

Міністерство освіти і науки України  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»



**ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра метрології та інформаційно-вимірювальних технологій**

Н.В. Глухова, Ю.М. Харламова

**МЕТРОЛОГІЯ ДИНАМІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ. ЧАСТИНА І.  
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

для студентів напряму підготовки  
8(7).05100101 «Метрологія та вимірювальна техніка»

**Дніпропетровськ  
НГУ  
2015**

Глухова Н.В.

Метрологія динамічних вимірювань. Частина I. Методичні вказівки до лабораторних робіт студентів напряму підготовки 8(7).05100101 «Метрологія та вимірювальна техніка» / Н.В. Глухова, Ю.М. Харламова ; Нац. гірн. ун-т. – Д : НГУ, 2015. – 24 с.

Автори:

Глухова Н.В. (робота №1 та робота №3);

Харламова Ю.М.(робота №2).

Затверджено до видання редакційною радою ДВНЗ «НГУ» (наказ № XX від XX.XX.XXXX) за поданням методичної комісії напряму підготовки 8(7).05100101 «Метрологія та вимірювальна техніка» (протокол № 4 від 28.11.2014).

Методичні матеріали призначено для роботи студентів напряму 8(7).05100101 «Метрологія та вимірювальна техніка» під час виконання лабораторних робіт з нормативної дисципліни «Метрологія динамічних вимірювань».

Розглянуто алгоритми непараметричного оцінювання стаціонарності динамічних випадкових процесів, лінійних трендів та фільтрації вимірювальної інформації при дослідженні аперіодичних процесів.

Наведено вказівки щодо визначення приналежності реалізації до класу стаціонарних.

Методичні вказівки мають на меті закріплення теоретичних знань з лекційного матеріалу, а також розвиток навичок самостійної роботи студентів та вміння робити висновки з результатів виконаних робіт.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри метрології та інформаційно-вимірювальних технологій, д-р техн. наук, проф.. В.І. Корсун.

## ВСТУП

Методичні вказівки розроблені для виконання лабораторних робіт студентів спеціальності 8(7).05100101 «Метрологія та вимірювальна техніка» під час вивчення дисципліни «Метрологія динамічних вимірювань». Темі лабораторних робіт відображають основні розділи дисципліни «Метрологія динамічних вимірювань».

Виконанню кожної лабораторної роботи передують поглиблене вивчення матеріалу з теми лабораторної роботи.

Виконання лабораторної роботи включає наступні етапи:

- самостійна підготовка до лабораторної роботи з використанням даних методичних вказівок;
- побудова блок-схеми та віртуального приладу у графічному середовищі LabView;
- виконання необхідних розрахунків, побудова графіків;
- оформлення результатів у формі звіту, структура якого вказана у кожній лабораторній роботі;
- захист звіту з виконаної лабораторної роботи.

Всі лабораторні роботи студенти виконують самостійно на ПЕОМ комп'ютерного класу кафедри метрології та інформаційно-вимірювальних технологій з використанням графічного середовища LabView. Свідомством виконання кожної лабораторної роботи є представлена викладачеві робоча програма і оформлений паперовий звіт.

*Варіант індивідуального завдання обирається згідно порядкового номеру студента у журналі викладача. Якщо порядковий номер студента більше 15, то відлік ведеться з початку. Так для студента з порядковим номером 16 обирається варіант №1, 17 - варіант №2, 18 - варіант №3 і т.д.*

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

## АЛГОРИТМИ НЕПАРАМЕТРИЧНОГО ОЦІНЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДИНАМІЧНИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ

**Мета:** вивчити алгоритми непараметричного оцінювання стаціонарності динамічних випадкових процесів; отримати практичні навички у використанні найбільш розповсюджених непараметричних критеріїв.

### Методичні вказівки

Розглянемо ансамбль вибірових функцій (рис. 1.1), який представляє собою сукупність реалізацій для динамічного процесу.

Середнє значення (перший момент) випадкового процесу (ВП) у момент часу  $t_1$  визначається формулою:

$$M_x(t_1) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N X_k(t_1).$$

Кореляційна (коваріаційна) функція ВП (змішаний момент) визначається за формулою:

$$R_{xx}(t_1, t_2 + \tau) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N X_k(t_1) X_k(t_1 + \tau)$$

Випадковий процес називають нестационарним, якщо  $M_x$  та  $R_{xx}$  залежать від  $t_1$ . ВП називають слабо стаціонарним (стаціонарним у широкому сенсі), якщо  $M_x$  та  $R_{xx}$  не залежать від  $t_1$ , тобто  $M_x(t_1) = M_x$ ,  $R_{xx}(t_1, t_2 + \tau) = R_{xx}(\tau)$ . ВП відносять до строго стаціонарних (стаціонарних у вузькому сенсі), якщо усі моменти та змішані моменти (а не тільки  $M_x$  та  $R_{xx}$ ) інваріантні у часі.

ВП називають ергодичним, якщо він стаціонарний, а оцінки  $M_x$  та  $R_{xx}$ , усереднені за ансамблем, співпадають з відповідними оцінками, які усереднено за часом. Таким чином, для ергодичних ВП усі властивості можна визначити за єдиною реалізацією.

Відліки процесу та оцінки його характеристик можуть мати дуже різноманітні функції розподілу. Тому оцінювання властивості стаціонарності, яка вважається першою процедурою оцінювання ВП та ідентифікації, рекомендується виконувати на основі непараметричних критеріїв, у яких відносно функції розподілу вихідних даних не здійснюється ніяких вихідних припущень.

У практиці ідентифікації параметрів динамічних об'єктів широке розповсюдження отримали такі непараметричні критерії оцінки стаціонарності: медіанний критерій кількості та довжини серій; критерій інверсій; критерій сходячих та нисходячих серій.

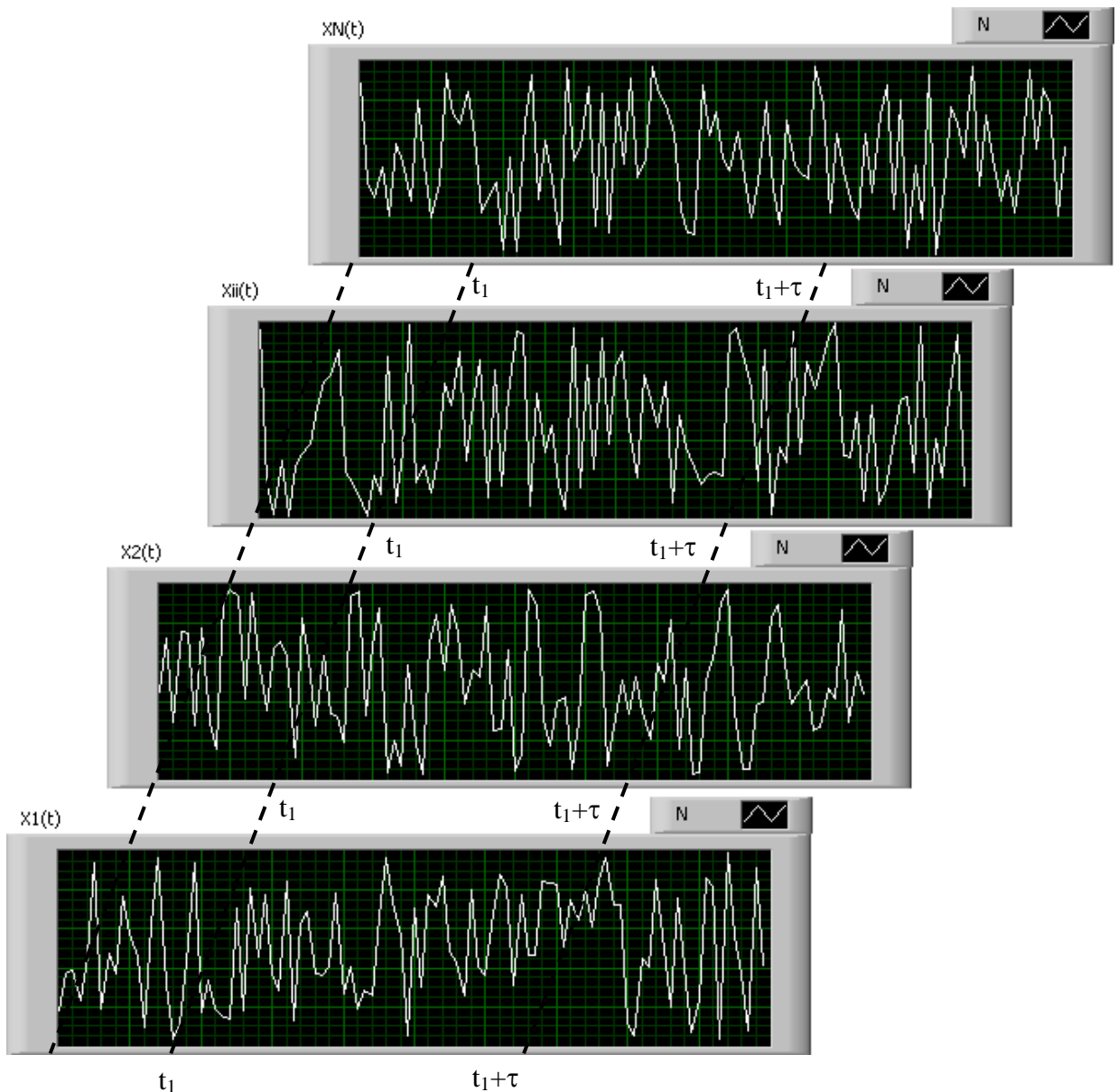


Рис. 1.1. Ансамбль вибірових функцій

Алгоритм обробки інформації за медіанним критерієм представлений у вигляді блок-схеми (рис. 1.2).

Приклад.

1) Вихідна реалізація містить 20 відліків:

5,5 5,1 5,7 5,5 4,8 5,7 5,0 6,5 5,4 5,8  
6,8 6,6 4,9 5,4 5,9 5,4 6,8 5,8 6,9 5,5

(1.1)

2) Ранжирувана за зростом реалізація має вид:

4,8 4,9 5,0 5,1 5,2 5,4 5,4 5,4 5,5 5,5  
5,7 5,7 5,8 5,8 5,9 6,5 6,6 6,8 6,8 6,9.

3) Оцінка медіани з ранжируваної реалізації:

$$x_{med} = 0.5(x_{10} + x_{11}) = 0.5(5.5 + 5.7) = 5.6$$

- 4) Перетворена за алгоритмом у символи «+» та «-»реалізація набуває вигляд --+---+--+----+-----+-----+.
- 5) Для останньої реалізації згідно з алгоритмом визначають:  
 $G(20) = 13, \tau(20) = 3.$
- 6) За формулами алгоритму обчислюють контрольні значення статистик  
 $G_k(20) = 0.5(20 + 1.96\sqrt{20-1}) = 6.23; \tau_k(20) = 3.31\lg(20+1) = 4.36$
- 7) У зв'язку з виконанням нерівностей  $G(20) > G_k(20)$  та  $\tau(20) < \tau_k(20)$  з довірчою ймовірністю 0,95 приймають гіпотезу про стаціонарність вихідної реалізації.

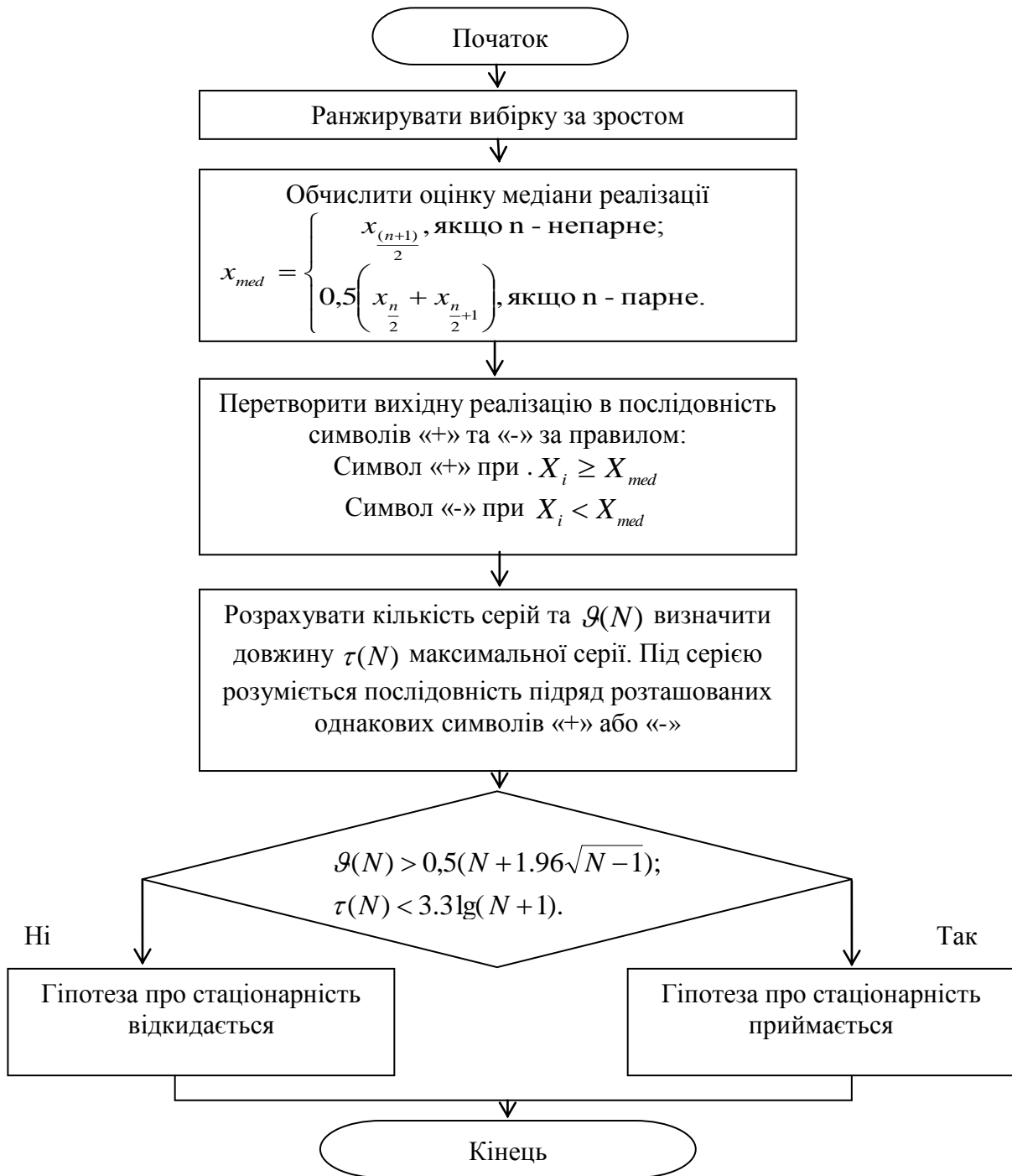


Рис. 1.2. Алгоритм визначення стаціонарності динамічного процесу за медіанним критерієм

Алгоритм обробки інформації за критерієм інверсій представлений у вигляді блок-схеми на рис. 1.3.

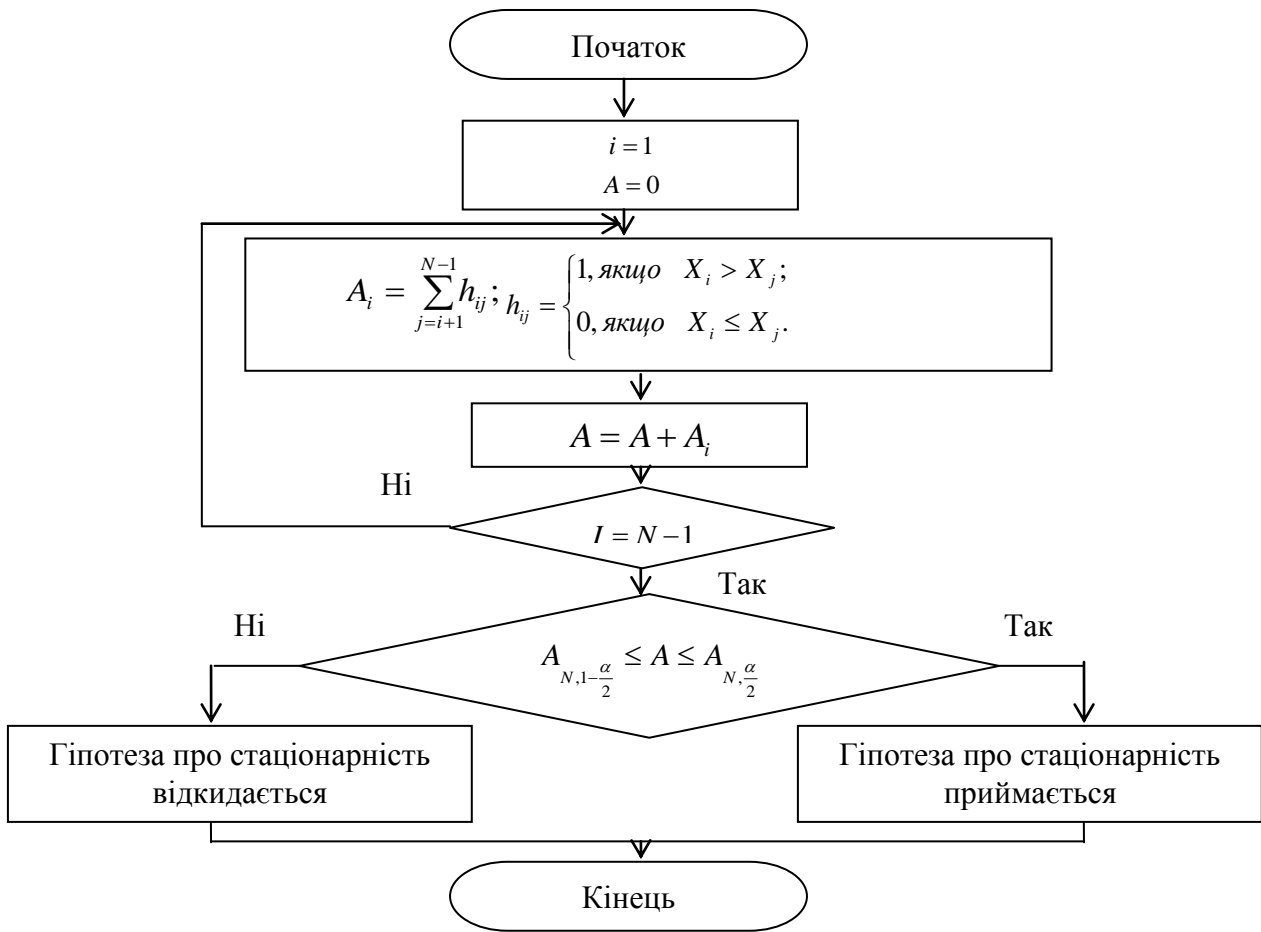


Рис. 1.3. Блок-схема алгоритму критерію інверсій

Вихідна реалізація має вигляд (1.1) та складається з 20 відліків. Для неї обчислюють інверсії  $H_{ij}, i < j$  у відповідності з алгоритмом (рис. 1.3) та визначають їх кількість  $A_i$  для  $i = 1 \dots N - 1$ . Результати обчислень представлено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Значення інверсій	
Порядковий номер $i$ відліку у реалізації випадкового процесу	Значення $A_i$
1	8
2	3
3	8
4	3
5	0
6	6
7	1

Закінчення табл. 1.1

8	8
9	1
10	4
11	7
12	6
13	0
14	0
15	3
16	0
17	2
18	1
19	1

Обчислюється загальна кількість інверсій:

$$A = \sum_{i=1}^{N-1} A_i = 62 .$$

Область прийняття гіпотези про стаціонарність (відсутність тренда) має вигляд:

$$A_{20;1-\frac{\alpha}{2}} \leq A \leq A_{20;\frac{\alpha}{2}} .$$

При  $\alpha=0,05$  з табл. 1.2 визначаємо:

$$A_{20;1-\frac{\alpha}{2}} = A_{20;0,975} = 64;$$

$$A_{20;\frac{\alpha}{2}} = A_{20;0,025} = 125 .$$

Таким чином, гіпотеза повинна бути відкинута з рівнем значущості 5%, оскільки значення  $A = 62$  не розташовано в інтервалі між 64 та 125.

Таблиця 1.2

Процентні точки розподілу кількості інверсій

N	$\alpha$					
	0.99	0.975	0.95	0.05	0.025	0.01
10	9	11	13	31	33	35
12	16	18	21	44	47	49
14	24	27	30	60	63	66
16	34	38	41	78	81	85
18	45	50	54	98	102	107



20	59	64	69	120	125	130
30	152	162	171	263	272	282
40	290	305	3019	460	474	489
50	473	495	514	710	729	751
60	702	731	756	1013	1038	1067
70	977	1014	1045	1369	1400	1437
80	1299	1344	1382	1777	1815	1860
90	1668	1721	1766	2238	2238	2336
100	2083	2145	2198	2751	2804	2866

Алгоритм обробки інформації за критерієм сходячих та нисходячих серій представлено на рис. 1.4. Розглянемо приклад використання алгоритму для вихідної реалізації (1.1) з 20 відліків. Задана реалізація у відповідності з алгоритмом замінюється символами «+» та «-», у результаті чого реалізація набуває вигляду:

+----+--+-----+----+.

Кількість серій дорівнює  $g = (20) = 15$ , а максимальна довжина серії  $\tau(20) = 2$ . За формулами алгоритму обчислюють контрольні значення статистик:

$$g_k(20) = \left( 0,333(2 \cdot 20 - 1) - 1,96 \sqrt{\frac{16 \cdot 20 - 29}{90}} \right) = \frac{9}{48},$$

$$\tau_k(20) = \begin{cases} 5 \text{ для } N < 26; \\ 6 \text{ для } N = 26 \dots 153; \\ 7 \text{ для } N > 153. \end{cases}$$

У зв'язку з виконанням нерівностей:

$$\tau(20) < \tau_k(20) \text{ (табл. 1.3);}$$

$$\tau(20) < \tau_k(20).$$

З довірчою ймовірністю 0,95 приймають гіпотезу про стаціонарність вихідної реалізації.

Таблиця 1.3

Визначення  $\tau_k$ 

N	Менш або дорівнює 26	Від 27 до 153	Більш, ніж 153
$\tau_0$	5	6	7

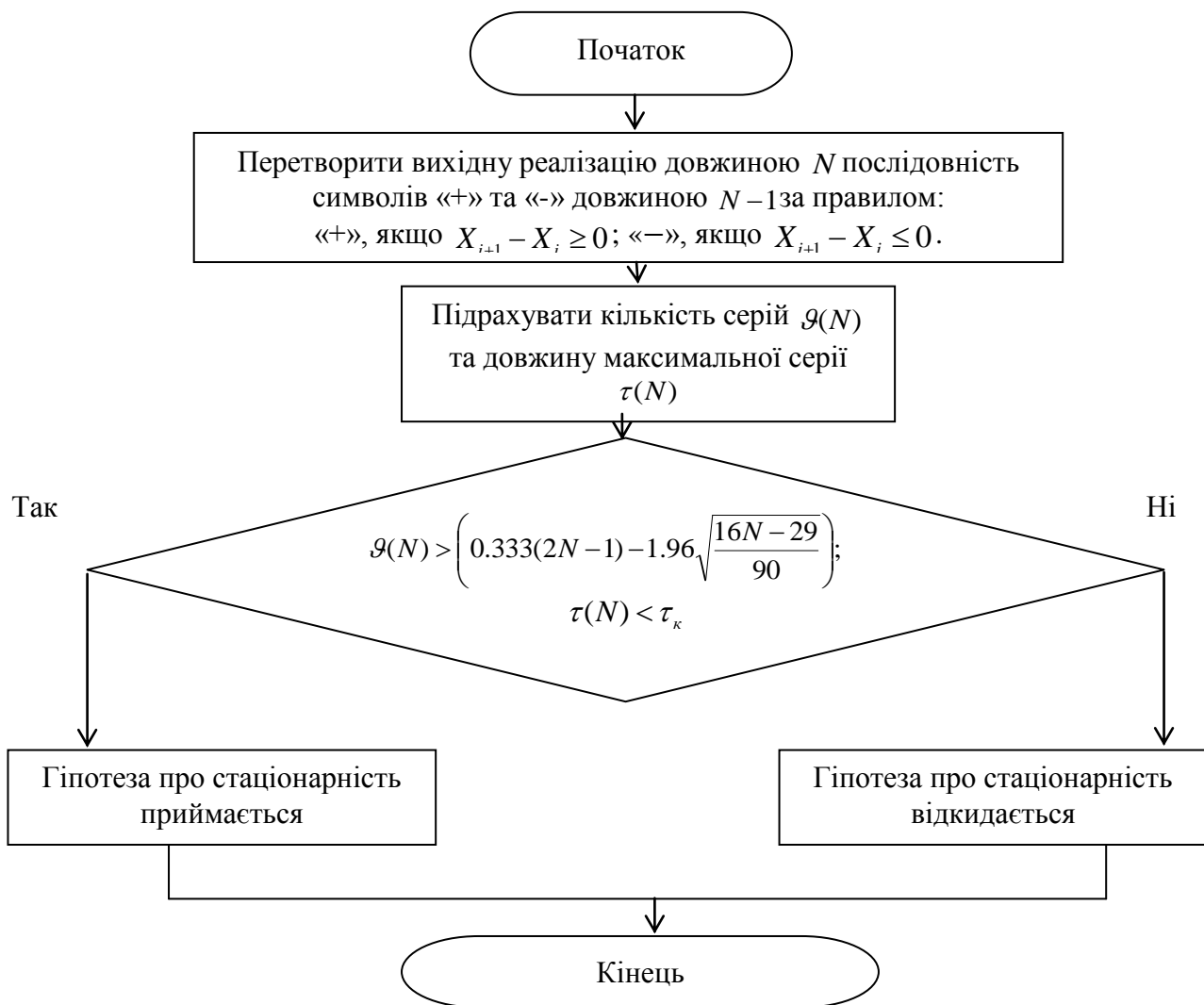


Рис. 1.4. Алгоритм критерію сходячих та нисходячих серій

### Завдання

З додатку А згідно індивідуальному варіанту отримати вихідну реалізацію. За трьома розглянутими алгоритмами визначити приналежність реалізації до класу стаціонарних.

### Звіт повинен містити:

- ✓ дані про вихідну реалізацію;
- ✓ графік вихідної реалізації;
- ✓ блок-схеми алгоритмів;
- ✓ блок-діаграму та лицьову панель віртуального приладу LabView;
- ✓ результати розрахунків за цими алгоритмами;
- ✓ статистичні висновки про приналежність реалізації до класу стаціонарних.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІНІЙНИХ ТРЕНДІВ У ДИНАМІЧНИХ НЕСТАЦІОНАРНИХ ПРОЦЕСАХ

**Мета:** вивчити алгоритми оцінювання лінійних трендів у нестационарних динамічних процесах, надбати практичні навички у параметричній ідентифікації трендів та стаціонаризації процесів.

### Методичні вказівки

Однією з найбільш розповсюджених причин нестационарності випадкових процесів є наявність у них адитивних трендів. У практичній постановці часто обмежуються лінійною структурою (моделлю) тренду та, відповідно, завдання ідентифікації формулюють наступним чином: для нестационарного ВП, який апріорно містить адитивний лінійний тренд, оцінити параметри моделі:

$$Y_i = C_0 + C_1 \cdot i \cdot T_0, \quad (2.1)$$

де  $C_0, C_1$  – відповідно оцінки початкового значення тренда у реалізації та крутизни;  $i = 1 \dots N$  – номер відліку у вихідній нестационарній реалізації;  $T_0$  – період дискретизації.

Джерелами трендів у ВП найчастіше бувають часові та температурні дрейфи реєстраційної апаратури, невраховані при апріорному аналізі інтегратори сигналів та ін. Для стаціонаризації вихідного ВП тренди необхідно оцінити та виключити, щоб при подальшому аналізі уникнути значного викривлення оцінок щільності ймовірності, кореляційних та спектральних характеристик.

Найбільш розповсюджений спосіб оцінювання параметрів трендів належить задачі регресійного аналізу та базується на методі найменших квадратів (МНК). Його сутність полягає у наступному. Сума квадратів «нев'язок» між відліками  $X_i$  ВП та окремими значеннями по (2.1) дорівнює:

$$Q = \sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2 = \sum_{i=1}^N (X_i - C_0 + C_1 \cdot i \cdot T_0)^2 \quad (2.2)$$

та повинна бути мінімізована. Якщо прирівняти до нуля частинні похідні функції (2.2) за параметрами  $\widehat{C}_0$  та  $\widehat{C}_1$ , виконати перетворення, то отримаємо формули для обчислення оцінок параметрів лінійних трендів:

$$C_0 = \frac{2(2N+1) \cdot \sum_{i=1}^N X_i - 6 \cdot \sum_{i=1}^N X_i \cdot i}{N(N-1)}; \quad (2.3)$$

$$C_1 = \frac{12 \cdot \sum_{i=1}^N X_i \cdot i - 6(N+1) \cdot \sum_{i=1}^N X_i}{T_0 N(N-1)^2}. \quad (2.4)$$

Розглянемо інтегруюче-різницевий метод. Для реалізації ВП (2.1) у неперервному вигляді на інтервалі  $0 \dots T$  за інтегруюче-різницевим алгоритмом обчислюється наступний вираз:

$$\int_{T/2}^T X(t)dt - \int_0^{T/2} X(t)dt = \int_{T/2}^T |x(t) + C_1 \cdot t|dt - \int_0^{T/2} |x(t) + C_1 \cdot t|dt.$$

Якщо  $\int_{T/2}^T x(t)dt = \int_0^{T/2} x(t)dt$ , то

$$\int_{T/2}^T X(t)dt - \int_0^{T/2} X(t)dt = \frac{C_1 \cdot T^2}{4} \quad (2.5)$$

З формули (2.5) витікає алгоритм оцінювання крутизни тренду у неперервній формі:

$$C_1 = \frac{4 \left( \int_{T/2}^T X(t)dt - \int_0^{T/2} X(t)dt \right)}{T^2}. \quad (2.6)$$

У дискретній формі для парного На алгоритм (2.6) набуває вигляду:

$$C_1 = \frac{4 \left( \sum_{i=\frac{N}{2}+1}^N X_i - \sum_{i=1}^{N/2} X_i \right)}{T_0 N^2} \quad (2.7)$$

## Завдання

1. Для реалізації ВП, отриманої у попередній лабораторній роботі, застосувати алгоритм МНК та оцінити за формулами (2.3), (2.4) параметри лінійної моделі тренду. Для тієї ж самої реалізації ВП використати інтегруюче-різницевий алгоритм та оцінити крутизну тренда за формулою (2.7). Порівняти значення оцінок, отриманих за формулами (2.4) та (2.7). Здійснити стаціонаризацію процесу шляхом виключення тренду із заданої реалізації. Для цього використати формулу:

$$X_{ci} = X_i - (C_0 + C_1 \cdot i \cdot T_0).$$

2. Побудувати на одному полі графіки  $X_{ci}$  та  $X_i$ . Візуально порівняти їх.

3. Перевірити процес  $X_{ci}$  на стаціонарність у відповідності з методичними вказівками до попередньої лабораторної роботи за тими критеріями, які при виконанні роботи дали статистичний висновок про не стаціонарність процесу  $X_{ci}$ .

### Звіт повинен містити:

- ✓ вихідну реалізацію;
- ✓ розрахункові формули;
- ✓ блок-діаграму та лицьову панель віртуального приладу LabView;
- ✓ результати розрахунків;
- ✓ графіки процесів  $X_{ci}$  та  $X_i$ ;
- ✓ результати перевірки процесу  $X_{ci}$  на стаціонарність.

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3 ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ ФІЛЬТРАЦІЇ ДЛЯ АПЕРІОДИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

**Мета:** вивчити алгоритми фільтрації вимірювальної інформації при дослідженні аперіодичних процесів; отримати практичні навички у фільтрації даних вимірювальних експериментів.

#### Методичні вказівки

Дослідження динамічних властивостей промислових об'єктів часто супроводжується високим рівнем завад при вимірюваннях. Тому отримана вимірювальна інформація підлягає попередній обробці – фільтрації. Для часових методів ідентифікації динамічних властивостей, коли вимірювальна інформація представляє собою часові ряди, таку операцію прийнято іменувати згладжуванням. Існує значна кількість методів згладжування часових рядів. У даній лабораторній роботі вивчаються два найпростіші з них, які застосовують при аперіодичному характері перехідних процесів, коли динаміка досліджуваного об'єкту описується диференціальним рівнянням першого порядку.

Згладжування (рис. 3.1) дозволяє точніше оцінити параметри перехідного процесу, та, відповідно, точніше здійснити параметричну ідентифікацію.

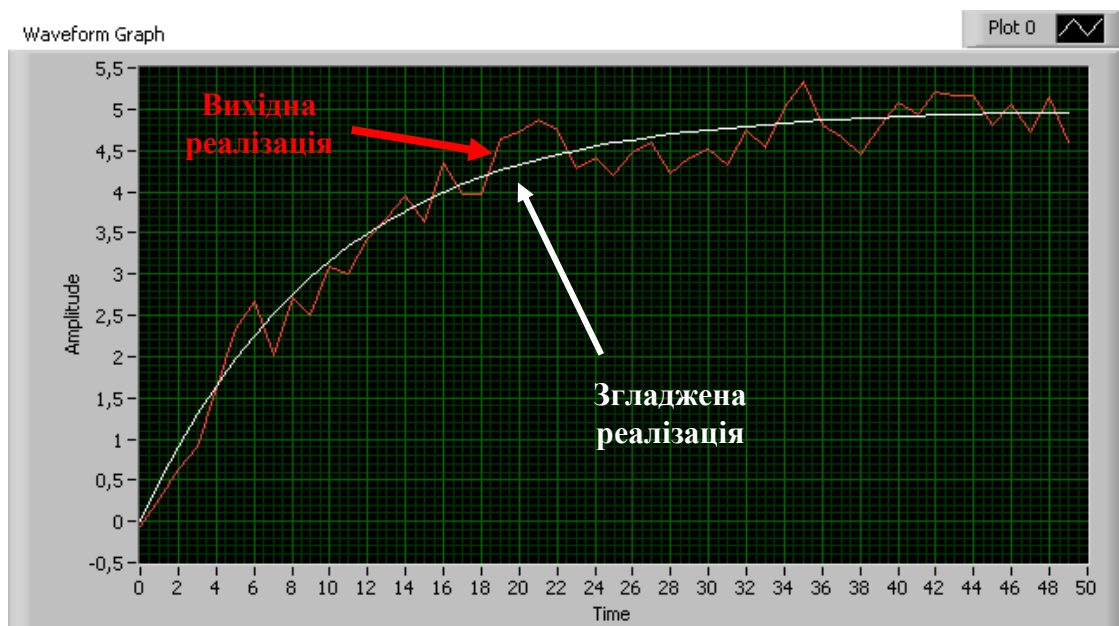


Рис. 3.1. Фільтрація сигналу

Розглянемо *фільтр ковзного середнього*. Даний фільтр базується на ідеї заміни групи даних вихідної реалізації середнім значенням. Термін «ковзний» пояснюється тим, що для обчислення середнього значення перший член попередньої групи відкидається, а в обробку приймається наступним за останнім у попередній групі. Тому поточна група даних, що оброблюється,

нібито «ковзає» по часовому ряду. Це добре ілюструється не рекурсивною формулою ковзного середнього:

$$Y_{i+k/2}^* = \frac{1}{k+1} \sum_{j=0}^k Y_{i+j}, \quad i \in 0,1,\dots,(n-k), \quad (3.1)$$

де  $k$  – пам'ять фільтра (зручно обирати парне число).

Цей параметр підбирається експериментально, та як зниження пам'яті призводить до недостатнього згладжування, а завищення – до істотного викривлення особливостей процесу.

Розглянемо приклад. Вихідну реалізацію, яка задана у табл. 3.1, згладити за допомогою фільтра.

Таблиця 3.1

Вихідна реалізація для фільтрації

Номер відліку $i$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Шукане значення процесу $Y_i$	1	4	0	5	2	8	7	20	14	22
Згладжене значення процесу $Y_i^*$	•	•	2,4	3,8	4,4	8,4	10,2	14,2	•	•

Результати розрахунків за формулою (3.1) для  $K=4$  (згладжування п'ятірками) наведені в табл. 3.1 у останньому рядочку.

Необхідно відмітити, що при використанні фільтра (3.1) втрачається  $K/2$  перших та  $K/2$  останніх складових значень.

$$Y_2^* = \frac{1}{5}(Y_0 + Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4) = 2.4;$$

$$Y_3^* = \frac{1}{5}(Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5) = 3.8;$$

$$Y_4^* = \frac{1}{5}(Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6) = 4.4;$$

$$Y_5^* = \frac{1}{5}(Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_7) = 8.4;$$

$$Y_6^* = \frac{1}{5}(Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_7 + Y_8) = 10.2;$$

$$Y_7^* = \frac{1}{5}(Y_5 + Y_6 + Y_7 + Y_8 + Y_9) = 14.2.$$

Розглянемо порядок застосування *параболічного фільтра* другого порядку (згладжування четвертими різницями). В основу даного фільтра покладена ідея апроксимації вихідної реалізації параболою другого порядку за методом найменших квадратів для 5 точок. Формула фільтра:

$$Y_i^* = Y_i - \frac{1}{12} \delta^4 Y_i,$$

де  $\delta^4 Y_i = Y_{i-2} - 4Y_{i-1} + 6Y_i - 4Y_{i+1} + Y_{i+2}$  – центральна четверта різниця функції  $Y_i$ ,  $i = 2, 3, \dots, n-2$ .

Для уникнення втрати двох перших  $(Y_0^*, Y_1^*)$  та двох останніх  $(Y_{n-1}^*, Y_n^*)$  значень згладженої реалізації використовують наступні формули:

$$Y_0^* = Y_0 - \frac{1}{5} \delta^3 Y_{1/2} + \frac{1}{12} \delta^4 Y_2.$$

$$Y_1^* = Y_1 - \frac{2}{5} \delta^3 Y_{1/2} + \frac{1}{7} \delta^4 Y_2.$$

$$Y_{n-1}^* = Y_{n-1} - \frac{2}{5} \delta^3 Y_{\frac{n-2}{n-1}} + \frac{1}{7} \delta^4 Y_{n-2}.$$

$$Y_n^* = Y_n - \frac{1}{5} \delta^3 Y_{\frac{n-2}{n-1}} + \frac{1}{12} \delta^4 Y_{n-2}.$$

де  $\delta^3 = Y_{i-1} - 3Y_i + 3Y_{i+1} - Y_{i+2}$ ,  $(i = 1, 2, \dots, n-2)$  – третя різниця.

#### Приклад.

Вихідну реалізацію з табл. 3.1 необхідно згладити за допомогою параболічного фільтра. Вихідна реалізація, згладжена реалізація та четверті різниці зведено до табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Результати згладжування методом четвертих різниць

$i$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Y_i$	1	4	0	5	2	8	7	20	14	22
$\delta^4 Y_i$	-	-	-33	34	-33	37	-54	66	-57	46
$Y_i^*$	1,45	2,30	2,75	2,17	4,75	4,92	11,5	14,5		



## Завдання

Згідно з індивідуальним номером варіанту обрати з додатку Б вихідну реалізацію. Застосувати до реалізації фільтр ковзного середнього для  $K=4, 6$  та  $8$ . Застосувати до реалізації також параболічний фільтр.

### Звіт повинен містити:

- ✓ дані вихідної реалізації;
- ✓ формулу фільтра ковзного середнього та результати розрахунків для  $K = 4, 6$  та  $8$ ;
- ✓ формули та розрахунки для параболічного фільтра;
- ✓ графіки вихідної реалізації та усіх фільтрованих, побудованих на листі формату A4 у масштабі,
- ✓ блок-діаграму та лицьову панель віртуального приладу LabView.

## Додаток А

Таблиця А1

Вихідні дані для розрахунку лабораторних робіт 1, 2

Ва- рі- анти	Номери відліку													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
01	11,2	11,3	11,8	11,7	11,8	11,1	11,1	11,8	11,8	11,5	11,6	12,1	11,9	12
02	12,4	12,7	12,2	12,8	12,3	12,7	13,1	13,1	13,1	13,1	12,7	12,4	12,7	12,2
03	13,1	14	13,2	13,9	13,1	14	13,5	14,2	14	13,4	14,1	13,8	13,9	13,3
04	14,9	14,8	14,1	15	14,1	14,9	14,4	15,2	14,1	15,4	15,3	14,3	15,2	14,4
05	15,8	15,3	15,4	15,7	16	15,2	15,2	15,8	15,2	15,6	15,7	16	15,5	15,4
06	17,2	16,8	16,1	16,4	17,3	16,5	16,3	16,9	16,4	16,2	17	16,6	17,6	17,5
07	18,4	18,5	18	18,1	17,1	17,6	17,8	17,4	18,7	18,2	17,2	18,3	18,1	18,4
08	18,3	19,5	19	18,2	18,5	19,1	18,1	19	18,2	18,3	18,3	18,6	19,6	19,6
09	20,1	19,4	20,4	20	20	19,8	20,3	20,4	20,3	19,7	20,6	19,3	20,4	19,2
10	20,9	20,8	21,8	21,2	21,7	21,2	20,7	21,1	21,8	21,1	21,9	20,4	20,4	21
11	21,7	22,2	21,4	22,7	22,8	22	22,3	22,7	21,8	21,5	22,5	22,5	22,2	21,8
12	22,6	23,9	22,6	23,5	22,1	23,6	23,9	23,6	23,2	23,9	24,1	22,9	23,1	23,6
13	24,3	24,2	23,6	24,5	24,9	24,2	25,1	23,4	23,6	24,3	24,8	23,4	24,3	24,2
14	26,1	25,9	24,9	24,6	24,8	24,9	24,7	24,3	25,1	25,1	25,6	26	26,3	25,5
15	25,2	26,3	25,6	26,8	25,4	26,7	27,3	25,9	26,4	27,3	26,8	26	25,3	26,7

Ва- рі- анти	Номери відліку												
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
01	11,5	12,2	12,2	11,4	11,5	11,5	11,4	11,8	11,5	12,1	12	11,6	12
02	12,8	12,7	13,2	13,3	13	12,5	13,2	13,2	12,5	12,3	12,9	12,4	12,4
03	13,5	14,2	13,2	13,6	13,8	13,4	13,7	14,4	13,7	13,8	13,6	13,8	14,4
04	15,3	15	14,6	15,4	14,9	15,1	14,9	14,7	15	15,5	14,9	15,6	15,3
05	16,5	16,3	16,1	16,2	15,6	15,3	16	16,4	16,5	16,6	15,6	15,5	15,8
06	17,6	16,4	16,4	17,5	16,5	17,7	17,4	16,7	16,4	16,9	16,4	17,3	16,9
07	17,9	17,4	18,7	18	17,6	18,6	18,3	17,7	18,7	17,6	17,4	18	18
08	19,1	19	18,9	18,9	18,8	19,7	19,2	19,1	19,2	18,9	18,8	19,2	19,9
09	19,3	19,3	20,9	20	19,7	20,4	20,1	20,6	20,9	21	19,6	20,8	19,6
10	20,6	20,7	21,7	21,7	22	21,5	21,3	20,5	21,7	21,7	21,2	21,2	22
11	21,5	21,9	23,1	22,1	21,6	22,2	21,9	22,7	21,9	23	22,1	22,2	23,1
12	22,5	24	22,7	22,8	23,8	23	23,5	23,8	24	23,3	23,7	22,4	22,4
13	23,2	23,3	24,6	23,4	23,8	24,1	25,1	23,8	24,6	25	24,9	24,1	24,9
14	25,7	24,5	25,4	25,6	24,7	26,3	25,1	24,8	24,8	26,5	26,5	24,8	25,8
15	25,7	24,5	25,4	25,6	24,7	26,3	25,1	24,8	24,8	26,5	26,5	24,8	25,8

Ва- рі- анти	Номери відліку												
	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
01	12	11,4	11,8	11,6	12,3	11,9	12,1	12,3	12	11,5	11,9	11,9	11,6
02	13,4	13,3	13,3	12,6	12,9	12,6	12,6	13,3	12,6	13,6	13,6	12,7	12,9
03	13,6	13,8	14	13,5	14,6	13,6	13,5	14,3	14,4	14,6	14,1	14,7	14,1
04	14,5	14,4	14,6	14,9	15,4	14,7	14,4	14,5	14,7	14,6	15,5	15,2	15,5
05	16,2	15,6	16,1	15,5	15,7	16,2	15,9	16,8	16,1	15,9	16,7	16,8	16,7
06	17,1	17,3	16,8	17	17,5	17	17,2	17,4	16,7	17,9	17,6	17,7	17,9
07	17,5	17,8	18,4	18,4	17,4	17,7	18,3	18,7	17,7	18,6	18	17,9	18,6
08	19,6	18,8	19,3	19,9	18,8	18,8	20,1	18,8	19,1	18,7	19,5	19,1	18,7
09	19,7	20,3	20,9	20,6	20,9	20,6	21,2	21	19,9	20,6	19,9	19,6	21,1
10	21,5	21,7	20,9	22,1	21,8	21,1	21,5	20,5	21,1	21,1	21,4	20,6	22,1
11	22,9	21,8	21,7	22,2	23,2	22,8	22,7	22,3	23	22,2	22,6	22,2	22,4
12	23,3	23,1	23	23,8	23,4	23,6	23,4	24,2	24,3	23,5	23,2	24,3	23,4
13	23,5	24,4	24,1	23,8	24,1	23,5	24,3	23,8	25,1	25,1	24,2	23,6	24,9
14	24,5	25,6	25,5	25,1	26,6	26,1	26,4	25	25,1	25,5	26,3	26,5	25,8
15	26,7	26,2	26,7	26,2	25,8	26,7	26,9	27,3	26,5	26,4	27,8	26,4	27,5

## Додаток Б

Таблиця Б1

Вихідні дані для розрахунку лабораторної роботи 3

Варіанти	Час, хв											
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
01	-0,1	-0,6	2,1	0,5	17,7	41,7	55,6	88,7	84,3	91,3	89,9	93,7
02	0	-1,8	-1,1	9,9	19,8	47,9	76,5	89,8	102,6	101,9	103,7	108,5
03	-0,4	-1,3	0,3	10,9	32,4	54,4	85,3	96,6	84,4	102,3	105,4	112,4
04	-0,4	-1,9	0,6	8,9	82,2	71,8	99,5	103,1	124	123,8	120,6	130,5
05	0,4	2	0,5	19,5	57,5	65,8	79,1	106,4	119,5	121,4	131	130,7
06	0,3	2	3,2	22,6	63,9	99,2	94,4	126	137,3	133,5	145,3	144,7
07	0,3	-0,9	0,9	15,9	76	58,1	86,4	133	137,6	137,7	147,8	155,2
08	0,8	1,3	6,6	3,3	74,7	80,8	121,7	125,9	145,1	160,6	162,3	161,7
09	0,3	0,8	0,8	0,4	38,4	91,1	117,5	104,3	115,3	149,7	163,6	166,3
10	0,5	1,9	5,3	0,6	79,5	108,6	151,4	161	160,8	184,9	173,8	179,6
11	0,8	0,8	2,8	13,2	10,8	40,4	134,7	109,1	134,8	163,9	181,4	173,2
12	-1	0,8	4,8	4,8	49,6	99,4	85,1	148,8	152,6	176	169,4	197,4
13	-0,5	-2,3	-1,1	5,3	31,4	83,9	150	156,6	191,8	203,4	212,3	216,3
14	0,1	0,3	-1,7	20,1	102,5	126	115,8	158	173	203	206,7	216,5
15	1	-0,7	0,8	29,5	91,2	185,6	218,6	204,6	216,7	237,2	233,4	233,8

Варі- анти	Час , хв										
	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44
01	98,2	98,2	100,9	101,1	97,2	97,9	98,7	101,9	99,6	100,2	100,9
02	105,4	110,1	107,1	111,1	110,6	111,1	109,3	110,5	110,3	110,8	110,1
03	107,7	111,9	116,9	117,6	115,1	119,3	119,9	119,1	121,1	118,2	121,7
04	126,4	130,7	131,2	128,9	130,7	129,1	131,1	131	128,8	128,5	129,9
05	130,7	137	136,6	137,2	138,4	140,8	137,6	140,5	141,5	140,6	137,8
06	146,3	149,1	150,7	148,9	151,4	148,4	148,8	150,1	148,1	149,1	149,8
07	158,8	156,3	155,9	158,7	156,5	159	159,6	158,1	158,8	160,7	160,6
08	162,1	164,5	166,1	171,3	170,4	171	171,8	171	170	171,3	169,4
09	159,7	164,4	168,3	175,4	176,7	177,2	176,5	175,7	179,5	177,5	180,4
10	185,2	188	186,2	188,8	189,8	190,6	191,6	189,5	191,4	190,5	191,2
11	182,7	184,6	195,4	193,9	193,5	196	198,1	197,1	196,7	198,2	201,2
12	193,8	196,8	199,3	202,3	202,4	204,1	205,7	206,1	208,9	209,4	208,2
13	219,4	217,4	216,4	219,7	218,3	217,8	217,7	218,7	219,2	218,4	220,1
14	226,1	224,6	222,5	224	227,8	227,6	227,2	227,2	229,1	229,5	229,7
15	235,9	237	237,8	237,8	241,7	240	239,1	238,4	238,1	240,8	238,5

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Малютин Ю.М., Экало А.В. Применение ЭВМ для решения задач идентификации объектов. Л: 1988.
2. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя. –М. 1991.
3. Гроп Д. Методы идентификации систем. М. 1979.
4. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. М. 1982.
5. Калинин В. Идентификация динамических систем по дискретным наблюдениям: Вильнюс, 1982.
6. Сэйдж Э.П. Мелса Дж. Л. Идентификация систем управления. М. 1974.
7. Цыпкин Я.З. Основы информационной теории идентификации М. 1984.
8. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. М. 1975.
9. Современные методы идентификации -Под ред. П. Эйкхофа. 1983.
10. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных: Пер. с англ.. – М.: Мир, 1989. – 540 с.
11. Айвазян С.А., Енюков И.С., Л.Д. Мешалкин. Прикладная статистика. Основы моделирования.
12. Балакирев В.С., Дудников Е.Т., Цирин А.М. Экспериментальное определение динамических характеристик промышленных объектов управления. М, Энергия, 1967.
13. Симою М.П. Определение передаточных функций по временным характеристикам линеаризованных систем. М. Приборостроение, 1958.
14. Овчаренко А.И. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Харьков, 1991.

Упорядники

**Глухова** Наталія Вікторівна  
**Харламова** Юлія Миколаївна

**МЕТРОЛОГІЯ ДИНАМІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ. ЧАСТИНА І.  
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

для студентів напряму підготовки  
8(7).05100101 «Метрологія та вимірювальна техніка»

Підписано до видання ХХ.ХХ.ХХХХ.  
Електронний ресурс. Авт. арк. 1,17.

Видано  
у Державному вищому навчальному закладі  
«Національний гірничий університет».  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004  
49600, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.