

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Апаратно-програмні засоби збору та обробки екологічної інформації

Лабораторний практикум

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра
за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2023

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 6 від 30.03.2023 р.)*

*за поданням Вченої ради Навчально-наукового інституту
атомної та теплової енергетики
(протокол № 8 від 27.02.2023 р.)*

Рецензент

*Ланде Д. В., д-р техн. наук, проф.,
завідувач кафедри інформаційної безпеки
НН ФТІ КПІ ім. Ігоря Сікорського*

**Відповідальний
редактор**

*Отрох С. І., д-р техн. наук, проф.,
професор кафедри цифрових технологій в енергетиці
НН ІАТЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського*

A76 Апаратно-програмні засоби збору та обробки екологічної інформації :
лаборатор. практикум для здобувачів ступеня магістра за освітньо-
професійною програмою «Цифрові технології в енергетиці» спец.
122 «Комп'ютерні науки» / Уклад. : В. Г. Сліпченко, Л. Г. Полягушко,
О. Є. Круш. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка»,
2023. – 82 с.

Розглянуто практичні питання, пов'язані з основними алгоритмами збирання інформації, оброблення отриманих даних з фізичних пристроїв та алгоритмів цифрової фільтрації. Показано, як на практиці застосовувати прикладне програмне забезпечення комп'ютерного моделювання та обробки даних, методи розподіленого моделювання складних об'єктів і систем, як виконувати інтелектуальні обчислення для оброблення великих даних, а також перевіряти отримані результати.

Для студентів, які навчаються за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» за освітньою програмою «Цифрові технології в енергетиці» та вивчають дисципліну «Апаратно-програмні засоби збору і обробки екологічної інформації».

УДК 502.175-047.36:004](076.5)(075.8)

Зміст

Вступ	4
Лабораторна робота №1. Алгоритми збору інформації (циклічне і цілеспрямоване опитування датчиків)	5
Лабораторна робота №2. Визначення частоти опитування технологічних параметрів за допомогою керуючої обчислювальної машини	12
Лабораторна робота №3. Стохастична екстра- та інтерполяція в цифрових системах контролю і управління	32
Лабораторна робота №4. Діагностика метрологічних відмов і корекція результатів вимірювання	39
Лабораторна робота №5. Розрахунок фактичних значень вимірюваних величин у фізичних одиницях за кодами АЦП	50
Лабораторна робота №6. Фільтрація вимірюваних величин від шумів	66
Лабораторна робота №7. Корекція показань датчика при відхиленні умов вимірювання від норми	80
Список використаної та рекомендованої літератури	88

Вступ

Програму навчальної дисципліни «Апаратно-програмні засоби збору та обробки екологічної інформації» складено відповідно до освітньої програми освітньо-професійної програми «Цифрових технологій в енергетиці» другого рівня вищої освіти спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

Метою кредитного модуля є формування у студентів наступних здатностей:

- здатність до побудови систем по збору та обробці екологічної інформації
- здатність реалізовувати алгоритми збору інформації з сенсорів та алгоритми обробки отриманих даних.

У результаті виконання лабораторних робіт та отримання теоретичних знань студенти мають отримати знання про сучасні алгоритми збору та обробки екологічної інформації та методи розробки програмного забезпечення для збору та обробки апаратних засобів.

Також у ході виконання лабораторних робіт студенти отримують наступні уміння:

- застосовувати прикладне програмне забезпечення комп'ютерного моделювання та обробки даних, методи розподіленого моделювання складних об'єктів і систем, інтелектуальні обчислення для оброблення великих даних, проектувати та програмно реалізовувати методи комп'ютерної обробки великих за обсягом даних;
- проводити обробку екологічної інформації отриманої з апаратних засобів;
- проводити якісну і кількісну перевірку та обробку екологічної інформації.

Завдання до лабораторних робіт розроблено на основі результатів наукової роботи по розробці системи комплексного еко-енерго-економічного моніторингу для ефективного прийняття управлінських рішень для забезпечення високої якості життя та здоров'я населення і сталого розвитку району, міста й області.

Лабораторна робота №1. Алгоритми збору інформації (циклічне і цілеспрямоване опитування датчиків)

Мета роботи: ознайомитися з алгоритмом циклічного опитування датчиків і на цій основі скласти алгоритм адресного опитування.

Теоретичні відомості

Циклічне опитування датчиків.

Циклічне опитування датчиків передбачає періодичне опитування датчиків системи і порівняння показань кожного з опитаних датчиків з нормою. Опитування починається з датчика, номер якого береться за початковий, і закінчується датчиком, який має останній номер. У випадках, коли контрольовані параметри виходять за межі норми, виконується фіксація (друк) значення параметра, який вийшов за межі норми, час виходу і номер датчика. Одночасно формується сигнал на пульт оператора про вихід одного або декількох параметрів за межі норми.

Розглянемо методику побудови алгоритму циклічного опитування датчиків.

Нехай датчики нумеруються послідовно, від першого до n -го. Послідовну нумерацію будемо використовувати і для комірок пам'яті, в яких зберігаються значення норм.

Позначимо:

$x_i^B[1:n]$, $x_i^H[1:n]$ – відповідно масиви верхніх та нижніх граничних значень (норм) контрольованих параметрів;

$\Delta x_i^a[1:n]$ – масив значень аварійних відхилень контрольованих параметрів;

n – кількість датчиків;

i – серійний номер датчика;

j – порядковий номер контрольованих параметрів у масі змінних, які вийшли за межі нормальних параметрів;

t – поточний час;

На рисунку 1.1 представлена схема алгоритму, який реалізує циклічне

опитування датчиків. Для спрощення в даному алгоритмі прийнято, що не існує причин, які б забороняли звернення до відповідного датчика зі сторони машини. Результат опитування датчиків друкується після опитування всіх датчиків.

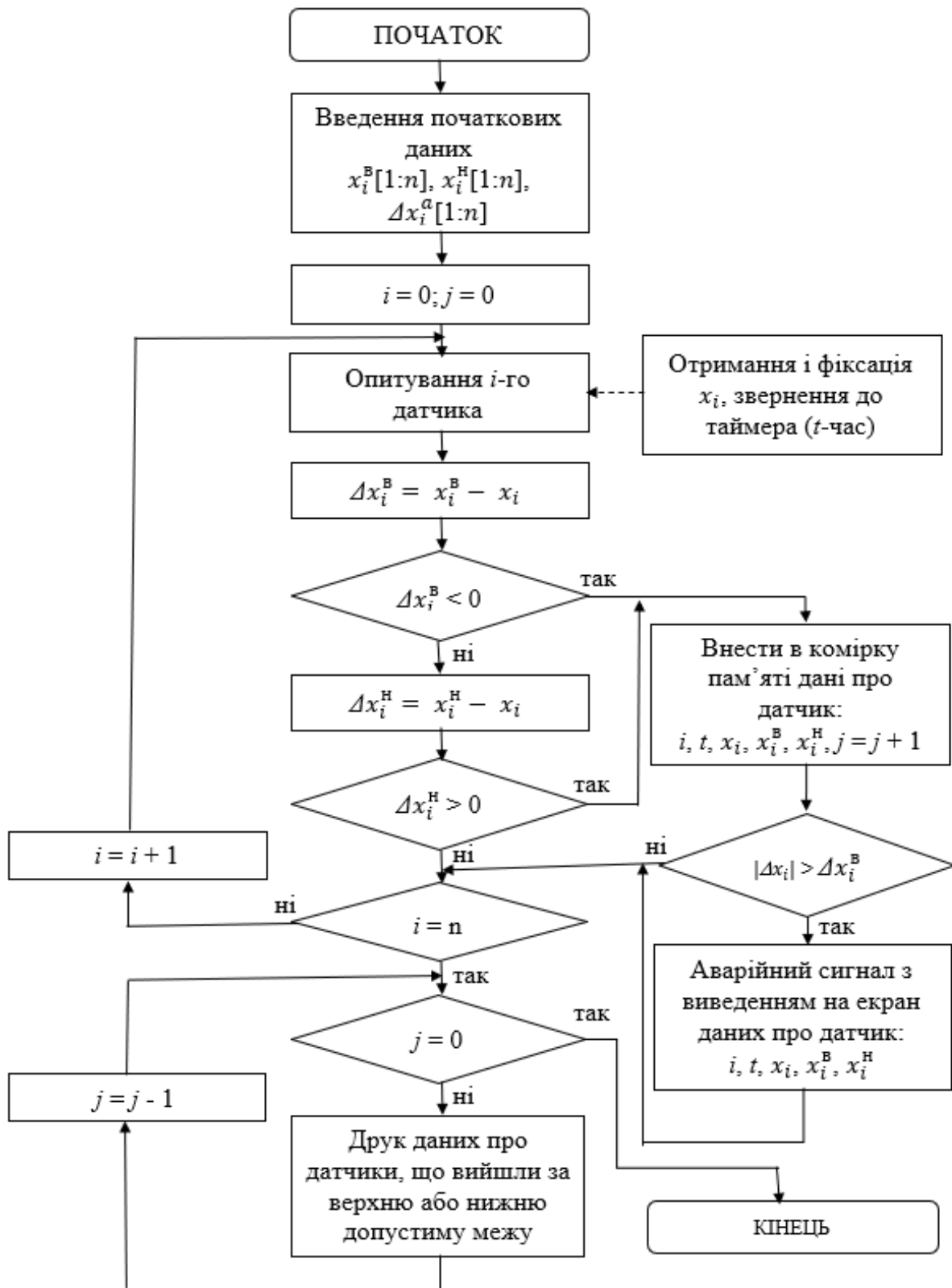


Рисунок 1.1 – Блок-схема алгоритму циклічного опитування датчиків

Адресне опитування датчиків.

В ході адресного опитування виконується контроль значень параметрів (вхідних сигналів датчиків), адреси (номери) яких задаються оператором з пульта управління системою або автоматично (програмно) відповідно до будь-яких технологічних та інших умов.

Опитування датчиків буде проводитися із зазначеними періодами опитування кожного датчика. Якщо в даний момент часу необхідно опитати декілька датчиків, то вони опитуються у відповідності з заданими пріоритетами (максимальний пріоритет відповідає мінімальному значенню, а далі в порядку зростання). Також необхідно передбачити опитування датчика за бажанням оператора.

Алгоритм адресного опитування датчиків привести самостійно.

Способи розміщення даних в пам'яті комп'ютера для обробки інформації.

Для вводу та первинної обробки аналогових сигналів в пам'яті електронної обчислювальної машини (ЕОМ) необхідно зберігати значний обсяг інформації: адреса підключення, електричний діапазон сигналу, коефіцієнти масштабування, лінеаризації, згладжування, параметри перевірки на достовірність, межі технологічної сигналізації і т.п. Це так звана умовно-постійна інформація, оскільки вона створюється на етапі проектування і налагодження і не змінюється в результаті роботи програми.

На відміну від умовно-постійної, змінна інформація є результатом роботи програми на поточному етапі контролю або результатом накопичення за певний проміжок часу (поточне значення вимірюваної величини, ознаки виходу за межі технологічної сигналізації, інтегровані значення витрат та ін.).

Застосовуються два основних способи розміщення в пам'яті ЕОМ даних для обробки інформації з об'єкта: спосіб оформлення так званих паспортів і принцип виділення однойменних характеристик.

При розподілі даних у вигляді блоків паспортів вся інформація для обробки i -го датчика складає паспорт i -го датчика $П_i$. Кожен елемент паспорту

X_{ji} містить дані для виконання j -ї операції обробки (j -а характеристика i -го датчика).

Кількість і склад характеристик в паспортах датчиків нерівнозначні і визначаються необхідністю відповідних операцій обробки для даних датчиків. Звичайно, що не кожен датчик вимагає операцій лінеаризації, перевірки на нижню технологічну межу і т.п. Тому блок паспортів датчиків являє собою масив датчиків змінної довжини. «Стиснення» записів забезпечує значну економію пам'яті, але ускладнює структуру даних і процес пошуку потрібної характеристики.

Склад паспорта визначено в описнику паспорта $СП_i$, де кожній характеристиці в певній послідовності відповідає біт інформації P :

$$P_{ij} = \begin{cases} 1 - \text{в паспорті } i - \text{го датчика є } j - \text{а характеристика} \\ 0 - \text{в паспорті } i - \text{го датчика немає } j - \text{а характеристика} \end{cases}$$

Залежно від загальної кількості характеристик, що використовуються для обробки датчиків у відповідній автоматизованій системі обробки інформації і управління (АСОІУ), описник паспорта може бути байт, слово або групу слів.

Адреса паспорту k -го датчика $(П_k)'$ визначається таким чином:

$$(П_k)' = (П)' + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=1}^J P_{ji} gX_j, \quad (1.1)$$

де $(П)'$ - адреса масиву паспортів;

gX_j - довжина запису (кількість слів) i -го елемента паспорта;

J - кількість елементів в паспорті.

Аналогічно знаходиться адреса r -ої характеристики k -го паспорта:

$$(X_{rk})' = (П_k)' + \sum_{j=1}^{r-1} P_{ji} gX_j, \quad (1.2)$$

Другий спосіб розміщення даних: однойменна характеристика всіх датчиків розміщена в пам'яті у вигляді окремого масиву. Такий масив MX_j являє собою також «стислий» запис, бо включає лише характеристики датчиків, що мають відповідну операцію обробки. Склад масиву j -ої характеристики масиву визначений в описнику масива SX_j (шкала j -ої характеристики), де кожному датчику в порядку свого номера відповідає біт інформації:

$$P_{ij} = \begin{cases} 1 - \text{в масиві } MX_j \text{ є характеристика для } j - \text{го датчика} \\ 0 - \text{в масиві } MX_j \text{ немає характеристики для } j - \text{го датчика} \end{cases}$$

Довжина шкали будь-якої характеристики в системі визначається кількістю датчиків N_A :

$$qSX = E\{N_A/R\} + 1, \quad (1.3)$$

де R - розрядність слова.

Адреса запису j -ї характеристики h -го датчика знаходиться обчисленням:

$$(X_{jk})' = (MX_j) + gX_j \sum_{i=1}^{k-1} P_{ji}, \quad (1.4)$$

де (MX_j) - адреса масиву j -х характеристик.

Такий спосіб розподілу даних має певну перевагу, оскільки дає можливість гнучко збільшувати кількість характеристик, тобто операцій обробки відповідних датчиків.

Послідовність виконання роботи

Хід роботи

1. Створити програму за алгоритмом циклічного опитування датчиків (блок-схема на рис. 1.1), з використанням зберігання вхідних даних за допомогою метода оформлення паспортів.

Вихідними даними обрати наступні:

$n = 10$ (кількість датчиків);

$\Delta t = 2$ сек (період опитування наступного датчика);

$x_i^B[1:n]$, $x_i^H[1:n]$, $\Delta x_i^a[1:n]$ - масиви верхніх, нижніх та аварійних меж встановити самостійно;

Приклад для i -го датчика:

$i = 1$; $x^B[1] = 55$; $x^H[1] = 22$; $\Delta x^a[1] = 0,5$.

Отримаємо наступне:

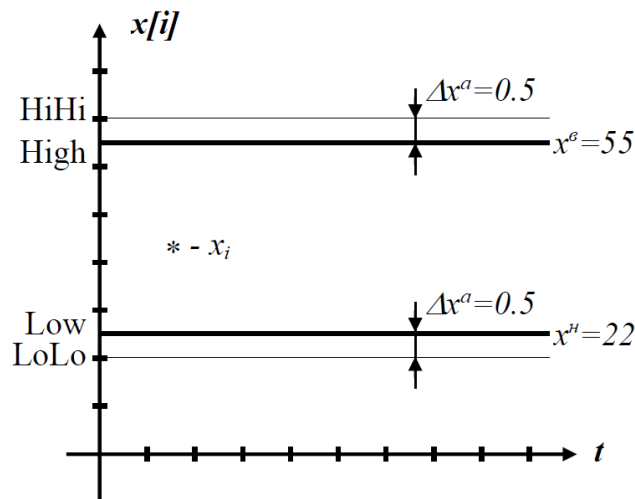


Рисунок 1.2 – Залежність x від t

Для отримання x_i - необхідно використовувати функцію Random і враховувати значення верхніх і нижніх допустимих меж (для того щоб був вихід за граничні значення x^h і x^b , а також вихід за межі аварійних значень $x^h - \Delta x^a$ та $x^b + \Delta x^a$).

2. Скласти блок-схему алгоритму адресного опитування датчиків і розробити програму з використанням зберігання вхідних даних за допомогою методу виділення однойменних характеристик.

В програмі передбачити опитування датчика на вимогу оператора, шляхом натискання номера датчика на клавіатурі. Перевірку значень датчика виконувати одразу після отримання його значення.

Вхідні дані наступні:

$n = 5$ (кількість датчиків);

$x_i^b[1:n]$, $x_i^h[1:n]$, $\Delta x_i^a[1:n]$ - масиви верхніх, нижніх та аварійних меж встановити самостійно;

x_i — для отримання значень використовувати функцію Random та враховувати значення $x_i^b[1:n]$, $x_i^h[1:n]$.

Порядок опитування задається варіантами, що наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Варіанти порядків опитування

Варіант	Період обстеження, сек					Пріоритет датчика*				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	5	3	4	2	7	0	5	1	2	3
2	4	2	8	12	6	5	0	3	1	4
3	2	7	4	8	3	1	2	3	4	0
4	5	6	7	2	16	0	3	5	2	7
5	6	7	3	8	4	2	5	1	0	4

* - max пріоритет відповідає значенню 0.

Оформлення звіту

Звіт повинен містити: номер і назву лабораторної роботи, мету роботи, завдання по варіантам, теоретичні положення, лістинг програми, блок-схему програми (алгоритми циклічного й адресного опитувань датчиків), результати обчислень, висновки.

Контрольні запитання до лабораторної роботи №1

1. Розкажіть алгоритм циклічного опитування датчиків.
2. Розкажіть алгоритм адресного опитування датчиків.
3. Які є способи розміщення даних в пам'яті комп'ютера для обробки інформації?
4. Розкажіть про метод оформлення паспортів.
5. Розкажіть про метод виділення однойменних характеристик.

Лабораторна робота №2. Визначення частоти опитування технологічних параметрів за допомогою керуючої обчислювальної машини

Мета роботи: освоїти методику розрахунку частоти опитування технологічних параметрів за допомогою керуючої обчислювальної машини (КОМ). Визначити періоди опитування датчиків технологічних параметрів об'єктів зі значно відмінними статистичними характеристиками. Дослідити вплив на величину періоду опитування статичних властивостей вимірюваної величини, похибки її визначення і похибки вимірювального тракту.

Теоретичні відомості

Питання вибору необхідної частоти опитування технологічних параметрів за допомогою КОМ виникає при створенні автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУ ТП) на етапі розробки технічного завдання (ТЗ).

Завищена частота опитування призводить до ускладнення системи дискретного контролю та підвищенню завантаження обчислювальної частини КОМ.

Занижена частота опитування практично може звести до нуля результати дискретного контролю, оскільки при цьому неможливо простежити з необхідною точністю за зміною контрольованої величини.

Визначимо конкретний тип рівняння, що використовується для визначення інтервалу опитування в практично найбільш простому і поширеному випадку ступінчатої екстраполяції, при котрому про значення вимірюваної величини у будь-який момент часу судять за виміряними значеннями величини в момент попереднього відліку (див. рис. 2.1).

$$X(t) = X(jT_0), \quad (2.1)$$

$$\text{при } jT_0 \leq t \leq (j + 1)T_0$$

де T_0 - період квантування (опитування) процесу $X(t)$ за часом

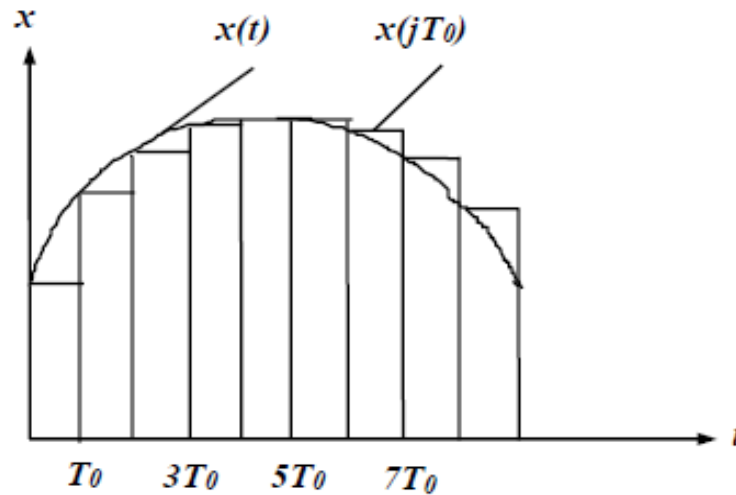


Рисунок 2.1 – Ступінчаста екстраполяція вимірюваної величини

При екстраполяції виникає похибка $\varepsilon(t)$ оцінки поточного значення вимірюваної величини, що визначається за формулою:

$$\varepsilon(t) = X(t) - X(jT_0) \quad (2.2)$$

Похибка $\varepsilon(t)$ є випадковим процесом, особливістю якого є те, що він дорівнює нулю в момент початку кожного періоду квантування (див. рис. 2.1).

Оцінимо середню квадратичну похибку екстраполяції методом (2.1) для випадку, коли вимірюваний процес є стаціонарним.

Трансформуємо рівняння (2.2), додавши в праву частину і віднявши від неї величину математичного очікування процесу Mx :

$$\varepsilon(t) = [X(t) - Mx] - [X(jT_0) - Mx] = X(t) - X(jT_0) \quad (2.3)$$

де $X(t)$ та $X(jT_0)$ - відповідні центровані процеси

Зведемо ліву і праву частини виразу (2.3) в квадрат і будемо розглядати поведінку функції $\varepsilon^2(t)$ на окремих інтервалах часу $jT_0 \leq t \leq (j+1)T_0$ або, якщо ввести нову змінну $\tau = t - jT_0$, то на інтервалі $0 \leq \tau \leq T_0$.

Усереднюючи по множині інтервалів j , отримаємо

$$M[\varepsilon(\tau)]^2 = M[X(\tau)]^2 - 2M[X(\tau)X(0)] + M[X(0)]^2 \quad (2.4)$$

при $0 \leq \tau \leq T_0$

Використовуючи поняття кореляційної функції та дисперсії, в силу стаціонарності випадкового процесу $X(t)$ матимемо

$$M[X^0(\tau)]^2 = M[X^0(0)]^2 = K_X(0) = D_X,$$

$$M[X^0(\tau) X^0(0)] = K_X(\tau). \quad (2.5)$$

де K_X і D_X - кореляційна функція і дисперсія випадкового процесу.

З урахуванням (2.5) вираз (2.4) буде записано у вигляді

$$\sigma_X^2(\tau) = 2[D_X - K_X(\tau)] \quad (2.6)$$

де $\sigma_X^2(\tau)$ - середня квадратична похибка визначення величини.

Вираз (2.6) не враховує похибку вимірювального тракту (похибка датчика)

$\sigma_{ХИЗМ}$. З її врахуванням вираз для $\sigma_X^2(\tau)$ матиме вигляд

$$\sigma_X^2(\tau) = 2[D_X - K_X(\tau)] + \sigma_{ХИЗМ}^2 \quad (2.7)$$

З (2.7) слідує, що середня квадратична похибка $\sigma_X^2(\tau)$ є функцією часу τ , тобто змінюється у межах періоду квантування. У моменти замірів, тобто при $t=jT_0$ ($\tau = 0$) ця похибка є мінімальною, рівної похибці вимірювального тракту. Максимальне значення середня квадратична похибка набуває при екстраполяції в момент, що передує наступному виміру величини $X(t)$ при $\tau = T_0$.

$$\sigma_X(\tau) = \sigma_{X_{max}} \quad (2.8)$$

Частота опитування визначається величиною $\sigma_{X_{max}}$

При $\tau = T_0$ рівняння (2.7) набуває вигляду

$$\sigma_{X_{max}}^2 = [D_X - K_X(T_0)] + \sigma_{ХИЗМ}^2 \quad (2.9)$$

Формула (2.9) визначає період T_0 опитування датчика величини $X(t)$ за заданою похибкою її визначення $\sigma_{X_{max}}$, відомої похибки датчика $\sigma_{ХИЗМ}^2$ та відомої кореляційної функції процесу.

Опис об'єкта дослідження

Визначення періоду опитування датчиків вимірюваних величин за допомогою КОМ розглянемо на прикладі об'єктів зі значно різними статистичними характеристиками: теплового об'єкта та об'єкта регулювання тиску. Контрольовані величини в об'єктах - температура і тиск мають характер зміни, близький до стаціонарних випадкових процесів.

Характер реалізацій випадкових процесів за температурою і тиском (якісна оцінка) показано на рис. 2.2а, 2.2б.

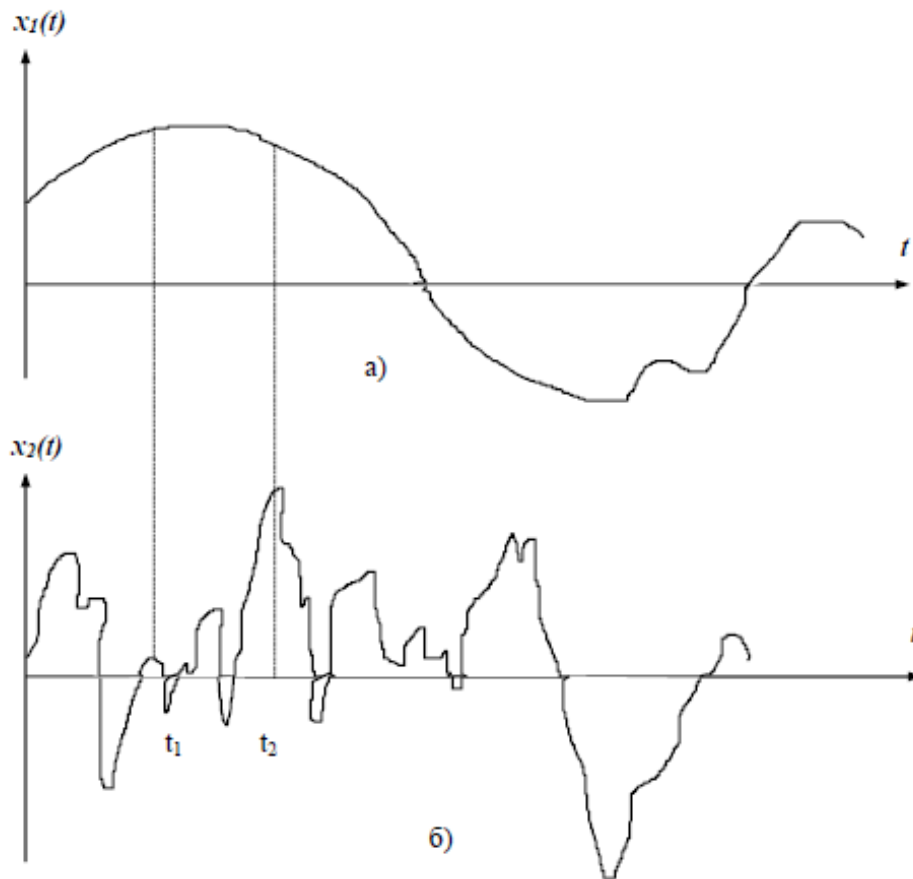


Рисунок 2.2 – Реалізація випадкових процесів за температурою (а) і тиском (б)

Процес на рисунку 2.2а характеризується плавною зміною своїх значень за часом. Знаючи значення процесу в момент часу t , можна з істотною ймовірністю стверджувати, що в момент часу t_2 значення процесу буде не сильно відрізнятися від значення процесу при t_1 .

Таким чином, в цьому процесі спостерігається досить високий ступінь зв'язку між його значеннями в різні моменти часу.

Для процесу, показаного на рисунку 2.2б, характерні різкі зміни його значень в часі. Відоме значення процесу в момент часу t практично не може з якоюсь достовірною переконливістю характеризувати значення процесу в момент часу t_2 . Ступінь зв'язку між значеннями процесу при різних t швидко згасає зі збільшенням розглянутого часового проміжку.

Кореляційні функції температури і тиску, отримані в результаті обробки графіків реалізації випадкових процесів $X_1(t)$ і $X_2(t)$, наведені на рисунках 2.3,

2.4.

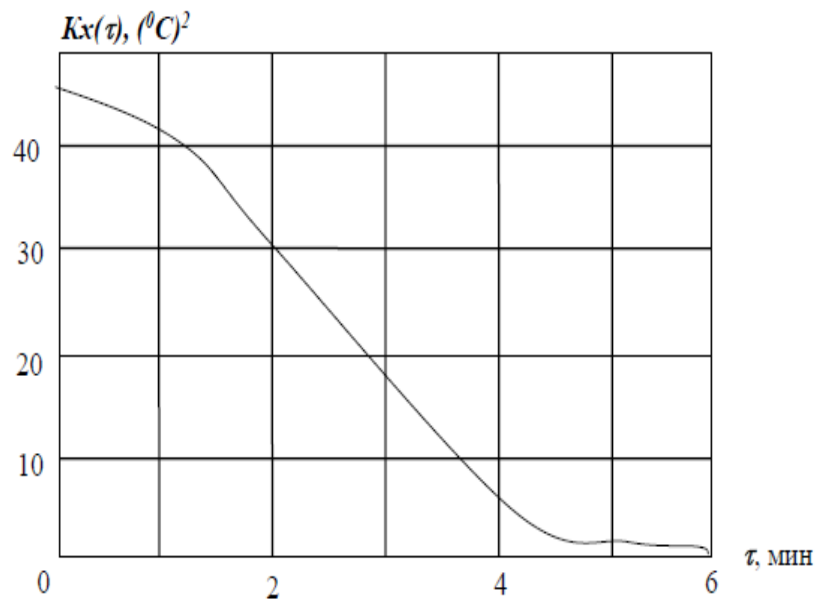


Рисунок 2.3 – Об'єктна функція кореляції температури

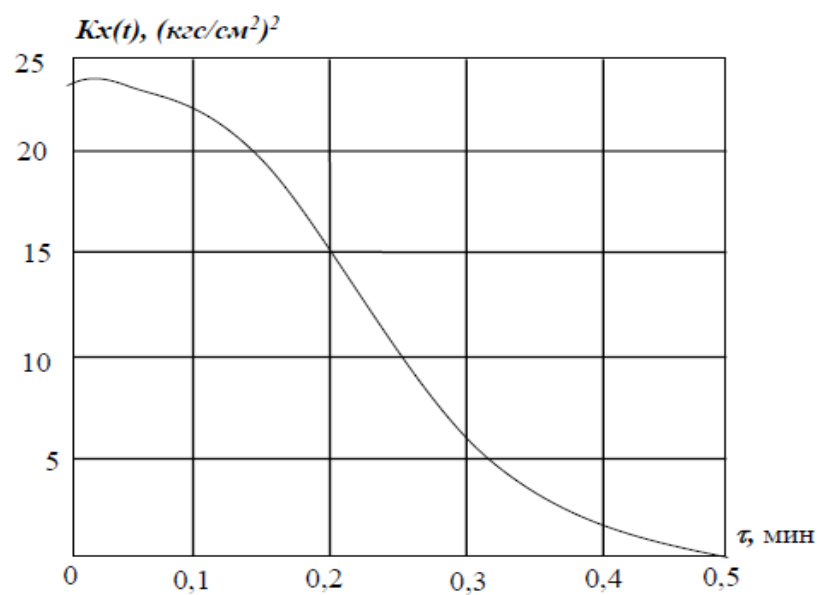


Рисунок 2.4 – Об'єктна функція кореляції тиску

Послідовність виконання роботи

Вхідні дані

1. Графіки кореляційних функцій температури і тиску (див. рис. 2.3, 2.4).
2. Допустимі середні квадратичні похибки визначення параметрів $\sigma_{X_{max}}$ і середні квадратичні похибки вимірювальних трактів температури і тиску $\sigma_{ХИЗМ}$.

Числові значення величин $\sigma_{X_{max}}$ і $\sigma_{ХИЗМ}$ за варіантами зведені в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Варіанти числових значень величин $\sigma_{X_{max}}$ і $\sigma_{ХИЗМ}$

Вхідні дані	Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тепловий об'єкт	$\sigma_{X_{max}}$	4,0	4,5	3,6	3,8	4,2	5,0	4,9	4,6	4,7	3,7
	$\sigma_{ХИЗМ}$	1,0	0,6	0,8	0,7	0,9	1,2	1,1	0,5	1,3	1,4
Об'єкт контролю тиску	$\sigma_{X_{max}}$	3,6	2,8	3,9	2,7	3,1	3,5	3,4	2,6	3,7	2,9
	$\sigma_{ХИЗМ}$	0,8	0,5	1,0	0,3	0,6	0,7	0,9	0,4	0,2	1,2

3. Криві реалізації випадкового процесу (за варіантами) масштаб 1:3

Варіант 1.

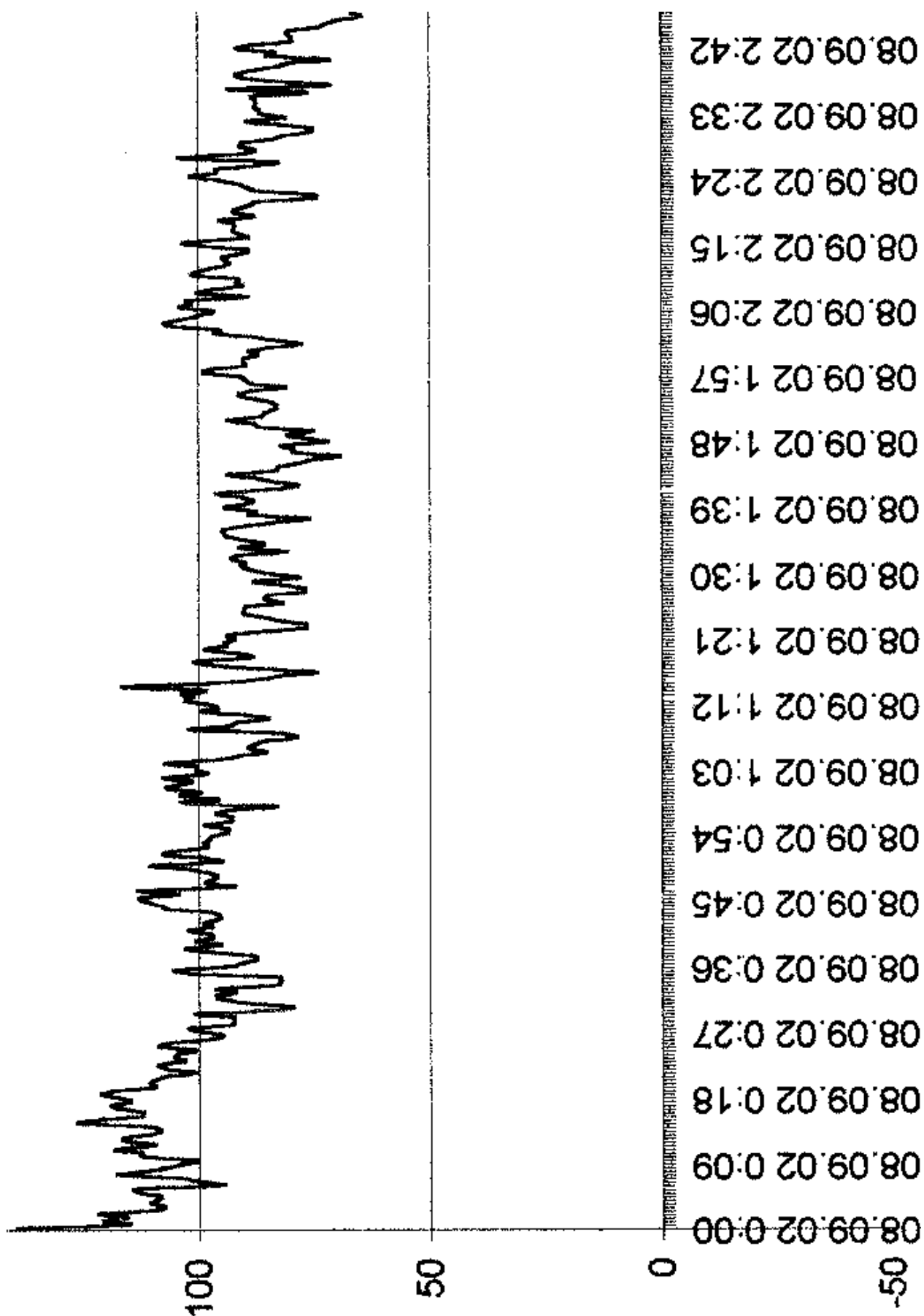


Рисунок 2.5 – Крива реалізації випадкового процесу

Варіант 2.

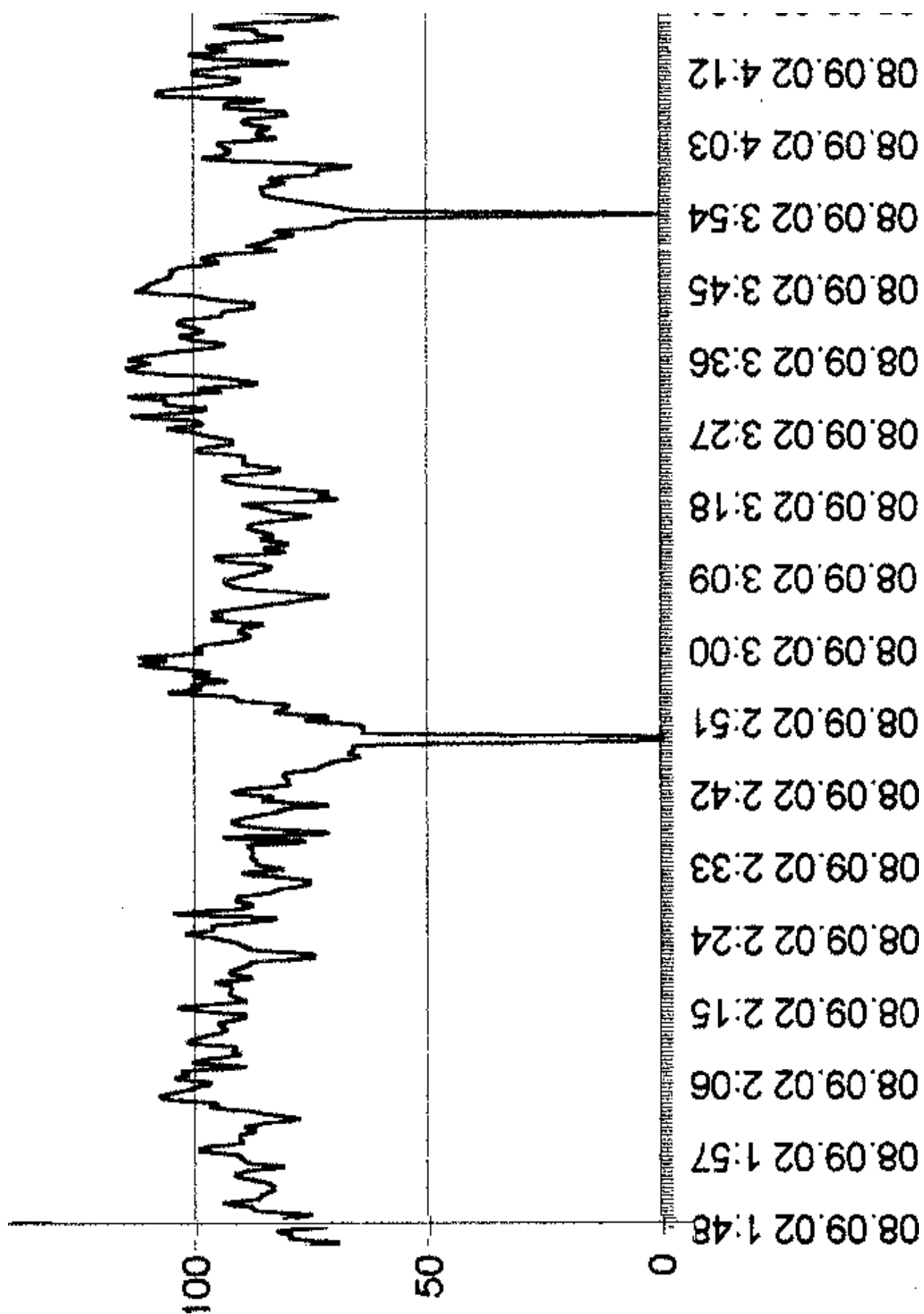


Рисунок 2.6 – Крива реалізації випадкового процесу

Варіант 3.

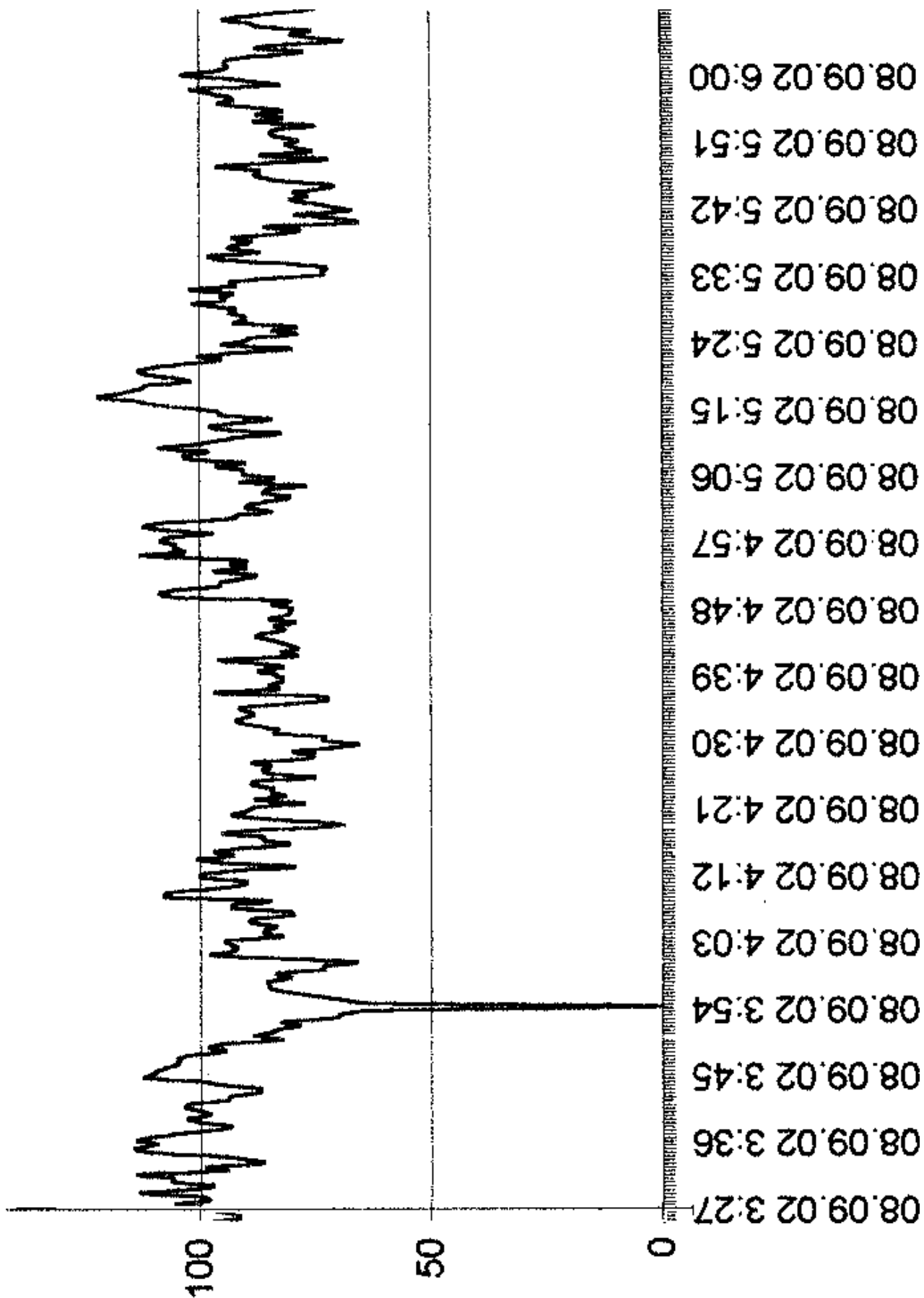


Рисунок 2.7 – Крива реалізації випадкового процесу

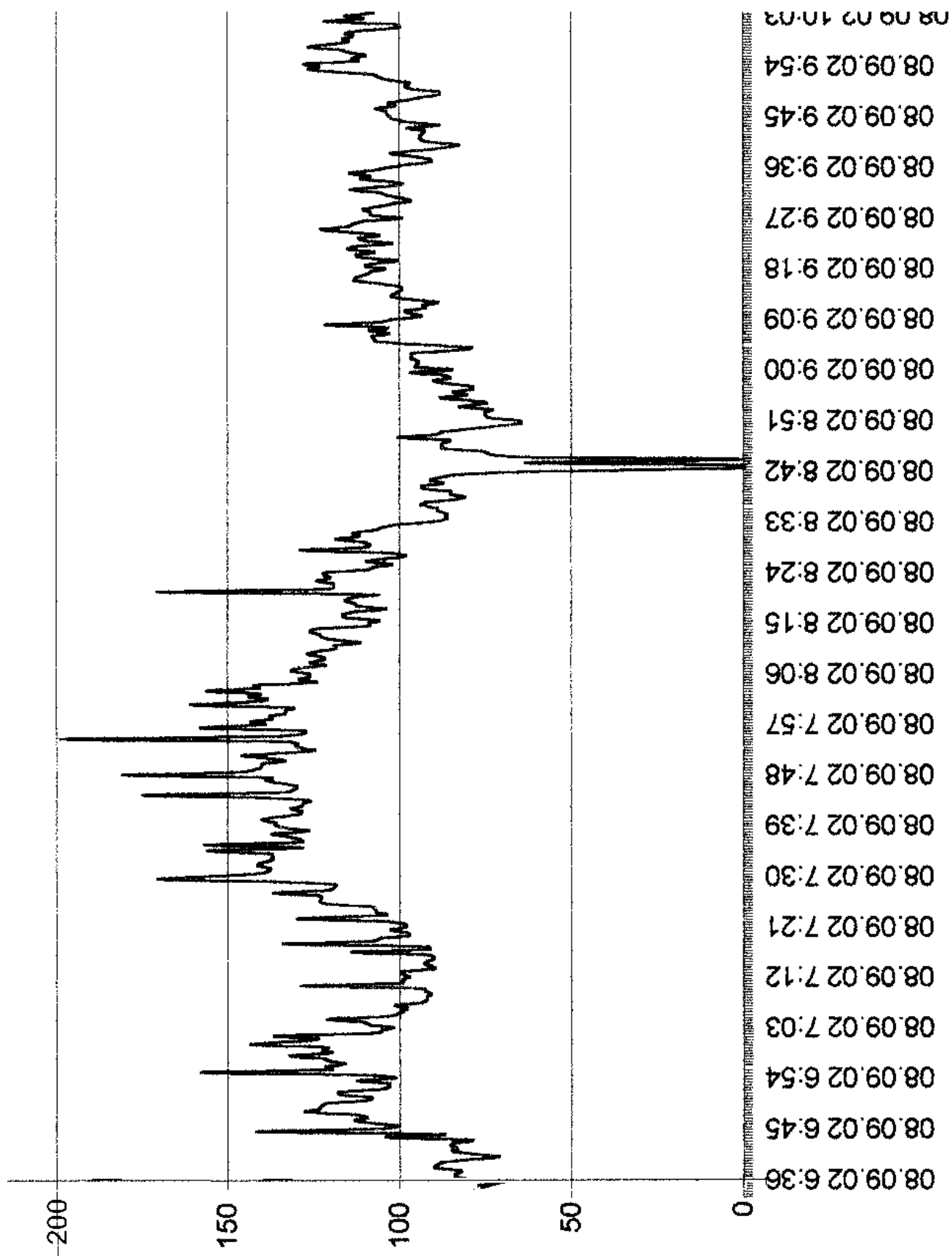


Рисунок 2.8 – Крива реалізації випадкового процесу

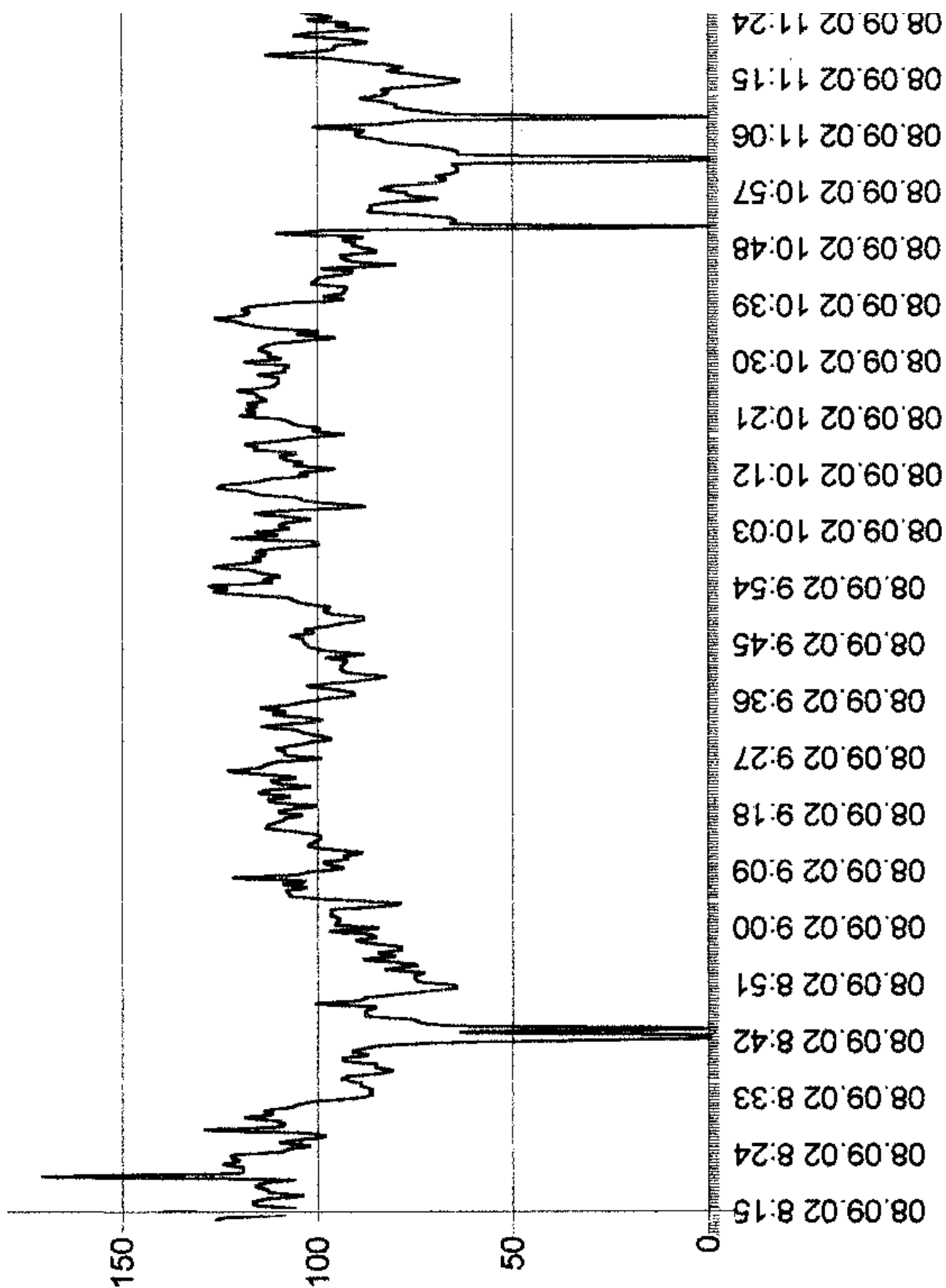


Рисунок 2.9 – Крива реалізації випадкового процесу

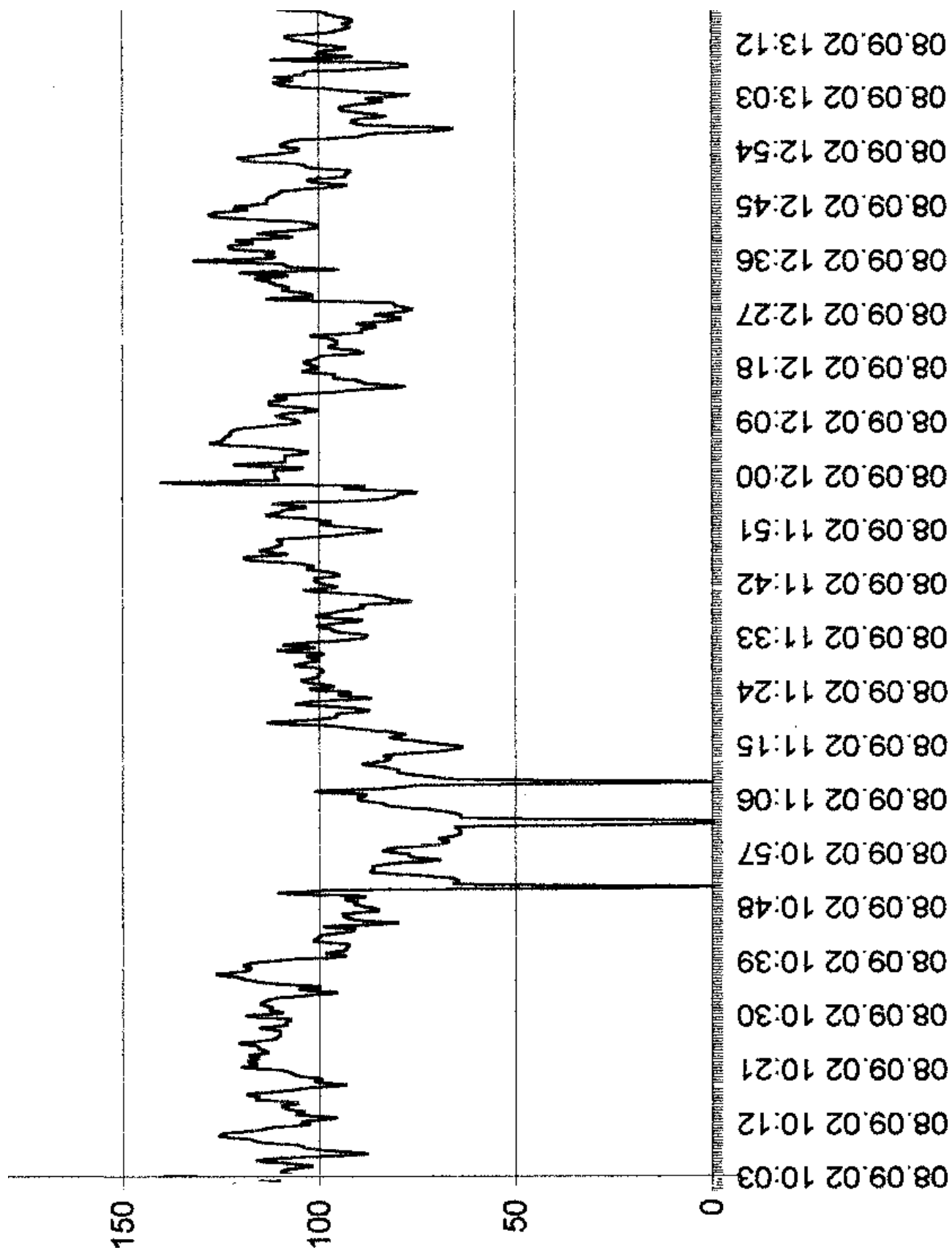


Рисунок 2.10 – Крива реалізації випадкового процесу

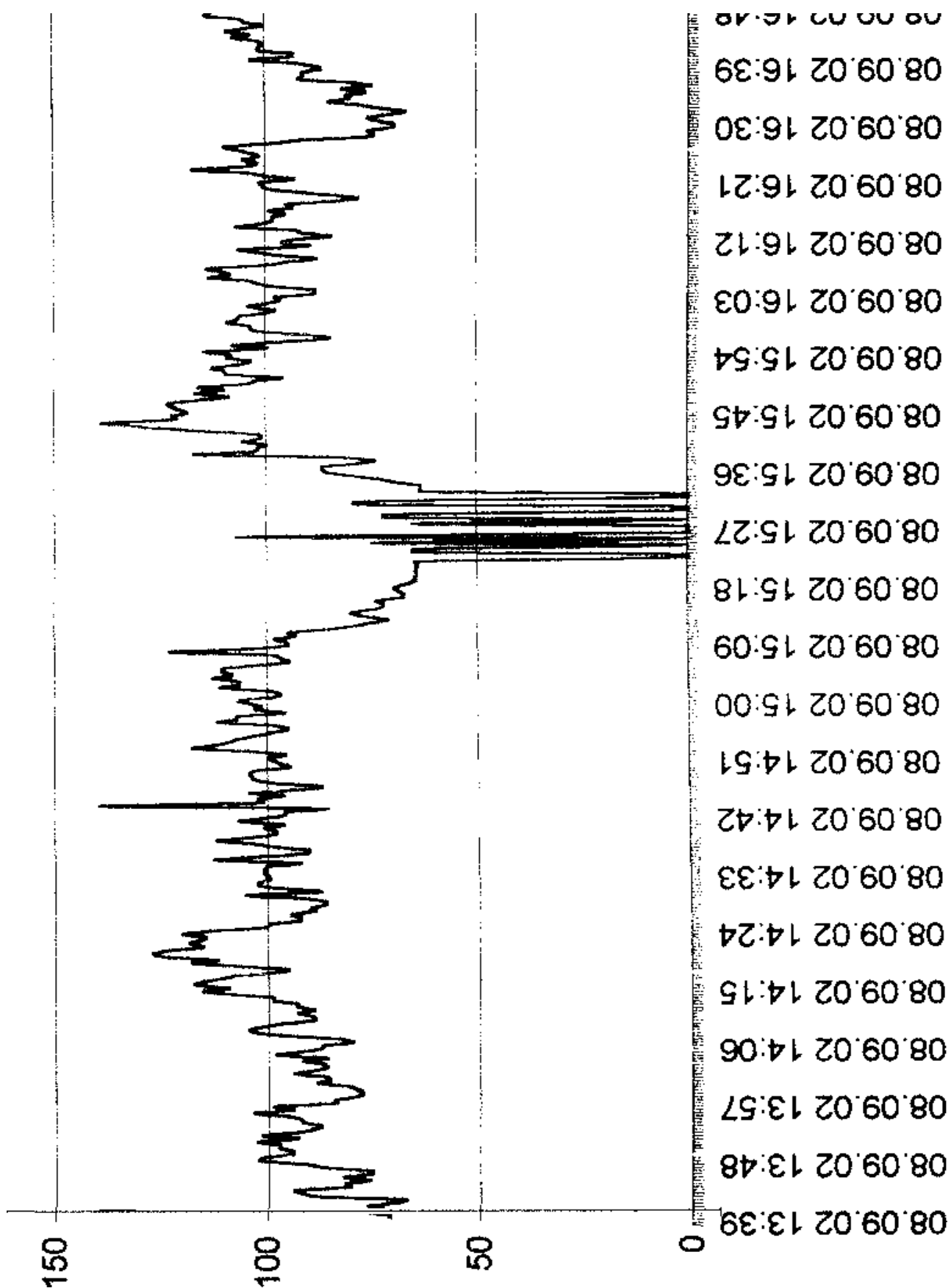


Рисунок 2.11 – Крива реалізації випадкового процесу

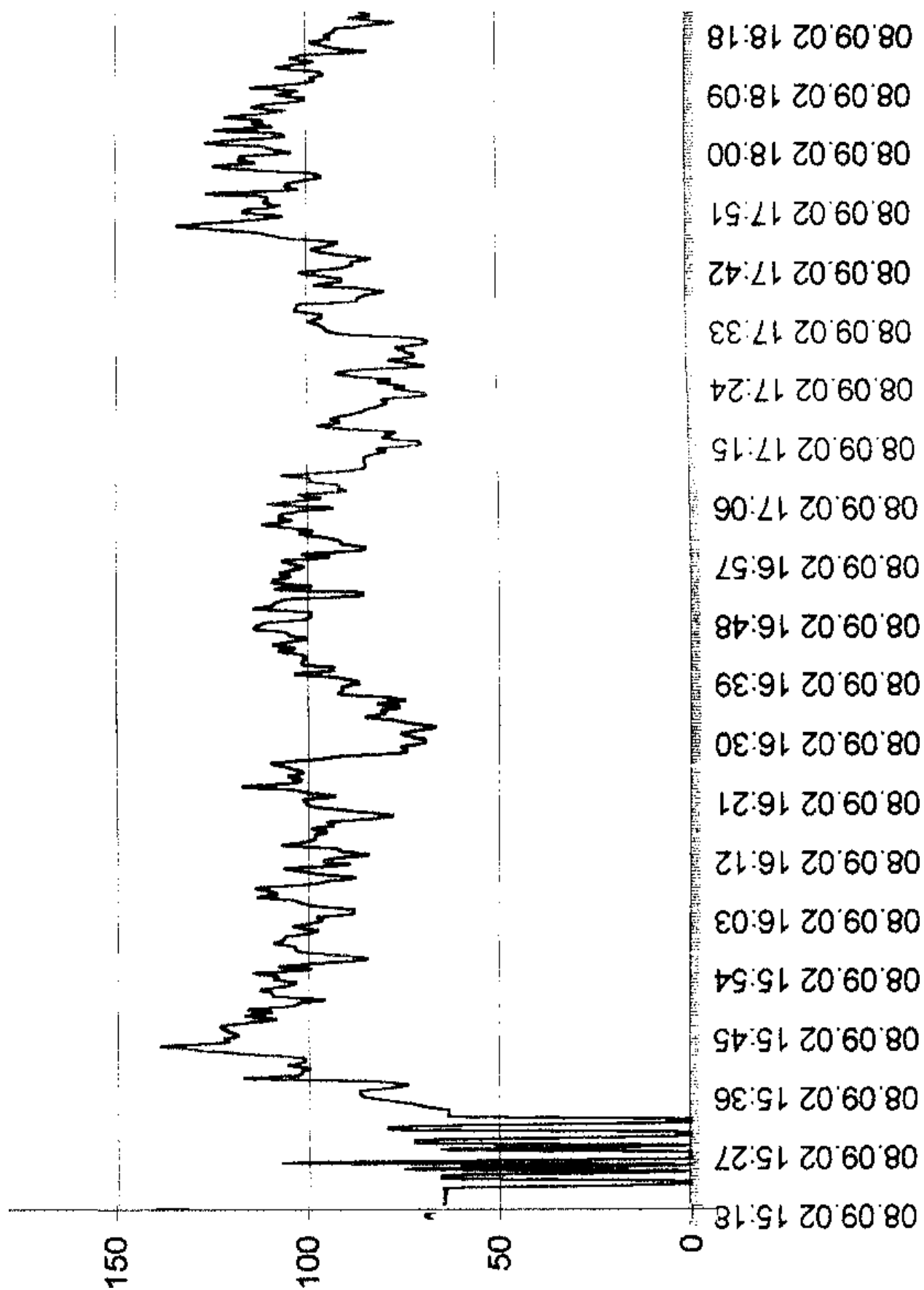


Рисунок 2.12 – Крива реалізації випадкового процесу

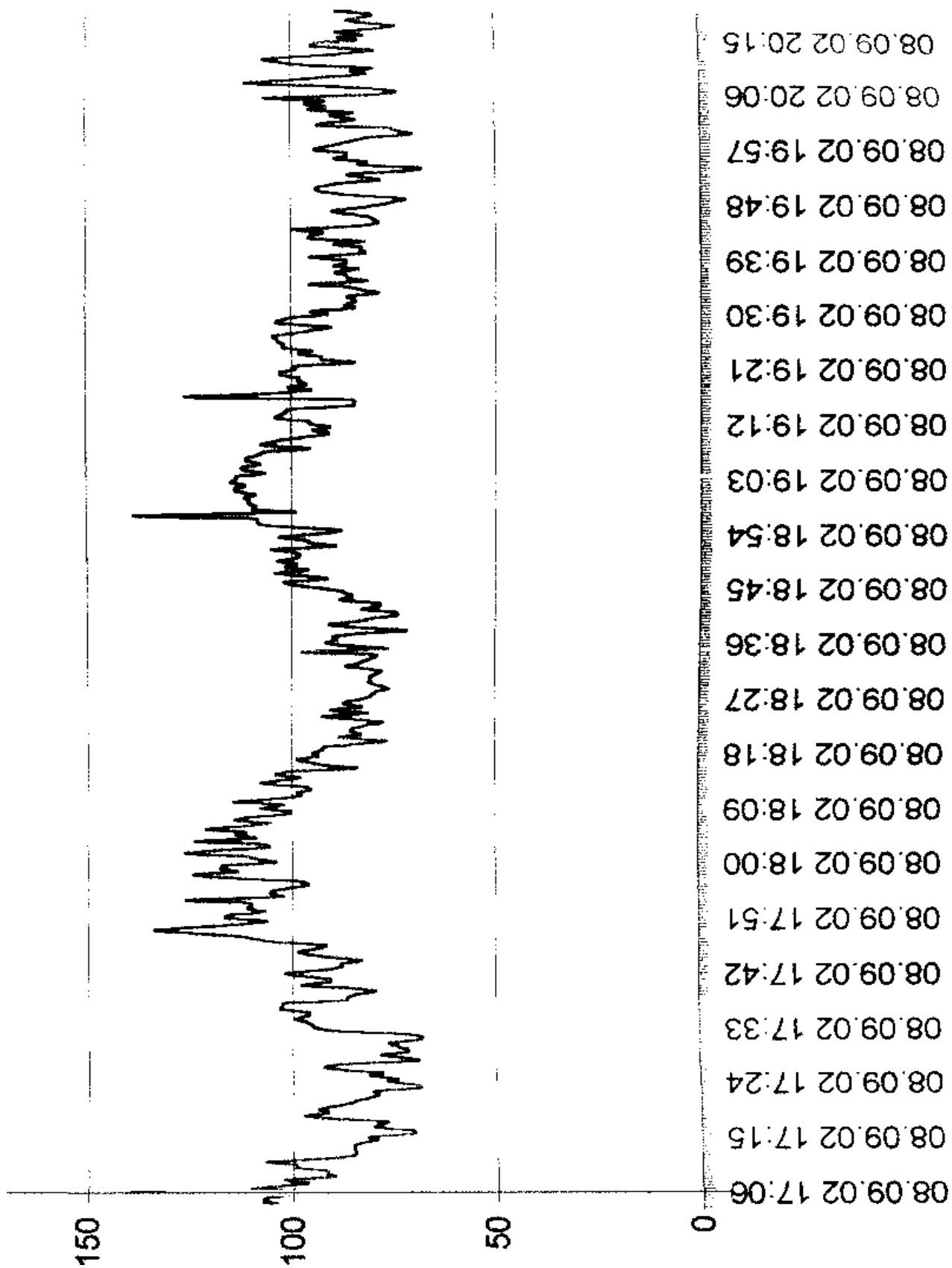


Рисунок 2.13 – Крива реалізації випадкового процесу

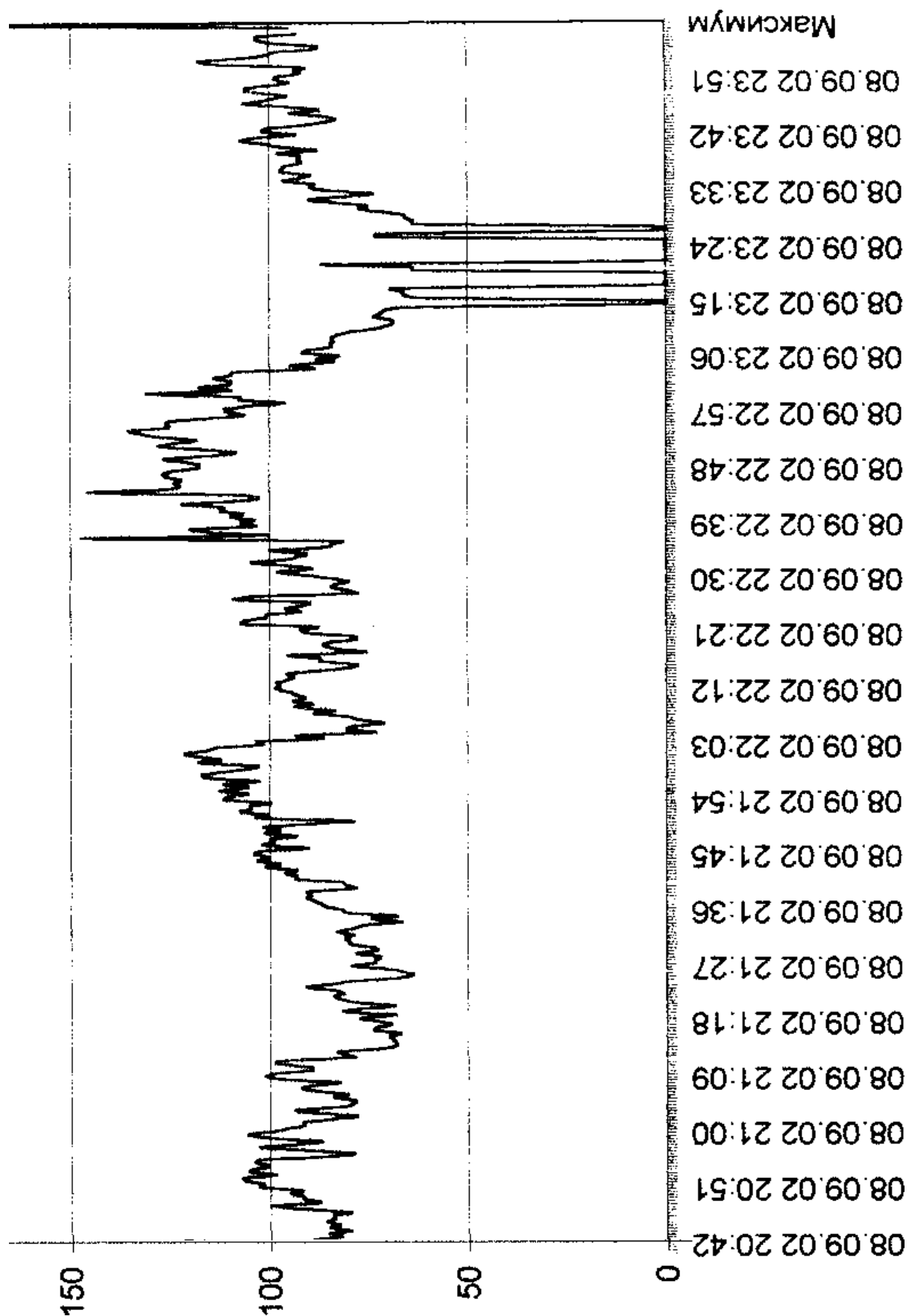


Рисунок 2.14 – Крива реалізації випадкового процесу

Хід роботи

1. Визначення періоду опитування датчиків з реалізації випадкових процесів за температурою і тиском (див. рис. 2.3, 2.4).

а) При заданих $\sigma_{X_{max}}$ і $\sigma_{хизм}$ за формулою (2.9) визначити величину $K_x(T_0)$.

б) За графіками кореляційних функцій (див. рис. 2.3, 2.4), визначити значення періодів опитування T_0 датчиків температури і тиску.

в) При постійному значенні $\sigma_{X_{max}}$ ($\sigma_{X_{max}} = const$) визначити декілька значень T_0 при зростаючих (спадаючих) значеннях $\sigma_{хизм}$.

г) Аналогічні розрахунки провести і при зростаючих (спадаючих) значеннях $\sigma_{X_{max}}$, коли залишається постійна величина $\sigma_{хизм}$ ($\sigma_{хизм} = const$).

д) Зробити відповідні висновки про вплив на величину T_0 статичних властивостей вимірюваної величини (згідно з пунктами 2 і 3, похибки її визначення і похибок вимірювального тракту).

2. Визначення періоду опитування датчиків за кривими реалізації випадкового процесу (рис. 2.5-2.14) за варіантами.

а) Визначаємо крок дискретизації випадкового процесу $\Delta\tau$, сек.

На реалізації випадкового процесу проводимо лінію математичного очікування $M_x = const$.

Визначаємо кількість перетинів N випадковим процесом лінії свого математичного очікування. І визначаємо довжину реалізації l , мм.

Визначаємо час τ_N , протягом якого відбулося N перетинів:

$$\tau_N = l/v ,$$

де v - швидкість руху діаграмного паперу самописця в мм/сек.

Визначаємо середнє число нулів за одиницю часу (число перетинів випадкового процесу лінії математичного очікування): $n_{cp} = N/\tau_N$.

Визначте шукане значення кроку дискретизації $\Delta\tau$. Для випадкового процесу з монотонними спектральними характеристиками $\Delta\tau$ визначаємо за формулою: $\Delta\tau = 0,15/n_{cp}$.

Якщо час між двома перетинами випадковим процесом лінії математичного очікування умовно назвати півперіодом, то дана формула

рекомендує обирати крок так, щоб в середньому на такий півперіод припадало близько 7-ми ординат випадкового процесу.

б) Визначаємо статистичні характеристики випадкового процесу (математичне очікування, дисперсію, кореляційну функцію).

Виконуємо переріз випадкового процесу ординатами, відокремленими один від одного на величину $\Delta\tau$ і визначаємо значення ординат в ці фіксовані моменти часу в одиницях вимірюваної величини (МПа, °С, м³/год і т.п.).

За значеннями цих ординат знаходимо математичне очікування, дисперсію та кореляційну функцію в дискретні моменти часу (див. рис. 2.15).

Будуємо кореляційну функцію випадкового процесу (при побудові можна обмежитися значеннями «+»).

За відомими значеннями $\sigma_{x_{max}}$, $\sigma_{x_{изм}}$ визначаємо за формулою (2.9) величину $K_x(\tau_0)$. Відкладаємо його на графіку. За значенням $K_x(\tau_0)$ графічно визначимо J_0 .

в) Шуканий період опитування датчиків визначається за формулою:
 $\tau_0 = J_0 \Delta\tau$.

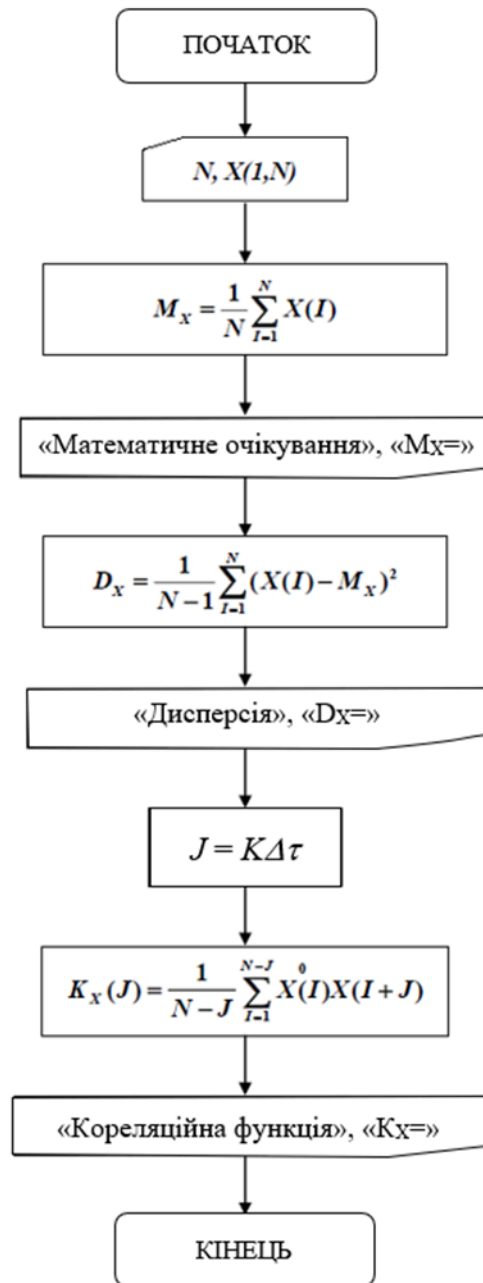


Рисунок 2.15 – Блок-схема алгоритму розрахунку математичного очікування, дисперсії та кореляційної функції

Оформлення звіту

Звіт повинен містити: номер і назву лабораторної роботи, мету роботи, завдання по варіантам, теоретичні положення, лістинг програми, блок-схему програми, результати обчислень, висновки.

Контрольні запитання до лабораторної роботи №2

1. Проблема вибору необхідної частоти опитування технологічних параметрів.
2. Ступінчаста екстраполяція вимірюваної величини.
3. Середня квадратична похибка екстраполяції стаціонарному процесі.
4. Розкажіть алгоритм розрахунку математичного очікування.
5. Розкажіть алгоритм розрахунку дисперсії та кореляційної функції.

Лабораторна робота №3. Стохастична екстра- та інтерполяція в цифрових системах контролю і управління

Мета роботи: набути практичних навичок визначення значень параметрів у заданих точках екстра- та інтерполяції; практичні навички складання алгоритмів і програм комп'ютерного визначення параметрів по методу стохастичної екстраполяції.

Теоретичні відомості

Алгоритми екстра- та інтерполяції.

Необхідність екстра- та інтерполяції функцій в системах управління і контролю з ЕОМ обумовлена дискретним характером одержуваної від об'єкта інформації. *Інтерполяція* дає можливість отримати необхідну інформацію про поведінку об'єкта або процесу між дискретними точками вимірювання. *Екстраполяція* дозволяє прогнозувати зміну контрольованої величини з ціллю компенсації затримки в управлінні.

Існує декілька методів екстра- та інтерполяції. Найбільш поширеними в системах управління і контролю є ступінчата, лінійна, параболічна (нелінійна) та статистична (стохастична) екстра- та інтерполяції.

Розглянемо алгоритми ступінчатої та стохастичної інтерполяції.

Ступінчата екстра- та інтерполяція.

При ступінчатій екстра- та інтерполяції значення функції в інтервалі дискретності T приймається постійним і рівним значенню функції на початку інтервалу, тобто $\phi_{ст}(t)=x(t_i)$ при $t_{i+1}>t>t_i$,

де $x(t_i)$ - значення функції (змінної) у дискретний момент часу t_i ;

$t_{i+1} - t_i = T$ - інтервал дискретності (період квантування).

Ступінчата екстра- та інтерполяція найбільш проста в реалізації, так як не вимагає ніяких додаткових розрахунків. Основною проблемою при реалізації алгоритму ступінчатої інтерполяції є вибір інтервалу дискретності T . Цей інтервал повинен бути обраним таким, щоб похибка інтерполяції не перевищувала допустиму. Для детермінованих змінних похибка екстра- та

інтерполяції пропорційна другій похідній на ділянці екстра- та інтерполяції.

При ступінчатій екстра- та інтерполяції випадкових функцій похибка істотно залежить від характеристик цих функцій. Зокрема, похибка ступінчатої інтерполяції пропорційна дисперсії випадкової величини в точці вимірювання і тим більше, чим більше період квантування.

Стохастична екстра- та інтерполяція.

Кращі результати у порівнянні з ступінчатою екстра- та інтерполяцією випадкових функцій можна отримати, застосовуючи стохастичні екстра- та інтерполяцію. Ідея цього методу полягає в побудові апроксимуючої функції $\phi_C(t)$ у вигляді многочлена, коефіцієнти якого є функціями характеристик випадкового процесу:

$$\phi_C(t) = \sum p_i (t - t_i)(x(t_i) - M[x]) + M[x], \quad (3.1)$$

де $p_i(t - t_i)$ — коефіцієнти многочлена;

$M[x]$ — математичне очікування $x(t_i)$;

n - кількість точок, по яким виконується екстра- та інтерполяція;

$x(t_i)$ - реалізація випадкового процесу в точці t_i .

Коефіцієнти $p_i(t - t_i)$ знаходяться з умов мінімізації середньоквадратичної похибки інтерполяції по величинам $p_i(t - t_i)$. Щоб отримати значення $p_i(t - t_i)$ можна скористатися метод невизначених множників Лагранжа. В результаті матимемо n рівнянь вигляду

$$\sum p_i(t - t_i)K_X(t_s - t_i) = K_X(t - t_s) \quad (3.2)$$

де K_X - кореляційна функція $x(t)$;

t_s, t_i - s -й та i -й моменти ($s = 1, 2, \dots, n, i = 1, 2, \dots, n$).

З (3.2) визначаються всі значення $p_i(t - t_i)$. Кореляційні функції при цьому вважаються відомими, оскільки вони є характеристиками випадкового процесу.

Розглянемо застосування цієї формули для випадку, що часто зустрічається на практиці, інтерполяції по двом точках. Для $n=2$ і $t_2 > t > t_1$, записується у вигляді

$$\phi_C(t) = p_1(t - t_1)x(t_1) + p_2(t - t_2)x(t_2) - M[x]p_1(t - t_1) - M[x]p_2(t - t_2) + M[x] \quad (3.3)$$

Враховуючи, що $s=1, 2$ та $n=1, 2$, отримаємо

$$p_1(t - t_1)K_X(0) + p_2(t - t_2)K_X(t_1 - t_2) = K_X(t - t_1); \quad (3.4)$$

$$p_1(t - t_1)K_X(t_2 - t_1) + p_2(t - t_2)K_X(0) = K_X(t - t_2).$$

Оскільки $K_X(t_2 - t_1) = K_X(t_1 - t_2) = K_X(T)$, то рівняння (3.4) у матричній формі можна записати у вигляді

$$\begin{bmatrix} K_X(0) & K_X(T) \\ K_X(T) & K_X(0) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} p_1(t - t_1) \\ p_2(t - t_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_X(t - t_1) \\ K_X(t - t_2) \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

З (3.5) знаходимо:

$$\begin{aligned} p_1(t - t_1) &= \frac{K_X(t-t_1)K_X(0) - K_X(t-t_2)K_X(T)}{K_X^2(0) - K_X^2(T)}, \\ p_2(t - t_2) &= \frac{K_X(t-t_2)K_X(0) - K_X(t-t_1)K_X(T)}{K_X^2(0) - K_X^2(T)}. \end{aligned} \quad (3.6)$$

Підставляючи значення $p_1(t - t_1)$ і $p_2(t - t_2)$ від (3.6) до (3.1), отримуємо

$$\begin{aligned} \phi_C(t) &= \frac{K_X(t-t_1)K_X(0) - K_X(t-t_2)K_X(T)}{K_X^2(0) - K_X^2(T)} x(t_1) + \\ &+ \frac{K_X(t-t_2)K_X(0) - K_X(t-t_1)K_X(T)}{K_X^2(0) - K_X^2(T)} x(t_2) \\ &+ M[x] \left[\frac{K_X(t-t_1) + K_X(t-t_2)}{K_X(0) - K_X(T)} - 1 \right]. \end{aligned} \quad (3.7)$$

при $t_1 \leq t < t_2$.

Вихідними даними для реалізації алгоритму будуть наступні параметри:

$K_X(0) = D_X$ - кореляційна функція безпосередньо в точці виміру;

$K_X(T)$ - значення кореляційної функції процесу в кінці інтервалу $T=t_2-t_1$;

t_1, t_2 - моменти дискретного вимірювання змінної;

t - точка часу, в якій слід визначити значення змінної;

$x(t_1), x(t_2)$ - значення змінної в моменти часу t_1 і t_2 .

Екстраполяція по двом точкам виконується також по (3.1)

Єдина відмінність полягає в тому, що значення $\phi_C(t)$ буде розглядатися для моменту часу $t_3 > t > t_2$, де t_3 - момент наступного дискретного вимірювання значення змінної x відокремленої від t_2 , на величину квантування по часу T .

На відміну від інтерполяції, екстраполяція може бути проведена по одній точці. В такому випадку $n=1$ і (3.1) набуває наступного вигляду:

$$\phi_c(t) = \frac{K_X(t-t_1)}{K_X(0)} [x(t_1) - M[x]] + M[x], \quad (3.8)$$

при $t_1 \leq t < t_2$.

Таким чином, стохастична екстра- та інтерполяція дозволяє визначити деяке середнє значення зміни змінної $\phi_c(t)$, найбільш наближене до різних реалізацій випадкового процесу $x(t)$. Тому її можна вважати однією з різновидів оптимальної лінійної статистичної фільтрації, яка забезпечує мінімум середньоквадратичного відхилення конкретних реалізацій випадкового процесу від кривої екстра- та інтерполяції.

Приклад.

У системі управління температури нагрівальної печі вимірювання температури проводиться циклічно (тривалість циклу $t_u = 2$ хв).

Зміна температури по часу може бути представлено у вигляді стаціонарного випадкового процесу з $M[x] = 273^\circ\text{C}$ і автокореляційною функцією:

$$K_X(t) = D_X [1 - (t/\tau)^k], \quad (3.9)$$

де $D_X = K_X(0)$ - дисперсія вимірювання температури;

τ - час загасання автокореляційної функції;

k - параметр, отриманий на основі обробки експериментальних даних.

Для зменшення впливу затримки обумовленого циклічністю вимірювання, необхідно екстраполювати за методом стохастичної екстраполяції значення температури на інтервалі $t_{i+1} > t > t_i$. Екстраполяцію потрібно виконувати по одній точці. Нехай в результаті заміру в i -му циклі отримані значення $x(t_i) = 279^\circ\text{C}$;

$$D_X = 40^\circ\text{C}; \tau = 2\text{хв}; k = 1,5$$

Потрібно визначити значення температури при $t = t_i + 0,5t_u$.

Для екстраполяції використаємо формулу (3.1), тобто будемо шукати значення температури у вигляді:

$$\begin{aligned} x_{\text{екст}}(t_i + 0,5t_u) &= \phi_c(t_i + 0,5t_u) = \frac{K_X(t-t_i)}{K_X(0)} [x(t_i) - M[x]] + M[x] = \\ &= \frac{K_X(0,5t_u)}{K_X(0)} [x(t_i) - M[x]] + M[x] = [1 - 0,5^{1,5}](279 - 273) + 273 = 276,8^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Вибір методу екстра- та інтерполяції залежить від необхідної точності

представлення змінної, характеру зміни $x(t)$, можливості обчислювальної машини і ряду інших факторів, які залежать від конкретного застосування алгоритмів екстра- та інтерполяції.

Послідовність виконання роботи

Вхідні дані

Вхідні дані для виконання лабораторної роботи наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вхідні дані для розрахунків

Математичне очікування я $M[x]$, °C.	Значення параметру на i -му циклі вимірювання $x(t_i)$, C.	Дисперсія Dx , C ²	Тривалість циклу $t_{\text{ц}} = \tau \theta$ (період опитування датчика), с.	Час затухання авто-кореляційної функції τ , с.	Параметр K .	Період прогнозу, t (момент часу, в котрий необхідно визначити величину x) $t = t_i + \chi \tau \theta$; $t_i = 0$; $0 < \chi < 1$.
205	220	30	10	20	1.5	$0,50\tau\theta$
270	280	20	8	16	2.0	$0,80\tau\theta$
290	300	25	6	14	1.0	$0,45\tau\theta$
190	200	40	9	26	3.0	$0,30\tau\theta$
280	290	45	12	24	2.0	$0,65\tau\theta$
250	258	35	4	10	1.0	$0,90\tau\theta$
240	250	32	7	18	1.5	$0,55\tau\theta$
205	215	24	5	15	3.0	$0,50\tau\theta$
225	230	36	14	25	2.5	$0,80\tau\theta$
250	296	28	15	30	2.0	$0,65\tau\theta$

Вираз для кореляційної функції $K_X(t)$ взяти у вигляді (3.9).

Можливі й інші апроксимації кореляційних функцій, наприклад, у вигляді:

$$K_X(t) = D_X * \exp(-t / T), \quad (3.11)$$

де T – константа часу експоненти, котрої апроксимується кореляційна функція.

При розрахунках числові значення величин T можна брати за рівними часу

τ (див. стовпчик 5 таблиці 3.1), або взяти з попередніх лабораторних робіт з розрахунку періоду опитування датчиків τ_0 : провести дотичну в точці перегину кореляційної функції і таким чином визначити константу часу T (див. рис. 3.1).

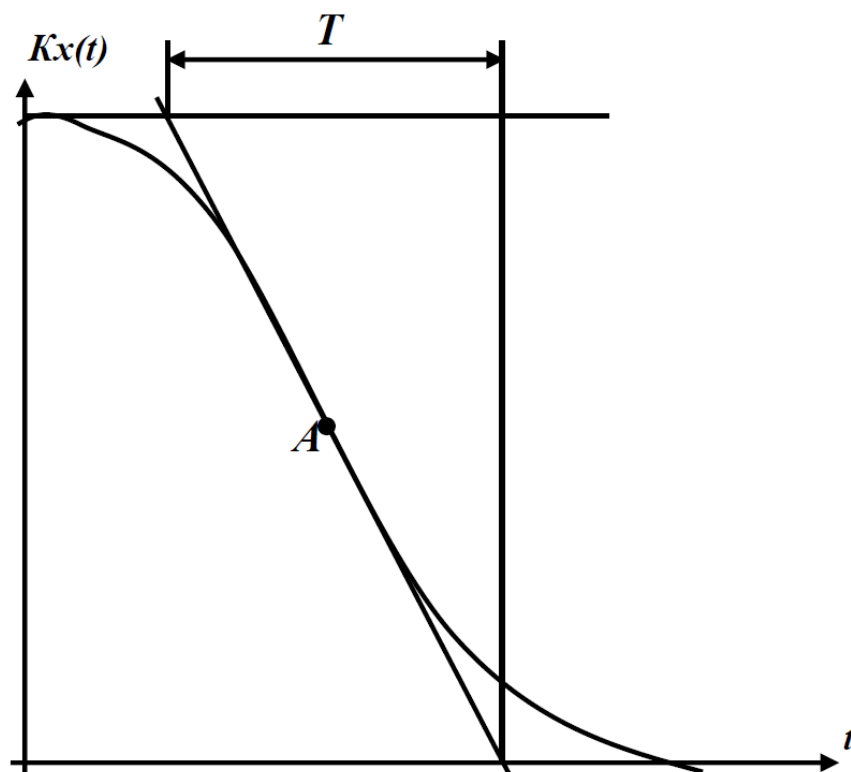


Рисунок 3.1 – До визначення постійної часу T (А – точка перегину)

Хід роботи

1. Знайти значення технологічних параметрів в заданих викладачем точках екстра- та інтерполяції (по варіантам).
2. Скласти алгоритм і програму комп'ютерного визначення значень технологічних параметрів методом стохастичної екстраполяції.

Оформлення звіту

Звіт повинен містити: номер і назву лабораторної роботи, мету роботи, завдання по варіантам, теоретичні положення, лістинг програми, блок-схему програми, результати обчислень, висновки.

Контрольні запитання до лабораторної роботи №3

1. Коли використовується інтерполяція?
2. Коли використовується екстраполяція?
3. Ступінчата екстраполяція та інтерполяція.
4. Які є проблеми та похибки при ступінчатій екстраполяції та інтерполяції.
5. Стохастична екстраполяція та інтерполяція.
6. Які є проблеми та похибки при стохастичній екстраполяції та інтерполяції.

Лабораторна робота №4. Діагностика метрологічних відмов і корекція результатів вимірювання

Мета роботи: ознайомитися з алгоритмами допуску контролю достовірності початкової інформації, за допомогою яких виявляються повні і часткові відмови технічних засобів вимірювання; оволодіти методикою контролю достовірності вихідної інформації в АСУ ТП, діагностики часткових відмов і корекції результатів вимірювань на основі використання рівнянь зв'язку між виміряними величинами.

Теоретичні відомості

Алгоритм контролю достовірності початкової інформації, діагностики часткових відмов і корекції результатів вимірювань.

Початкова інформація про поточний стан об'єкта управління надходить до КОМ по багатьом десяткам, а іноді і сотням інформаційно-вимірювальних каналів (ІВК). Зі збільшенням їх кількості зростає ризик потрапляння в систему недостовірної інформації, тому однією з найважливіших функцій первинної обробки інформації в АСУ ТП є контроль її достовірності.

Недостовірна початкова інформація з'являється при відмовах ІВК, котрі поділяються на повні і часткові (метрологічні). Повна відмова відбувається при виході з ладу вимірювального перетворювача (ВП) або пошкодженні лінії зв'язку між ВП та КОМ. При частковій відмові технічні засоби зберігають працездатність, однак похибка вимірювання відповідного параметра перевищує допустиме значення.

Виявлення повних збоїв ІВК набагато простіша задача, ніж виявлення часткових збоїв. Тому спочатку розглянемо алгоритми контролю достовірності початкової інформації, які дозволяють виявити лише повну відмову ІВК. При цьому недостовірне значення параметра слід замінити достовірною оцінкою, якості котрої може бути використано попереднє достовірне значення цього параметра або його значення, усереднене за певний інтервал часу, що передую моменту виявлення відмови ІВК. Останній спосіб використовують для найбільш

відповідальних параметрів, наприклад, витрат, значення яких використовують при розрахунку ТЕП.

Алгоритми допускового контролю параметра засновані на тому, що при роботі об'єкта значення кожного з контрольованих технологічних параметрів не можуть виходити за визначені межі:

$$x_{in} \leq x_i \leq x_{iv}$$

Відповідно, при справному ІВК повинен бути обмежений і сигнал вимірювальної інформації y_i , що отримує КОМ по цьому каналу:

$$y_{in} \leq y_i \leq y_{iv} \quad (4.1)$$

Контроль достовірності цього алгоритму полягає у перевірці виконання умови (4.1) для кожного значення сигналу вимірювальної інформації, що надходить при черговому опитуванні ІВК. Блок-схему алгоритму представлено на рисунку 4.1.

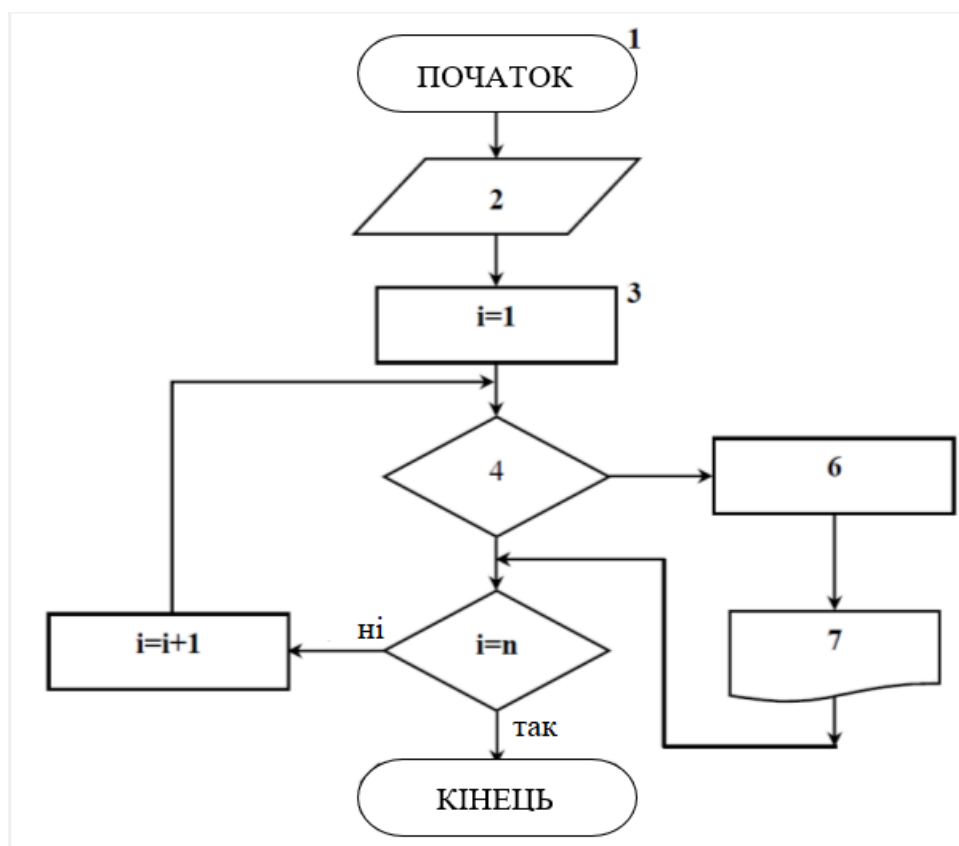


Рисунок 4.1 – Структурна схема алгоритму допуску контролю достовірності початкової інформації

Він працює наступним чином. Після ініціалізації роботи алгоритму (блок 1) і введення вхідних даних (блок 2) організується цикл перевірки ІВК, кожному з яких присвоєно свій номер i (блок 3); у блоці 4 перевіряється умова (4.1), при виконанні якого перевіряється умова завершення роботи алгоритму (блок 5). Виконання умови $i = n$ (де n - число ІВК, які контролюються) зупиняємо роботу алгоритму. Якщо ця умова не виконується, лічильник номера ІВК збільшується на 1 (блок 8), і цикл повторюється. Якщо при перевірці в блоці 4 умова (4.1) не виконується, то в блоці 6 недостовірне значення $y_i(j\tau_0)$ замінюється достовірним значенням $y_i[(j - 1)\tau_0]$ того ж сигналу, отриманим в попередньому циклі опитування ІВК. Потім на друк виводиться повідомлення про те, що виявлено відмову i -го ІВК (блок 7), і роботу алгоритму продовжує блок 5.

Даний алгоритм застосуємо не тільки для стаціонарних, але і для нестационарних процесів, наприклад, періодичних. В такому випадку граничні значення y_{in} і y_{ie} в умові (4.1) є не константами, а функціями часу, що відраховується від початку процесу.

Алгоритм допускового контролю швидкості зміни сигналу вимірювальної інформації. Є більш універсальним, що пояснюється тим, що більшість процесів, що контролюються, за своєю суттю досить повільні. При цьому будь-яка несправність, що призводить до різкої зміни значення параметра, дає можливість контролювати швидкість зміни технологічного параметра x_i обмеженого наступною умовою:

$$\left| \frac{dx_i}{dt} \right| \leq \omega_c |x_{ie} - \bar{x}_i| \quad (4.2)$$

де ω_c - частота відсікання функції $x_i(t)$;

$\bar{x}_i$ - середнє значення цієї функції.

Відповідно, швидкість зміни сигналу також повинна бути обмежена вимірювальною інформацією $y_i(t)$

$$\left| \frac{dy_i}{dt} \right| \leq v_i^*, \quad (4.3)$$

де v_i^* - максимально допустиме значення швидкості зміни $\left| \frac{dy_i}{dt} \right|$.

Контроль достовірності для даного алгоритму полягає в перевірці виконання умови (4.3), при чому оцінку похідної dy_i/dt розраховують за формулою:

$$\frac{dy_i}{dt} \approx \frac{y_i(j\tau_0) - y_i[(j-1)\tau_0]}{\tau_0}.$$

Контроль достовірності початкової інформації за умовами (4.1) і (4.3) часто поєднується. Тоді в блок-схему алгоритму на рисунку 4.1 між блоками 4 і 5 вводиться ще один блок, який перевіряє виконання умови (4.3). При порушенні цієї умови ініціюється блок 6.

Алгоритми контролю достовірності початкової інформації, за допомогою яких виявляються часткові відмови ІВК, засновані на використанні інформаційної надмірності, яка завжди є в АСУ ТП. Надмірність в першу чергу може бути створена штучно при проектуванні АСУ ТП за рахунок апаратної надмірності, наприклад резервування ІВК для контролю найважливіших технологічних параметрів.

Інший вид інформаційної надлишковості в АСУ ТП обумовлений тим, що інформація про дійсність значення певного технологічного параметра міститься не тільки в виміряному значенні цього параметра, але і в вимірних значеннях інших параметрів, пов'язаних з ним стабільними залежностями, наприклад, рівняннями матеріального балансу.

При розробці алгоритмів контролю достовірності початкової інформації на основі інформаційної надлишковості приймають такі допущення:

- 1) малоймовірна одночасна поява в межах даної структури більше одного джерела недостовірної інформації;
- 2) малоймовірна одночасна зміна характеристик двох незалежних джерел інформації, при якій співвідношення між ними залишається незмінним;
- 3) малоймовірний вихід за допустимі межі показника, який залежить від декількох незалежних величин при нормальній варіації останніх.

Алгоритми, що використовуються при апаратному резервуванні ІВК.

Ці алгоритми використовують сигнали вимірювальної інформації y_v ,

отримані в результаті перетворення однієї вимірюваної величини за допомогою n ІП, так що $v=1,2,\dots n$.

Якщо $n \geq 3$ і похибки ІП знаходяться близько один до одного, то визначення часткової відмови ІВК проводиться шляхом порушення умови:

$$|y_v - \bar{y}| \leq C, \quad v \in \overline{1, n}, \quad (4.4)$$

де $\bar{y}$ – середнє значення y_v ;

$C = \text{const}$ - найбільша допустима величина модуля різниці y_v і $\bar{y}$;

величина C може бути прийнята рівною $(2-3) \sigma$,

де σ – середньоквадратична похибка ІП.

Важливе практичне значення має випадок, коли один з паралельних ІВК можна прийняти за еталонний, оскільки його похибка істотно менша, ніж у інших. В такому випадку ознакою часткової відмови v -го ІВК є порушення умови

$$|y_v - y_{\bar{v}}| \leq C_v; \quad v \in \overline{1, n-1} \quad (4.5)$$

де $C_v = (2-3) \sigma_v$ - допустима похибка v -го ІВК;

σ_v — середньоквадратична похибка v -го ІВК.

Алгоритми, що використовують зв'язки між вимірюваними величинами.

Ці алгоритми широко використовують для контролю достовірності початкової інформації та діагностики часткових збоїв ІВК. При цьому зв'язки можуть бути функціональними (наприклад, рівняння матеріального та енергетичного балансу) або імовірнісними. В останньому випадку вони описуються рівняннями регресії.

Розглянемо загальну методику контролю достовірності результатів вимірювання n величин, пов'язаних m рівняннями виду

$$f_j(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0, \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (4.6)$$

Будемо вважати, що задані функції $f_j(\underline{x})$ і дисперсії σ_i^2 похибок вимірювання, які є випадковими величинами з нормальним законом розподілу і нульовим математичним очікуванням.

Рівняння (4.6) виконується лише, коли вони містять істинне значення x_i

вимірюваних величин. Якщо значення вимірюваної величини відомі з похибками Δx_i , тобто

$$\bar{x}_i = x_i + \Delta x_i,$$

$$\bar{x}_i = x_i + \Delta x_i,$$

то при їх підстановці функції $f_j(\underline{x})$ не дорівнюють нулю

$$f_j(\bar{x} + \Delta \bar{x}) = l_j, \quad (4.7)$$

де l_j - похибка виконання j -го рівняння зв'язку (4.6), викликана похибками вимірювання.

Функції $f_j(\underline{x})$ зазвичай є неперервними та диференційованими за всіма аргументами, тому їх можна розкласти на ряд Тейлора за ступенями Δx_i :

$$f_j(\bar{x} + \Delta \bar{x}) = f_i(\bar{x}) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial f_i(\bar{x})}{\partial x_i} \Delta x_i + \dots \quad (4.8)$$

Оскільки при часткових відмовах ІВК похибки Δx_i невеликі, можна не приймати до уваги нелінійні члени ряду (4.8), які містять в якості співмножників величини вищих порядків $(\Delta x)^k$, де $k = 2, 3, \dots$. Тоді з урахуванням (4.6) з (4.8) отримаємо:

$$f_j(\bar{x} + \Delta \bar{x}) \approx \sum_{i=1}^n \frac{\partial f_i(\bar{x})}{\partial x_i} \Delta x_i. \quad (4.9)$$

Підстановка рівняння (4.9) в (4.7) дає:

$$\sum_{i=1}^n a_{ji} \Delta x_i = l_j; \quad (4.10)$$

$$\text{де } a_{ji} = \frac{\partial f_i(\bar{x})}{\partial x_i} = \text{const.}$$

На практиці розрахунок параметрів a_{ji} виконують, використовуючи не істинні, а виміряні значення $\underline{x}$:

$$\tilde{a}_{ji} = \frac{\partial f_i(\bar{x} + \Delta \bar{x})}{\partial x_i}. \quad (4.11)$$

Система рівнянь

$$\sum_{i=1}^n a_{ji} \Delta x_i = l_j, j \in \overline{1, m} \quad (4.12)$$

є лінеаризованою математичною моделлю об'єкта управління або якоїсь його частини. Вона використовується для розрахунку оцінок похибок Δx_i , які використовують при контролі достовірності початкової інформації і діагностиці часткових відмов ІВК.

Метод розрахунку похибок Δx_i залежить від співвідношення між кількістю вимірюваних величин n і кількістю рівнянь зв'язку m .

При $n=m$ значення Δx_i визначають одним з чисельних методів розв'язування системи m лінійних рівнянь (4.12). При $n>m$ можна спробувати зменшити кількість обчислюваних оцінок похибок від n до m . Для цього результати вимірювань $q=n-m$ параметрів слід заздалегідь розглядати як достовірні. Якщо таке припущення справедливе, завдання зводиться до розглянутого вище варіанту.

В загальному випадку, при $n>m$ оцінки похибок Δx_i визначають, розв'язуючи оптимізаційну задачу

$$\sum_{i=1}^{n\Sigma} p_i (\Delta x_i)^2 \rightarrow \min \quad (4.13)$$

при виконанні співвідношень (4.10). Вагові коефіцієнти p_i , що дозволяють врахувати різницю в класі точності ІП, обчислюється за формулами

$$p_i = \frac{k}{\sigma_i^2}, \quad \sum_{i=1}^n p_i = 1. \quad (4.14)$$

де $k = \text{const}$, σ_i - середньоквадратична похибка i -го ІП.

Для розв'язання задачі нелінійного програмування (4.13) використовують метод невизначених множників Лагранжа. Складають функцію Лагранжа:

$$L = \sum_{i=1}^n p_i (\Delta x_i)^2 + \sum_{j=1}^m \lambda_j (\sum_{i=1}^n a_{ji} \Delta x_i - l_j),$$

де $\lambda_j = \text{const}$ - множники Лагранжа.

Для неї записують необхідні умови оптимальності $\partial L / \partial x_i = 0$ і $\partial L / \partial \lambda_j = 0$ у вигляді наступної системи $(n+m)$ рівнянь:

$$2 \sum_{i=1}^n p_i \Delta x_i + \sum_{j=1}^m \lambda_j \sum_{i=1}^n a_{ji} = 0, \quad i \in \overline{1, n}, \quad (4.15)$$

$$\sum_{i=1}^n a_{ji} \Delta x_i = l_j, j \in \overline{1, m} \quad (4.16)$$

Оцінки похибок Δx_i , що шукали, є розв'язками системи лінійних рівнянь (4.15), (4.16).

Розраховані значення оцінок похибок використовують для корекції результатів вимірювань:

$$x_i \approx \tilde{x}_i - \Delta x_i. \quad (4.17)$$

Середня квадратична похибка кореня виправлених значень змінених значень менше, ніж середня коренева квадратна похибка вимірювань ІС, а збільшення точності оцінок там тим більше, чим менше різниця $n-m$.

Приклад розрахунку

Розглянемо контроль достовірності результатів вимірювання витрат азотної кислоти, що надходить з виробництва на склад. Виробництво складається з трьох паралельно працюючих агрегатів. На виході кожного з них вимірюється витрата $q_i (i \in \underline{1,3})$ виробничої кислоти. Потім кислота потрапляє до колектору, в якому вимірюється загальна витрата q_4 . Оскільки витрати q_4 є одним з основних звітних параметрів виробництва, для його вимірювання використовують витратомір більш високого класу точності, ніж для вимірювання витрат q_1, q_2, q_3 . Вхідні дані для алгоритму контролю достовірності вихідної інформації такі:

виміряні значення параметрів: $\tilde{x}_1 = 12,1$ т/ год; $\tilde{x}_2 = 11,6$ т/ год;

$\tilde{x}_3 = 12,4$ т/год; $\tilde{x}_4 = 34,5$ т/ год;

допустима похибка виконання рівняння зв'язку: $l^* = 1,5$ т/год;

допустимі похибки вимірювання окремих параметрів: $\Delta x_1^* = \Delta x_2^* = \Delta x_3^* = 0,45$ т/ год; $\Delta x_4^* = 0,65$ т/ год;

середньоквадратичні похибки вимірювання: $\sigma_1 = 0,3$ т/ год; $\sigma_2 = 0,2$ т/ год; $\sigma_3 = 0,35$ т/ год; $\sigma_4 = 0,33$ т/ год.

Послідовність розв'язання задачі

1. Визначаємо похибку l виконання рівняння зв'язку між виміряними параметрами:

$$q_1 + q_2 + q_3 - q_4 = 0.$$

$$1 = 12, 1 + 11, 6 + 12, 4 - 34, 5 = 1,6 \text{ т/год.}$$

2. Перевіряємо виконання умови $|l_j| \leq l_j^*$. Маємо:

$$l = 1,6 \text{ т/год} > l^* = 1,5 \text{ т/год.}$$

Отже, серед результатів вимірювання $\tilde{x}_i$ є не достовірні.

3. Запишемо лінеаризовану математичну модель процесу у вигляді (4.12), для якої знайдемо числові значення коефіцієнтів

$$a_1 = \frac{\partial f(q_1)}{\partial q_1} = \frac{\partial (q_1 + q_2 + q_3 - q_4)}{\partial q_1} = 1$$

Аналогічно, $a_2 = a_2 = 1$; $a_4 = -1$

Отримуємо

$$\Delta q_1 + \Delta q_2 + \Delta q_3 - \Delta q_4 = 1,6 \text{ т/год.}$$

4. Запишемо систему рівнянь (4.15), (4.16), для чого розрахуємо спочатку вагові коефіцієнти p_i (4.14):

$$k\left(\frac{1}{\sigma_1^2} + \frac{1}{\sigma_2^2} + \frac{1}{\sigma_3^2} + \frac{1}{\sigma_4^2}\right) = 1$$

$$k\left(\frac{1}{0,3^2} + \frac{1}{0,2^2} + \frac{1}{0,35^2} + \frac{1}{0,33^2}\right) = 1$$

звідки

$$k = 0,0187; \quad p_1 = 0,208; \quad p_2 = 0,468;$$

$$p_3 = 0,153; \quad p_4 = 0,172.$$

Запис системи рівнянь (4.15), (4.16)

$$2*0,208\Delta q_1 + \lambda = 0;$$

$$2*0,468\Delta q_2 + \lambda = 0;$$

$$2*0,153\Delta q_3 + \lambda = 0;$$

$$2*0,172\Delta q_4 + \lambda = 0;$$

$$\Delta q_1 + \Delta q_2 + \Delta q_3 - \Delta q_4 = 1,6$$

5. Рішеннями системи є наступні значення оцінок похибок вимірювань:

$$\Delta q_1 = 0,399; \quad \Delta q_2 = 0,177; \quad \Delta q_3 = 0; \quad \Delta q_4 = -0,482.$$

6. Перевіряємо виконання умови $|\Delta x_i| \leq x_i^*$. Вона не виконується лише для параметра q_3 , з чого слідує висновок про часткову відмову цього вимірювального каналу.

7. За формулою (4.17) розраховуємо скориговані оцінки значень вимірюваних величин:

$$q_1 = 12,1 - 0,399 = 11,70;$$

$$q_2 = 11,6 - 0,177 = 11,423;$$

$$q_3 = 12,4 - 0,542 = 11,858;$$

$$q_4 = 34,5 + 0,482 = 34,982;$$

8. З урахуванням скоригованих значень q_i , $i \in \underline{1,4}$ перевіримо виконання умови $|l_j| \leq l_j^*$, маємо

$$11,701 + 11,423 + 11,858 - 34,982 = 0.$$

Умова $|l_j| \leq l_j^*$ повністю виконується.

Послідовність виконання роботи

Вхідні дані

Вхідні дані для виконання лабораторної роботи наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вхідні дані для розрахунків

Варіант Вхідні дані, м3/год	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\tilde{x}_1$	12,1	12,2	12,0	11,9	12,6	12,5	12,0	11,6	11,8	12,8
$\tilde{x}_2$	11,6	11,8	11,7	11,8	11,1	11,2	10,0	12,1	11,9	11,0
$\tilde{x}_3$	12,4	12,3	12,3	12,0	12,4	12,0	14,0	12,0	12,4	12,3
$\tilde{x}_4$	34,5	34,3	34,8	34,5	34,6	34,0	34,2	38,0	34,5	35,0
l^*	1,5	1,6	1,4	1,0	1,6	1,5	1,6	2,0	1,5	1,0
$\Delta x_1^* = \Delta x_2^* = \Delta x_3^*$	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Δx_4^*	0,65	0,65	0,64	0,66	0,64	0,65	0,65	0,64	0,65	0,64
σ_1	0,32	0,30	0,31	0,30	0,31	0,32	0,30	0,32	0,32	0,30
σ_2	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21	0,20	0,22
σ_3	0,36	0,35	0,35	0,36	0,35	0,36	0,36	0,35	0,35	0,36
σ_4	0,33	0,33	0,34	0,34	0,34	0,33	0,34	0,33	0,34	0,33

Хід роботи

1. Виконати перевірку вимірювального каналу на предмет часткової відмови, і у випадку необхідності виконати коригування значень (за варіантами).
2. Скласти алгоритм і програму комп'ютерного визначення достовірності вхідної інформації і корекцію результатів вимірювань.

Оформлення звіту

Звіт повинен містити: номер і найменування лабораторної роботи, мету роботи, завдання за варіантами, теоретичні положення, код програми, блок-схему алгоритму контролю достовірності вхідної інформації, результати розрахунків, діагностики і корекції результатів розрахунків, висновки.

Контрольні запитання до лабораторної роботи №4

1. Особливості алгоритмів допуску контролю параметра.
2. Яким чином працює алгоритм допуску контролю достовірності початкової інформації.
3. Особливості алгоритмів, що використовують зв'язки між вимірюваними величинами.
4. Алгоритми, що використовуються при апаратному резервуванні інформаційно-вимірювального каналу.
5. Розкажіть про алгоритм допуску контролю швидкості зміни сигналу вимірювальної інформації.

Лабораторна робота №5. Розрахунок фактичних значень вимірюваних величин у фізичних одиницях за кодами АЦП

Мета роботи: набути практичних навичок розрахунку дійсних значень вимірюваних величин (у фізичних одиницях виміру) по сигналам на вході в КОМ від датчиків з лінійними та нелінійними статистичними характеристиками.

Теоретичні відомості

Сигнал вимірюваної величини, що надходить від датчика до КОМ, перетворюється в аналого-цифровому перетворювачі в число, а точніше в двійковий код, який визначає не фактичну вимірювану величину, а величину вихідного сигналу датчика, функціонально пов'язаного з вимірюваною величиною. Для вирішення завдань контролю і управління необхідно мати не вихідний сигнал датчика, а саму вимірювану величину, виражену в фізичних одиницях виміру (°C, МПа, м³/год і т.п.).

Властивості конкретних датчиків і характер перетворень, які в них виконуються, визначають функціональну залежність між вимірюваною величиною x і вихідним сигналом датчика y .

$$y=F(x), \quad (5.1)$$

де $F(x)$ — монотонна функція, яка називається статистичною характеристикою датчика.

Завдання полягає в тому, щоб визначити вимірювану величину з вихідного сигналу датчика y , тобто знайти функцію:

$$x=F'(y)=f(y), \quad (5.2)$$

де $f(y)$ - функція, обернена статистичній характеристиці датчика, що називається її градуовальною характеристикою.

На практиці зустрічаються три основні варіанти градуовальних характеристик:

1. Лінійні, описані залежністю:

$$y=ax+b, \quad (5.3)$$

звідки

$$x=(y-b)/a, \quad (5.4)$$

де a і b - постійні коефіцієнти.

Такими характеристиками володіють, наприклад, датчики тиску, рівня, рН-метри, ротаметри, багато автоматичних газоаналізаторів, датчики хімічного складу та інші вимірювальні перетворювачі.

2. Нелінійна, описана відомою аналітичною залежністю. Типовим прикладом можуть служити витратоміри змінної різниці тисків з градуювальною характеристикою виду:

$$x = a\sqrt{y}, \quad (5.5)$$

де a - постійний коефіцієнт (якщо умови вимірювання відповідають градуювальним).

3. Нелінійні, задані градуювальною таблицею. До цієї групи відносяться, наприклад, термопара і термометри опору.

Градуювальні характеристики, задані таблицею, найчастіше апроксимуються аналітичним виразом, який в подальшому використовується для розрахунку оцінок вимірюваної величини.

Апроксимуюча функція зазвичай є многочленом степені n у вигляді:

$$x = \sum_{k=0}^n a_k y^k, \quad (5.6)$$

де a_k - коефіцієнти, що визначаються, наприклад, методом найменших квадратів, тобто з умови:

$$\sum (x_j - \sum_{k=0}^n a_k y_j^k) \rightarrow \min_{\vec{a}}. \quad (5.7)$$

У таблиці 5.1 наведені поліноми 2-го ступеня, апроксимуючі градуювальні таблиці для термопар і платинових термометрів опору двох градувань.

При розрахунку дійсних значень вимірюваних величин завдання полягає у визначенні вимірюваної величини x не за вихідним сигналом у датчика, а за кодом АЦП $K_{АЦП}$, пов'язаним зі у співвідношенням:

$$K_{АЦП} = K_M * y, \quad (5.8)$$

де K_M - масштабний коефіцієнт, числове значення якого визначається коефіцієнтом посилення нормуючого перетворювача НП і розрядністю АЦП

(рис. 5.1).

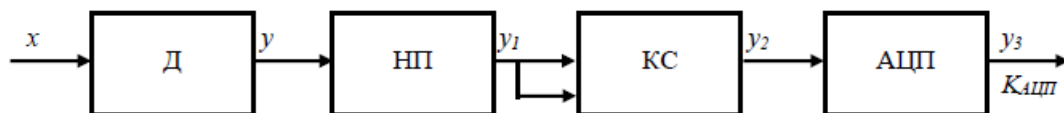


Рисунок 5.1 – Типовий вимірювальний канал АСУ ТП: Д- датчик, НП – нормуючий перетворювач, КС – комутатор сигналів, АЦП – аналогово-цифровий перетворювач.

Таблиця 5.1 – Поліноми 2-го ступеня, апроксимуючі градуювальні таблиці для термопар і платинових термометрів опору двох градуювань

Датчик	Поліном	Діапазон наближення, °C	Максимальна абсолютна похибка апроксимації, °C	Відносна похибка, %
Термопара платінородій - платина	$P2(y)=-1,47y^2+118y+17,7$	0÷1600 p.	17.69	1.1
Термопара хромель-копель	$P2(y)=-0,03p^2+13,75p+3,01$	0÷600	3.0	0.5
Термопара хромель- алюмель	$P2(y)=-0,011p^2+23,6p+4,87$	0÷1100	4.87	0.4
Платиновий термометр опору Па	$P2(y)=0,0054p^2+4,99p-41,25$	-120÷80	0.319	0.06
Платиновий термометр опору Па	$P2(y)=0,011p^2+2,34p-241,3$	-200÷500	0.303	0.06

Значення K_M легко можна визначити за формулою:

$$K_M = \frac{K_{АЦП}^{max}}{y_{min_{max}}}, \quad (5.9)$$

де $K_{АЦП}^{max}$ – максимальне значення коду АЦП, яке визначається його

розрядністю:

$$K_{АЦП}^{max} = 2^N - 1 \cong 2^N \quad (5.10)$$

де N - кількість двійкових розрядів АЦП.

y_{max} , y_{min} = відповідно максимальне і мінімальне значення сигналу вихідного сигналу датчика.

При $y_{min} = 0$ формула (5.9) набуває вигляду: $K_M = \frac{K_{АЦП}^{max}}{y_{max}}$

Розрахунок дійсних значень температур по кодам АЦП.

В якості датчика температури візьмемо, наприклад, хромель-копелеву термопару. Згідно з таблицею 5.1, градуювальна характеристика термопари ХК термопари в діапазоні $0 \div 600$ °C апроксимується поліномом другого ступеня у вигляді:

$$x = -0,03y^2 + 13,75y + 3,01, \quad (5.11)$$

де $x = \Theta$, °C - температура в об'єкті; y - термоЕРС термопари.

Згідно з (5.8) і (5.11), вихідний сигнал датчика, в нашому випадку термополіну, буде виражатися через АЦП наступним чином:

$$y = \frac{K_{АЦП}^{\Theta}}{K_M} = \frac{K_{АЦП}^{\Theta}}{K_{АЦП}^{max}} \quad (5.12)$$

Підставимо (5.12) в (5.11), отримаємо:

$$\Theta = 3.01 + 13.75 \frac{K_{АЦП}^{\Theta}}{K_{АЦП}^{max} \frac{K_{АЦП}^{\Theta}}{K_{АЦП}^{max}}} \quad (5.13)$$

Враховуючи, що:

$$y \frac{y_{1max}}{K_{НП}^{max}},$$

де y_{1max} - максимальне значення вихідного сигналу нормуючого перетворювача; $K_{НП}$ - коефіцієнт посилення нормуючого перетворювача, остаточно отримаємо:

$$\Theta = 3.01 + 13.75 \frac{y_{1max}}{K_{АЦП}^{max} \cdot K_{АЦП}^{\Theta} - 0.03 \left(\frac{y_{1max}}{K_{АЦП}^{max} \cdot K_{АЦП}^{\Theta}} \right)^2} \quad (5.14)$$

Для заданих умов $K_{АЦП}^{max}$, $K_{НП}$ и y_{1max} – постійні значення. Отже, температура

Θ визначатиметься лише поточним кодом АЦП по температурному каналу - $K_{АЦП}^{\Theta}$. На кожному такті опитування в ЕОМ надходитиме поточний код $K_{АЦП}^{\Theta}$, по якому вона, використовуючи формулу (5.15), і визначить поточне значення температури Θ в $^{\circ}\text{C}$.

Приклад. Нехай на вхід до КОМ по каналу вимірювання температури на черговому такті опитування надійшов сигнал (код АЦП), який дорівнює 768 ($K_{АЦП}^{\Theta}=768$). При цьому вимірювальний канал АСУ ТП для контролю температури реалізований у вигляді (рис. 5.2):



Рисунок 5.2 – Канал вимірювання температури

В схемі: ТЕ – хромель-копелева термопара; ТУ – нормуючий термоперетворювач Ш-705. Градування ХК. Діапазон вимірювання температури на виході 0-100 $^{\circ}\text{C}$. Вихідний сигнал 0-10 В; А/Ц – 10-розрядний аналогово-цифровий перетворювач ($K_{АЦП}^{max}=1024$).

Необхідно визначити за кодом АЦП значення температури в об'єкті в $^{\circ}\text{C}$.

Рішення. Для обчислення температури Θ використовуємо формулу (5.14).

Числові значення вхідних в неї величин:

$K_{АЦП}^{max} = 1024$ (за завданням); $y_{1max} = 10$ В (за завданням);

$$K_{НП} = \frac{y_{1max}}{y_{max}},$$

де y_{max} - максимальне значення вихідного сигналу термопари (ТЕДС) при температурі 100 $^{\circ}\text{C}$ (значення температури 100 $^{\circ}\text{C}$ також за завданням).

$y_{max} = 6,84$ МВ. Отже,

$$K_{НП} = \frac{y_{1max}}{y_{max} = \frac{10}{6,84} - 1,46}.$$

Підставляючи значення $K_{АЦП}^{max}$, y_{1max} , $K_{НП}$ і $K_{АЦП}^{\Theta}$ у формулу (5.15), отримаємо

$$\Theta = 3.01 + 13.75 \frac{10}{1024 \cdot 1.46} \cdot 768 - 0.03 \left(\frac{10}{1024 \cdot 1.46} \cdot 768 \right)^2 = 72.8^\circ\text{C}$$

Розрахунок дійсних значень тисків, рівнів та інших параметрів, вимірюваних датчиками з лінійними статичними характеристиками.

Розрахунок значень параметрів, вимірюваних датчиками і лінійними статичними характеристиками, здійснюється за такими формулами:

$$x = \frac{K_{АЦП}^x}{K_{АЦП}^{max}}; \quad (5.16)$$

$$x = \frac{K_{АЦП}^x}{K_{АЦП}^{max} \cdot \min_{min_{max}}}, \quad (5.17)$$

де x_{max} , x_{min} - відповідно верхня і нижня межі вимірювання датчика.

При $x_{min} = 0$ формула (5.17) перетворюється в (5.16).

Розрахунок дійсних значень витрат.

Розрахунок значень витрат здійснюється за такими формулами:

$$F = \sqrt{\frac{K_{АЦП}^F}{K_{АЦП}^{max}}} \quad (5.18)$$

$$F = \sqrt{\frac{K_{АЦП}^F}{K_{АЦП}^{max}}} \cdot \rho_{max} \quad (5.19)$$

де $K_{АЦП}^F$ – поточне значення коду АЦП, який надходить до КОМ по каналу вимірювання витрат;

$K_{АЦП}^{max}$ – максимальне значення коду АЦП, яке визначається його розрядністю;

F_{max} – верхня межа вимірювання датчика витрат;

$K_p = \sqrt{\rho_g / \rho_0}$ – поправочний коефіцієнт для парових потоків, які враховують відхилення умов виміру від нормальних (поправка на зміну густини технологічного потоку в залежності від тиску і температури);

ρ_g – густина технологічного потоку при робочих умовах;

ρ_0 – густина потоку при розрахункових умовах.

Для газового потоку K_p розраховується за формулою:

$$K_p = \sqrt{\frac{T_0}{P_0} \cdot \frac{P+1}{\Theta+273}}, \quad (5.20)$$

де T_0, P_0 - розрахункові температури (К) і тиск (в абсолютних одиницях);

P і Θ – поточні тиск (перевищене) і температура, $^{\circ}\text{C}$. Для насиченої пари в діапазоні тисків $2.5 - 8.5 \text{ кгс/см}^2$ щільність ρ залежить тільки від тиску:

$$\rho = 0,869 + 0,5185 \cdot P - 0,00237 \cdot P^2 \quad (5.21)$$

Встановивши номінальне значення P , за цією формулою можна обчислити ρ_0 , а потім в процесі вимірювань розрахувати фактичну густину, відповідну поточному значенню P , і внести поправку на зміну умов.

Для перегрітої пари при тиску $5-18 \text{ кгс/см}^2$ і температурі $170-280 \text{ }^{\circ}\text{C}$ густина пари є функцією тиску і температури:

$$\rho = 1,20 - 0,013\Theta + 0,72P + 0,36 \cdot 10^{-4}\Theta^2 + 0,24 \cdot 10^{-2}P^2 - 0,14 \cdot 10^{-2}\Theta P \quad (5.22)$$

Формула (5.18) використовується для розрахунку витрат рідини, а формула (5.19) – для розрахунку витрат парових і газових потоків.

Приклад. Нехай до КОМ по каналу вимірювання витрат перегрітої пари на черговому такті опитування надійшов сигнал (код АЦП), що дорівнює 512 ($K_{\text{АЦП}}^F = 512$).

В якості вимірюючого перетворювача витрати використаний дифманометр-витратомір 13Д11 на граничний номінальний перепад тиску 10 кПа і витрати $F_{\text{max}} = 630 \text{ м}^3/\text{год}$.

Оскільки вимірюється витрата перегрітої пари, то для розрахунку поправочного коефіцієнту K_p в КОМ необхідно також ввести тиск і температуру пари перед діафрагмою.

Тиск вимірюється перетворювачем тиску (манометром) типу МС-32 з межею вимірювання $0-10 \text{ кгс/см}^2$ $90-1.0 \text{ Мпа}$). По каналу вимірювання тиску на даному такті опитування до КОМ надійшов сигнал (код АЦП), що дорівнює 768 ($K_{\text{АЦП}}^P = 768$).

Температура пари вимірюється хромель-алюмелевою термопарою. У якості нормуючого перетворювача використаний термоперетворювач Ш-705,

гр.ХА. Діапазон змін температури на вході 0-400 °С. Вихідний сигнал 0-10 В. По каналу вимірювання температури на даному такті опитування до Ком надійшов сигнал (код АЦП), що дорівнює 512 ($K_{АЦП}^{\theta}=512$).

Аналого-цифрові перетворювачі по каналам витрати, тиску і температури – 10 розрядні ($K_{АЦП}^{max} = 1024$).

Необхідно визначити дійсне значення витрати.

Рішення. Для розрахунку витрати перегрітої пари використовуємо формулу (5.19).

Числові значення вхідних величин:

$K_{АЦП}^F=512$ (за завданням); $K_{АЦП}^{max} = 1024$ (за завданням);

$F_{max} = 630 \text{ м}^3/\text{год}$ (за завданням); $K_p = \sqrt{\rho_g/\rho_0}$

$\rho_0 = 3,02 \text{ кг/м}^3$ (величина, що визначається за таблицями при розрахункових тисках і температурі);

ρ_g - величина, що визначається за формулою (5.22) при тиску і температурі, що відповідають реальним умовам вимірювання.

За формулою (5.22) ρ_g є функцією тиску і температури. Тому спочатку за заданими кодами $K_{АЦП}^P=768$ і $K_{АЦП}^{\theta}=512$ визначаємо тиск і температуру в об'єкті.

Тиск. Для розрахунку значень тиску за кодом АЦП використовуємо формулу (5.16)

$$P = \frac{K_{АЦП}^P}{K_{АЦП}^{max} \frac{768}{1024_{max}}} \text{кгс/см}^2 \quad (5.23)$$

Температура пари вимірюється, як уже зазначалось, хромель-алюмелевою термопарою.

Згідно з таблицею 5.1, градуювальна характеристика ХА апроксимується наступним поліномом:

$$x = 4,87 + 23,6y + 0,011y^2 \quad (5.24)$$

де $x=\theta$, °С - температура в об'єкті; y – термоЕРС термопари.

Враховуючи (5.13) і (5.14), отримаємо:

$$\Theta = 4.87 + 23.6 \frac{y_{1max}}{K_{АЦП}^{maxHP} \cdot K_{АЦП}^{\Theta} + 0.011 \left(\frac{y_{1max}}{K_{АЦП}^{maxHP} \cdot K_{АЦП}^{\Theta}} \right)^2} \quad (5.25)$$

Числові значення величин, що входять у формулу (5.25):

$K_{АЦП}^{max} = 1024$ (за завданням); $y_{1max} = 10$ В (за завданням);

$$K_{HP} = \frac{y_{1max}}{y_{max}}.$$

де y_{max} - максимальне значення вихідного сигналу термопар (ТЕДС) при температурі 400 °С (за завданням). За градуювальними таблицями маємо $y_{max} = 16.39$. Тому:

$$K_{HP} = \frac{y_{1max}}{y_{max}} = \frac{10}{16.39} = 0.61$$

Підставляючи значення $K_{АЦП}^{\Theta}$, $K_{АЦП}^{max}$ і K_{HP} у y_{max} в (5.25), отримаємо:

$$\Theta = 4.87 + 23.6 \frac{10}{1024 \cdot 0.61} \cdot 512 + 0.011 \left(\frac{10}{1024 \cdot 0.61} \cdot 512 \right)^2 = 199.1^{\circ}\text{C}.$$

Підставляючи знайдені значення P і Θ в (5.22), знаходимо густину пари в умовах вимірювання:

$$\rho_g = 1.20 - 0.013 \cdot 199.1 + 0.72 \cdot 7.5 + 0.36 \cdot 10^{-4} \cdot 199.1^2 + 0.24 \cdot 10^{-2} \cdot 7.5^2 - 0.14 \cdot 10^{-2} \cdot 199.1 \cdot 7.5 = 3.48 \quad \text{кг/м}^3$$

Відзначимо, що при автоматичному контролі витрати за допомогою ЕОМ розрахунок ρ_g в цьому випадку буде проводитися за формулою:

$$\rho_g = \rho_g[\Theta(K_{АЦП}^{\Theta}), P(K_{АЦП}^P)],$$

де

$$\Theta(K_{АЦП}^{\Theta}) = [4.87 + 0.38 \cdot K_{АЦП}^{\Theta} + 0.03312 \cdot 10^{-6} (K_{АЦП}^{\Theta})^2];$$

$$P(K_{АЦП}^P) = 0.00976 \cdot K_{АЦП}^P$$

виходить з (5.23) і (5.25) при підстановці в них числових значень $K_{АЦП}^{max}$, y_{1max} , K_{HP} .

Знаючи ρ_0 і ρ_g , визначаємо поправочний коефіцієнт

$$K_p = \sqrt{\frac{3.48}{3.02}} = 1.07$$

Використовуючи формулу (5.19), визначаємо фактичне значення витрати:

$$F = \sqrt{\frac{512}{1024}} \cdot 630 \cdot 1.07 = 470.$$

Послідовність виконання роботи

Вхідні дані

Вхідні дані для виконання розрахунків лабораторної роботи наведені у таблицях 5.2-5.11 для кожного варіанту окремо.

Таблиця 5.2 – Варіант №1

Технологічний потік	Пара-метри потоку	Роз-ряд-ність АЦП	Код АЦП	Тип датчика, градування	Межі вимірювання	Вихідний сигнал
Перегрітий пар ($\rho_0=2,88 \text{ кг/м}^3$)	F	10	256	Дифнанометр Сапфір22ДД	$\Delta P=1000 \text{ кгс/м}^2$ (Fmax=500 м³/год)	
	P	10	768	Манометр Сапфір22ДІ	0-16 кгс/см² (0-1,6 Мпа)	
	Θ	10	512	Термоелектричний термометр ТХК.Гр.ХК Термоперетворювач нормуючий Ш-705.Гр.ХА	0-400 °С	0-10V

Таблиця 5.3 – Варіант №2

Технологічний потік	Параметри потоку	Розрядність АЦП	Код АЦП	Тип датчика, градування	Межі вимірювання	Вихідний сигнал
Перегрітий пар ($\rho_0=2,80 \text{ кг/м}^3$)	F	12	1024	Дифнанометр Сапфір22ДД	$\Delta P=1600 \text{ кгс/м}^2$ ($F_{\max}=630 \text{ м}^3/\text{год}$)	
	P	12	2048	Манометр Сапфір22ДІ	$0-25 \text{ кгс/см}^2$ ($0-2,5 \text{ Мпа}$)	
	Θ	12	3072	Термоелектричний термометр ТХК.Гр.ХК Термоперетворювач нормуючий Ш-705.Гр.ХА	$0-400 \text{ }^\circ\text{C}$	0-10В

Таблиця 5.4 – Варіант №3

Технологічний потік	Параметри потоку	Розрядність АЦП	Код АЦП	Тип датчика, градування	Межі вимірювання	Вихідний сигнал
Перегрітий пар ($\rho_0=3,02 \text{ кг/м}^3$)	F	10	512	Дифнанометр Сапфір22ДД	$\Delta P=2500 \text{ кгс/м}^2$ ($F_{\max}=800 \text{ м}^3/\text{год}$)	
	P	10	768	Манометр Сапфір22ДІ	$0-16 \text{ кгс/см}^2$ ($0-1,6 \text{ Мпа}$)	
	Θ	10	896	Термоелектричний термометр ТХК.Гр.ХК Термоперетворювач нормуючий Ш-705.Гр.ХА	$0-400 \text{ }^\circ\text{C}$	0-10В

Таблиця 5.5 – Варіант №4

Технологічний потік	Параметри потоку	Розрядність АЦП	Код АЦП	Тип датчика, градування	Межі вимірювання	Вихідний сигнал
Перегрітий пар ($\rho_0=2,80 \text{ кг/м}^3$)	F	12	1280	Дифнанометр Сапфір22ДЦ	$\Delta P=1000 \text{ кгс/м}^2$ ($F_{\max}=500 \text{ м}^3/\text{год}$)	
	P	12	3072	Манометр Сапфір22ДЦ	$0-25 \text{ кгс/см}^2$ ($0-2,5 \text{ Мпа}$)	
	Θ	12	2304	Термоелектричний термометр ТХК.Гр.ХК Термоперетворювач нормуючий Ш-705.Гр.ХА	$0-400 \text{ }^\circ\text{C}$	0-10В

Таблиця 5.6 – Варіант №5

Технологічний потік	Параметри потоку	Розрядність АЦП	Код АЦП	Тип датчика, градування	Межі вимірювання	Вихідний сигнал
Перегрітий пар ($\rho_0=3,08 \text{ кг/м}^3$)	F	10	512	Дифнанометр Сапфір22ДЦ	$\Delta P=400 \text{ кгс/м}^2$ ($F_{\max}=250 \text{ м}^3/\text{год}$)	
	P	10	768	Манометр Сапфір22ДЦ	$0-25 \text{ кгс/см}^2$ ($0-2,5 \text{ Мпа}$)	
	Θ	10	640	Термоелектричний термометр ТХК.Гр.ХК Термоперетворювач нормуючий Ш-705.Гр.ХА	$0-400 \text{ }^\circ\text{C}$	0-10В

Таблиця 5.7 – Варіант №6

Технологічний потік	Пара-метри потоку	Роз-ряд-ність АЦП	Код АЦП	Тип датчика, градування	Межі вимірювання	Вихідний сигнал
Перегрітий пар ($\rho_0=2,94 \text{ кг/м}^3$)	F	12	1536	Дифнанометр Сапфір22ДД	$\Delta P=630 \text{ кгс/м}^2$ ($F_{\max}=500 \text{ м}^3/\text{год}$)	
	P	12	3072	Манометр Сапфір22ДІ	$0-25 \text{ кгс/см}^2$ ($0-2,5 \text{ Мпа}$)	
	Θ	12	3328	Термоелектричний термометр ТХК.Гр.ХК Термоперетворювач нормуючий Ш-705.Гр.ХА	 $0-400^\circ\text{C}$	 $0-10V$

Таблиця 5.8 – Варіант №7

Технологічний потік	Пара-метри потоку	Роз-ряд-ність АЦП	Код АЦП	Тип датчика, градуювання	Межі вимірювання	Вихідний сигнал
Перегрітий пар ($\rho_0=2,90 \text{ кг/м}^3$)	F	10	320	Дифнанометр Сапфір22ДД	$\Delta P=1000 \text{ кгс/м}^2$ (Fmax=500 м³/год)	
	P	10	832	Манометр Сапфір22ДІ	0-25 кгс/см² (0-2,5 Мпа)	
	Θ	10	768	Термоелектричний термометр ТХК.Гр.ХК Термоперетворювач нормуючий Ш-705.Гр.ХА	0-400 °С	0-10V

Таблиця 5.9 – Варіант №8

Технологічний потік	Параметри потоку	Розрядність АЦП	Код АЦП	Тип датчика, градування	Межі вимірювання	Вихідний сигнал
Перегрітий пар ($\rho_0=2,96 \text{ кг/м}^3$)	F	12	1984	Дифнанометр Сапфір22ДД	$\Delta P=1600 \text{ кгс/м}^2$ ($F_{\max}=630 \text{ м}^3/\text{год}$)	
	P	12	3072	Манометр Сапфір22ДІ	$0-16 \text{ кгс/см}^2$ ($0-1,6 \text{ Мпа}$)	
	Θ	12	3328	Термоелектричний термометр ТХК.Гр.ХК Термоперетворювач нормуючий Ш-705.Гр.ХА	$0-400 \text{ }^\circ\text{C}$	0-10В

Таблиця 5.10 – Варіант №9

Технологічний потік	Параметри потоку	Розрядність АЦП	Код АЦП	Тип датчика, градування	Межі вимірювання	Вихідний сигнал
Перегрітий пар ($\rho_0=2,98 \text{ кг/м}^3$)	F	10	384	Дифнанометр Сапфір22ДД	$\Delta P=2500 \text{ кгс/м}^2$ ($F_{\max}=800 \text{ м}^3/\text{год}$)	
	P	10	896	Манометр Сапфір22ДІ	$0-16 \text{ кгс/см}^2$ ($0-1,6 \text{ Мпа}$)	
	Θ	10	768	Термоелектричний термометр ТХК.Гр.ХК Термоперетворювач нормуючий Ш-705.Гр.ХА	$0-400 \text{ }^\circ\text{C}$	0-10В

Таблиця 5.11 – Варіант №10

Технологічний потік	Пара-метри потоку	Роз-ряд-ність АЦП	Код АЦП	Тип датчика, градуювання	Межі вимірювання	Вихідний сигнал
Перегрітий пар ($\rho_0=3,02 \text{ кг/м}^3$)	F	10	448	Дифнанометр Сапфір22ДД	$\Delta P=400 \text{ кгс/м}^2$ ($F_{\max}=320 \text{ м}^3/\text{год}$)	
	P	10	960	Манометр Сапфір22ДІ	$0-16 \text{ кгс/см}^2$ ($0-1,6 \text{ Мпа}$)	
	Θ	10	832	Термоелектричний термометр ТХК.Гр.ХК Термоперетворювач нормуючий Ш-705.Гр.ХА	 0-400 °C	 0-10V

Хід роботи

1. За даними, наведеними в таблицях 5.2-5.11, розрахувати дійсне значення вимірюваних величин (тиск, температура і витрата), вимірюваних датчиками з лінійними, слаболінійними і нелінійними (квадратичними) характеристиками.

2. Скласти алгоритм та розробити комп'ютерну програму для проведення розрахунків відповідно до пункту 1.

Оформлення звіту

Звіт повинен містити: номер і найменування лабораторної роботи, мету роботи, завдання за варіантами, теоретичні положення, код програми, блок-схему, результати розрахунків дійсних значень, висновки.

Контрольні запитання до лабораторної роботи №5

1. Типовий вимірювальний канал.

2. Опишіть основні варіанти градуювальних характеристик.
3. Розкажіть про розрахунок дійсних значень витрат.
4. Розкажіть про розрахунок дійсних значень температур по кодам АЦП.
5. Розкажіть про розрахунок дійсних значень параметрів, вимірюваних датчиками з лінійними статичними характеристиками.

Лабораторна робота №6. Фільтрація вимірюваних величин від шумів

Мета роботи: освоїти методику вибору типу фільтра і розрахунку його налаштованих параметрів, що забезпечують необхідну якість фільтрації при заданих параметрах шумів; визначити похибки роботи фільтрів і визначити області їх застосовності; набути навички рішення на ЕОМ задач фільтрації випадкових процесів.

Теоретичні відомості

При автоматичному контролі велике значення має задача фільтрації вихідного сигналу датчика для виділення значення вимірюваної величини від спотворюючого її шуму, що присутні в отриманому від датчика сигналі. Наприклад, при вимірюванні витрати газу в агрегатах на корисний сигнал накладаються пульсації газового потоку, що утворюються газодувними пристроями. При вимірюванні температури матеріалу або стінки агрегату пірометром через полум'я роль шумів у вимірюваному сигналі грають коливання полум'я і т.п.

Методи фільтрації з ціллю виключення випадкової похибки вимірювання датчика засновані на гіпотезі про те, що спектр випадкового процесу $\varepsilon(t)$ містить більш високі частоти, ніж спектр корисного сигналу $x(t)$. Зовні фільтрація проявляється в тому, що реалізація процесу $z(t)$ стає більш плавною, ніж початкова реалізація $y(t)$. Звідси і друга назва цієї ж процедури - згладжування.

Схема фільтрації наведена на рисунку 6.1.

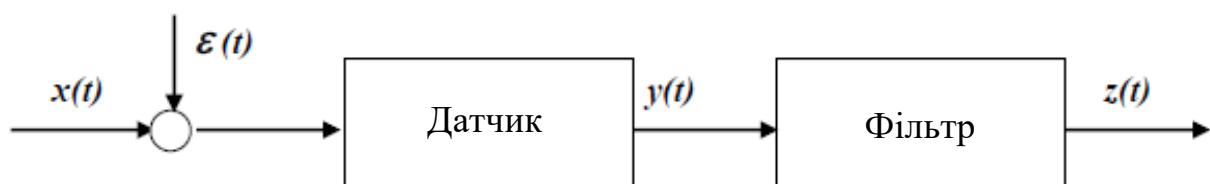


Рисунок 6.1 – Схема фільтрації

Операція фільтрації може здійснюватися апаратно, тобто за допомогою

спеціальних технічних пристроїв, або програмно на цифровій обчислювальній машині (ЦОМ), як це зазвичай відбувається в АСУ ТП.

Якість фільтрації оцінюється середнім квадратичним відхиленням сигналів $Z(t)$ та $X(t)$:

$$\sigma_{\Phi}^2 = M\{Z(t) - X(t)\}^2 \quad (6.1)$$

де M - символ математичного очікування.

Різні типи фільтрів дають різну похибку при відновленні корисного сигналу. Як правило, більш точні фільтри є більш складними пристроями, якщо вони реалізуються апаратно. Реалізація більш точного фільтра в УОМ зазвичай призводить до збільшення обсягу пам'яті, що займається фільтруючою підпрограмою і її параметрами, а також до збільшення часу роботи підпрограми. При контролі роботи установки, цеху і т.п. необхідно здійснювати фільтрацію сотень і тисяч сигналів датчиків, звідси зрозуміла важливість питання обґрунтованого вибору типу використовуваних фільтрів. Для вирішення цього питання необхідно кількісно оцінити похибку виділення корисного сигналу при використанні фільтрів різних типів і виділити області можливого застосування фільтрів, що застосовуються на практиці.

Фільтри. Алгоритми фільтрації, область застосування

Завдання побудови оптимального або близького до нього фільтра порівняльного вузького, але практично найбільш поширеного набору вхідних даних. Кореляційна функція корисного сигналу $X(t)$, що є випадковим стаціонарним процесом, апроксимується одною експонентою

$$K_X(\tau) = \sigma_X^2 e^{-\alpha(\tau)} \quad (6.2)$$

де σ_X^2 - дисперсія корисного сигналу; α - коефіцієнт експонента.

Спотворюючий сигнал шум $\varepsilon(t)$, що діє на вході датчика, також є випадковим, стаціонарним процесом, некорельованим з сигналом $X(t)$, що має нульове математичне очікування і кореляційну функцію виду

$$K_{\varepsilon}(\tau) = k\sigma_X^2 e^{-m|\tau|} \quad (6.3)$$

де k і m - коефіцієнти

Розглядається шум більш високої частоти, ніж корисний сигнал, тому

завжди $m > 1$.

У більшості конкретних випадків отримані оцінки статистичних характеристик корисного сигналу і, тим більше, шуми занадто приближені, щоб приймати для їх кореляційних функцій більш точні, ніж експоненти апроксимації, тому ці апроксимації й прийняті для подальшого аналізу.

Фільтрація методом рухомого середнього

Фільтр, який виконує згладжування по методу рухомого середнього описується наступним виразом

$$Z(t) = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t y(t) dt \quad (6.4)$$

де $y(t)$ - вхідний випадковий процес, що містить шум;

T - інтервал часу (параметр налаштування фільтра).

Похибка цього методу фільтрації визначається шляхом підстановки виразу (4) в (1). В результаті перетворення отримаємо [1]

$$\sigma_{\Phi n}^2 = \sigma_x^2 \left[1 + \frac{2^{-\alpha T}}{\alpha T} - \frac{2}{\alpha^2 T^2} (1 - e^{-\alpha T}) + \frac{2k}{\alpha m T} - \frac{2k}{\alpha^2 m^2 T^2} (1 - e^{-\alpha m T}) \right] \quad (6.5)$$

Оптимальне значення, інтервалу усереднення T знаходиться з умови мінімізації похибки фільтрації $\sigma_{\Phi n}^2$, тобто $\partial \sigma_{\Phi n}^2 / \partial T = 0$ і $\partial \sigma_{\Phi n}^2 / \partial T > 0$.

В дискретній формі алгоритм фільтрації методом рухомого середнього має вигляд:

$$Z(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} y(t - iT_0) \quad (6.6)$$

де $n=T/T_0$ - число відліків функції $y(t)$, за яким виконується усереднення;

T_0 - період опитування датчиків.

Проста для розрахунку формула (6), на жаль, достатньо великий об'єм V оперативної пам'яті КОМ для зберігання проміжних значень суми (6)

$$V = \frac{nT_0}{v} \quad (6.7)$$

де v - інтервал часу, через котрий потрібно видавати значення $Z(t)$.

Зазвичай $v \geq T_0$ і кратно йому. Найбільш поширеним є визначення значення $z(t)$ кожний період опитування датчика. В такому випадку $V=T_0$ і $V=n$ слів.

Похибка фільтруванням дискретного варіанта фільтра рухомого середнього визначається шляхом підстановки виразу (6.6), і (6.2) і (6.3) в (6.1). В результаті перетворення отримаємо

$$\sigma_{\text{фд}}^2 = \sigma_x^2 \left[1 + \frac{2 + ne^{-\alpha T_0} - ne^{\alpha T_0} - 2e^{-\alpha n T_0}}{n^2 (e^{-\alpha T_0} - 1)(e^{-\alpha T_0} - 1)} - \frac{2(1 - e^{-\alpha n T_0})}{n(1 - e^{-\alpha T_0})} + \frac{k(2 + ne^{-\alpha n T_0} - ne^{\alpha n T_0} - 2e^{-\alpha n T_0})}{n^2 (e^{-\alpha n T_0} - 1)(e^{\alpha n T_0} - 1)} \right] \quad (6.8)$$

Оптимальне значення n знаходиться з умови мінімізації похибки фільтрації $\sigma_{\text{фд}}$. Це залежить від заданих параметрів шуму k , m , α і періоду опитування T_0 .

Фільтрація методом експоненціального згладжування.

У неперервному варіанті експоненціальний фільтр являє собою елементарно реалізована елементарно реалізована одноємна ланка з передавальною функцією виду

$$W_{\text{фн}}(p) = \frac{\gamma}{\gamma + p} \quad (6.9)$$

де γ - коефіцієнт експоненціального згладжування (параметр налаштування фільтра), що обирається з умови МІНІМІЗАЦІЇ середньої квадратної похибки фільтра.

Похибка роботи фільтра визначається за формулою [6.1, 6.2]

$$\sigma_{\text{фн}}^2 = \sigma_x^2 \left[\frac{k\gamma}{\alpha m + \gamma} + \frac{\alpha}{\alpha + \gamma} \right] \quad (6.10)$$

За допомогою (6.10) можна визначити оптимальне значення параметра налаштування фільтра $\gamma_{\text{опт}}$, тобто значення, відповідне умовам

$$\frac{\partial \sigma_{\text{фн}}^2}{\partial \gamma} = 0 \quad \text{и} \quad \frac{\partial^2 \sigma_{\text{фн}}^2}{\partial \gamma^2} > 0$$

Реалізуємо експоненціальний фільтр, повинен мати $\gamma > 0$, що можливо за умови $1 / m < k \leq m$.

У дискретній формі алгоритм фільтрації за методом експоненціального згладжування являє собою рекурентним відношення виду

$$Z(t) = Z(t - T_0) + \gamma [y(t) - Z(t - T_0)], \quad (6.11)$$

де $y(t)$ - поточне вхідне значення; $Z(t - T_0)$ - значення виходу в момент попереднього опитування.

Використання відношення (6.11), незалежно від необхідного інтервалу для видачі значення $Z(t)$, дозволяє виділити тільки одне слово для зберігання проміжних значень в оперативній пам'яті КОМ.

Похибка роботи дискретного фільтра експоненціального згладжування визначається за формулою

$$\sigma_{\text{фд}}^2 = \sigma_x^2 \left[1 + \frac{\gamma [1 + (1 - \gamma)e^{-\alpha T_0}]}{(2 - \gamma)[1 - (1 - \gamma)e^{-\alpha T_0}]} + \frac{k\gamma [1 + (1 - \gamma)e^{-\alpha m T_0}]}{(2 - \gamma)[1 - (1 - \gamma)e^{-\alpha m T_0}]} - \frac{2\gamma}{1 - (1 - \gamma)e^{-\alpha m T_0}} \right] \quad (6.12)$$

При заданому періоді опитування T_0 значення параметра $\gamma_{\text{опт}}$ визначається мінімізацією похибки $\sigma_{\text{фд}}^2$ по γ .

Області застосовності фільтрів рухомого середнього експоненціального згладжування в площині параметрів k і m наведені на рис. 6.2.

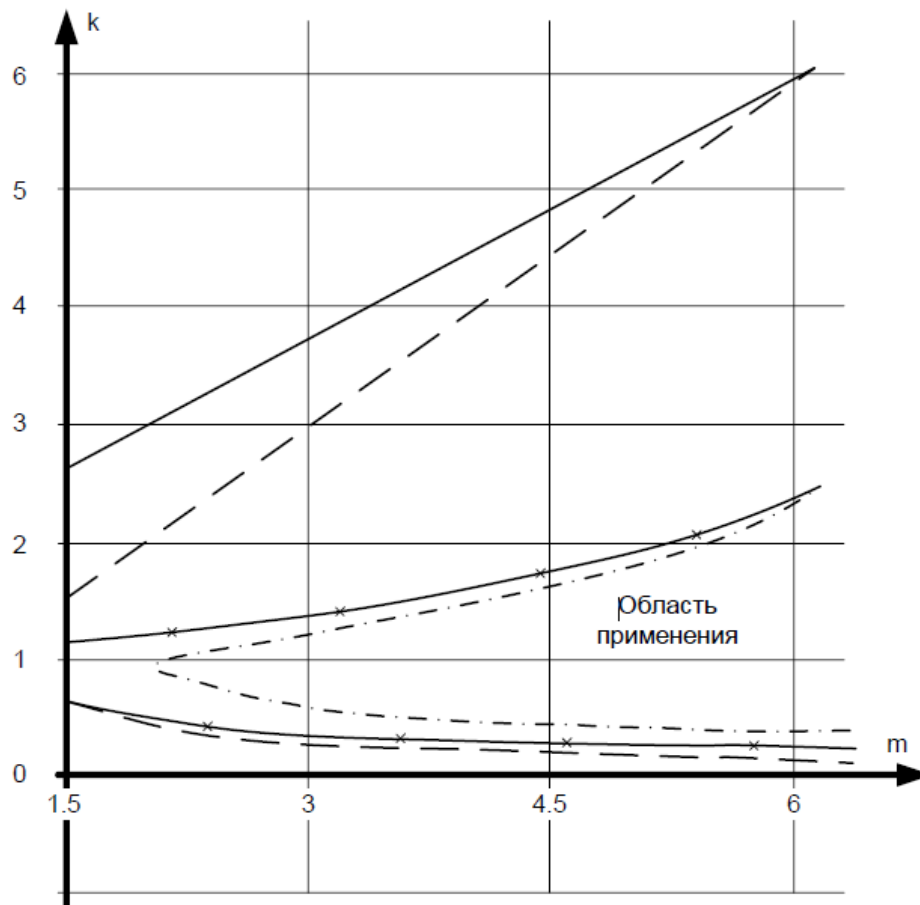


Рисунок 6.2 – Область застосування фільтрів рухомого середнього та експоненціального згладжування:

- .— Неперервне рухоме середнє
- x— Дискретне рухоме середнє
- — Неперервне експоненціальне згладжування
- Дискретне експоненціальне згладжування

Послідовність виконання роботи

Вхідні дані

1. Параметри шумів, що спотворюють корисний сигнал, тобто величини k , m , α .
2. Період опитування датчиків T_0 . Числове значення величини T_0 береться з розрахунків, проведених у лабораторній роботі 5.
3. Дисперсії корисного сигналу σ_x^2 .

Числові значення величин k , m , α та σ_x^2 зведені до таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 - Числові значення величин k , m , α та σ_x^2

Вхідні параметри		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Тепловий об'єкт	K	0,5	0,4	0,6	0,08	0,7	1,0	0,3	0,09	0,2	0,9	0,1	0,5	0,6	0,8	0,05
	m	4,6	4,0	5,2	3,8	5,8	4,5	5,6	4,9	4,2	3,0	4,3	5,0	4,5	2,6	3,2
	$\alpha = 0,28 \text{ хв}^{-1}; \sigma_x^2 = 47,5$															
Об'єкт регулювання тиску	K	0,6	0,8	0,05	0,09	0,2	0,4	1,0	0,7	0,8	1,0	0,4	0,06	0,9	0,5	0,08
	m	4,4	5,5	4,3	4,5	4,8	5,0	6,0	5,1	3,3	3,6	5,2	5,8	3,7	4,0	4,2
	$\alpha = 3,2 \text{ хв}^{-1}; \sigma_x^2 = 24,0$															

Примітка: Розрахунки оптимальних значень налаштованих параметрів фільтрів і похибок їх роботи доцільно проводити на ЕОМ. Алгоритми і програми розрахунку на ЕОМ оптимальних налаштованих параметрів фільтрів і похибок їх роботи наведені в додатку.

Хід роботи

1. За діаграмами $k = k(m)$, показаних на рисунку 6.2, обрати тип фільтру, що забезпечує необхідну якість фільтрації при заданих параметрах шумів.
2. Використовуючи формули (6.5), (6.8), (6.10) і (6.12) з умов

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_{\text{фн}}^2}{\partial \Gamma} = 0 & \frac{\partial^2 \sigma_{\text{фн}}^2}{\partial \Gamma^2} > 0 \\ \frac{\partial \sigma_{\text{фд}}^2}{\partial n} = 0 & \frac{\partial^2 \sigma_{\text{фд}}^2}{\partial n^2} > 0 \end{cases}$$

для фільтру типу рухомого середнього

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_{\text{фн}}^2}{\partial \gamma} = 0 & \frac{\partial^2 \sigma_{\text{фн}}^2}{\partial \gamma^2} > 0 \\ \frac{\partial \sigma_{\text{фд}}^2}{\partial \gamma} = 0 & \frac{\partial^2 \sigma_{\text{фд}}^2}{\partial \gamma^2} > 0 \end{cases}$$

для фільтру експоненціального згладжування визначити оптимальні значення налаштованих параметрів фільтра:

- для фільтра типу рухомого середнього $T_{\text{опт}}$ (неперервний варіант) і $P_{\text{опт}}$ (дискретний варіант);

- для фільтра експоненціального згладжування (неперервний і дискретний варіанти) величини $\gamma_{\text{опт}}^H$

3. Підставляючи значення $T_{\text{опт}}$ в (6.5), $P_{\text{опт}}$ в (6.8), $\gamma_{\text{опт}}^H$ в (6.10) і $\gamma_{\text{опт}}^D$ в (6.12), знайти мінімальні значення середніх квадратичних похибок роботи фільтрів.

4. Порівняти величині похибок неперервного і дискретного варіантів фільтрів і фільтрів рухомого середнього і експоненціального згладжування між собою.

Зробити висновки про точність роботи і областях можливого застосування розглянутих типів фільтрів.

Оформлення звіту

Звіт повинен містити: номер і назву лабораторної роботи, мету роботи, завдання по варіантам, теоретичні положення, код програм, блок-схему, результати розрахунків, висновки.

Контрольні запитання до лабораторної роботи №6

1. Навіщо необхідна фільтрації вихідного сигналу датчика?
2. Як визначається якість фільтрації?
3. Які ви знаєте методи фільтрації, їх області застосування?
4. Розкажіть про фільтрацію методом рухомого середнього
5. Розкажіть про фільтрацію методом експоненціального згладжування.

Додаток до лабораторної роботи №6

Алгоритми розрахунку на ЕОМ оптимальних налаштованих параметрів фільтрів і похибок їх роботи

Фільтрація методом рухомого середнього

Неперервний варіант

1. Використовуючи формулу (6Д.1) знаходимо похідну

Маємо

$$\frac{\partial \sigma_{\text{фн}}^2}{\partial T} = 0 \quad (6Д.1)$$

2. Розв'язуємо рівняння (6Д.2) і знаходимо величину $T = T_{\text{опт}}$

Розв'язок рівняння (6Д.2) здійснюємо чисельним шляхом з використанням методу половинного ділення.

$$m^2 e^{-\alpha T} (-4\alpha T - 2\alpha^2 T^2 - 4) + 4m^2 - 2kT \cdot \alpha m - 2kT m e^{-\alpha m T} + 4k - 4k e^{-\alpha m T} = 0 \quad (6Д.2)$$

Сутність методу половинного ділення полягає в наступному. Якщо на інтервалі $[B, C]$ (див. рис. 6Д.1) відокремлений корінь будь-яким математичним методом), тобто функція на кінцях відрізка BC має різні знаки, то функція $f(x)$ обов'язково перетне даний відрізок в точці O , де $f(x)=0$, значення T , що забезпечує виконання умови $f(x) = 0$ і буде коренем рівняння (6Д.2).

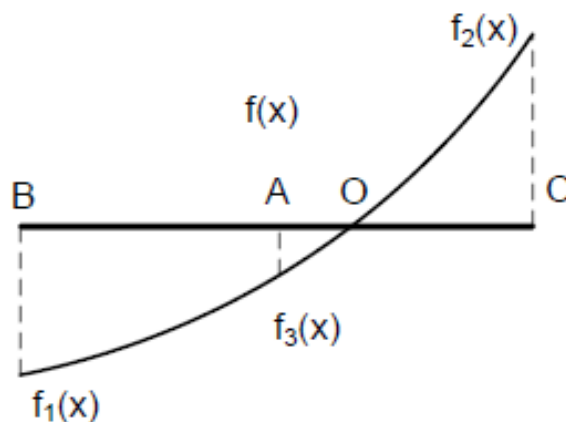


Рисунок 6Д.1 – Графічна інтерпретація методу половинного ділення

Для розв'язання рівняння (6Д.2) виконуємо наступні дії.

2.1. Визначаємо значення функції $f(x)$ на кінцях відрізка ВС, тобто при $T_1=B$ і $T_2=C$ (значення $f_1(x)$ і $f_2(x)$) і в середині відрізка, тобто при $T_3=D=(B+C)/2$ (значення $f_3(x)$).

2.2. Якщо виявиться, що значення функції $f_3(x)$ точки Д за абсолютною величиною менше або дорівнює наперед заданому числу Σ , то T_3 буде коренем рівняння (6Д.2).

2.3. При невиконанні умови для пункту 2.2, аналізуємо знаки функцій $f_1(x)$ і $f_3(x)$. Якщо вони мають однакові ознаки, то зрозуміло, що кореня на відрізку ВД немає. Тому пошук кореня необхідно продовжувати на відрізку ДС. В цьому випадку в якості лівої межі приймаємо значення $B=D$ з попереднього циклу обчислення, а праву межу залишаємо такою ж.

2.4. Якщо функції $f_1(x)$ та $f_3(x)$ мають різні знаки, то пошук кореня будемо здійснювати на відрізку ВД. Тоді ліву межу залишаємо такою ж, а праву приймаємо рівною $C=D$ з попереднього циклу розрахунку.

Аналогічно робимо і при подальшому уточненні значення T . Таким чином, звужуючи відрізок ВС визначається значення кореня рівняння (6Д.2) з будь-якою наперед заданою точністю ε

3. Критерієм завершення розрахунків є виконання умови

$$ABS \quad f(x) \leq \varepsilon$$

Величина ε визначає точність розрахунків і задається перед початком виконання роботи.

4. За рівнянням (6Д.2) при $T=T_{\text{опт}}$ визначаємо середню квадратичну похибку роботи фільтра.

Таблиця 6Д.1 – Список змінних та позначення у програмі "Фільтрація 5"

Змінні	K	m	α	σ_x^2	T_0	T
Позначення у програмі	K	M	A	S	L	T

$$P[1] = m^2 e^{-\alpha T} (4\alpha T - 2\alpha^2 T^2 - 4);$$

$$P[2] = 4m^2 + 4K(1 - e^{-\alpha m T});$$

$$P[3] = 2K\alpha m T(1 + e^{-\alpha m T});$$

$$R[1] = 2e^{-\alpha T} / \alpha T;$$

$$R[2] = (2/\alpha^2 T^2)(1 - e^{-\alpha T});$$

$$R[3] = 2K/\alpha m T;$$

$$R[4] = (2K/\alpha^2 m^2 T^2)(1 - e^{-\alpha T}).$$

Дискретна версія

1. Використовуючи формулу (6Д.3), знаходимо похідну

$$\frac{\partial \sigma_{\text{фл}}^2}{\partial n} = 0 \quad (6Д.3)$$

Маємо

$$f_1(n) - f_2(n) + f_3(n) = 0 \quad (6Д.4)$$

де

$$f_1(n) = (1 - e^{-\alpha T_0})(e^{-\alpha m T_0} - 1)(e^{\alpha m T_0} - 1) \cdot (2n^2 \alpha T_0 e^{-\alpha n T_0} + 4n e^{-\alpha n T_0} - n^2 e^{-\alpha T_0} + n^2 e^{\alpha T_0} - 4n)$$

$$f_2(n) = 2n^2 (e^{-\alpha T_0} - 1)(e^{\alpha T_0} - 1)(e^{-\alpha m T_0} - 1) \cdot (n \alpha T_0 e^{-\alpha n T_0} - 1 + e^{-\alpha n T_0});$$

$$f_3(n) = K(e^{-\alpha T_0} - 1)(e^{\alpha T_0} - 1)(1 - e^{-\alpha T_0}) \cdot$$

$$\cdot (2n^2 \alpha m T_0 e^{-\alpha m n T_0} - 4n - n^2 e^{-\alpha m T_0} + n^2 e^{\alpha m T_0} + 4n e^{-\alpha m n T_0});$$

2. Розв'язуємо рівняння (6Д.4) методом половинного ділення за описаним вище алгоритмом і знаходимо значення $n = n_{\text{опт}}$

3. За рівнянням (6Д.4) при $n = n_{\text{опт}}$ визначаємо середню квадратичну похибку роботи фільтра.

Таблиця 6Д.2 – Список змінних і символів в програмі "Фільтрація 8"

Змінні	K	m	α	σ_x^2	T_0	n
Позначення у програмі	K	M	A	S	L	T

$$P[1] = e^{-\alpha m T_0} ;$$

$$P[2] = e^{-\alpha T_0} ;$$

$$P[3] = e^{\alpha T_0} ;$$

$$P[4] = e^{-\alpha m n T_0} ;$$

$$P[5] = e^{-\alpha m T_0} ;$$

$$P[6] = e^{\alpha m T_0} ;$$

$$Q[1] = (1 - e^{-\alpha T_0})(e^{-\alpha m T_0} - 1)(e^{\alpha m T_0} - 1) ;$$

$$Q[2] = 2(e^{-\alpha T_0} - 1)(e^{\alpha T_0} - 1)(e^{-\alpha m T_0} - 1) ;$$

$$Q[3] = K(e^{-\alpha T_0} - 1)(e^{\alpha T_0} - 1)(1 - e^{-\alpha T_0}) .$$

Фільтрація методом експоненціального згладжування

Неперервний варіант

1. Використовуючи формулу (6Д.5), знаходимо похідну

$$\frac{\partial \sigma_{\text{фн}}^2}{\partial \gamma} = 0 \quad (6Д.5)$$

$$K \alpha m (\alpha + \gamma)^2 - \alpha (\alpha m + \gamma)^2 = 0 \quad (6Д.6)$$

2. Розв'язуємо рівняння (6Д.6) методом половинного ділення за описаним вище алгоритмом і знаходимо значення $\gamma = \gamma_{\text{опт}}$

3. За рівнянням (6Д.5) при $\gamma = \gamma_{\text{опт}}$, визначимо середню квадратичну похибку роботи фільтра експоненціального згладжування.

Таблиця 6Д.3 – Список змінних і символів в програмі "Фільтрація 8"

Змінні	K	m	α	σ_x^2	γ
Позначення у програмі	K	M	A	S	T

Дискретний варіант

1. Використовуючи формулу (6Д.7), знаходимо похідну

$$\frac{\partial \sigma_{\text{фд}}^2}{\partial \gamma} = 0 \quad (6Д.7)$$

Маємо

$$f_1(\gamma) + f_2(\gamma) - f_3(\gamma) = 0 \quad (6Д.8)$$

де

$$f_1(\gamma) = \frac{1}{\left\{ (2-\gamma) \left[1 - (1-\gamma)e^{-\alpha T_0} \right] \right\}^2} \left\{ \left[1 + (1-\gamma) \cdot e^{-\alpha T_0} \right] - \gamma e^{-\alpha T_0} \right\} (2-\gamma) ;$$

$$\left[1 - (1-\gamma)e^{-\alpha T_0} \right] - \gamma \left[1 + (1-\gamma)e^{-\alpha T_0} \right] \left\{ \left[(1-\gamma)e^{-\alpha T_0} - 1 \right] + (2-\gamma)e^{-\alpha T_0} \right\}$$

$$f_2(\gamma) = \frac{1}{\left\{ (2-\gamma) \left[1 - (1-\gamma)e^{-\alpha m T_0} \right] \right\}^2} \left\{ \kappa \left[1 + (1-\gamma) \cdot e^{-\alpha m T_0} \right] - \kappa \gamma e^{-\alpha m T_0} \right\} (2-\gamma)$$

$$\left[1 - (1-\gamma)e^{-\alpha m T_0} \right] - \kappa \gamma \left[1 + (1-\gamma)e^{-\alpha m T_0} \right] \left\{ \left[(1-\gamma)e^{-\alpha m T_0} - 1 \right] + (2-\gamma)e^{-\alpha m T_0} \right\}$$

$$f_3(\gamma) = \frac{2 \left[1 - (1-\gamma)e^{-\alpha T_0} \right] - 2\gamma e^{-\alpha T_0}}{\left[1 - (1-\gamma)e^{-\alpha T_0} \right]^2} .$$

2. Розв'язуємо рівняння (6Д.8) шляхом половинного ділення; за описаним вище алгоритмом знаходимо властивість $\gamma = \gamma_{\text{опт}}$

3. За рівнянням (6Д.7) при $\gamma = \gamma_{\text{опт}}$, визначаємо середню квадратичну похибку роботи фільтра експоненціального згладжування.

Таблиця 6Д.4 – Список змінних і символів в програмі "Фільтрація 8"

Змінні	K	m	α	σ_x^2	T_0	γ
Позначення у програмі	K	M	A	S	L	T

$$P[1] = (1 - \gamma)e^{-\alpha T_0};$$

$$P[2] = 1 - (1 - \gamma)e^{-\alpha T_0};$$

$$P[3] = e^{-\alpha T_0}$$

$$P[4] = (1 - \gamma)e^{-\alpha m T_0};$$

$$P[5] = 1 - (1 - \gamma)e^{-\alpha m T_0};$$

$$P[6] = e^{-\alpha m T_0}.$$

Примітка: Для доведення того, що при знайдених оптимальних значеннях налаштованих параметрів фільтрів має місце мінімум функції σ_Φ^2 , необхідно визначати значення других похідних σ_Φ^2 (див. пункт 2 розділ “Зміст і порядок виконання лабораторної роботи”).

Можна також дослідити поведінку самої функції σ_Φ^2 при змінах аргумента на заданому інтервалі або дослідити знак похідної функції σ_Φ^2 поблизу точки $X=a$ (див. рис. 6Д.2).

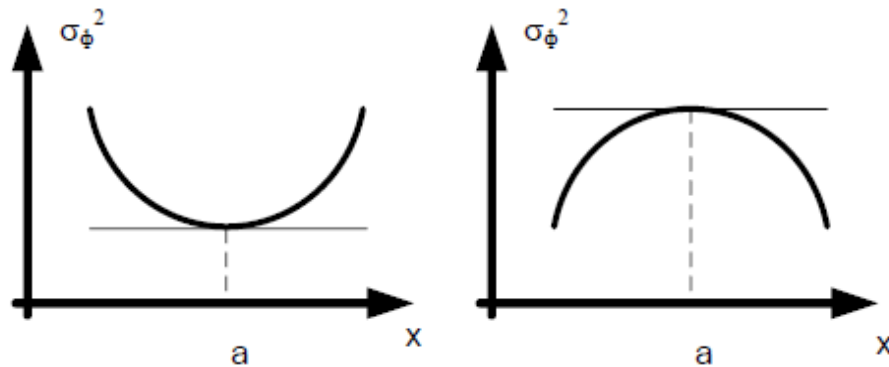


Рисунок 6Д.2 – Графіки функції $\sigma_\Phi^2 = \sigma_\Phi^2(x)$ $x=a$ оптимальне значення параметра налаштування фільтра

Якщо при $x \leq a$ $(\sigma_\Phi^2)' < 0$, а при $x > a$ $(\sigma_\Phi^2)' > 0$, то точка $x = a$ є точкою мінімуму (рис. 6Д.2а).

Якщо при $x < a$ $(\sigma_\Phi^2)' > 0$, а при $x > a$ $(\sigma_\Phi^2)' < 0$, то точка $x = a$ є точкою максимуму (рис. 6Д.2б).

Лабораторна робота №7. Корекція показань датчика при відхиленні умов вимірювання від норми

Мета роботи: ознайомитись з алгоритмами корекції показань датчиків при відхиленні умов вимірювання від нормальних; освоїти методики розрахунку поправки для конкретних датчиків (витратомір, термомір, гідростатичних рівнемірів).

Теоретичні відомості

Точність роботи переважної більшості датчиків залежить від діапазону коливань параметрів навколишнього середовища датчика: температури, тиску, вологості та ін. Комп'ютери, що використовуються при автоматизації технологічних процесів, дозволяють врахувати коливання параметрів і внести в результати вимірювань відповідні корективи.

Корекція показань витратомірів.

При використанні дросельних витратомірів залежність шуканої витрати речовини від перепаду тиску є аж ніяк не однозначна. В цілому витрати речовини визначаються, крім перепаду тиску ще температурою речовини, тиском, густиною, властивостями матеріалу, з якого виготовлена діафрагма і т.п.

Отже, для визначення витрати речовини в трубопроводі необхідно виміряти ще дві величини, а саме, тиск і температуру речовини до діафрагми і провести певну розрахункову обробку (рис. 7.1) (при вимірюванні витрати насиченої пари потрібно вимірювати крім перепаду тиску тільки одне значення - тиск пари до діафрагми).

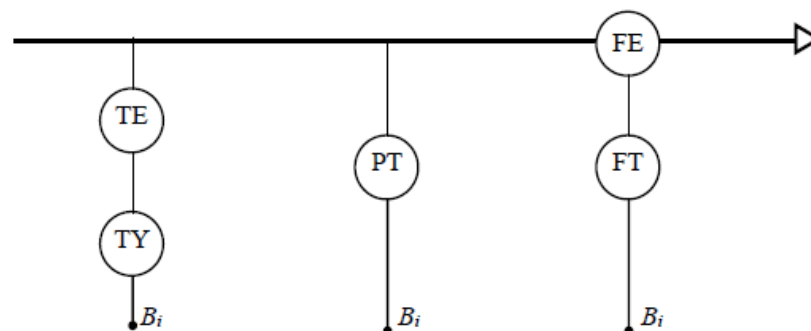


Рисунок 7.1 – Функціональна схема автоматизації контролю витрати речовини

Розрахунок значень скоригованих витрат здійснюється за формулою:

$$F^* = K_\rho \cdot F, \quad (7.1)$$

де F - показання витратомірів;

K_ρ - поправочний коефіцієнт.

Значення K_ρ обчислюється за такими формулами:

$$K_\rho = \sqrt{\rho_g / \rho_0}; \quad (7.2)$$

$$K_\rho = \sqrt{K \frac{P+1}{\Theta+273}}; \quad (7.3)$$

$$K = \frac{T_0}{P_0}, \quad (7.4)$$

Де ρ_0 - густина технологічного потоку за розрахункових умовах;

ρ_g - густина технологічного потоку в реальних умовах вимірювання;

T_0, P_0 – розрахункові температура (К) та тиск (ата);

P і Θ - тиск та температура в реальних умовах вимірювання.

Формула (7.2) використовується для парових, а формула (7.3) - для потоків газу.

Густина технологічного потоку (пара, газ) в робочому стані в загальному випадку може бути дана у вигляді полінома від P і Θ . Наприклад, густина насиченої пари залежить від абсолютного тиску P_a і в діапазоні 2.5 – 8.2 кгс/см² описується таким рівнянням:

$$\rho = 0.869 + 0.518 \cdot P_a - 0.002375 \cdot P_a^2. \quad (7.5)$$

Густина перегрітої пари залежить не лише від тиску, але і від температури.

Для тисків 5-18 кгс/см² і температур 170-280 °С така залежність має вигляд:

$$\rho_g = 1.20 - 0.013 \cdot \Theta + 0.72 \cdot P_a + 0.36 \cdot 10^{-4} \cdot \Theta^2 + 0.24 \cdot 10^{-2} \cdot P_a^2 - 0.14 \cdot 10^{-2} \cdot \Theta \cdot P_a \quad (7.6)$$

У АСУ ТП значення витрати F^* парових та газових потоків визначається за формулою:

$$F^* = \rho_{max} \sqrt{\frac{K_{АЦП}^F}{K_{АЦП}^{max}}} \quad (7.7)$$

де $K_{АЦП}^F$ – поточне значення коду АЦП за витратою, який надходить га вхід до КОМ на черговому такті опитування;

$K_{АЦП}^{max}$ – максимальне значення коду АЦП, яке визначається його розрядністю;

F_{max} – верхня межа вимірювання датчика витрат;

K_p - визначається за формулами (7.2) або (7.3).

Введення поправки на температуру вільних кінців термопари.

У АСУ ТП введення поправки на температуру вільних кінців термопари здійснюється за алгоритмом

$$z = z_{p.k.} + R z_{c.k.} (\alpha + z_{c.k.}) \quad (7.8)$$

де z - код АЦП, що відповідає дійсному значенню температури в об'єкті (з урахуванням поправки на температуру вільних кінців);

$z_{p.k.}$ - код АЦП, що відповідає різниці температур робочого і вільного кінців термопари;

$z_{c.k.}$ - код АЦП, що відповідає температурі вільних кінців термопари;

R і α - коефіцієнти, що залежать від градуювання термопари і меж вимірювань.

Для введення поправки на температуру вільних кінців часто використовують лінійне наближення формули (7.8) у вигляді:

$$z = z_{p.k.} + a \cdot z_{c.k.} \quad (7.9)$$

де $a = \alpha \cdot R$

При цьому помилка апроксимації в діапазоні вимірюваних температур до 100 °С не перевищує 1.0%

Значення коефіцієнта a можна визначити з градуювальних таблиць для відповідного термоелектричного перетворювача і заданого температурного діапазону.

Для вираження ТЕДС в кодах АЦП необхідно їх табличні значення віднести до значення ТЕДС, яке буде мати місце при крайньому правому значенні діапазону апроксимації, а потім отримане відносне значення ТЕДС помножити на максимальне значення коду АЦП, яке визначається його розрядністю.

Корекція показань гідростатичних рівнемірів.

Гідростатичний рівнемір рідини перетворює значення вимірюваного рівня L в перепад тисків ΔP між точками відбору імпульсів (в найнижчій точці апарату і над рівнем рідини):

$$\Delta P = K_1 \rho L \quad (7.10)$$

де ρ - густина рідини, кг/м³;

L - рівень рідини, м;

K_1 – масштабний коефіцієнт, що залежить від вибору одиниць вимірювання величини (наприклад, якщо ΔP виражений в МПа, то $K_1=10^{-5}$).

Перепад ΔP лінійно перетворюється дифманометром в стандартний електричний сигнал y (0-5 мА, 0-10 В). Таким чином матимемо:

$$y = K_1 K_2 \rho L \quad (7.11)$$

де $K_2 = y^*/\Delta P^*$ - коефіцієнт посилення дифманометра;

y^* - значення вихідного сигналу дифманометра, що відповідає верхній межі вимірювання ΔP^* (для спрощення припускаємо, що нижньою межею вимірювань є нулі).

З (7.11) отримуємо вираз для визначення рівня рідини в апараті по вихідному сигналу датчика (градувальну характеристику):

$$L = \frac{y}{K_1 K_2 \rho} \quad (7.12)$$

Однак визначити точне значення рівня рідини в апараті по вихідному сигналу y датчика, використовуючи формулу (7.12), неможливо через те, що густина рідини ρ залежить від її температури і залежність $L=L(y)$ неоднозначна.

Залежність густини ρ від температури при відносно невеликих температурних відхиленнях $\cup$ від її номінального (градуювального) значення $\cup_0$ описується виразом:

$$\rho = \rho_0[1 + \beta(\Theta_0 - \Theta)], \quad (7.13)$$

де ρ_0 - густина рідини при температурі Θ_0 ;

β – температурний коефіцієнт об’ємного розширення.

З урахуванням (7.13) формула (7.12) буде записана як:

$$L = \frac{y}{K_1 K_2 \rho_0} \cdot K_\rho, \quad (7.14)$$

де $K_\rho = \frac{1}{1 + \beta(\Theta_0 - \Theta)}$ - поправочний коефіцієнт, що враховує вплив зміни густини при коливаннях температури на результат вимірювань.

Враховуючи те, що $K_2 = y^* / \Delta P^*$:

$$\frac{y}{y^*} = \frac{K_{\text{АЦП}}^L}{K_{\text{АЦП}}^{\text{max}}} \quad \text{и} \quad \frac{\Delta P^*}{K_1 \rho_0} = L_{\text{max}},$$

отримаємо

$$L = \frac{K_{\text{АЦП}}^L}{K_{\text{АЦП}}^{\text{max}} \rho_{\text{max}}} \quad (7.15)$$

де L_{max} - верхня межа вимірювання рівня дифманометром-рівнеміром.

Так, на кожному такті опитування ЕОМ по температурі рідини в реальних умовах визначає величину K , і далі за формулою (7.15) скориговане значення рівня L .

Послідовність виконання роботи

Вхідні дані

1. Для розрахунку скоригованих значень витрат дані брати з таблиці 7.1 за індивідуальним номером завдання.
2. Дані для розрахунку скоригованого значення рівня зазначено в таблиці 7.2.

Таблиця 7.1 – Вхідні дані для розрахунку скоригованих значень витрат

Технологічний потік	Параметри тех. потоку в робочому стані		Розрахункові значення параметра		Густина тех. потоку в проектних умовах, γ_0 , кг/м ³	$K_{АЦП}^F$	$K_{АЦП}^{max}$	F_{max} , м ³ /год
	P, кгс/см ²	ϖ , °C	P ₀ , ата	T ₀ , К				
Завдання 1								
Насичений пар	3.2	-	-	-	1.96	320	1024	630
Газ	3.0	120	2.0	293	-	384	1024	500
Перегрітий пар	14	210	-	-	2.84	448	1024	320
Завдання 2								
Насичений пар	3.6	-	-	-	1.8	136	4096	400
Газ	2.5	160	2.0	293	-	1920	4096	800
Перегрітий пар	16	240	-	-	3.0	1056	4096	630
Завдання 3								
Насичений пар	4.0	-	-	-	1.96	384	1024	250
Газ	3.6	160	2.0	293	-	320	1024	160
Перегрітий пар	12	200	-	-	2.76	256	1024	400
Завдання 4								
Насичений пар	3.4	-	-	-	1.96	430	1024	200
Газ	4.0	200	2.0	293	-	320	1024	500
Перегрітий пар	15	220	-	-	2.90	384	1024	630
Завдання 5								
Насичений пар	6.0	-	-	-	2.2	256	1024	250
Газ	3.2	220	2.0	293	-	1024	4096	800
Перегрітий пар	16	250	-	-	3.02	228	1024	630
Завдання 6								
Насичений пар	5.5	-	-	-	2.7	320	1024	630
Газ	4.0	230	2.0	293	-	448	1024	125
Перегрітий пар	15	240	-	-	3.00	228	1024	1000
Завдання 7								
Насичений пар	5.0	-	-	-	2.5	384	1024	500
Газ	4.6	240	2.0	293	-	1536	4096	630

Перегрітий пар	10	230	-	-	3.00	283	1024	800
Завдання 8								
Насичений пар	5.2	-	-	-	2.6	288	1024	630
Газ	4.0	260	2.0	293	-	384	1024	1250
Перегрітий пар	8.0	240	-	-	3.2	1588	4096	800
Завдання 9								
Насичений пар	3.8	-	-	-	2.06	352	1024	800
Газ	3.6	220	2.0	293	-	1984	4096	1600
Перегрітий пар	12	240	-	-	3.05	336	1024	630
Завдання 10								
Насичений пар	6.2	-	-	-	2.60	368	1024	4000
Газ	3.9	250	2.0	293	-	256	1024	630
Перегрітий пар	10	250	-	-	3.04	1952	4096	800

Таблиця 7.2 – Вхідні дані для розрахунку скоригованого значення рівня

Густина рідини ρ_0 , кг/м ³	Відхилення температури від градууювального значення, $\Delta\Theta=\Theta_0-\Theta$	Температурний коефіцієнт об'ємного розширення, β , (°C) ⁻¹	$K_{АЦП}^L$	$K_{АЦП}^{max}$	Граничний номінальний перепад тиску дифманометра-рівнеміра ΔP^* , кгс/м ²
1000	10	0.005	512	1024	4000
1000	20	0.004	768	1024	6300
1000	15	0.004	896	1024	2500
1000	25	0.004	736	1024	8000
1000	30	0.0035	3072	4096	6300
1000	20	0.005	3104	4096	8000
1000	10	0.005	2560	4096	4000
1000	25	0.004	3072	4096	2500
1000	20	0.005	896	1024	6300
1000	15	0.005	768	1024	8000
1000	20	0.004	800	1024	4000
1000	25	0.004	736	1024	6300

Хід роботи

1. Виконати корекцію показань датчиків при відхиленні умов вимірювання від нормальних, для значень витрати і рівня (за варіантами).
2. Скласти алгоритм та розробити комп'ютерну програму для проведення розрахунків відповідно до пункту 1.

Оформлення звіту

Звіт повинен містити: номер і назву лабораторної роботи, мету роботи, завдання за варіантами, теоретичні положення, код програми, блок-схему програми, результати обчислень, висновки.

Контрольні запитання до лабораторної роботи №7

1. Навіщо робити корекцію показань датчиків?
2. Що необхідно враховувати при корекції показань витратомірів?
3. Опишіть алгоритм введення поправки на температуру вільних кінців термопар.
4. Що необхідно враховувати при корекції показань гідростатичних рівнемірів?

Список використаної та рекомендованої літератури

1. Кисельов Ю.Є., Бунь В.П., Баган Т.Г. Проектування систем автоматизації: конспект лекцій для студентів спеціальності «Автоматизація технологічних процесів». Київ НТУУ «КПІ», 2002. 52 с.
2. Великий В.І. Мікропроцесорні системи в САУ: курс лекцій для студентів вищих навчальних закладів. Одеса: Наука і техніка, 2006. 192 с.
3. Контроль та автоматичне регулювання хіміко-технологічних процесів: навч. посіб. / Л.П. Ларичева, М.Д. Волошин, О.П. Луценко. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2015. 320 с.
4. Математичні методи моделювання : навчальний посібник / О. П. Чорний, В. К. Титюк, Н. М. Істоміна та ін. ; заг. ред. О. П. Чорний. Кременчук : ПП Щербатих О. В., 2016. 232 с.
5. Сусліков Л.М., Студеняк І.П. Метрологія та вимірювання: навч. посіб. Ужгород: Видавництво УжНУ, 2014. 292 с.
6. Сусліков Л.М., Студеняк І.П. Первинні вимірювальні перетворювачі фізичних величин: навч. посіб. Ужгород: Видавництво УжНУ, 2018. 311 с.
7. Коваль А. О. Динамічні характеристики засобів вимірювальної техніки: конспект лекцій. Харків, 2018. 58 с.

Навчальне видання

**Сліпченко Володимир Георгійович
Полягушко Любов Григорівна
Круш Ольга Євгенівна**

**Апаратно-програмні засоби
збору та обробки
екологічної інформації
Лабораторний практикум**

В авторській редакції

Верстання А. Мушинського

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Свідцтво про державну реєстрацію: серія ДК № 5354 від 25.05.2017 р.
просп. Берестейський, 37, м. Київ, 03056

Підп. до друку 14.06.2023. Формат 60×84^{1/16}. Папір офс. Гарнітура Times.
Спосіб друку – електрографічний. Ум. друк. арк. 4,88. Обл.-вид. арк. 5,02.
Поз. 23-2-4-002. Наклад 20 пр. Зам. № 23-043.

Видавництво «Політехніка» КПІ ім. Ігоря Сікорського
вул. Політехнічна, 14, корп. 15
03056, м. Київ
тел. (044) 204-81-78