

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та  
природокористування

Навчально-науковий інститут будівництва та архітектури  
Кафедра водопостачання, водовідведення та бурової справи

**03-06-165М**

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до лабораторних робіт та самостійної роботи  
з навчальної дисципліни «Автоматизація та управління  
біотехнологічним виробництвом»  
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня  
за освітньо-професійною програмою  
«Біотехнології, біоробототехніка та біоенергетика»  
спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»  
денної форми навчання

Рекомендовано  
науково-методичною радою  
з якості ННІБА  
Протокол №4 від 21.01.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до лабораторних робіт та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Автоматизація та управління біотехнологічним виробництвом» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Біотехнології, біоробототехніка та біоенергетика» спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» денної форми навчання [Електронне видання] / Грицина О. О., Реут Д. Т. – Рівне : НУВГП, 2025. – 51 с.

Укладачі: Грицина О. О., к.т.н., доцент кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи.

Реут Д. Т., к.т.н., доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Відповідальний за випуск: Мартинов С. Ю., д.т.н., професор, завідувач кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи.

Керівник групи забезпечення спеціальності

162 «Біотехнології та біоінженерія»

Грицина О. О.

© О. О. Грицина,  
Д. Т. Реут, 2025  
© НУВГП, 2025

## З М І С Т

Вступ.....	4
1. Технологічні вимірювання. Похибки вимірювань. Засоби вимірювання, їх класифікація.....	4
2. Побудова функціональної схеми контролю та керування біотехнологічним процесом. ....	10
3. Вимірювання та контроль тиску в біотехнологічних процесах. 16	
4. Контроль температурних показників в біотехнологічних процесах. ....	21
5. Вимірювання та контроль рівня, кількості та витрати речовини в біотехнологічних процесах.....	28
6. Вимірювання та контроль концентрації речовини в біотехнологічних процесах.....	35
7. Розроблення схеми автоматичного контролю параметру процесу. ....	40
8. Використання штучного інтелекту та машинного навчання в автоматизації біотехнологічних виробництв. ....	46
Література .....	50

## Вступ

Вимоги до якості продукції біотехнологічної галузі суттєво впливають на обладнання, умови експлуатації, принципи та методи, що використовуються. На основі цих вимог визначаються різні типи пристроїв. Системи автоматизації та автоматичні системи управління технологічними процесами, які бувають різних форм з різними засобами зв'язку, інтерфейсами та методами обробки сигналів, відіграють вирішальну роль у цій галузі. Контроль та керування процесами є важливим інструментом для підвищення продуктивності праці, якості продукції, оптимізації процесів, зниження витрат, безпеки обладнання, а також загальних умов і культури виробництва в біотехнологічній галузі. Методичні вказівки спрямовані на формування компетентностей та досягнення програмних результатів навчання навчальної дисципліни «Контроль та керування біотехнологічними процесами».

### 1. Технологічні вимірювання. Похибки вимірювань. Засоби вимірювання, їх класифікація.

**Мета роботи:** поглибити теоретичні знання з технічних вимірювань, методів статистичного аналізу похибок та точності вимірювань.

**Теоретична частина:** У вимірюваннях, незалежно від вимірюваної величини, методу або засобів вимірювання, в основі вимірювання лежить порівняння. Вимірювану величину порівнюють з іншою, подібною величиною, яка слугує одиницею вимірювання. Для кожного експериментального вимірювання фізична величина визначається відповідною кількістю одиниць. Теоретична частина висвітлюється на лекціях, а також може бути опрацьована в літературі [1, с. 46-60], [2, с. 20-42].

Порядок виконання роботи:

Етап 1. Підготовка до вимірювань.

1. Ознайомтеся з інструкцією з експлуатації вимірювальних приладів.
2. Перевірте справність обладнання та наявність необхідних матеріалів.
3. Виконайте калібрування приладів за необхідністю.

Етап 2. Проведення вимірювань.

1. Вимірювання температури:
  - Використовуючи цифровий термометр, виміряйте температуру заданого зразка.
  - Повторіть вимірювання 5 разів та запишіть результати.
2. Вимірювання тиску:
  - За допомогою манометра визначте тиск у системі.
  - Здійсніть кілька вимірювань при різних умовах (наприклад, при зміні об'єму або температури).
3. Вимірювання електричних величин:
  - Підключіть мультиметр до еталонного джерела напруги.
  - Виміряйте напругу та струм, запишіть покази.

#### Етап 3. Аналіз похибок.

1. Розрахуйте середнє значення вимірюваних величин.
2. Визначте абсолютну та відносну похибки для кожного вимірювання.
3. Побудуйте графіки залежності вимірюваної величини від умов вимірювання (за наявності).

#### Етап 4. Класифікація засобів вимірювання.

1. Складіть таблицю засобів вимірювання, які ви використали, із зазначенням їх класифікації за різними ознаками.
2. Проаналізуйте переваги та недоліки кожного приладу.

#### Обробка результатів:

- Виконайте необхідні розрахунки згідно з вимогами.
- Представте результати у вигляді таблиць та графіків.
- Проаналізуйте отримані дані, зробіть висновки щодо точності вимірювань та факторів, що впливають на похибки.

#### Звіт про виконану лабораторну роботу повинен містити:

1. Титульну сторінку з зазначенням теми роботи, прізвища та ініціалів студента, групи, дати виконання.
2. Мету та завдання роботи.
3. Короткі теоретичні відомості (основні поняття та визначення).
4. Опис виконання роботи:
  - Перелік обладнання та матеріалів.
  - Хід роботи з описом проведених дій.
5. Результати вимірювань:

- Таблиці з записами вимірювань.
  - Розрахунки похибок.
6. Аналіз та обговорення результатів:
    - Обговорення факторів, що вплинули на точність вимірювань.
    - Порівняння з теоретичними значеннями або еталонами.
  7. Висновки:
    - Загальні висновки по роботі.
    - Пропозиції щодо покращення методики вимірювань.
  8. Відповіді на контрольні запитання.
  9. Список використаної літератури.

**Завдання до самостійної роботи:** ознайомитися з прикладами задач №1-5, алгоритмами їх розв'язку та виконати задачі наведені у розділі «Завдання для самостійної роботи» відповідно до свого варіанту.

Задача №1. Припустимо, що ми хочемо виміряти довжину 2,2 см з точністю 1%. З допомогою дерев'яної лінійки можна провести відлік з точністю до 1мм, а з допомогою мікроскопа – до 0,1 мм. Чи можливо це зробити з допомогою дерев'яної лінійки? З допомогою мікроскопа?

*Рішення задачі:*

а) відносна похибка (дерев'яної лінійки):

$$\delta_x = \frac{\Delta x}{|x_{\text{найкращ.}}|} = \frac{1}{|22|} \cdot 100 = 4,5\%;$$

б) відносна похибка (мікроскопа):

$$\delta_x = \frac{\Delta x}{|x_{\text{найкращ.}}|} = \frac{0,1}{|22|} \cdot 100 = 0,45\%;$$

*Відповідь.* Оскільки відносна похибка дерев'яної лінійки становить 4,5 %, а мікроскопа - 0,45 %, довжину 2,2 см можна виміряти з точністю 1 % за допомогою мікроскопа.

Задача №2. Лаборант змішує розчини хімічних речовин з двох пляшок, попередньо вимірявши окремо масу наповненої та

порожньої пляшок і визначивши результат:

$M_1$  - маса першого бутля і його вмісту =  $550 \pm 10$  г;

$m_1$  = маса першого пустого бутля =  $70 \pm 1$  г;

$M_2$  = маса другого бутля і його вмісту =  $950 \pm 15$  г;

$m_2$  = маса другого пустого бутля =  $95 \pm 1$  г.

Необхідно визначити повну масу хімічних реагентів, розрахувати похибку повної маси та записати кінцевий результат.

*Рішення задачі:* Лаборант розраховує повну масу рідини як

$$M = M_1 - m_1 + M_2 - m_2 = (550 - 70 + 950 - 95) \text{ г} = 1335 \text{ г.}$$

У відповідності з правилом похибка у його результаті є сума всіх чотирьох похибок:

$$\Delta M \approx \Delta M_1 + \Delta m_1 + \Delta M_2 + \Delta m_2 = (10+1+15+1) \text{ г} = 27 \text{ г.}$$

Таким чином, його кінцевий результат (належним чином заокруглений) має вигляд  $1335 \pm 27$  г.

*Відповідь.* Повна маса рідини =  $1335 \pm 27$  г.

*Задача №3.* Експерт вимірює величину  $x$  п'ять разів і отримує результати: 6, 7, 9, 7, 8. Необхідно розрахувати  $\bar{x}$  та стандартне відхилення  $\sigma_x$ . Порівняти два варіанти (з  $N$  і  $N-1$ ) під час розрахунку  $\sigma_x$ .

*Рішення задачі:*

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N} = \frac{\sum x_i}{N} = \frac{6 + 7 + 9 + 7 + 8}{5} = \frac{37}{5} = 7,4.$$

$$1) \quad \sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (d_i)^2} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{5} ((6 - 7,2)^2 + (7 - 7,2)^2 + (9 - 7,2)^2 + (7 - 7,2)^2 + (8 - 7,2)^2)} = \sqrt{1,08} = 1,04.$$

$$2) \quad \sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (d_i)^2} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{5-1} ((6 - 7,2)^2 + (7 - 7,2)^2 + (9 - 7,2)^2 + (7 - 7,2)^2 + (8 - 7,2)^2)} = \sqrt{1,35} = 1,16.$$

*Відповідь.*  $\bar{x} = 7,4$ . 1.  $\sigma_x = 1,04$ ; 2.  $\sigma_x = 1,16$ .

*Задача №4.* Експериментатор вимірює густину рідини п'ять разів і отримує результати (в  $\text{г}/\text{см}^3$ ): 1,8; 2,0; 2,1; 1,9; 1,8. Що можна сказати про найкращу оцінку та похибку на основі його вимірювань?

*Рішення задачі:*

Якщо зважити, що експериментатор вимірює густину рідини п'ять разів і отримує результати (в г/см<sup>3</sup>): 1,8; 2,0; 2,1; 1,9; 1,8, то найкращою оцінкою буде середнє значення, а саме 1,92 г/см<sup>3</sup>, а похибка буде рівна 0,1 г/см<sup>3</sup>.

*Відповідь.* (1,92 ± 0,1) г/см<sup>3</sup>).

*Задача №5.* Двоє техніків використовують дещо різні методи для вимірювання культурального середовища. Кожен з них проводить десять вимірювань, обчислює середнє значення та його стандартне відхилення і отримує відповідні результати: Спеціаліст А: P=72±8; Спеціаліст Б: P=75±5. а) Обчисліть найкращу оцінку для P та її похибку на основі обох вимірювань. б) Оцініть, скільки додаткових вимірювань повинен провести фахівець А (використовуючи власний метод), щоб його результат був таким самим, як у фахівця Б?

*Рішення задачі:*

а) Враховуючи, що різниця між двома значеннями (72±8 і 75±5) (75-72=3) не перевищує максимальну із похибок (8), то обидва результати можна вважати несуперечливими.

$$x_{\text{найк.}} = \frac{\omega_A \cdot x_A + \omega_B \cdot x_B}{\omega_A + \omega_B};$$

$$\omega_A = \frac{1}{\sigma_A^2} = \frac{1}{64} = 0,016 \approx 0,02;$$

$$\omega_B = \frac{1}{\sigma_B^2} = \frac{1}{25} = 0,04;$$

$$x_{\text{найк.}} = \frac{72 \cdot 0,02 + 75 \cdot 0,04}{0,02 + 0,04} = 74;$$

$$\omega_{x_{\text{найк.}}} = \left( \sum_{i=1}^N \omega_i \right)^{-\frac{1}{2}} = 4,08 \approx 4.$$

*Відповідь.*

а) Найкраща оцінка, базуючись на результатах двох вимірювань дорівнює 74±4.

б) Враховуючи, що результат спеціаліста А (8/5=1,6) в 1,6 рази гірший за результати спеціаліста Б, то йому потрібно (1,6·10=16) провести додатково ще мінімум 16 дослідів (всього дослідів провести спеціалісту Б буде становити 26).



### Завдання для самостійної роботи:

Задача	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5
1	довжину 2 см з точністю 3%	довжину 3 см з точністю 1%	довжину 2 см з точністю 2%	довжину 4 см з точністю 0,5%	довжину 2,5 см з точністю 2,5%
2	$M_1 = 450 \pm 12$ ; $m_1 = 77 \pm 1$ ; $M_2 = 920 \pm 10$ ; $m_2 = 95 \pm 1$ .	$M_1 = 480 \pm 10$ ; $m_1 = 77 \pm 1$ ; $M_2 = 880 \pm 20$ ; $m_2 = 93 \pm 1$ .	$M_1 = 540 \pm 15$ ; $m_1 = 72 \pm 3$ ; $M_2 = 940 \pm 25$ ; $m_2 = 97 \pm 3$ .	$M_1 = 500 \pm 10$ ; $m_1 = 70 \pm 1$ ; $M_2 = 990 \pm 20$ ; $m_2 = 90 \pm 1$ .	$M_1 = 600 \pm 8$ ; $m_1 = 75 \pm 3$ ; $M_2 = 940 \pm 18$ ; $m_2 = 94 \pm 4$ .
3	6, 7, 9, 7, 9	4, 7, 9, 8, 8	5, 8, 9, 8, 6	4, 7, 7, 4, 8	6, 7, 8, 4, 8
4	2,8; 3,0; 3,0; 2,9; 2,8	1,6; 2,2; 2,2; 1,8; 1,6	1,5; 2,3; 2,4; 1,6; 1,5	1,9; 2,2; 2,3; 1,6; 1,9	1,5; 2,0; 2,1; 1,8; 1,6
5	А: $P=74 \pm 8$ ; Б: $P=71 \pm 5$ .	А: $P=82 \pm 8$ ; Б: $P=86 \pm 5$ .	А: $P=77 \pm 5$ ; Б: $P=73 \pm 2$ .	А: $P=73 \pm 5$ ; Б: $P=78 \pm 5$ .	А: $P=80 \pm 7$ ; Б: $P=70 \pm 6$ .

### Контрольні питання:

1. Системи фізичних величин та їх одиниці. Показники точності та форми представлення результатів вимірювань.

2. Загальні визначення та класифікація похибок. Точкові характеристики похибок. Інтервальні характеристики похибок.

3. Класифікація похибок вимірювань. Вплив систематичних похибок на результати вимірювань. Перевірка пропорційності за допомогою діаграми.

4. Загальні відомості про похибки непрямих вимірювань. Розуміння похибок непрямих вимірювань на прикладах. Принцип середнього арифметичного значення.

5. Визначення гарантійного інтервалу результатів вимірювань. Зведення похибок вимірювань. Похибки прямих прецизійних вимірювань. Обробка та оцінювання точності прецизійних вимірювань. Середньоквадратичне відхилення середнього значення на прикладах.

6. Квадратична сума похибок та її обґрунтування. Загальний випадок. Визначення середньої квадратичної похибки.

7. Довірчі інтервали. Необхідна кількість вимірювань випадкової величини.

## **2. Побудова функціональної схеми контролю та керування біотехнологічним процесом.**

**Мета роботи:** поглибити теоретичні знання щодо графічного представлення пристроїв та виконавчих механізмів, які використовуються для вимірювання технологічних параметрів в біотехнології та біоінженерії. Крім того, виконати аналіз технологічних процесів як об'єктів автоматизації та читання функціональних схем автоматизації.

**Теоретична частина:** Функціональна схема автоматизації (ФСА) - це технічний документ, який визначає функціонально-блокову структуру блоків автоматичного контролю, сигналізації, управління та моніторингу технологічних процесів. Вона також визначає оснащення установки пристроями і засобами автоматизації і дає загальне уявлення про об'єкт управління. Схема автоматизації складається відповідно до ДСТУ Б А.2.4-16:2008. На схемі автоматизації показано технологічне обладнання та системи комунікацій, що використовуються на установці, такі як трубопроводи та газоходи. На ній також показані технічні засоби автоматизації, контролю, регулювання та управління, а також лінії зв'язку між ними. Теоретична частина висвітлена в лекції і додатково наведена в літературі [1, с. 5-45], [7, с. 4-17], [5, с.4-23], [3, с.7-45].

Порядок виконання роботи:

Етап 1. Підготовка до роботи.

1. Ознайомтеся з інструкцією з використання програмного забезпечення для побудови схем.
2. Перевірте справність обладнання та наявність необхідних матеріалів.
3. Визначте параметри біотехнологічного процесу, які необхідно контролювати та керувати.

Етап 2. Розробка функціональної схеми.

1. Вибір елементів схеми:
  - Визначте необхідні датчики для вимірювання параметрів процесу.
  - Оберіть відповідний контролер для обробки даних та формування керуючих сигналів.
  - Підберіть виконавчі механізми для здійснення керуючих дій.

2. Побудова схеми:
  - Використовуючи програмне забезпечення, побудуйте схему контролю та керування процесом.
  - Зобразіть всі необхідні елементи та з'єднання між ними.
3. Документування схеми:
  - Складіть пояснювальну записку до схеми, яка включає опис всіх елементів та їх функцій.
  - Вкажіть можливі сценарії роботи системи та методи реагування на нестандартні ситуації.

### Етап 3. Аналіз ефективності схеми.

1. Перевірка роботи схеми:
  - Виконайте симуляцію роботи схеми за допомогою програмного забезпечення.
  - Оцініть точність і швидкість реагування системи.
2. Аналіз результатів:
  - Визначте можливі недоліки та шляхи їх усунення.
  - Проаналізуйте надійність системи та запропонуйте шляхи її підвищення.

### Обробка результатів

- Представте результати у вигляді схеми та пояснювальної записки.
- Проведіть аналіз роботи системи та зробіть висновки щодо її ефективності.

### Звіт про виконану лабораторну роботу повинен містити:

1. Титульну сторінку з зазначенням теми роботи, прізвища та ініціалів студента, групи, дати виконання.
2. Мету та завдання роботи.
3. Короткі теоретичні відомості (основні поняття та визначення).
4. Опис виконання роботи:
  - Перелік обладнання та матеріалів.
  - Хід роботи з описом проведених дій.
5. Результати розробки схеми:
  - Схема контролю та керування процесом.
  - Пояснювальна записка до схеми.
6. Аналіз та обговорення результатів:
  - Обговорення ефективності роботи системи.

- Пропозиції щодо покращення схеми.
7. Висновки:
- Загальні висновки по роботі.
  - Пропозиції щодо покращення методики побудови схем.
8. Відповіді на контрольні запитання.
9. Список використаної літератури.

**Завдання до самостійної роботи:**

Задача №1. Побудувати функціональну схему контролю та керування відповідно до вимог ДСТУ Б А.2.4-16:2008. Зробити опис контурів контролю і регулювання.

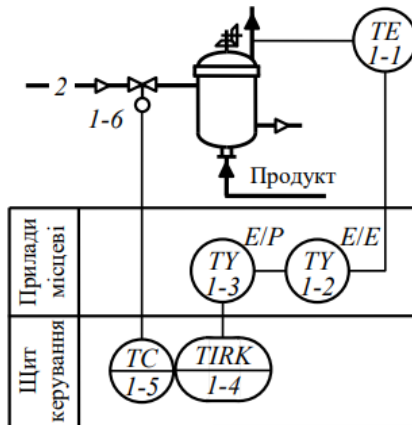


Рис. 1. Одноконтурна стабілізуювальна система автоматичного регулювання (САР) температури (з використанням станції керування) [6].

*Рішення задачі.* За додатком 6 [6] вибираємо необхідні технічні засоби автоматизації (ТЗА), що відповідають вимогам завдання: 1-1 - термоелектричний перетворювач з НСХ В, L, К і т.д. або термоперетворювач опору ТОП або ТОМ калібрування 50П, 50М і т.д. 1-2 - нормуючий перетворювач П 282Б або П 282В; 1-3 - електропневматичний перетворювач ПЕП-95; 1-4 - пневматичний блок індикації та реєстрації ФК0071 (система СТАРТ) зі станцією управління; 1-5 - пневматичний пропорційно-інтегрально-

диференціальний регулятор ФР0095 (система СТАРТ); 1-6 - пневматичний мембранний привід прямої МИМ ППХ 01 з боковим дублером.

Задача №2. Побудувати функціональну схему контролю та керування відповідно до вимог ДСТУ Б А.2.4-16:2008. Зробити опис контурів контролю і регулювання.

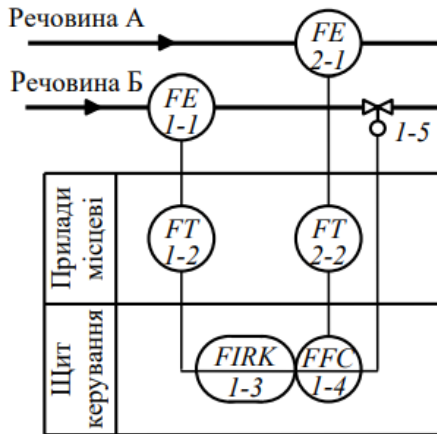


Рис. 2. Слідкувальна САР співвідношення витрат [6].

*Рішення задачі.* На основі додатку 6 [6] вибираємо необхідні технічні засоби автоматизації (ТЗА), що відповідають умовам завдання: 1-1, 2-1 - звужуючі пристрої (трубки Вентурі); 1-2, 2-2 - пневматичний перетворювач перепаду тиску 13ДД11 з функцією квадратичного перетворення; 1-3 - пневматичний прилад індикації та реєстрації ФК0071 з пультом керування; 1-4 - пневматичний пропорційно-інтегральний регулятор ПР3.33-М1 (система СТАРТ); 1-5 - пневматичний мембранний привід МИМП ППХ 05В з позиціонером ПП-1,25 і верхнім дублером.

Задача №3. Побудувати функціональну схему контролю та керування відповідно до вимог ДСТУ Б А.2.4-16:2008. Зробити опис контурів контролю і регулювання.

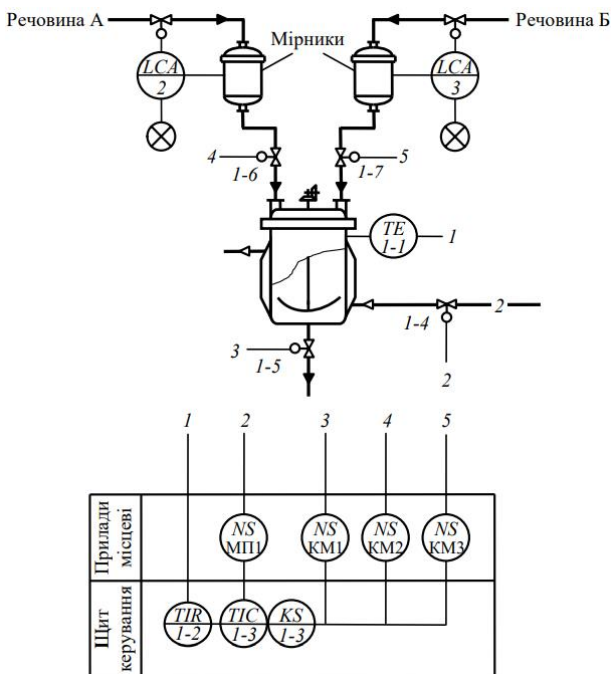


Рис. 3. Система програмного керування циклічним (періодичним) технологічним процесом [6].

*Рішення задачі.* Користуючись додатком 6 [6], вибираємо необхідні технічні засоби автоматизації (ТЗА), що відповідають умовам завдання: 1-1 - термоелектричний перетворювач з НСХ В, L, К і т.д. або термоперетворювач опору ТОП або ТОМ зі шкалою 50П, 50М і т.д. 1-2 - вторинний показуючий і реєструючий прилад ДИСК-250; 1-3 - малоканалний мікропроцесорний контролер МК-51 (забезпечує місцеве, каскадне, програмне, контрольне і багатоканальне керування; логічні функціональні блоки формують логічну покрокову програму керування з аналізом умов кожного кроку, встановленням часу керування на кожному кроці і умовним або безумовним переходом програми на заданий крок; з цифровою індикацією і сигналізацією); МП1 - магнітний безконтактний реверсивний пускач ПМЛ-3611Д з тепловим реле і захистом IP54; 1-4 - електричний поворотний привід типу МЕО; КМ1-КМ3 -

малогабаритні контактори КМІ10910; 1-5-1-7 - малогабаритні електромагнітні клапани серії ЗСК; 2, 3 - реле ємнісного датчика рівня РДЭ-01-2112 (для сигналізації рівня заповнення пристрою може використовуватися радіоізотопний перетворювач РП-24, похибка визначення заповнення становить 3%).

### Завдання для самостійної роботи:

Задача	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5
1	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання
2	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання
2	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання

### Контрольні питання:

1. Правила позначення приладів згідно з ДСТУ Б А.2.4-16:2008.
2. Як позначається температура на схемах автоматизації?
3. Як позначається тиск на схемах автоматизації?
4. Як на схемах автоматизації позначається витрата?
5. Пояснити правила формування літерних позначень вимірюваних величин та функціональних характеристик приладів.
6. Пояснити правила утворення додаткових літерних позначень приладів.
7. Пояснити правила утворення додаткових літерних позначень, що використовуються при проектуванні перетворювачів сигналів та обчислювальних пристроїв.
8. Як позначається густина на схемах автоматики?
9. Як позначається концентрація на схемах автоматики?
10. Як на схемах автоматизації зображується нормально відкритий клапан?

### 3. Вимірювання та контроль тиску в біотехнологічних процесах.

**Мета роботи:** поглибити теоретичні знання з планування розміщення обладнання та засобів контролю і регулювання тиску в процесах обраної біотехнології.

**Теоретична частина:** у біотехнологічних виробництвах часто виникає необхідність контролювати тиск газу, пари та рідини в трубопроводах та апаратах. Теоретична частина висвітлена в лекції, а також наведена в літературі [1, с. 61-73], [7, с.23-28], [3, с.57-60], [5, с. 35, 36].

Порядок виконання роботи:

Етап 1. Підготовка до вимірювань.

1. Ознайомтеся з інструкцією з експлуатації вимірювальних приладів.
2. Перевірте справність обладнання та наявність необхідних матеріалів.
3. Виконайте калібрування приладів за необхідністю.

Етап 2. Проведення вимірювань.

1. Вимірювання тиску за допомогою деформаційного манометра:
  - Встановіть манометр у систему.
  - Підключіть до джерела тиску та зафіксуйте покази.
  - Повторіть вимірювання кілька разів та запишіть результати.
2. Вимірювання тиску за допомогою рідинного манометра:
  - Заповніть манометр робочою рідиною.
  - Підключіть до системи та зафіксуйте покази.
  - Повторіть вимірювання кілька разів та запишіть результати.
3. Вимірювання тиску за допомогою електронного манометра:
  - Підключіть манометр до системи та джерела живлення.
  - Зніміть покази та запишіть результати.
  - Повторіть вимірювання кілька разів.

Етап 3. Аналіз результатів вимірювань.

1. Розрахуйте середнє значення вимірюваного тиску для кожного типу манометрів.



2. Визначте абсолютну та відносну похибки вимірювань.
3. Побудуйте графіки залежності вимірюваного тиску від типу манометра.

Етап 4. Порівняння результатів.

1. Порівняйте результати вимірювань, отриманих різними типами манометрів.
2. Проаналізуйте фактори, що впливають на точність вимірювань.
3. Обґрунтуйте вибір найбільш точного та надійного типу манометра для біотехнологічних процесів.

Обробка результатів:

- Представте результати вимірювань у вигляді таблиць та графіків.
- Виконайте аналіз похибок та обговоріть можливі причини їх виникнення.
- Зробіть висновки щодо точності та надійності вимірювань тиску за допомогою різних типів манометрів.

Звіт про виконану лабораторну роботу повинен містити:

1. Титульну сторінку з зазначенням теми роботи, прізвища та ініціалів студента, групи, дати виконання.
2. Мету та завдання роботи.
3. Короткі теоретичні відомості (основні поняття та визначення).
4. Опис виконання роботи:
  - Перелік обладнання та матеріалів.
  - Хід роботи з описом проведених дій.
5. Результати вимірювань:
  - Таблиці з записами вимірювань.
  - Розрахунки похибок.
6. Аналіз та обговорення результатів:
  - Обговорення факторів, що вплинули на точність вимірювань.
  - Порівняння з теоретичними значеннями або еталонами.
7. Висновки:
  - Загальні висновки по роботі.
  - Пропозиції щодо покращення методики вимірювань.
8. Відповіді на контрольні запитання.

## 9. Список використаної літератури.

**Завдання до самостійної роботи:** ознайомтеся з прикладами до завдань №№. 1-3, алгоритми їх розв'язання та опрацюйте завдання, наведені в розділі "Завдання для самостійної роботи" відповідно до вашого варіанту.

Задача №1. На трубі, по якій рухається вода під тиском 0,7 МПа, встановлено три манометри (рис. 4). Якими є їхні виміряні значення (без урахування похибок манометрів)?

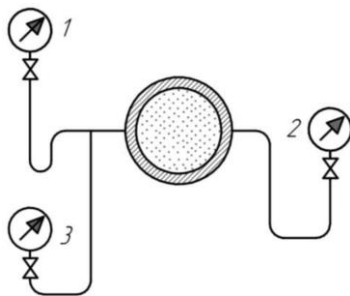


Рис. 4. Вимір тиску рідини в трубопроводі [3, 4].

*Рішення задачі.* Показники будуть різними, оскільки на показники манометрів впливає тиск, що створюється стовпом рідини, що заповнює імпульсну трубку. Найбільше значення тиску покаже манометр 3, найменше — манометр 1. На показник манометра 2 стовп рідини не робитиме впливу, оскільки місце відбору тиску і манометр 2 розташовані на одному рівні.

*Відповідь:* Показники манометрів будуть різними.

Задача №2. Манометр, що вимірює тиск пари, встановили на 4 м нижче за точку відбору. Манометр показує  $P = 4$  МПа. Середнє значення температури конденсату в імпульсній трубці  $t = 60$  °С. Яке дійсне значення тиску в паропроводі?

*Рішення задачі.* Якщо манометр встановлений нижче за паропровід, то імпульсна лінія заповнена конденсатом, і манометр показує завищені показники тиску в паропроводі на значено відношенню до гідростатичного тиску конденсату:

$$\Delta p = h\rho g = 4 \cdot 985,4 \cdot 9,8 = 38627 \text{ Па} = 0,038 \text{ МПа.}$$

Тоді дійсне значення тиску в паропроводі буде дорівнювати:

$$\rho_d = 4 - 0,038 = 3,96 \text{ МПа.}$$

*Відповідь:* Дійсне значення тиску в паропроводі 3,96 МПа.

*Задача №3.* У біотехнологічних виробництвах часто виникає необхідність регулювання тиску газу, пари та рідини в трубопроводах. Зробити опис технічних засобів автоматизації контролю перепаду тиску на фільтрі з сигналізацією (рис. 5).

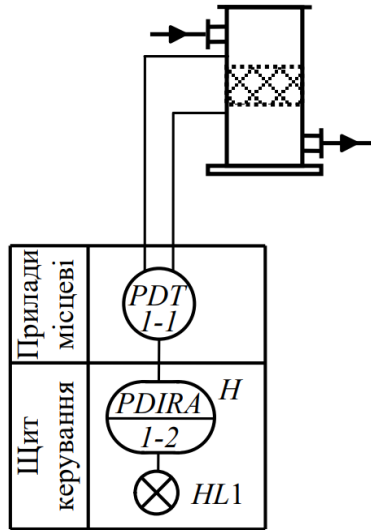


Рис. 5. Контроль перепаду тиску на фільтрі з сигналізацією [6].

*Рішення задачі.* Користуючись додатком 6 [6], вибрати необхідні технічні засоби автоматизації (ТЗА), що відповідають вимогам завдання: місцеве обладнання PDT 1-1 щит керування PDIRA 1-2 HL1 Н Комплект технічних засобів: 1-1 - перетворювач перепаду тиску серії КВАНТ; 1-2 - вторинний показуючий та реєструючий прилад РМТ 49D/1 (аналого-цифровий одноканальний, з відображенням на цифровому індикаторі, безперервним записом вимірюваних параметрів на стрічці схеми та пристроєм аварійної сигналізації).

### Завдання для самостійної роботи:

Задача	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5
1	0,7 МПа	0,15 МПа	1,25 МПа	2,93 МПа	0,33 МПа
2	$h=4$ м; $P = 5$ МПа; $t = 60$ °С.	$h=3$ м; $P = 6$ МПа; $t = 50$ °С.	$h=2$ м; $P = 7$ МПа; $t = 70$ °С.	$h=3$ м; $P = 4$ МПа; $t = 40$ °С.	$h=2,2$ м; $P = 3$ МПа; $t = 30$ °С.
3	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання

### Контрольні питання:

- 1 Як класифікуються манометри за принципом дії?
2. Як класифікуються манометри в залежності від виду вимірюваної величини?
3. Опишіть принцип дії рідинних манометрів.
4. Опишіть принцип дії деформаційних манометрів.
5. Опишіть принцип дії електричних манометрів.
6. Що таке автоматичний регулятор?
7. Як класифікуються автоматичні регулятори за джерелом енергії, що використовується для керування?
8. Як класифікуються непрямі автоматичні регулятори за типом допоміжної енергії, що використовується для регулювання?
9. Що таке виконавчий механізм в автоматизації технологічних процесів?
10. Що таке регулятор в автоматизації технологічних процесів?

#### **4. Контроль температурних показників в біотехнологічних процесах.**

**Мета роботи:** поглибити теоретичні знання для планування розміщення приладів та засобів автоматизації для вимірювання температурних параметрів в біотехнологічних процесах.

**Теоретична частина:** Теплові процеси широко використовуються в біотехнологічних виробництвах. Ці процеси характеризуються інерційністю та запізненням, що призводить до значної тривалості перехідних процесів. Основним завданням регулювання температури в апаратах є регулювання теплового потоку від теплоносія через стінку до речовини, що нагрівається. Найбільш поширеним методом регулювання є стабілізація температури в апараті шляхом регулювання витрати теплоносія. Теоретична частина розглядається на лекціях, а також наведена в літературі [1, с. 74-84], [3, с. 51-57], [5, с. 24-28], [7, с.18-22].

Порядок виконання роботи:

Етап 1. Підготовка до вимірювань.

1. Ознайомтеся з інструкцією з експлуатації вимірювальних приладів.
2. Перевірте справність обладнання та наявність необхідних матеріалів.
3. Виконайте калібрування приладів за необхідністю.

Етап 2. Проведення вимірювань.

1. Вимірювання температури за допомогою термопар:
  - Встановіть термопару у відповідне місце процесу.
  - Підключіть до вимірювального приладу та зафіксуйте покази.
  - Повторіть вимірювання кілька разів та запишіть результати.
2. Вимірювання температури за допомогою терморезисторів (RTD):
  - Підключіть терморезистор до системи вимірювання.
  - Зніміть покази та запишіть результати.
  - Повторіть вимірювання кілька разів.
3. Вимірювання температури за допомогою інфрачервоних датчиків (пірометрів):
  - Направте пірометр на об'єкт вимірювання.

- Зніміть покази та запишіть результати.
- Повторіть вимірювання кілька разів.

Етап 3. Аналіз результатів вимірювань.

1. Розрахуйте середнє значення вимірюваної температури для кожного типу датчиків.
2. Визначте абсолютну та відносну похибки вимірювань.
3. Побудуйте графіки залежності вимірюваної температури від типу датчика.

Етап 4. Порівняння результатів.

1. Порівняйте результати вимірювань, отриманих різними типами датчиків.
2. Проаналізуйте фактори, що впливають на точність вимірювань.
3. Обґрунтуйте вибір найбільш точного та надійного типу датчика для біотехнологічних процесів.

Обробка результатів:

- Представте результати вимірювань у вигляді таблиць та графіків.
- Виконайте аналіз похибок та обговоріть можливі причини їх виникнення.
- Зробіть висновки щодо точності та надійності вимірювань температури за допомогою різних типів датчиків.

Звіт про виконану лабораторну роботу повинен містити:

1. Титульну сторінку з зазначенням теми роботи, прізвища та ініціалів студента, групи, дати виконання.
2. Мету та завдання роботи.
3. Короткі теоретичні відомості (основні поняття та визначення).
4. Опис виконання роботи:
  - Перелік обладнання та матеріалів.
  - Хід роботи з описом проведених дій.
5. Результати вимірювань:
  - Таблиці з записами вимірювань.
  - Розрахунки похибок.
6. Аналіз та обговорення результатів:
  - Обговорення факторів, що вплинули на точність вимірювань.
  - Порівняння з теоретичними значеннями або

еталонами.

7. Висновки:

- Загальні висновки по роботі.
- Пропозиції щодо покращення методики вимірювань.

8. Відповіді на контрольні запитання.

9. Список використаної літератури.

**Завдання до самостійної роботи:** ознайомитися з прикладами завдань №№ 1-5 та алгоритмами їх розв'язання. 1-5 та алгоритмами їх розв'язання і опрацювати завдання, наведені в розділі "Завдання для самостійної роботи" за власним варіантом.

Задача №1. Мідний термометр опору при 20 °С має опір  $R_{20} = 1,7$  Ом. Температурний коефіцієнт  $\alpha = 4,28 \cdot 10^{-3}$  °С. Визначити опір мідного термометра опору при температурі 100 °С та 150 °С.

*Рішення задачі.* Опір  $R$ , мідного термометра при температурі  $t$  визначається за формулою:

$$R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t),$$

де температурний коефіцієнт  $\alpha = 4,28 \cdot 10^{-3}$  °С.

Якщо відомо опір  $R_{t_1}$  при температурі  $t_1$ , то для визначення опору  $R_{t_2}$  при температурі  $t_2$  необхідно попередньо знайти  $R_0$ , а потім по знайденому  $R_0$  знайти  $R_{t_2}$  за формулою:

$$R_{t_2} = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t_2);$$
$$R_0 = R_{t_1} / (1 + \alpha \cdot t_1) = 1,7 / (1 + 4,28 \cdot 10^{-3} \cdot 20) = 1,57 \text{ Ом.}$$

Таким чином, можна отримати значення опору мідного термометра опору температурі 100 °С та 150 °С.

$$R_{100} = 1,57 \cdot (1 + 4,28 \cdot 10^{-3} \cdot 100) = 2,24 \text{ Ом};$$
$$R_{150} = 1,57 \cdot (1 + 4,28 \cdot 10^{-3} \cdot 150) = 2,58 \text{ Ом.}$$

*Відповідь:* Опір мідного термометра опору при температурі 100 °С рівний 2,24 Ом та при температурі 150 °С рівний 2,58 Ом.

Задача №2. Визначити опір платинового термометра опору при температурах +200 °С та -200 °С, якщо відомо, що при температурі

0 °С вона дорівнює 7,46 Ом.

*Рішення задачі.* Номінальна статична характеристика перетворення платиногового термометра опору, для якого відношення опору при температурі 100 °С опору в потрійній точці води (температура 0,01 °С, тиск 6,1 кПа) дорівнює  $W_{100} = 1,3910$ , може бути апроксимована наступними поліномами:

в інтервалі температур  $-200 \leq t \leq 0$  °С.

$$R_t = R_0 \cdot [1 + A \cdot t + B \cdot t^2 + C \cdot t^3 (t - 100)],$$

де  $A = 3,9692 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $B = -5,8621 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$ ;  $C = -4.3301 \cdot 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4}$ ;  
в інтервалі температур  $0 \leq t \leq 600$  °С.

$$R_t = R_0 \cdot [1 + A \cdot t + B \cdot t^2],$$

де  $A = 3,9692 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $B = 5,8621 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$ .

З урахуванням поданих залежностей електричного опору від температури для платинових термометрів опору:

$$R_{-200} = 1,29 \text{ Ом}; R_{+200} = 13,9 \text{ Ом}.$$

*Відповідь:* Опір платиногового термометра опору при температурі +200 °С становитиме 13,9 Ом та при температурі -200 °С становитиме 1,29 Ом.

*Задача №3.* Оцінити значення додаткової похибки, що виникає через самонагрівання термометра опору, виготовленого у вигляді платинової нитки діаметром 0,05 мм і довжиною 10 мм і вимірює температуру повітряного потоку. Коефіцієнт тепловіддачі від платинової нитки до повітря  $\alpha = 400 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{К})$ . Сила електричного струму, що протікає по платиновій нитці  $I = 100 \text{ мА}$ , опір термометра при робочій температурі  $R_t = 0,55 \text{ Ом}$ .

*Рішення задачі.* Знаходимо кількість теплоти, що виділяється в одиницю часу на платиновій нитці при проходженні через неї струму:

$$Q = I^2 \cdot R_t = 0.1^2 \cdot 0,55 = 0,0055 \text{ Вт}.$$

Вважаємо, що ця кількість теплоти повністю віддається в



повітряний потік і визначається за рівнянням:

$$Q = \alpha \cdot A \cdot (t_n - t_b),$$

де  $t_n$  – температура платинової нитки, °С;  $t_b$  – температура повітряного потоку, °С;  $A$  – площа поверхні платинової нитки, м<sup>2</sup>.

З рівняння теплообміну можна знайти значення необхідного температурного напору:

$$\Delta t = t_n - t_b = \frac{Q}{\alpha \cdot A} = \frac{5,5 \cdot 10^{-3}}{400 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 10^{-5} \cdot 10 \cdot 10^{-3}} = 8,76 \text{ } ^\circ\text{C},$$

тобто температура термометра повинна бути завжди вище температури повітряного потоку на 8,76 °С.

*Відповідь:* значення додаткової похибки, що виникає через самонагрівання термометра опору, виготовленого у вигляді платинової нитки діаметром 0,05 мм і довжиною 10 мм і вимірює температуру повітряного потоку становитиме 8,76 °С.

Задача №4. Теплові процеси широко використовуються в біотехнологічних виробництвах. Теплові об'єкти характеризуються інерційністю та запізненням, що призводить до значної тривалості перехідних процесів. Завданням керування температурою в апаратах є регулювання потоку тепла від теплоносія через стінку до речовини, що нагрівається. Найбільш поширеним методом регулювання є стабілізація температури в апараті шляхом зміни витрати теплоносія. Розробіть схему автоматизації регулювання температури продукту.

*Рішення задачі.* Схему автоматизації температури продукту показано на рис. 6.

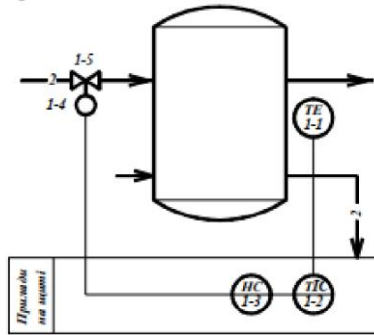


Рис. 6. Схема автоматизації регулювання температури [5].

Система автоматичного регулювання складається з датчика 1-1, блоку індикації та управління 1-2, виконавчого механізму 1-4 і блоку управління 1-5, який змінює подачу пари в теплообмінник. Система автоматичного керування оснащена виносним пультом 1-3 для ручного керування.

Задача №5. Розробити схему контролю температури рідини в технологічному трубопроводі.

Рішення задачі. Схема контролю температури рідини в технологічному трубопроводі наведена на рис. 7.

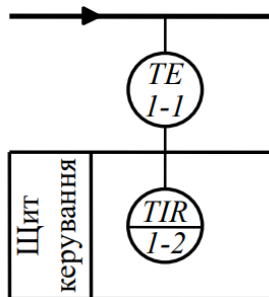


Рис. 7. Схема контролю температури рідини в технологічному трубопроводі [6].

Користуючись додатком 6 [6], вибрати необхідні технічні засоби автоматизації (ТЗА), що відповідають умовам завдання: 1-1 - термоелектричний перетворювач зі статичною номінальною

характеристикою ((НСХ) В, L, К і т.д. або термоперетворювач опору з платини (ТОП) або міді (ТОМ) з калібруванням 50П, 50М, 100П, 100М і т.д.; 1-2 - вторинний показуючий та реєструючий прилад РП-160.

### Завдання для самостійної роботи:

Задача	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5
1	$R_{20}=1,5 \text{ Ом}$ 110 °С, 175 °С	$R_{20}=1,22 \text{ Ом}$ 90 °С, 155 °С	$R_{20}=1,7 \text{ Ом}$ 85 °С, 160 °С	$R_{20}=2,5 \text{ Ом}$ 55 °С, 200 °С	$R_{20}=2,70 \text{ Ом}$ 100 °С, 200 °С
2	+150 °С, -150 °С, при 0 °С дорівнює 5,5 Ом	+220 °С, -220 °С, при 0 °С дорівнює 6,45 Ом	+300 °С, -300 °С, при 0 °С дорівнює 8,85 Ом	+250 °С, -250 °С, при 0 °С дорівнює 7,00 Ом	+100 °С, -100 °С, при 0 °С дорівнює 5,5 Ом
3	діам. 0,1 мм, довж. 20 мм	діам. 0,075 мм, довж. 7 мм	діам. 0,2 мм, довж. 22 мм	діам. 0,02 мм, довж. 5 мм	діам. 0,5 мм, довж. 35 мм
4	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання
5	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання

### Контрольні питання:

1. Які завдання повинні вирішуватися при управлінні технологічними процесами?
2. Які існують системи керування технологічними процесами залежно від ступеня участі людини в управлінні?
3. Що таке об'єкт керування та пристрій керування?
4. Які основні технологічні процеси в біотехнологічній галузі?
5. Які фізичні величини характеризують технологічний процес виробництва?
6. Чим відрізняється перетворювач від вимірювального приладу?
7. Яка різниця між показуючими, реєструючими та сигнальними пристроями?

## 5. Вимірювання та контроль рівня, кількості та витрати речовини в біотехнологічних процесах.

**Мета роботи:** поглибити теоретичні знання для планування розміщення приладів та засобів автоматизації для вимірювання та контролю рівня, кількості та витрати речовин в біотехнологічних процесах.

**Теоретична частина:** теоретична частина опрацьовується на лекції, а також наведена в літературі [1, с. 84-99], [3, с. 59,60], [6, с. 99,100], [7, с.46-60].

Порядок виконання роботи:

Етап 1. Підготовка до вимірювань.

1. Ознайомтеся з інструкцією з експлуатації вимірювальних приладів.
2. Перевірте справність обладнання та наявність необхідних матеріалів.
3. Виконайте калібрування приладів за необхідністю.

Етап 2. Проведення вимірювань.

1. Вимірювання рівня речовини:
  - Встановіть ультразвуковий датчик на резервуарі.
  - Підключіть до джерела живлення та зафіксуйте покази.
  - Повторіть вимірювання кілька разів та запишіть результати.
2. Вимірювання кількості речовини:
  - Використовуючи аналітичні ваги, виміряйте масу зразка речовини.
  - Повторіть вимірювання кілька разів та запишіть результати.
3. Вимірювання витрати речовини:
  - Встановіть турбінний витратомір у систему.
  - Підключіть до джерела живлення та зафіксуйте покази.
  - Повторіть вимірювання кілька разів та запишіть результати.

Етап 3. Аналіз результатів вимірювань.

1. Розрахуйте середнє значення вимірюваних параметрів для кожного типу датчиків.

2. Визначте абсолютну та відносну похибки вимірювань.
3. Побудуйте графіки залежності вимірюваних параметрів від типу датчика.

Етап 4. Порівняння результатів.

1. Порівняйте результати вимірювань, отриманих різними типами датчиків.
2. Проаналізуйте фактори, що впливають на точність вимірювань.
3. Обґрунтуйте вибір найбільш точного та надійного типу датчика для біотехнологічних процесів.

Обробка результатів:

- Представте результати вимірювань у вигляді таблиць та графіків.
- Виконайте аналіз похибок та обговоріть можливі причини їх виникнення.
- Зробіть висновки щодо точності та надійності вимірювань рівня, кількості та витрати речовини за допомогою різних типів датчиків.

Звіт про виконану лабораторну роботу повинен містити:

1. Титульну сторінку з зазначенням теми роботи, прізвища та ініціалів студента, групи, дати виконання.
2. Мету та завдання роботи.
3. Короткі теоретичні відомості (основні поняття та визначення).
4. Опис виконання роботи:
  - Перелік обладнання та матеріалів.
  - Хід роботи з описом проведених дій.
5. Результати вимірювань:
  - Таблиці з записами вимірювань.
  - Розрахунки похибок.
6. Аналіз та обговорення результатів:
  - Обговорення факторів, що вплинули на точність вимірювань.
  - Порівняння з теоретичними значеннями або еталонами.
7. Висновки:
  - Загальні висновки по роботі.
  - Пропозиції щодо покращення методики вимірювань.

**Завдання до самостійної роботи:** ознайомтеся з прикладами до завдань 1-5, алгоритмами їх розв'язання та опрацюйте завдання з розділу "Завдання для самостійної роботи" відповідно до свого варіанту.

Задача №1. Рівень рідини у відкритій ємності  $H_{\max}$  (рис. 8) може досягати 3 м. Чи можна за допомогою мембранного манометра з максимальним номінальним перепадом тиску  $\Delta p_n = 0,04$  МПа виміряти рівень гідростатичним методом, якщо рівень опуститься нижче мінімального рівня на  $h = 3$  м? Негативна камера манометра з'єднана з атмосферою.

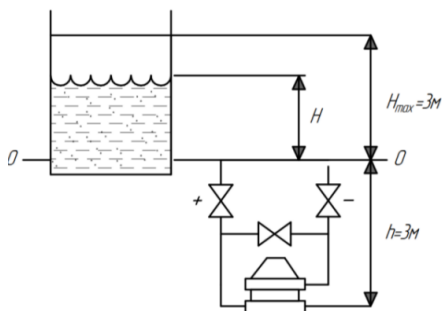


Рис. 8. Вимір рівня рідини у відкритому резервуарі за допомогою дифманометра [4, 3].

*Рішення задачі.* У такій схемі включення при  $H=0$  на дифманометр діє перепад тиску  $\Delta p = 0,03$  МПа. При максимальній зміні рівня  $H= H_{\max} = 3$  м перепад тиску зростає до 0,06 МПа, що перевищує верхню межу виміру дифманометра  $\Delta p_n = 0,04$  МПа.

*Відповідь:* Отже, у вказаних умовах використовувати дифманометр не можливо. Для використання, за таких умов, дифманометра необхідне в мінусовій камері створити тиск, який дорівнює тиску в плюсовій камері при  $H=0$ , а це можна зробити, якщо підключити до мінусової камери імпульсну трубку необхідної довжини, заповнену водою.

Задача №2. П'єзометричний рівнемір з пневмометричною трубкою вимірює рівень луку у випарному апараті (рис. 9). Максимальна густина розчину луку  $\rho_{\text{л}} = 1280$  кг/м<sup>3</sup>. Інтервал зміни рівня від 0 мм до 400 мм, внутрішній діаметр пневмометричної

трубки  $d=6$  мм, температура лугу у випарному апараті  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а абсолютний тиск у випарному апараті  $200$  мм рт. ст. Визначите тиск повітря в джерелі живлення і зразкову годинну витрату повітря при максимальному рівні. Примітка. Для вирішення цього завдання зручно користуватися позасистемними одиницями.

*Рішення задачі.* Приймаємо, що при вимірі рівня п'езометричним рівнеміром з пневмометричною трубкою тиск повітря в джерелі живлення приблизно на  $0,02$  МПа більше, ніж те, яке необхідно, щоб здолати тиск стовпа рідини і тиск в апараті.

Максимальний тиск стовпа рідини:

$$p_{max} = H_{max} \cdot \rho \cdot g = 0,4 \cdot 1280 \cdot 9,81 = 512 \cdot 9,81 \text{ Па} = 5022 \text{ Па.}$$

Абсолютний тиск в апараті:

$$p_a = 200 \cdot 13,6 = 2720 \text{ Па.}$$

Таким чином, мінімальний абсолютний тиск повітря в напірній лінії має бути:

$$p_H = p_{max} + p_a + 20000 = 27742 \text{ Па.}$$

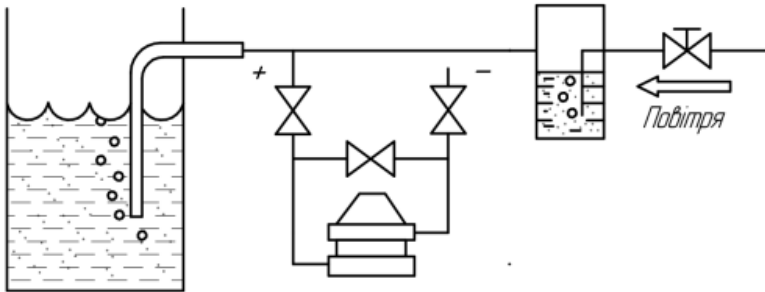


Рис. 9. Вимір рівня п'езометричним рівнеміром [3, 4].

Це означає, що атмосферне повітря можна використовувати як джерело енергії. Швидкість потоку повітря повинна бути такою, щоб одна-дві бульбашки в секунду виходили з пневмометричної трубки в рідину. Якщо дві бульбашки повітря в секунду виходять в рідину, то за одну годину через розчин проходить об'єм повітря (припускаючи, що діаметр бульбашки дорівнює діаметру трубки), що дорівнює цьому об'єму:

$$V = 2 \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^3 \cdot 3600 = 0,814 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Повітря, що виходить з пневмометричної трубки з температурою 80 °С знаходиться під абсолютним тиском та є декілька великим значенням 0,02688 МПа ( $p_{max} + p_a$ ).

Допустимо, що воно дорівнює 270 МПа.

Отже, можна визначити об'ємну годинну витрату повітря, що відбирається з атмосфери при нормальних умовах ( $t = 20$  °С,  $p_N = 1,0332$  кгс/см<sup>2</sup>):

$$V_N = \frac{T_N \cdot p}{k \cdot T \cdot p_N} = 0,814 \cdot 10^{-3} \frac{283 \cdot 0,27}{1 \cdot 353 \cdot 1,0332} = 0,177 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Примітка. Індексом «N» відмічені параметри повітря за нормальних умов,  $k=1$  — коефіцієнт стислості повітря.

*Відповідь:* тиск повітря в джерелі живлення 27742 Па, зразкова годинна витрата повітря при максимальному рівні 0,177 м<sup>3</sup>/год.

Задача №3. На трубопроводі діаметром  $D = 250$  мм потрібно встановити, перед звужуючим пристроєм з відносною площею звужуючого пристрою  $m = 0,6$ , регулюючий клапан. Визначити необхідну довжину прямої ділянки, а також можливе зменшення необхідної довжини за рахунок зменшення відносної площі звужуючого пристрою до  $m=0,45$ .

*Рішення задачі.* Якщо в трубопроводі перед звуженням встановлений регулюючий клапан, пряма ділянка між ними повинна бути не менше 100  $D$ . У цьому випадку довжина прямої ділянки трубопроводу становить  $l > 25$  м. Ця довжина трубопроводу не залежить від  $m$ .

Задача №4. Розробити схему контролю витрати та кількості рідини у технологічному потоці.

*Рішення задачі.* Схема контролю витрати та кількості рідини у технологічному потоці наведена на рис. 10.



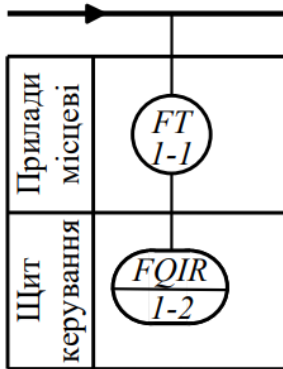


Рис. 10. Схема контролю витрати та кількості рідини у технологічному потоці [6].

Користуючись додатком 6 [6], вибрати необхідні технічні засоби автоматизації (ТЗА), що відповідають умовам завдання: 1-1 - електричний ротаметр РЕД з диференціально-трансформаторною системою передачі вимірювальної інформації; 1-2 - прилад індикації та реєстрації серії КСД2-054 з квадратичною характеристикою шкали та вбудованим пристроєм інтегрування.

Задача №5. Розробити схему контролю витрати рідини в технологічному трубопроводі.

*Рішення задачі.* Схема контролю витрати рідини в технологічному трубопроводі наведена на рис. 11.

На основі додатку 6 [6] обираємо необхідні технічні засоби автоматизації (ТЗА), що відповідають вимогам завдання: 1-1 - електромагнітний перетворювач витрати РЕМ-1000 (вихідний інтерфейс RS-485); 1-2 - мікропроцесорний технологічний індикатор ІТМ-111(В).

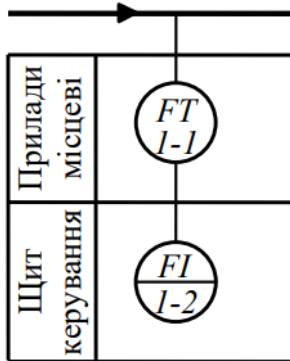


Рис. 11. Схема контролю витрати рідини в технологічному трубопроводі [6].

**Завдання для самостійної роботи:**

Задача	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5
1	$H_{\max}=4$ м, $\Delta p_H=0,05$ МПа $h=4$ м.	$H_{\max}=2,3$ м, $\Delta p_H=0,03$ МПа $h=3,5$ м.	$H_{\max}=4$ м, $\Delta p_H=0,05$ МПа $h=3,5$ м.	$H_{\max}=2,5$ м, $\Delta p_H=0,01$ МПа $h=4$ м.	$H_{\max}=1$ м, $\Delta p_H=0,01$ МПа $h=2$ м.
2	$d=7$ мм, $t_L=70$ °С.	$d=8$ мм, $t_L=80$ °С.	$d=9$ мм, $t_L=75$ °С.	$d=10$ мм, $t_L=100$ °С.	$d=16$ мм, $t_L=120$ °С.
3	$D = 300$ мм, $m = 0,33$	$D = 400$ мм, $m = 0,5$	$D = 500$ мм, $m = 0,4$	$D = 100$ мм, $m = 0,3$	$D = 150$ мм, $m = 0,5$
4	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання
5	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання

**Контрольні питання:**

1 Дайте визначення терміну "рівень". Охарактеризуйте рівень як технологічний параметр. Його одиниці вимірювання.

2. Назвіть найпоширеніші типи рівнемірів.

3. Назвіть принцип дії поплавкових рівнемірів, їх типи, переваги та недоліки.

4. Назвіть принцип дії буйкових рівнемірів, їх типи, переваги та недоліки.

## 6. Вимірювання та контроль концентрації речовини в біотехнологічних процесах.

**Мета роботи:** поглибити теоретичні знання з планування розміщення приладів та засобів автоматизації для вимірювання та контролю концентрації речовин в біотехнологічних процесах.

**Теоретична частина:** у біотехнологічній промисловості часто виникає необхідність контролювати концентрацію рідин у трубопроводах та біореакторах. Для цього використовуються потенціометричні концентратори та рефрактометри. Теоретична частина викладена в лекції, а також наведена в літературі [1, с. 100-106], [5, с.29-34], [6, с. 102, 106].

Порядок виконання роботи:

Етап 1. Підготовка до вимірювань.

1. Ознайомтеся з інструкціями з експлуатації вимірювальних приладів.
2. Перевірте справність обладнання та наявність необхідних матеріалів.
3. Підготуйте стандартні розчини для калібрування.

Етап 2. Проведення вимірювань.

1. Вимірювання концентрації речовини за допомогою спектрофотометра:
  - Калібруйте спектрофотометр за допомогою стандартних розчинів.
  - Виміряйте поглинання або відбиття світла зразком.
  - Повторіть вимірювання кілька разів для підвищення точності.
2. Вимірювання концентрації речовини за допомогою хроматографа:
  - Підготуйте зразок для аналізу.
  - Встановіть параметри хроматографа відповідно до інструкції.
  - Проведіть аналіз зразка та запишіть результати.
3. Вимірювання концентрації речовини за допомогою титриметричного методу:
  - Приготуйте титруючий розчин відомої концентрації.
  - Виконайте титрування зразка та визначте точку еквівалентності.

- Розрахуйте концентрацію речовини у зразку.
- 4. Вимірювання концентрації речовини за допомогою електрохімічного аналізатора:
  - Калібруйте аналізатор за допомогою стандартних розчинів.
  - Виміряйте електричні параметри зразка.
  - Повторіть вимірювання кілька разів для підвищення точності.

Етап 3. Аналіз результатів вимірювань.

1. Розрахуйте середнє значення концентрації для кожного методу вимірювання.
2. Визначте абсолютну та відносну похибки вимірювань.
3. Побудуйте графіки залежності виміряної концентрації від методу вимірювання.

Етап 4. Порівняння результатів.

1. Порівняйте результати вимірювань, отриманих різними методами.
2. Проаналізуйте фактори, що впливають на точність вимірювань.
3. Обґрунтуйте вибір найбільш точного та надійного методу вимірювання концентрації речовини для біотехнологічних процесів.

Обробка результатів:

- Представте результати вимірювань у вигляді таблиць та графіків.
- Виконайте аналіз похибок та обговоріть можливі причини їх виникнення.
- Зробіть висновки щодо точності та надійності вимірювань концентрації речовини за допомогою різних методів.

Звіт про виконану лабораторну роботу повинен містити:

1. Титульну сторінку з зазначенням теми роботи, прізвища та ініціалів студента, групи, дати виконання.
2. Мету та завдання роботи.
3. Короткі теоретичні відомості (основні поняття та визначення).
4. Опис виконання роботи:
  - Перелік обладнання та матеріалів.
  - Хід роботи з описом проведених дій.

5. Результати вимірювань:
  - Таблиці з записами вимірювань.
  - Розрахунки похибок.
6. Аналіз та обговорення результатів:
  - Обговорення факторів, що вплинули на точність вимірювань.
  - Порівняння з теоретичними значеннями або еталонами.
7. Висновки:
  - Загальні висновки по роботі.
  - Пропозиції щодо покращення методики вимірювань.
8. Відповіді на контрольні запитання.
9. Список використаної літератури.

**Завдання до самостійної роботи:** ознайомтеся з прикладами до завдань 1-2, алгоритмами їх розв'язання та опрацюйте завдання з розділу "Завдання для самостійної роботи" за власним варіантом.

Задача №1. Розробити схему стабілізуючої одноконтурної системи регулювання (САР) рН в апараті з температурною корекцією.

*Рішення задачі.* Схема одноконтурної стабілізуючої системи автоматичного регулювання (САР) значення рН в апараті з корекцією за температурою наведена на рис. 12.

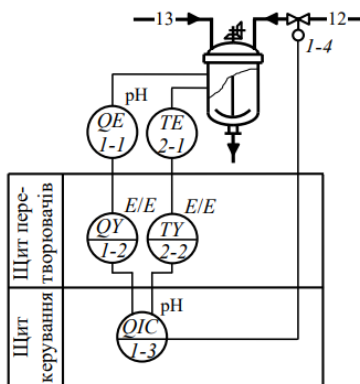


Рис. 12. Схема одноконтурної стабілізуючої системи

автоматичного регулювання (САР) значення рН в апараті з корекцією за температурою [6].

На основі додатку 6 [6] обираємо необхідні технічні засоби автоматизації (ЗВТ), що відповідають вимогам поставленого завдання: 1-1 - чутливий елемент занурювального рН-метра ДПг-4М; 1-2 - нормувальний перетворювач (нормалізатор) рН-метра ПП-10-1; 1-3 - мікропроцесорний контролер ПП-10-2 (реалізує дво- та трипозиційне регулювання, а також П, ПІ та ПД (імпульсне регулювання) алгоритми, формує вихідний імпульсний сигнал для керування зовнішнім інтегрованим виконавчим пристроєм); 1-4 - дистанційний універсальний (імпульсне керування, широтно-імпульсна модуляція (ШІМ)) електричний привід СТЕП-Р; 2-1 - термоелектричний перетворювач з НСХ В, L, К та інш. або термоперетворювач опору ТОП чи ТОМ калібрування 50П, 50М тощо; 2-2 - нормувальний перетворювач БПТ-22 або БПО-42.

Задача №2. Розробити схему контролю рН розчину в технологічному трубопроводі.

Рішення задачі. Схема контролю рН розчину в технологічному трубопроводі на рис. 13.

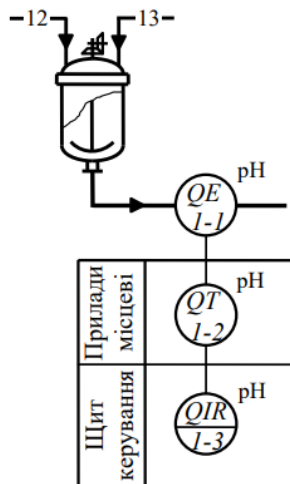


Рис. 13. Схема контролю рН розчину в технологічному трубопроводі [6].

За допомогою додатку 6 [6] вибираємо необхідні технічні засоби автоматизації (ТЗА), що відповідають умовам завдання: 1-1 - чутливий елемент рН-метра основного виконання ДМ-5М (для контролю рН в приладі використовуються чутливі елементи занурювального виконання ДПг-4М) зі скляними електродами ЕСП-31-06 та регулятором тиску РДС-1; 1-2 - високоомний перетворювач Р-215М з цифровою індикацією результатів та пристроєм зв'язку з комп'ютером; 1-3 - прилад індикації та реєстрації ДИСК-250.

### **Завдання для самостійної роботи:**

Задача	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5
1	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання
2	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання

### **Контрольні питання:**

- 1 Опишіть мету автоматичного моніторингу концентрації в біотехнології.
2. Як класифікуються прилади для вимірювання концентрації за принципом дії?
3. Які методи та прилади використовують для вимірювання концентрації речовин?
4. Опишіть принцип дії потенціометричних концентраторів.
5. Опишіть принцип дії оптичних концентраторів.

## 7. Розроблення схеми автоматичного контролю параметру процесу.

**Мета роботи:** поглибити теоретичні знання щодо розробки схеми автоматичного регулювання технологічного параметра.

**Теоретична частина:** теоретична частина освоюється на лекціях і додатково наведена в літературі [1, с. 4-43], [3, с. 82-85], [6, с. 99,100], [7, с.88-93].

Порядок виконання роботи:

Етап 1. Підготовка до роботи.

1. Ознайомтеся з інструкцією з використання програмного забезпечення для побудови схем.
2. Перевірте справність обладнання та наявність необхідних матеріалів.
3. Визначте параметр процесу, який потрібно контролювати (наприклад, температура, тиск, рівень).

Етап 2. Розробка схеми автоматичного контролю.

1. Вибір елементів схеми:
  - Визначте необхідні датчики для вимірювання параметру процесу.
  - Оберіть відповідний контролер для обробки даних та прийняття рішень.
  - Підберіть актюатори для здійснення керуючих дій.
2. Побудова схеми:
  - Використовуючи програмне забезпечення, розробіть схему автоматичного контролю параметру процесу.
  - Зобразіть всі необхідні елементи та з'єднання між ними, включаючи датчики, контролери, актюатори та засоби комунікації.
3. Документування схеми:
  - Складіть пояснювальну записку до схеми, яка включає опис всіх елементів та їх функцій.
  - Вкажіть можливі сценарії роботи системи та методи реагування на нестандартні ситуації.

Етап 3. Аналіз ефективності схеми.

1. Перевірка роботи схеми:
  - Виконайте симуляцію роботи схеми за допомогою програмного забезпечення.



- Оцініть точність і швидкість реагування системи.
- 2. Аналіз результатів:
  - Визначте можливі недоліки та шляхи їх усунення.
  - Проаналізуйте надійність системи та запропонуйте шляхи її підвищення.

Обробка результатів:

- Представте результати у вигляді схеми та пояснювальної записки.
- Проведіть аналіз роботи системи та зробіть висновки щодо її ефективності.

Звіт про виконану лабораторну роботу повинен містити:

1. Титульну сторінку з зазначенням теми роботи, прізвища та ініціалів студента, групи, дати виконання.
2. Мету та завдання роботи.
3. Короткі теоретичні відомості (основні поняття та визначення).
4. Опис виконання роботи:
  - Перелік обладнання та матеріалів.
  - Хід роботи з описом проведених дій.
5. Результати розробки схеми:
  - Схема автоматичного контролю параметру процесу.
  - Пояснювальна записка до схеми.
6. Аналіз та обговорення результатів:
  - Обговорення ефективності роботи системи.
  - Пропозиції щодо покращення схеми.
7. Висновки:
  - Загальні висновки по роботі.
  - Пропозиції щодо покращення методики побудови схем.
8. Відповіді на контрольні запитання.
9. Список використаної літератури.

**Завдання до самостійної роботи:** ознайомтеся з прикладом задачі, алгоритмом її розв'язання та опрацюйте завдання з розділу "Завдання для самостійної роботи" за власним варіантом.

Задача №1. 11. Розробити схему системи автоматичного контролю рН в трубопроводі в діапазоні 6...8 з виведенням вимірної

інформації на вторинний пневматичний пристрій та забезпечити реєстрацію контрольованого параметра. Запропонувати технологію автоматизації, необхідну для реалізації. 2. Розробити розрахункову схему вимірювального каналу рН трубопроводу для п. 1. 3. Розрахувати сумарну похибку розробленого вимірювального каналу. Розрахувати сумарну похибку розробленого вимірювального каналу для значення рН в трубопроводі (довірчу ймовірність прийняти рівною 0,95), вибравши вимірювальний прилад з відповідними метрологічними характеристиками.

*Рішення задачі.* Схема системи автоматичного контролю рН наведена на рис. 14.

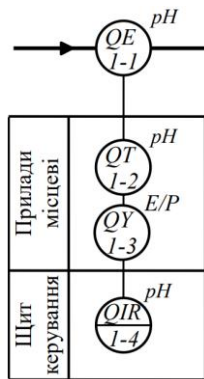


Рис. 14. Схема системи автоматичного контролю рН: 1-1 – первинний вимірювальний перетворювач рН-метра магістрального виконання; 1-2 – проміжний перетворювач рН-метра; 1-3 – електропневматичний перетворювач; 1-4 – прилад вторинний пневматичний показувальний, реєструвальний [6].

Структурну схему вимірювального каналу розробленого контура автоматичного контролю величини рН у трубопроводі представимо у вигляді:

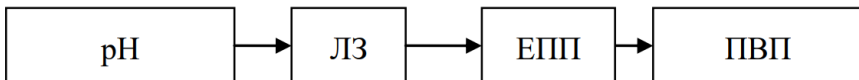


Рис. 15. Структурна схему вимірювального каналу розробленого контура автоматичного контролю величини рН у трубопроводі: рН – рН-метр з уніфікованим електричним вихідним сигналом; ЛЗ – лінії

зв'язку; ЕПП – електропневматичний перетворювач; ПВП – пневматичний вторинний прилад показувальний, реєструвальний [6].

Скориставшись Додатком 6 [6], виберемо необхідні технічні засоби автоматизації (ТЗА), що відповідають умовам задачі: рН-метр промисловий у складі первинного вимірювального перетворювача магістрального виконання ДМ-5М та проміжного перетворювача П215М з класом точності 1, діапазоном вимірювання (ДВ): мінус 1...14 од. рН, вихідним сигналом  $I_{\text{вих}} = 0...5$  мА; лінії зв'язку (ЛЗ) класу точності 0,4; електропневматичний перетворювач МТМ 810 з  $I_{\text{вих}} = 0...5$  мА,  $P_{\text{вих}} = 20...100$  кПа і класом точності 0,5; пневматичний вторинний прилад показувальний, реєструвальний ФК0071 з класом точності 0,5 і діапазоном вимірювання (ДВ): 0...15 од. рН [6].

Розрахуємо похибки розробленого вимірювального каналу. Визначимо гранично-допустиму абсолютну похибку для рН-метра (ДМ-5М + П-215М):

$$\Delta(pH)_{\text{доп}_{pH}} = \frac{K_{T_{pH}} \cdot \text{ДВ}}{100} = \frac{1(14 - (-1))}{100} = \frac{1 \cdot 15}{100} = 0,15 \text{ од. рН.}$$

Згідно з довірчою ймовірністю  $R_d = 0,95$ , для кожного елемента розрахуємо середньо-квадратичну похибку в абсолютних значеннях за виразом  $\Delta_{0,95} = K_{N_{0,95}} \cdot \sigma$ . Середньо-квадратична похибка для рН-метра:

$$\sigma_{pH} = \frac{\Delta(pH)_{\text{доп}_{pH}}}{K_{N_{0,95}}} = \frac{0,15}{1,96} = 0,077 \text{ од. рН.}$$

Визначимо граничнодопустимі абсолютну та середньо-квадратичну похибки для ліній зв'язку:

$$\Delta(pH)_{\text{доп}_{ЛЗ}} = \frac{K_{T_{ЛЗ}} \cdot pH_{\text{вим}}^{\text{max}}}{100} = \frac{0,4 \cdot 8}{100} = 0,032 \text{ од. рН.}$$

$$\sigma_{ЛЗ} = \frac{\Delta(pH)_{\text{доп}_{ЛЗ}}}{K_{N_{0,95}}} = \frac{0,032}{1,96} = 0,016 \text{ од. рН.}$$

Граничнодопустимі абсолютна та середньо-квадратична похибки електропневматичного перетворювача:

$$\Delta(pH)_{\text{ДОП}_{\text{ЕПП}}} = \frac{K_{T_{\text{ЕПП}}} \cdot pH_{\text{ВИМ}}^{\text{max}}}{100} = \frac{0,5 \cdot 8}{100} = 0,04 \text{ од. рН.}$$

$$\sigma_{\text{ЕПП}} = \frac{\Delta(pH)_{\text{ДОП}_{\text{ЕПП}}}}{K_{H_{0,95}}} = \frac{0,04}{1,96} = 0,020 \text{ од. рН.}$$

Граничнодопустимі абсолютна та середньо-квадратична похибки пневматичного вторинного прилада ФК0071:

$$\Delta(pH)_{\text{ДОП}_{\text{ПВП}}} = \frac{K_{T_{\text{ПВП}}} \cdot ДВ_{\text{ПВП}}}{100} = \frac{0,5(15 - 0)}{100} = 0,075 \text{ од. рН.}$$

$$\sigma_{\text{ПВП}} = \frac{\Delta(pH)_{\text{ДОП}_{\text{ПВП}}}}{K_{H_{0,95}}} = \frac{0,075}{1,96} = 0,038 \text{ од. рН.}$$

Розрахуємо середньо-квадратичну абсолютну похибку вимірювального каналу:

$$\sigma_{\text{ВК}} = \sqrt{\sigma_{\text{рН}}^2 + \sigma_{\text{ЛЗ}}^2 + \sigma_{\text{ЕПП}}^2 + \sigma_{\text{ПВП}}^2} = \sqrt{0,077^2 + 0,016^2 + 0,02^2 + 0,038^2} = 0,089 \text{ од. рН.}$$

Розрахуємо гранично-допустиму абсолютну похибку вимірювального каналу:

$$\Delta(pH)_{\text{ДОП}_{\text{ВК}}} = \pm K_{H_{0,95}} \cdot \sigma_{\text{ВК}} = \pm 1,96 \cdot 0,089 = \pm 0,174 \text{ од. рН.}$$

та гранично-допустиму зведену похибку вимірювального каналу:

$$\gamma_{\text{ДОП}_{\text{ВК}}}(pH) = \pm \frac{\Delta(pH)_{\text{ДОП}_{\text{ВК}}}}{ДВ_{\text{ВК}}} \cdot 100\% = \pm \frac{0,174}{15} \cdot 100\% = \pm 1,16\%.$$

*Відповідь:* Отже, аналізований вимірювальний канал величини рН у трубопроводі відповідає класові точності 1,5, а дійсне значення вимірюваної величини  $pH_{\text{д}} = pH_{\text{вим}} \pm 0,174 \text{ од. рН}$  з імовірністю  $P_{\text{д}} = 0,95$  [6].

### Завдання для самостійної роботи:

Задача	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5
1	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання	згідно із виданого викладачем завдання

### **Контрольні питання:**

1. Де і як відображаються первинні та вторинні вимірювальні трансформатори на ФСА?
2. Які технічні засоби автоматизації відображаються в прямокутнику " Місцеві прилади " (Прилади за місцем)?
3. Як відображаються локальні та щитові пристрої автоматизації, за винятком контролерів, виконавчих механізмів та пристроїв СЦБ?
4. Як відображаються пристрої керування з виконавчими пристроями? Як відображаються технологічні пристрої та комунікації на ФСА?
5. Яка система використовується для складання літерних кодів елементів автоматики?
6. Як присвоюються позиційні номери елементам автоматизації та електрообладнання?
7. Чи відповідають адресні номери з'єднувальних (інформаційних) ліній номерам комплектів засобів вимірювання (контролю)?
8. Де і як відображаються органи управління та обчислювальна техніка на ЗВТ?
9. Що означають літери в першій групі літерних кодів елементів автоматики?
10. Що означають літери другої групи літерних кодів елементів автоматизації?

## 8. Використання штучного інтелекту та машинного навчання в автоматизації біотехнологічних виробництв.

**Мета роботи:** ознайомлення з методами застосування штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання (МН) в автоматизації біотехнологічних процесів, розуміння принципів роботи алгоритмів ШІ та МН, а також оволодіння навичками їх використання для підвищення ефективності та якості біотехнологічного виробництва.

### Теоретична частина:

Штучний інтелект — це галузь комп'ютерних наук, яка займається створенням систем, здатних виконувати завдання, що зазвичай вимагають людського інтелекту, такі як розпізнавання мови, прийняття рішень, виявлення аномалій тощо.

Машинне навчання — це підмножина ШІ, що дозволяє системам навчатися та покращувати свої результати на основі досвіду без явного програмування. Основні типи навчання включають:

- Кероване навчання (Supervised Learning): навчання на основі розмічених даних.
- Некероване навчання (Unsupervised Learning): виявлення структур у нерозмічених даних.
- Навчання з підкріпленням (Reinforcement Learning): навчання на основі винагород і покарань.

### 2. Застосування ШІ та МН у біотехнологічних процесах

У біотехнології ШІ та МН можуть бути використані для:

- Прогнозування: передбачення результатів біотехнологічних процесів.
- Оптимізації: налаштування параметрів процесів для досягнення максимального виходу продукту.
- Аналізу даних: обробка великих обсягів біологічних даних для виявлення патернів та аномалій.

### 3. Інструменти для реалізації алгоритмів ШІ та МН

Для реалізації алгоритмів ШІ та МН можна використовувати різні програмні засоби:

- Python: мова програмування з великою кількістю бібліотек для ШІ та МН (TensorFlow, Keras, Scikit-learn).
- R: мова програмування, популярна для статистичного аналізу та машинного навчання.
- MATLAB: програмний комплекс для наукових розрахунків,

включаючи моделювання та машинне навчання.

Обладнання та матеріали

- Комп'ютер з доступом до інтернету
- Середовище програмування (Jupyter Notebook, RStudio, MATLAB)
- Бібліотеки Python для МН (TensorFlow, Keras, Scikit-learn)
- Набори даних для навчання та тестування моделей

Порядок виконання роботи:

Етап 1. Підготовка до роботи.

1. Ознайомтеся з основними поняттями та алгоритмами машинного навчання.
2. Встановіть необхідне програмне забезпечення та бібліотеки.
3. Підготуйте набір даних для моделювання (наприклад, дані про параметри біотехнологічного процесу).

Етап 2. Розробка моделі машинного навчання.

1. Вибір алгоритму МН:
  - Визначте тип задачі (класифікація, регресія, кластеризація).
  - Оберіть відповідний алгоритм (наприклад, лінійна регресія, дерева рішень, нейронні мережі).
2. Підготовка даних:
  - Розділіть дані на навчальну та тестову вибірки.
  - Виконайте передобробку даних (масштабування, нормалізація, заповнення пропусків).
3. Навчання моделі:
  - Використовуйте навчальну вибірку для тренування моделі.
  - Налаштуйте параметри моделі для досягнення найкращих результатів.
4. Оцінка моделі:
  - Виконайте тестування моделі на тестовій вибірці.
  - Оцініть точність та інші метрики (наприклад, середньоквадратична похибка, точність класифікації).

Етап 3. Аналіз результатів моделювання.

1. Порівняння результатів:
  - Порівняйте результати навчальної та тестової вибірок.

- Проаналізуйте вплив різних параметрів моделі на точність прогнозів.
- 2. Візуалізація результатів:
  - Побудуйте графіки для візуалізації результатів моделювання (наприклад, графіки залежності прогнозованих значень від реальних).
- 3. Оптимізація моделі:
  - Запропонуйте шляхи покращення моделі (наприклад, використання інших алгоритмів, додавання нових ознак).

#### Обробка результатів:

- Представте результати моделювання у вигляді таблиць та графіків.
- Виконайте аналіз точності моделі та обговоріть можливі причини похибок.
- Зробіть висновки щодо ефективності використання ШІ та МН у біотехнологічних процесах.

#### Звіт про виконану лабораторну роботу повинен містити:

1. Титульну сторінку з зазначенням теми роботи, прізвища та ініціалів студента, групи, дати виконання.
2. Мету та завдання роботи.
3. Короткі теоретичні відомості (основні поняття та визначення).
4. Опис виконання роботи:
  - Перелік програмного забезпечення та матеріалів.
  - Хід роботи з описом проведених дій.
5. Результати моделювання:
  - Таблиці з записами результатів.
  - Графіки та візуалізація результатів.
6. Аналіз та обговорення результатів:
  - Обговорення факторів, що вплинули на точність моделі.
  - Порівняння з теоретичними значеннями або еталонами.
7. Висновки:
  - Загальні висновки по роботі.
  - Пропозиції щодо покращення методики моделювання.



8. Відповіді на контрольні запитання.
9. Список використаної літератури.

### **Завдання до самостійної роботи:**

1. Вивчення інструментів для машинного навчання.

Завдання: Ознайомтеся з сучасними інструментами для машинного навчання (TensorFlow, Keras, Scikit-learn) та виконайте порівняльний аналіз їх можливостей та зручності використання.

Очікувані результати: Звіт з порівнянням інструментів, приклади коду для кожного інструменту.

2. Огляд сучасних тенденцій у ШІ для біотехнологій.

Завдання: Проведіть огляд сучасних тенденцій та нових розробок у використанні штучного інтелекту та машинного навчання в біотехнології. Напишіть реферат з описом перспективних технологій та їх застосування.

Очікувані результати: Реферат з аналізом сучасних тенденцій, презентація основних висновків.

### **Контрольні питання:**

1. Які основні типи машинного навчання ви знаєте?
2. Як обрати відповідний алгоритм для конкретної задачі?
3. Які фактори впливають на точність моделей машинного навчання?
4. Як можна покращити результати моделювання?
5. Які переваги має використання ШІ та МН у біотехнологічних процесах?

## Література

1. Конспект лекцій з курсу «Контроль та керування біотехнологічними процесами» для студентів денної форми навчання спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» / Укладачі: А. П. Белінська, О. М. Близнюк, Н. Ю. Масалітіна – Харків: НТУ «ХП», 2022. – 120с. Режим доступу до ресурсу: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/c52fcc8f-0bef-4bfb-b501-951f2777a7e5/content> .

2. Основи теорії похибок [Текст]: метод. вказівки до лабораторної і самостійної роботи та виконання ДКР студентів напряму підготовки 6.051301 –"Хімічна технологія" спеціальностей 7.05130110 та 8.05130110 "Хімічні технології переробки деревини та рослинної сировини" Уклад.: Плосконос В.Г. –К.: НТУУ "КПІ", 2012.– 51 с. Режим доступу до ресурсу: [https://eco-paper.kpi.ua/images/documents/metodichki/paper/5k/teoria\\_poxibok\\_PZ\\_SR\\_DKR.pdf](https://eco-paper.kpi.ua/images/documents/metodichki/paper/5k/teoria_poxibok_PZ_SR_DKR.pdf) .

3. Автоматизація фармацевтичних і біотехнологічних виробництв. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістр за освітньою програмою «Біотехнології» спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. М. Мельник, В. П. Косова, М. В. Шафаренко. - Електронні текстові дані (1 файл: 3.22 Мбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 90 с. Режим доступу до ресурсу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/c25572e9-a5f0-4d21-bdf8-5a1ea3ad26d2/content>

4. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – К.: Либідь, 1997. - 544 с.

5. Методичні вказівки до практичних робіт з курсу «Контроль та керування біотехнологічними процесами» для студентів денної форми навчання спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» / Укладачі: А. П. Белінська, О. М. Близнюк, Н. Ю. Масалітіна – Харків: НТУ «ХП», 2022. – 44 с. Режим доступу до ресурсу: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/5ea5fcd1-1151-4a33-8883-478d0a6b4bcd/content>

6. Технологічні вимірювання та прилади. Курсовий проєкт. Частина 1 [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою «Технічні та програмні засоби автоматизації» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; Уклад.: М. В. Лукінюк, П. М. Шашкевич. – Електронні текстові дані (1 файл: 5,82 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 157 с. Режим доступу до ресурсу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/e2e49a05-b0d0-448d-bbab-dc6072b18aa8/content>

7. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Технічні засоби автоматизації» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійними програмами «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», «Робототехніка та штучний інтелект» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Жомирук Р. В., Аврука І. С. – Рівне : НУВГП, 2022. – 111 с. Режим доступу до ресурсу: <https://ep3.nuwm.edu.ua/23193/1/04-03-180%D0%9C.pdf>.