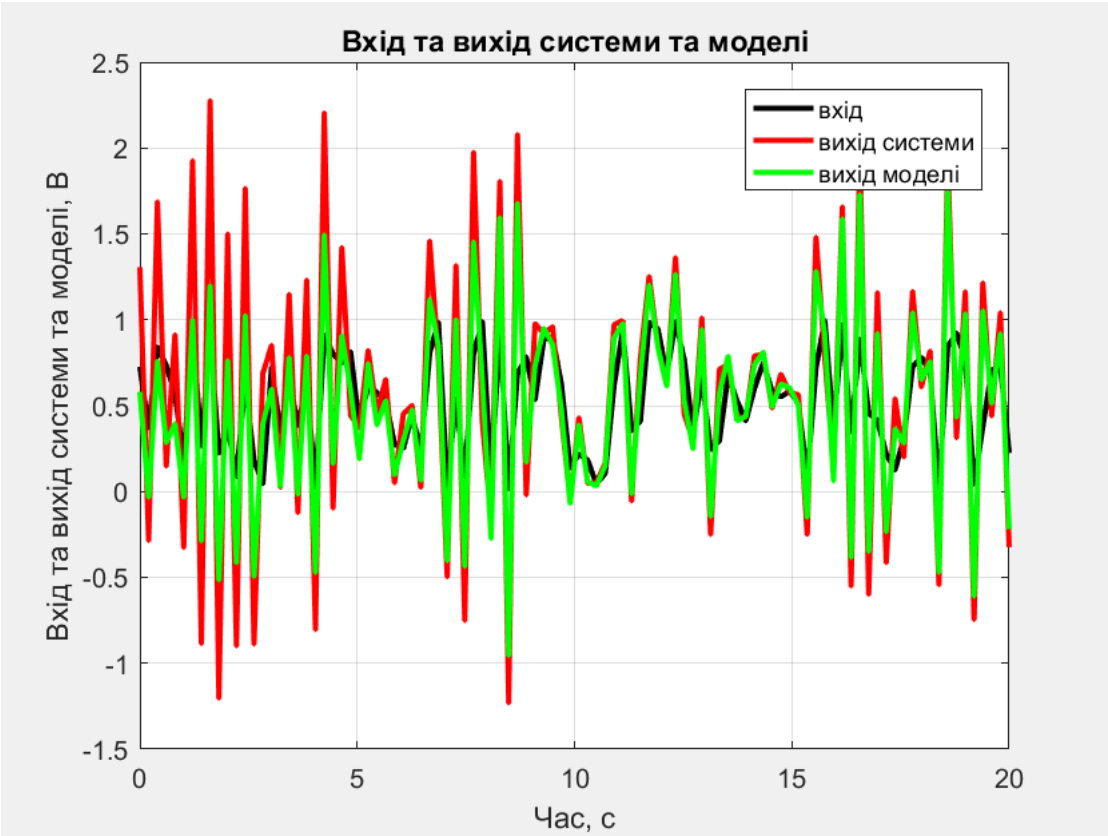


Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 110 / 21

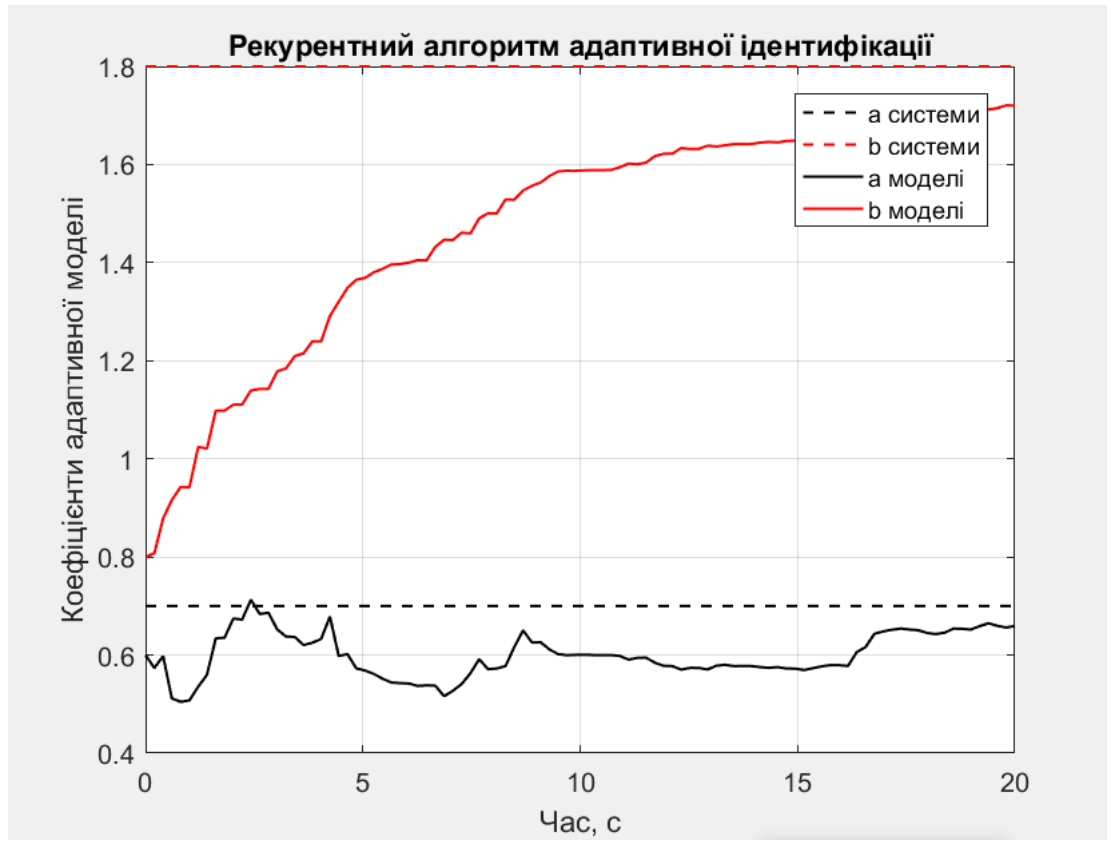
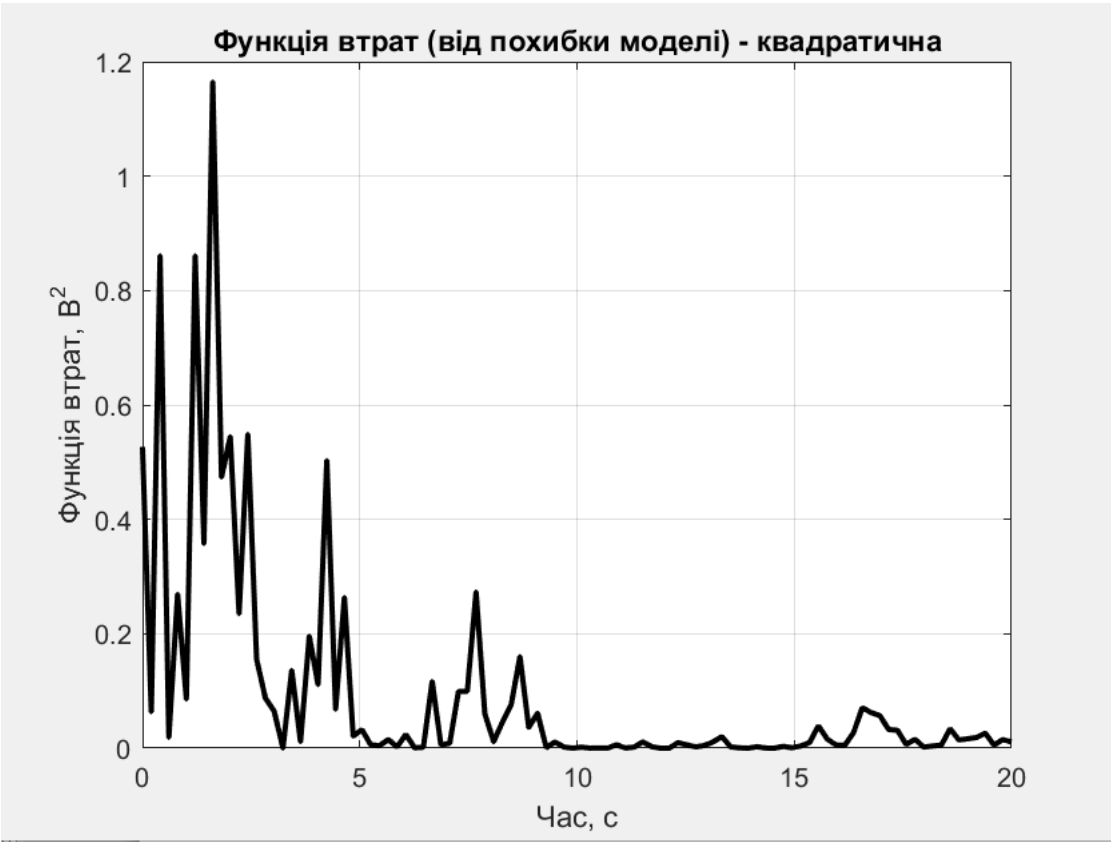
```

% --- Початкові дані ---
clear variables;
% Система: регресійна/регресійно-авторегресійна = 1/2
Type_system=2;
% Алгоритм адаптивної ідентифікації: рекурентний/ітераційний = 1/2
Type_ident=1;
% Функція втрат: порогова/лінійна/квадратична = 1/2/3
Type_fdelta=3;
% Порог функції втрат, В
E0=0.1;
% Похибка вимірювань виходу системи, В
Delta_y=0.05;
% Тип вхідного сигналу: степеневий/синусоїда/випадковий = 1/2/3
Type_x=3;
% Амплітуда вхідного сигналу системи, В
A_x=1;
% Частота вхідного сигналу системи, Гц
f_x=0.5;
% Час спостереження за системою, с
T_ident=20;
% Кількість відліків та кроків рекурентного алгоритму на інтервалі спостереження
N_rec=100;
% Кількість кроків ітераційного алгоритму
N_it=50;
% Коефіцієнти різницевого рівняння системи
as=0.7; bs=1.8;
% Початкові значення коефіцієнтів різницевого рівняння моделі
am0=0.6; bm0=0.8;
% Коефіцієнт підсилення алгоритму адаптивної ідентифікації
gamma_a=0.05; gamma_b=0.05;

```



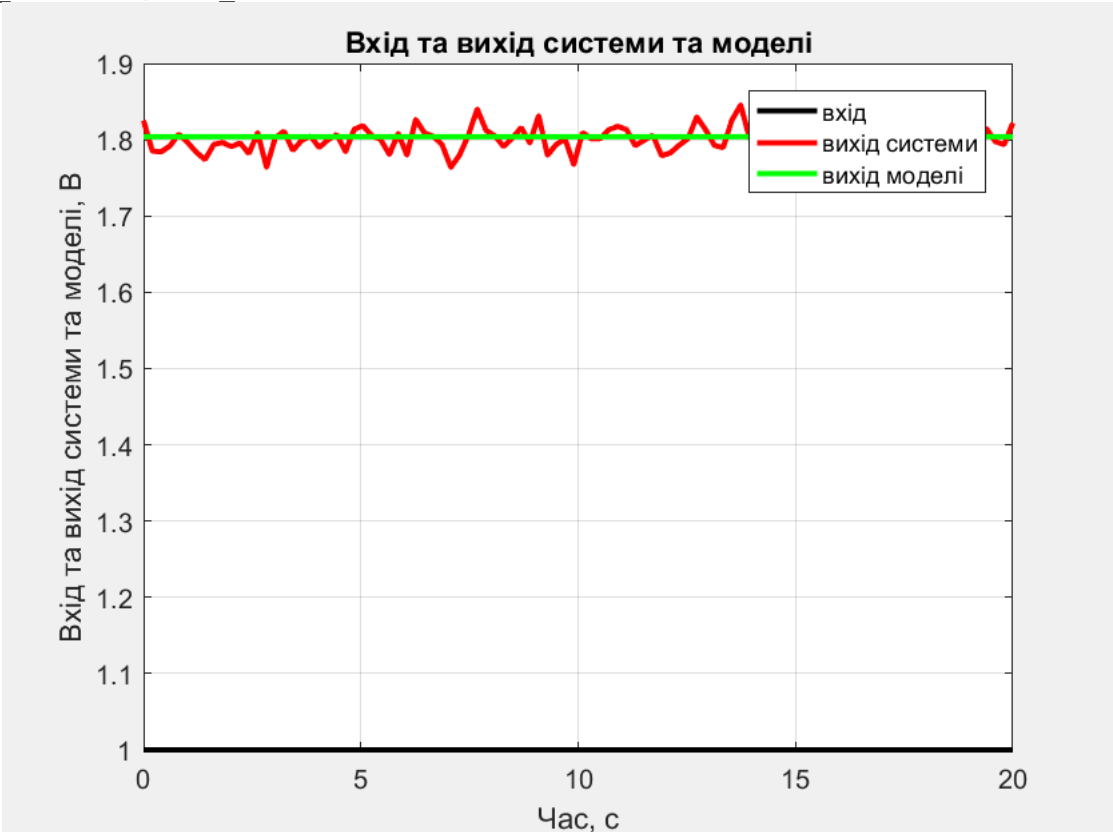
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 110 / 22

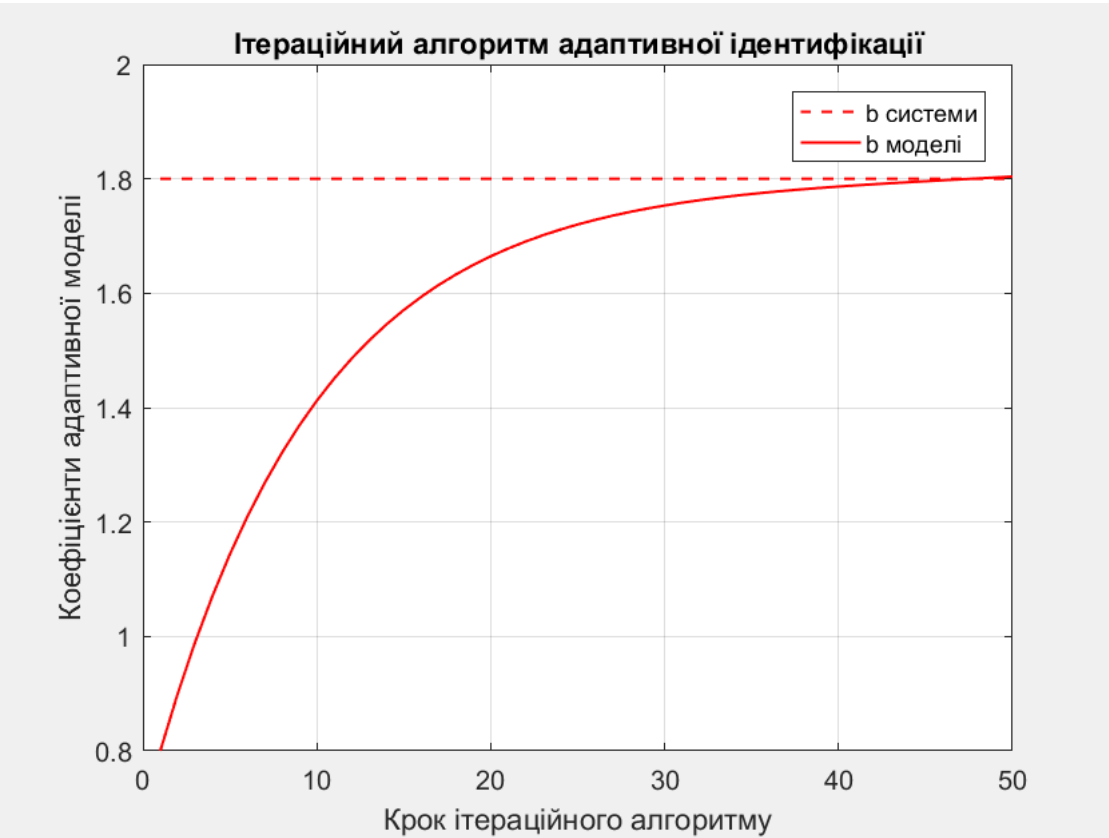
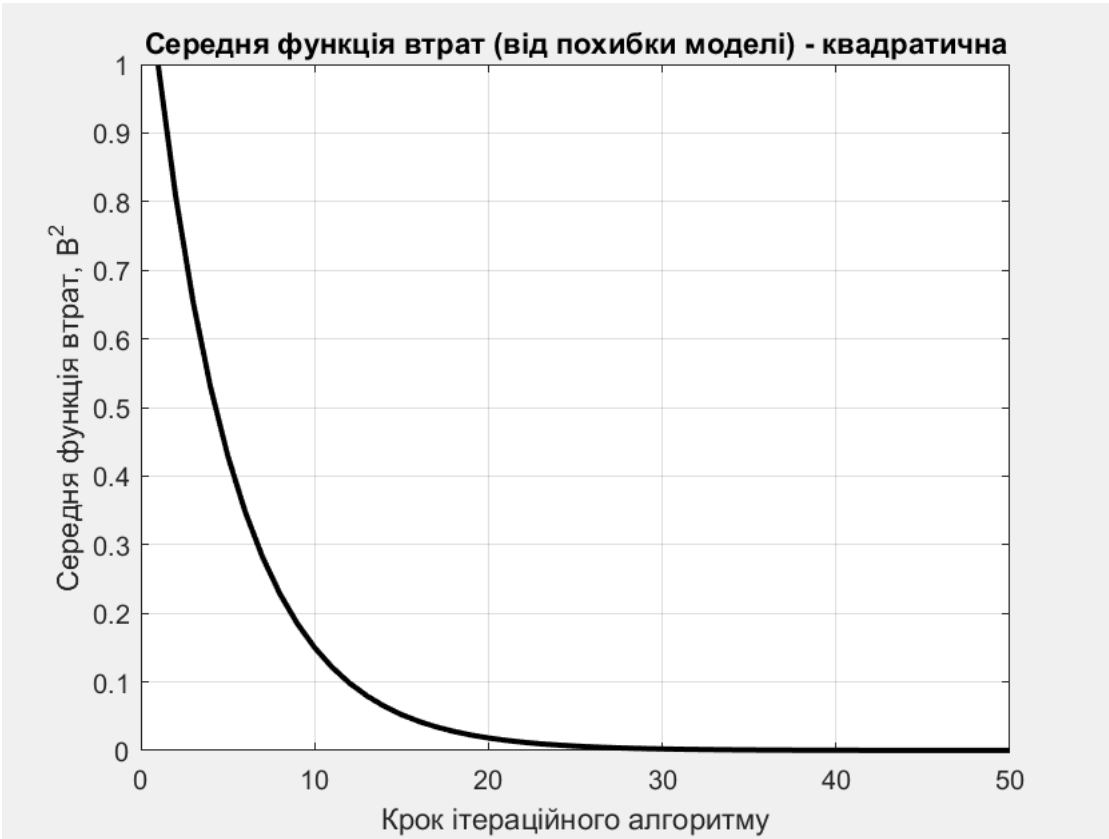


Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 110 / 23

Результати адаптивної ідентифікації за ітераційним алгоритмом

```
% --- Початкові дані ---
clear variables;
% Система: регресійна/регресійно-авторегресійна = 1/2
Type_system=1;
% Алгоритм адаптивної ідентифікації: рекурентний/ітераційний = 1/2
Type_ident=2;
% Функція втрат: порогова/лінійна/квадратична = 1/2/3
Type_fdelta=3;
% Порог функції втрат, В
E0=0.1;
% Похибка вимірювань виходу системи, В
Delta_y=0.05;
% Тип вхідного сигналу: степеневий/синусоїда/випадковий = 1/2/3
Type_x=1;
% Амплітуда вхідного сигналу системи, В
A_x=1;
% Частота вхідного сигналу системи, Гц
f_x=0.5;
% Час спостереження за системою, с
T_ident=20;
% Кількість відліків та кроків рекурентного алгоритму на інтервалі спостереження
N_rec=100;
% Кількість кроків ітераційного алгоритму
N_it=50;
% Коефіцієнти різницевого рівняння системи
as=0.7; bs=1.8;
% Початкові значення коефіцієнтів різницевого рівняння моделі
am0=0.6; bm0=0.8;
% Коефіцієнт підсилення алгоритму адаптивної ідентифікації
gamma_a=0.05; gamma_b=0.05;
```





Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 110 / 25

```

% --- Початкові дані ---
clear variables;
% Система: регресійна/регресійно-авторегресійна = 1/2
Type_system=1;
% Алгоритм адаптивної ідентифікації: рекурентний/ітераційний = 1/2
Type_ident=2;
% Функція втрат: порогова/лінійна/квадратична = 1/2/3
Type_fdelta=3;
% Порог функції втрат, В
E0=0.1;
% Похибка вимірювань виходу системи, В
Delta_y=0.05;
% Тип вхідного сигналу: степеневий/синусоїда/випадковий = 1/2/3
Type_x=3;
% Амплітуда вхідного сигналу системи, В
A_x=1;
% Частота вхідного сигналу системи, Гц
f_x=0.5;
% Час спостереження за системою, с
T_ident=20;
% Кількість відліків та кроків рекурентного алгоритму на інтервалі спостереження
N_rec=100;
% Кількість кроків ітераційного алгоритму
N_it=50;
% Коефіцієнти різницевого рівняння системи
as=0.7; bs=1.8;
% Початкові значення коефіцієнтів різницевого рівняння моделі
am0=0.6; bm0=0.8;
% Коефіцієнт підсилення алгоритму адаптивної ідентифікації
gamma_a=0.05; gamma_b=0.05;

```

