

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ

Група АКП-23-2К

Владислав Олексюк

2025

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Факультет автоматизації та енергетики
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Олексюк Владислав Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК

681.53

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розроблення системи автоматизованого керування для установки біохімічного

(назва роботи)

очищення стічних вод

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(назва освітньої програми)

174 - Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Нормоконтроль

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

О.В. Кучмистенко

(ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКП-23-2К

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

В.О. Олексюк

(ініціали та прізвище)

Рецензент

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

Л.Я. Чигур

(ініціали та прізвище)

Науковий керівник

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

Л.І. Фешанич

(ініціали та прізвище)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

А.І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Спеціальність 174 - Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТ

А.І. Лагойда.

«___» _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Олексюку Владиславу Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи автоматизованого керування для
установки біохімічного очищення стічних вод

керівник роботи Фешанич Лідія Ігорівна к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «07» травня 2025 року № 52/8

2. Строк подання студентом роботи 13.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи матеріали переддипломної практики,
методичні вказівки, технічна література, інтернет-ресурс.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Вступ.

2. Аналіз технологічного процесу біохімічного очищення стічних вод як
об'єкта автоматичного контролю і керування.

3. Математичне моделювання і ідентифікація об'єкта керування.

4. Синтез та аналіз системи автоматичного керування.

5. Розробка проектної складової САК.

6. Загальні висновки.

Список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Лист 1 – Технологічна схема – БР.АКП-56.00.00.000 01

Лист 2 – Структурна схема – БР.АКП-56.00.00.000 02

Лист 3 – Функціональна схема – БР.АКП-56.00.00.000 03

Лист 4 – Схема зовнішніх з'єднань – БР.АКП-56.00.00.000 04

Лист 5 – Схема щита керування – БР.АКП-56.00.00.000 05

Лист 6 – Електрична схема – БР.АКП-56.00.00.000 06

Лист 7 – Перелік елементів – БР.АКП-56.00.00.000 07

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання 06.11.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів бакалаврської роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|--------------------------------|----------|
| 1 | Аналіз технологічного процесу біохімічного очищення стічних вод як об'єкта автоматичного контролю і керування. | 08.05.2025 | |
| 2 | Математичне моделювання і ідентифікація об'єкта керування. | 11.05.2025 | |
| 3 | Синтез та аналіз системи автоматичного керування. | 13.05.2025 | |
| 4 | Розробка проектної складової САК. | 21.05.2025 | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Студент _____
(підпис)

В.О. Олексюк _____
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Л.І. Фешанич _____
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить: 55 сторінок друкованого тексту, 29 рисунків, 2 таблиці, 7 переліків посилань на джерела і 7 додатків.

Тема: «Розроблення системи автоматизованого керування для установки біохімічного очищення стічних вод».

Об'єкт дослідження: Процес біохімічного очищення стічних вод у системі «аеротенк – вторинний відстійник» як об'єкт автоматичного контролю і керування.

Мета роботи: Розробка, моделювання та впровадження системи автоматичного регулювання концентрації розчиненого кисню та інших ключових параметрів у процесі біохімічного очищення стічних вод з метою підвищення ефективності, стабільності та екологічної безпеки очищення.

Методи дослідження: системний аналіз, математичне моделювання, ідентифікація об'єкта, комп'ютерне моделювання в MATLAB/Simulink, розробка програмного забезпечення, експериментальні дослідження з використанням SCADA та ПЛК.

Результати бакалаврської роботи: Створено математичну модель аеротенка, ідентифіковано його динамічні властивості, синтезовано ПІ-регулятор, який забезпечує ефективне регулювання концентрації розчиненого кисню. Розроблено структурну, функціональну та електричну схеми автоматизованої системи управління. Впроваджено SCADA-моніторинг і програмне забезпечення для ПЛК. Запропонована система відповідає сучасним технічним вимогам і забезпечує підвищену стабільність та ефективність процесу очищення.

Ключові слова: біохімічне очищення, аеротенк, активний мул, автоматичне регулювання, розчинений кисень, SCADA, ПЛК, ПІ-регулятор, математичне моделювання, стічні води.

ABSTRACT

Bachelor's thesis contains: 55 pages of printed text, 29 figures, 2 tables, 7 lists of references to sources and 7 appendices.

Topic: "Development of an automated control system for a biochemical wastewater treatment plant."

Object of the research: The biochemical wastewater treatment process in the "aeration tank – secondary clarifier" system as an object of automatic control and regulation.

Purpose of the work: To design, model, and implement an automatic control system for maintaining the concentration of dissolved oxygen and other key parameters in the biochemical wastewater treatment process to enhance treatment efficiency, process stability, and environmental safety.

Research methods: systems analysis, mathematical modeling, object identification, computer modeling in MATLAB/Simulink, software development, experimental research using SCADA and PLC.

Bachelor's work results: A mathematical model of the aeration tank was developed and its dynamic properties identified. A PI controller was synthesized to maintain the dissolved oxygen level effectively. Structural, functional, and electrical diagrams of the automated control system were created. A SCADA-based monitoring interface and PLC software were developed. The proposed system meets modern technical standards and ensures increased stability and performance of the wastewater treatment process.

Keywords: biochemical treatment, aeration tank, activated sludge, automatic control, dissolved oxygen, SCADA, PLC, PI controller, mathematical modeling, wastewater.

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4 | РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ СКЛАДОВОЇ САК..... | 31 |
| 4.1 | Розробка функціональної схеми автоматизації..... | 31 |
| 4.2 | Вибір технічних засобів автоматизації..... | 33 |
| 4.3 | Розробка додаткових проектних рішень..... | 42 |
| 4.4 | Розробка програмного забезпечення для PLC..... | 48 |
| | Висновки до розділу..... | 50 |
| | ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ..... | 52 |
| | ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА..... | 54 |
| | ДОДАТКИ..... | 55 |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 7 |

ВСТУП

Однією з ключових екологічних проблем сучасності є зростаюче антропогенне навантаження на водні ресурси, зокрема внаслідок скидання неочищених або недостатньо очищених стічних вод. Із розвитком промисловості, зростанням чисельності населення та урбанізацією спостерігається значне збільшення обсягів стоків, що вимагає вдосконалення методів очищення та переходу до більш ефективних і стабільних рішень.

Серед існуючих технологій біохімічне очищення є одним із найбільш поширених та екологічно обґрунтованих підходів. Воно базується на здатності мікроорганізмів до окиснення органічних сполук у присутності кисню. Центральним елементом такої системи виступає аеротенк — біореактор, у якому відбуваються основні мікробіологічні процеси. Однак ефективність функціонування аеротенка напряму залежить від дотримання оптимальних умов.

Впровадження систем автоматичного регулювання дозволяє підвищити ефективність процесу очищення, зменшити енерговитрати, стабілізувати якість очищеної води та забезпечити відповідність екологічним вимогам.

Актуальність цієї роботи полягає в необхідності розробки проектного рішення для автоматизованої системи керування процесом біохімічного очищення стічних вод, з урахуванням особливостей динаміки об'єкта — біореактора типу «аеротенк – відстійник».

Метою бакалаврської роботи є проектування системи автоматичного регулювання ключових параметрів технологічного процесу біохімічного очищення стічних вод. У межах цього завдання планується створити математичну модель об'єкта, обґрунтувати вибір технічних засобів автоматизації, розробити функціональну схему керування, а також сформулювати принципові рішення щодо реалізації системи на базі програмованого логічного контролера та SCADA-рівня.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 8 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ БІОХІМІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ

1.1 Призначення установки та суть процесу

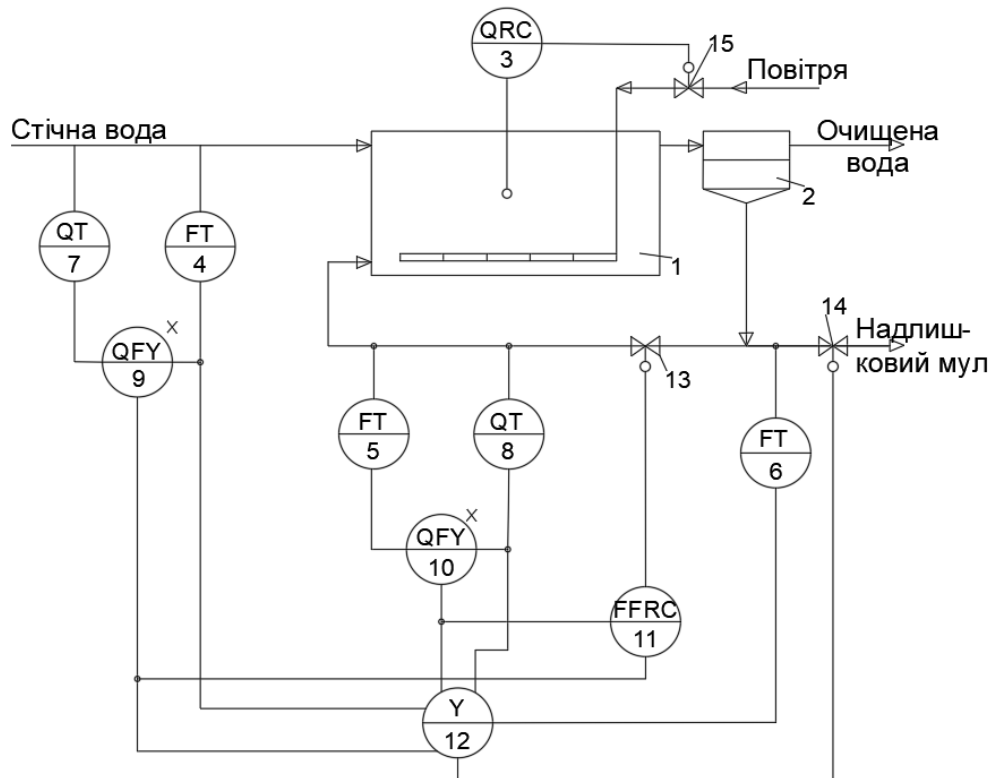
Система біохімічного очищення стічних вод є заключним етапом технологічного ланцюга очистки, що виконує окиснення органічних забруднень із стоків шляхом біохімічних реакцій за участю аеробних мікроорганізмів. Очищення реалізується в аеротенках або, в окремих випадках, у штучних водоймах (ставках, каналах), куди подають стічні води, збагачені активним мулом. Систему показано на рисунку 1.1.

Основна роль процесу – перетворення органічних речовин, присутніх у стічній воді, у безпечні мінеральні сполуки (CO_2 , H_2O) та біомасу мікроорганізмів. Для забезпечення життєдіяльності цієї біомаси у нижню частину аеротенка безперервно подається повітря, що забезпечує достатню кількість розчиненого кисню.

Після проходження біореактора оброблена мулова суміш направляється до вторинного відстійника, де здійснюється гравітаційне осадження активного мулу. Частина осаду, що містить активну мікробіоту, повертається назад в аеротенк (рециркуляція), тоді як надлишковий мул виводиться з системи для подальшої обробки.

Ключовою задачею автоматизації в такій системі є підтримання стабільних умов для мікробіологічних процесів у середовищі, де параметри стічної води можуть коливатися. Зокрема, варіюється концентрація органічних речовин, рівень розчиненого кисню, температура, рН та інші характеристики.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 9 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



1 – аеротенк; 2 – відстійник; 3 – регулятор концентрації; 4–6 – датчики витрат;
 7, 8 – датчики концентрацій; 9, 10 – блоки множення; 11 – регулятор співвідношення витрат; 12 – обчислювальний блок; 13–15 – регулювальні клапани

Рисунок 1.1 – Система автоматичного регулювання блока аеротенк – відстійник:

Задля забезпечення ефективної роботи функціонує трирівнева система автоматичного регулювання, яка охоплює:

1. Контур регулювання концентрації розчиненого кисню
 Працює за сигналом від датчика концентрації кисню в аеротенку. Регулятор впливає на регулювальний клапан на повітроводі, змінюючи витрату повітря, щоб підтримати заданий рівень DO (Dissolved Oxygen) у муловій суміші.

2. Контур регулювання навантаження на активний мул
 Забезпечує постійне співвідношення між кількістю забруднень у вхідних стоках і об'ємом активного мулу. Система включає датчики витрати стічної води та поворотного мулу, а також сенсори концентрації органічних речовин і мулу. Ці

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. 10 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

сигнали передаються на обчислювальні блоки, які через регулятор співвідношення впливають на клапан керування потоком поворотного мулу.

3. Контур регулювання виведення надлишкового мулу Підтримує постійну масу активного мулу в аеротенку та відстійнику. На основі даних з витратомірів і сенсорів концентрації обчислюється поточна маса мулу, і відповідно регулюється витрата на виведення надлишку.

Оскільки пряме вимірювання концентрації органічних речовин у стоках у режимі реального часу технічно складне, для контролю використовуються непрямі методи: розрахунок органічного навантаження за витратою стоків та оцінкою рівня DO.

Основним критерієм ефективності очищення є концентрація органічних речовин на виході з аеротенка. Вона залежить від:

- первинної концентрації забруднень,
- витрати стічної води,
- концентрації активного мулу,
- рівня кисню в муловій суміші,
- часу перебування стоків у реакторі.

Ціль системи керування — підтримання кінцевої концентрації органіки в допустимих межах за допомогою точного регулювання умов біологічної активності. Це досягається адаптивною взаємодією між контуром DO, навантаженням на біомасу та контролем маси мулу.

1.2 Характеристики продукції, сировини та реагентів

Сировиною для біохімічної установки є побутові та промислові стічні води, які містять широкий спектр забруднюючих компонентів:

- Органічні речовини: білки, жири, вуглеводи, амінокислоти, леткі жирні кислоти, що підвищують біохімічну потребу в кисні (БПК).

- Неорганічні домішки: солі важких металів, залишки ПАР, нафтопродукти.

- Фізико-хімічні домішки: завислі речовини, оксиди, пісок, іржа,

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 11 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

мінеральні сполуки.

Біологічні компоненти: патогенні мікроорганізми, бактерії, віруси.

Основні джерела: підприємства харчової, хімічної, текстильної промисловості, каналізаційні системи населених пунктів, аграрні комплекси.

Характеристики сировини, що впливають на процес очищення:

- рН — 6,0–8,5;
- температура — 10–35 °С;
- БПК₅ — 200–600 мг/л;
- завислі речовини — до 300 мг/л;
- вміст токсичних речовин — змінний, залежить від джерела.
- Готова продукція поділяється на:
 - Очищена вода, яка за вимогами ДСТУ та європейських стандартів

повинна мати:

- БПК \leq 30 мг/л;
- рН у межах 6,5–8,5;
- прозорість, відсутність запаху, знижену мутність;
- відсутність патогенних мікроорганізмів.
- Надлишковий активний мул, що утворюється внаслідок розмноження

бактерій:

- містить до 98% вологи;
- є джерелом вторинної переробки (компост, добрива, біогаз);
- вимагає згущення, стабілізації, утилізації.

Реагенти, що іноді застосовуються:

- флокулянти або коагулянти для попереднього осадження;
- лужні чи кислотні речовини для регулювання рН;
- азотні або фосфорні сполуки для біогенів у разі дефіциту.

1.3 Аналіз технологічної схеми установки біохімічного очищення стічних вод

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 12 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Технологічна схема установки типу «аеротенк – вторинний відстійник» передбачає поетапну обробку стоків у трьох основних напрямках:

1. Біохімічна обробка в аеротенку — відбувається окиснення органічних речовин активним мулом в умовах подачі кисню.

2. Осадження у відстійнику — біомаса осідає, очищена вода відводиться, мул рециркулює.

3. Контури керування:

– Контур 1: підтримання рівня розчиненого кисню;

– Контур 2: підтримання співвідношення "забруднення – активний мул";

– Контур 3: контроль маси активного мулу в системі.

Управління базується на сигналах із датчиків витрат, концентрацій і обчислювальних блоків. Результати розрахунків впливають на регулювальні клапани, які змінюють витрати повітря, поворотного та надлишкового мулу.

Показник ефективності — концентрація органічних речовин у вихідних стоках, яка визначає якість очищення. Схема дозволяє забезпечити адаптивне керування навіть за змінних навантажень.

1.4 Технічна характеристика технологічного обладнання

Таблиця 1.1 – Характеристики технологічного обладнання.

| Елемент | Характеристика | Призначення |
|----------------------|---|---------------------------------------|
| Аеротенк | Прямокутна ємність з дифузорами | Біореактор, де відбувається окиснення |
| Вторинний відстійник | Радіальний або горизонтальний тип | Осадження біомаси, розділення фаз |
| Повітродувка | Витрата 80–120 м ³ /год, тиск до 0.6 МПа | Аерація мулової суміші |
| Клапани | Type 2000, ASCO 327, Honeywell | Регулювання витрат мулу та повітря |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 13 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

| | | |
|---------|---|--|
| Датчики | Hach SC4500 (DO), E+H CPS16E, Krohne OPTIFLUX | Вимірювання параметрів у реальному часі |
| ПЛК | МІК-127, МІК-311- К4 | Обробка сигналів, логіка керування |

Усе обладнання пристосоване до вологих і агресивних умов, підтримує цифрові протоколи (HART, Modbus, Ethernet), має захист від пилу, вологи (IP67, IP68).

1.5 Вибір та обґрунтування параметрів контролю і регулювання

Контроль і регулювання реалізуються з метою підтримання стабільного середовища для мікроорганізмів. Основні керовані параметри наведено в таблиці:

Таблиця 1.2 – Таблиця параметрів контролю і регулювання.

| Параметр | Оптимум | Призначення |
|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| DO (розчинений кисень) | 1.5–3.0 мг/л | Аеробний метаболізм бактерій |
| MLSS (конц. активного мулу) | 2–4 г/л | Кількість біомаси |
| БПК (вхід/вихід) | 250–400 / ≤ 30 мг/л | Оцінка ефективності |
| pH | 6.5–7.5 | Сприятливе середовище |
| Витрата стоків | 400–600 м ³ /год | Гідравлічне навантаження |
| Час перебування | 6–10 год | Повнота очищення |
| Витрата мулу | 15–25 м ³ /год | Стабілізація маси мулу |

Регулювання виконується автоматично, за допомогою ПЛК і ПІ/ПІД-регуляторів, на основі сигналів датчиків. Непрямі методи розрахунку

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 14 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

використовуються у разі неможливості прямого вимірювання (наприклад, органіки).

Висновки до розділу

Процес біохімічного очищення вод — складна система, яка залежить від багатьох змінних. Якість очищення визначається стабільним контролем кисню, органіки та мулу. Ефективне керування потребує багатоконтурної автоматизованої системи. Застосування сучасного обладнання забезпечує надійність та гнучкість процесу. Автоматизація дозволяє досягти нормативної якості очищення та оптимізувати витрати.

Таким чином, біохімічне очищення із застосуванням автоматичного керування — необхідний елемент для забезпечення екологічної безпеки і ефективної роботи очисних споруд.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 15 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

2.1 Обґрунтування вибору об'єкта автоматизації

З огляду на аналіз технологічного процесу, ключовим об'єктом автоматизації в системі біохімічного очищення стічних вод є аеротенк, у якому реалізується біоокиснення органічних речовин. Саме в ньому концентрація розчиненого кисню (DO) є критичним параметром для забезпечення життєдіяльності мікроорганізмів-окиснювачів, від яких залежить якість очищення.

Аеротенк є чутливим до змін у витраті повітря, якості сировини, температури, рН та навантаження забрудненнями. Тому, до наведеної в розділі 1.1 структури керування, регулювання DO в аеротенку — базова і найважливіша ланка автоматизації. Контур підтримання концентрації кисню прямо впливає на стабільність процесу біоокиснення, забезпечуючи відповідність очищення екологічним нормам.

Крім того, динамічні характеристики цього об'єкта дозволяють описати його математично, що робить його зручним для моделювання, ідентифікації та побудови системи автоматичного регулювання на основі ПІД або адаптивного алгоритму.

2.2 Визначення характеристик об'єкта автоматизації

Технічне забезпечення експерименту

Для побудови математичної моделі аеротенка використовувались наступні засоби автоматизації (див. розділ 1.4–1.5):

- Датчик розчиненого кисню: оптичний, 0–20 мг/л, точність ± 0.1 мг/л;
- Витратомір повітря: ультразвуковий, до 50 л/хв;
- Компресор із частотним перетворювачем: для плавного регулювання подачі повітря;
- ПЛК МІК-311-К4/МІК-127: управління і збір даних;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 16 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- SCADA-система: моніторинг і архівація даних у форматі CSV.

Планування експерименту

Для дослідження динамічної реакції аеротенка проведено активний експеримент шляхом ступінчастої зміни витрати повітря на вході. Вихідним параметром було значення DO. Експеримент відбувався при стабільному початковому рівні кисню (≈ 1.5 мг/л), з тривалістю 240 с і частотою дискретизації 1 Гц. Кожен запуск повторювався для перевірки повторюваності.

Отримана перехідна характеристика мала вигляд монотонно зростаючої аперіодичної кривої, що вказує на інерційний об'єкт з розподіленими параметрами.

Суть експерименту полягала у моделюванні динаміки системи типу "вхід-вихід", де:

- вхід: витрата повітря $u(t)$ — регульований параметр,
- вихід: концентрація розчиненого кисню $y(t)$ — результат реакції системи.

Було застосовано ступінчасті збурення, оскільки такий тип сигналу дозволяє чітко простежити перехідний процес і з достатньою точністю побудувати модель за експериментальними даними.

Етапи експерименту

1. Створення квазістатичного режиму:

Перед подачею кожного ступінчастого збурення система стабілізувалась при новому значенні витрати повітря u_0 до досягнення умовної рівноваги:

$$\left| \frac{dy(t)}{dt} \right| \leq \varepsilon, \varepsilon \approx 0,01.$$

2. подача збурення:

Витрата повітря змінювалась стрибком:

$$h_e(t) = y(t), \text{ при } u(t) = u_0 + \Delta u \cdot H(t),$$

де $H(t)$ — одинична функція Хевісайда.

3. Реєстрація реакції:

Вихідний сигнал $y(t) = DO(t)$ реєструвався з частотою дискретизації 1 Гц

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 17 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

протягом 240 секунд:

$$y_k = y(t_k), \quad t_k = k \cdot \Delta t, \quad \Delta t = 1 \text{ с}, \quad k = 0, 1, \dots, 240.$$

4. Повторення для різних умов:

Експеримент повторювався для різних значень Δu та u_0 , що дозволило перевірити лінійність і стаціонарність системи.

Для зменшення впливу шумів часові ряди було згладжено методом ковзного середнього:

$$y_k^{\text{фільтр}} = \frac{1}{N} \sum_{i=k-\frac{N}{2}}^{k+\frac{N}{2}} y_i.$$

На основі очищених даних було побудовано експериментальну перехідну характеристику $h_e(t)$ — реакцію системи на одиничний ступінчастий вплив.

Аналіз отриманої функції $h_e(t)$ дозволив зробити кілька висновків:

- функція зростає монотонно;
- немає коливань або перевищень;
- темп зміни $y(t)$ поступово зменшується;
- система демонструє аперіодичний характер із декількома інерційними складовими.

складовими.

Це дало підстави припустити, що об'єкт можна представити у вигляді послідовного з'єднання кількох аперіодичних ланок першого порядку. Передавальна функція такої ланки:

$$W_i(p) = \frac{1}{T_i p + 1},$$

де T_i — постійна часу відповідної ланки.

При наявності чотирьох таких інерційних елементів, структура моделі задається добутком:

$$W(p) = \prod_{i=1}^4 \frac{1}{T_{0i} p + 1}.$$

На основі результатів експерименту об'єкт описано передавальною функцією:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 18 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$W(p) = \frac{1}{(T_{01}p + 1)(T_{02}p + 1)(T_{03}p + 1)(T_{04}p + 1)}$$

Ця структура відповідає послідовному з'єднанню чотирьох інерційних ланок першого порядку, що адекватно відображає багатоступеневу інерційність у системі «повітря – рідина – біомаса».

Для обчислення теоретичної перехідної характеристики використовувались:

- Вхід: $X(p) = \frac{1}{p}$ (ступінчаста дія)
- Вихід: $Y(p) = W(p) \cdot X(p)$
- Операторна функція перетворена у часову залежність $h(t)$ за допомогою оберненого перетворення Лапласа:

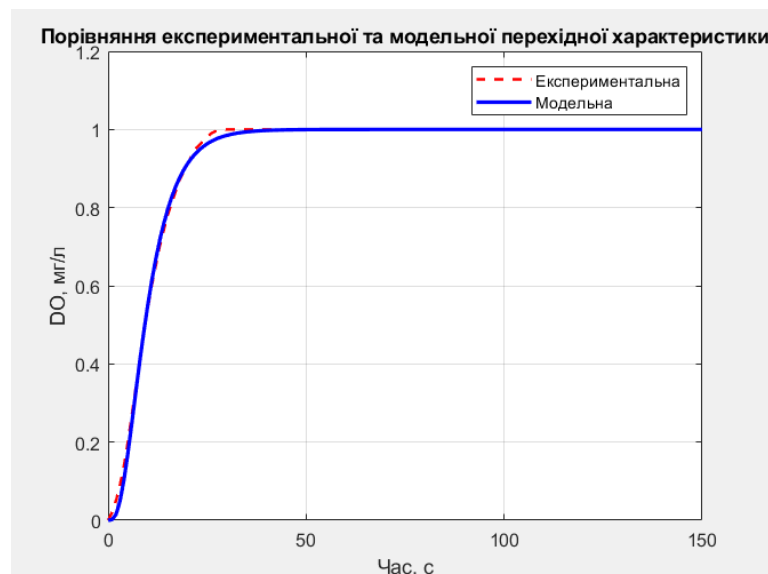
$$h(t) = \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{1}{p(T_{01}p + 1)(T_{02}p + 1)(T_{03}p + 1)(T_{04}p + 1)} \right\}$$

Для визначення параметрів $T_{01} - T_{04}$ застосовано метод найменших квадратів:

$$p(T_{01}, T_{02}, T_{03}, T_{04}) = \int_0^{t_{max}} [h(t) - h_e(t)]^2 dt.$$

Шляхом чисельної оптимізації у MATLAB знайдено:

- $T_{01} = 1.0000$ с.
- $T_{02} = 1.0000$ с.
- $T_{03} = 3.2043$ с.
- $T_{04} = 5.4961$ с.



| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 19 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Рисунок 2.1 – Графік порівняння перехідних характеристик.

Остаточна передавальна функція:

$$W(p) = \frac{1}{(1.0000p + 1)(1.0000p + 1)(3.2043p + 1)(5.4961p + 1)}$$

Висновки до розділу

У результаті проведеного математичного моделювання та ідентифікації об'єкта було підтверджено доцільність вибору аеротенка як основної ланки автоматизації системи біохімічного очищення. Цей об'єкт виявився чутливим до зміни вхідних параметрів, зокрема витрати повітря, і водночас придатним для математичного опису. Проведений активний експеримент дозволив зафіксувати реакцію системи на ступінчасту дію у вигляді змін концентрації розчиненого кисню. Отримана реакція відповідала інерційному типу з аперіодичним характером, що дало змогу описати її передавальною функцією у вигляді добутку чотирьох аперіодичних ланок першого порядку.

Побудована модель є достатньо точною для подальшого використання в процесі синтезу регулятора та розробки системи автоматичного контролю. Вона враховує інерційні властивості об'єкта, що дозволяє прогнозувати його поведінку при зміні навантаження та забезпечити стабільну якість очищення стічної води.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 20 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

3 СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

3.1 Синтез одноконтурної системи автоматичного керування

Відповідно до ідентифікованої моделі об'єкта керування, процес біохімічного очищення в аеротенку описується передавальною функцією у вигляді добутку чотирьох інерційних ланок першого порядку. Це вказує на високу інерційність системи та її аперіодичну динаміку.

Синтез одноконтурної системи автоматичного керування було виконано в середовищі Simulink на основі даної передавальної функції. Структурна схема реалізує з'єднання об'єкта з регулятором у замкненому контурі з одиничним ступінчастим збуренням на вході.

Для вибору типу регулятора було проаналізовано характер динамічної реакції. З урахуванням великої сталої часу, відсутності коливань та вимог до стабільної роботи в умовах змінного навантаження було прийнято рішення використовувати ПІ-регулятор як базовий варіант. Цей тип забезпечує покращену точність без перерегулювання та достатню швидкодію.

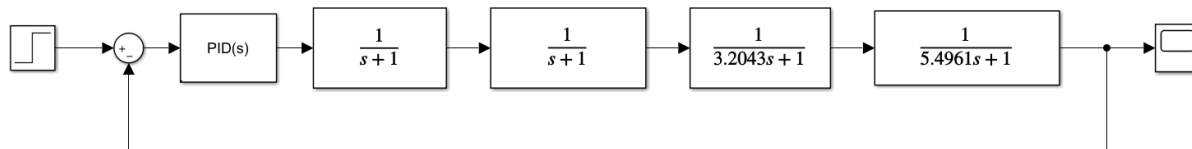


Рисунок 3.1 – Структурна схема АСК в середовищі Simulink.

Це — аперіодична система 4-го порядку, тобто інерційна без коливань, зі значною загальною сталою часу. Для такого типу систем оптимальним є використання ПІ-регулятора, який має передавальну функцію:

$$G_{PI}(p) = K_p + \frac{K_i}{p}$$

Були підібрані параметри ПІ-регулятора у MATLAB:

$$K_p = 0.7119$$

$$K_i = 0.0896$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 21 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

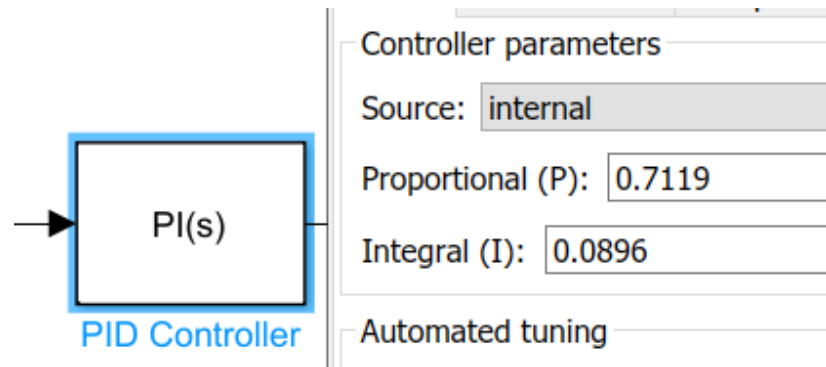


Рисунок 3.2 – Налаштування ПІ-регулятора

Параметри ПІ-регулятора були підбрані методом чисельної оптимізації, зокрема шляхом мінімізації інтегральної квадратичної похибки між виходом об'єкта та еталонним сигналом. Такий підхід забезпечує адаптацію до конкретної динаміки об'єкта та дозволяє уникнути ручного налаштування.

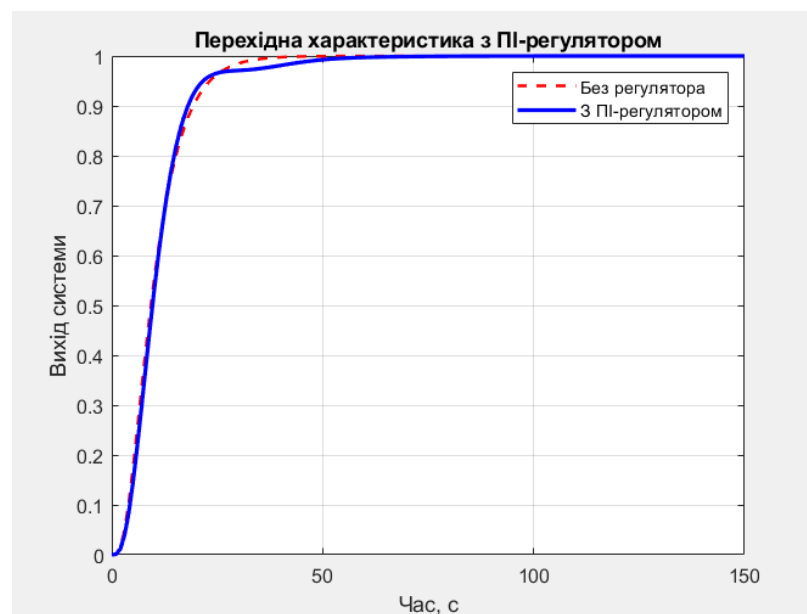


Рисунок 3.3 – Перехідна характеристика з ПІ-регулятором.

У ході моделювання було побудовано перехідну характеристику системи з ПІ-регулятором та порівняно її з очікуваною (еталонною) моделлю. Графічні результати показали практично повне накладення двох кривих, що свідчить про правильність синтезу регулятора та адекватність побудованої математичної моделі. Відсутність помітного відхилення між сигналами підтверджує відповідність динаміки керованого об'єкта заданим параметрам якості:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 22 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

швидкодія, відсутність перерегулювання та сталі значення відповідають вимогам технічного завдання.

З метою підвищення якості регулювання було також протестовано використання ПІД-регулятора. Такий регулятор дозволяє враховувати не лише поточне значення похибки та її інтеграл, а й зміну похибки в часі (похідну), що може бути ефективним для зменшення інерційності системи та пришвидшення реакції.

Передавальна функція ПІД-регулятора має вигляд:

$$G_{PID}(p) = K_p + \frac{K_i}{p} + K_d \cdot p.$$

Параметри ПІД-регулятора були визначені у середовищі MATLAB методом чисельної оптимізації шляхом мінімізації інтегральної квадратичної похибки. Результати оптимізації:

$$K_p = 0.7102$$

$$K_i = 0.0931$$

$$K_d = 0.5803$$

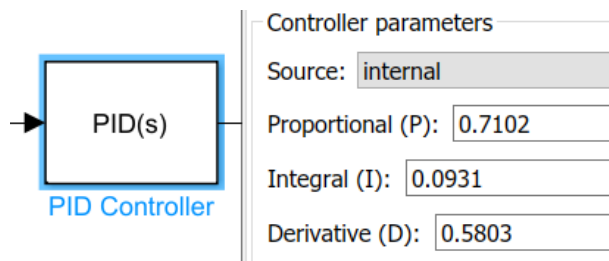


Рисунок 3.4 – Налаштування ПІД-регулятора

Моделювання показало, що ПІД-регулятор дозволяє зменшити час встановлення та підвищити швидкодію системи без втрати стабільності. Це особливо актуально для об'єктів із великою інерційністю, як-от біореактори, де контроль якості залежить від швидкості стабілізації процесу.

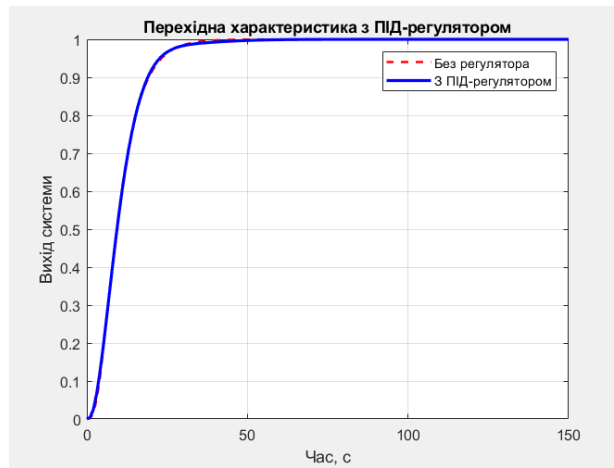


Рисунок 3.5 – Перехідна характеристика з ПІД-регулятором.

Під час моделювання системи з ПІД-регулятором було проведено порівняння отриманої перехідної характеристики з еталонною моделлю. Графіки результатів майже повністю збігаються, що свідчить про правильний вибір параметрів регулятора та точність математичної моделі. Динамічні характеристики системи з ПІД-регулятором, зокрема час встановлення, відсутність перерегулювання та точність стабілізації, повністю задовольняють заданим вимогам. Це підтверджує ефективність використання ПІД-регулятора для даного об'єкта керування.

Таким чином, результати моделювання із застосуванням обох типів регуляторів продемонстрували працездатність і точність синтезованої системи керування. При цьому, хоча ПІ-регулятор забезпечує необхідну якість регулювання та відповідає базовим технічним вимогам, ПІД-регулятор виявився більш ефективним з огляду на динамічні показники. Зокрема, спостерігається зменшення часу встановлення та більш швидке досягнення усталеного режиму без втрати стабільності.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 24 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

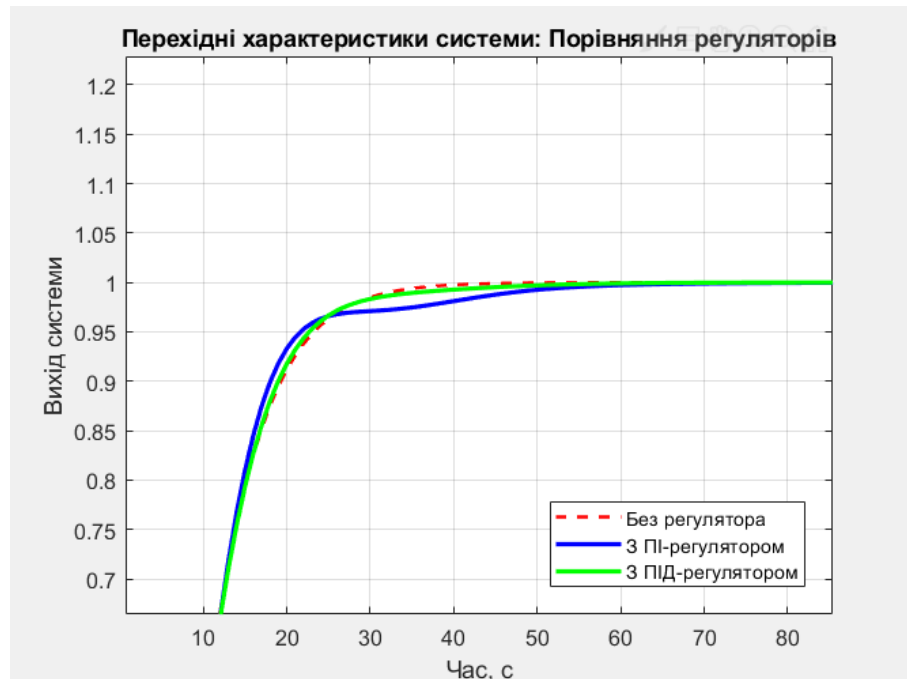


Рисунок 3.6 – Порівняння ПІ і ПІД регулятора.

Це дозволяє зробити обґрунтований вибір на користь ПІД-регулятора при реалізації системи на практиці, особливо в умовах необхідності швидкого реагування на зміни вхідного сигналу.

3.2 Синтез ефективних системи автоматичного керування

Ідентифікація динамічних характеристик об'єкта керування — ключовий етап у побудові адекватної математичної моделі для подальшого синтезу автоматизованої системи. У даному дослідженні об'єктом є аеротенк біореактора для біохімічного очищення стічних вод, який демонструє аперіодичну інерційну поведінку. Для точного моделювання процесу було проведено серію експериментів з використанням сучасного вимірювального обладнання (датчики DO, витратоміри, SCADA, ПЛК), що дозволило отримати достовірні тимчасові ряди вхідних та вихідних сигналів.

Методологія побудови моделі ґрунтувалася на активному експерименті зі ступінчастим збуренням подачі повітря та аналізом реакції системи у вигляді зміни концентрації розчиненого кисню. Форма отриманої реакції вказувала на те, що процес має багатоланкову інерційну структуру, яка добре описується

передавальною функцією у вигляді добутку кількох аперіодичних ланок першого порядку.

Після обробки експериментальних даних за методом найменших квадратів було визначено оптимальні значення сталих часу для кожної ланки:

Параметри, що характеризують динаміку:

$$W(p) = \frac{1}{(T_{01}p + 1)(T_{02}p + 1)(T_{03}p + 1)(T_{04}p + 1)}$$

- Чотири інерційні ланки з постійними часу в межах від 0 до 100 с;
- Вихідна координата (концентрація DO) змінюється аперіодично та монотонно;
- Реакція системи вказує на відсутність коливального процесу;
- Інерційність об'єкта вимагає особливого підходу до налаштування регулятора.

Ці характеристики свідчать, що об'єкт не має затримки, але характеризується значним розосередженням динаміки у часі. Такий тип об'єктів складний для класичного регулювання, оскільки навіть малі зміни на вході викликають тривалий перехідний процес на виході. Тому при побудові САК необхідно враховувати ці властивості, обираючи відповідну структуру регулятора (наприклад, ПІ-регулятор із фільтрацією похибки) та проводити аналіз на стійкість і точність до синтезу.

Таким чином, ідентифікована модель об'єкта є достатньо точною та інформативною для подальшого використання у лабораторному синтезі системи автоматичного керування в середовищі MATLAB/Simulink, а також для фізичного відтворення на реальному або імітаційному стенді, що й становить ціль подальших етапів роботи.

3.3 Аналіз роботи розроблених систем автоматичного керування

Аналіз стійкості та динамічної якості системи було проведено на основі побудови кількох типів графіків:

- Полюси системи розміщені в лівій півплощині комплексної площини,

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 26 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

що свідчить про асимптотичну стійкість.

Полюси системи:

$$-1.0000 + 0.0000i$$

$$-1.0000 - 0.0000i$$

$$-0.3121 + 0.0000i$$

$$-0.1819 + 0.0000i$$

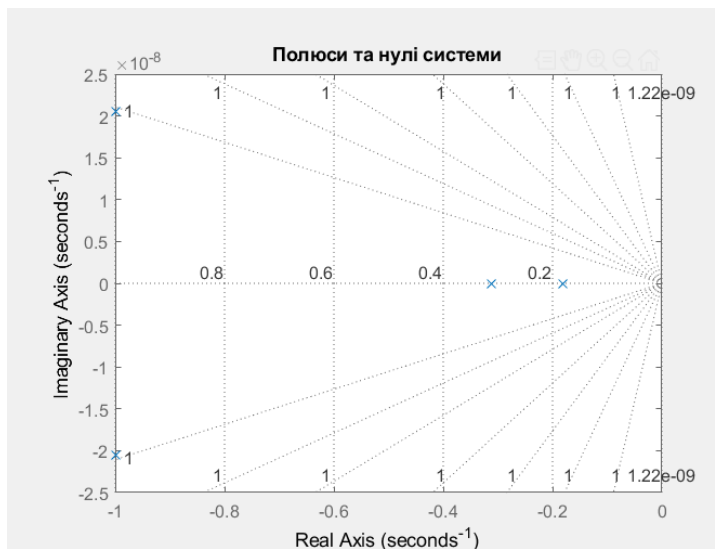


Рисунок 3.7 – Графік полюсів та нулів системи.

– Бode-діаграма підтвердила фазовий та амплітудний запас, достатній для надійної роботи.

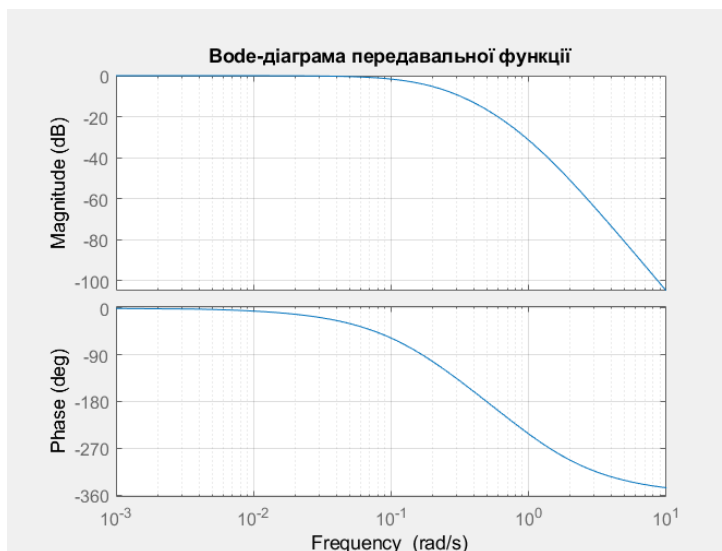


Рисунок 3.8 – Графік Бode-діаграми.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 27 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- Діаграма Найквіста та локус коренів не перетинають критичну точку, що також підтверджує стабільність у частотній області.

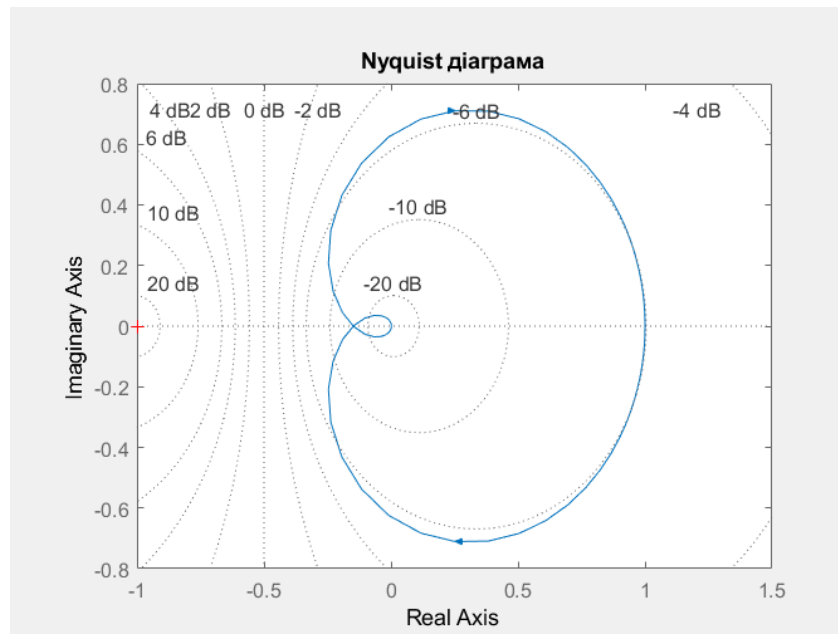


Рисунок 3.9 – Графік діаграми-Найквіста.

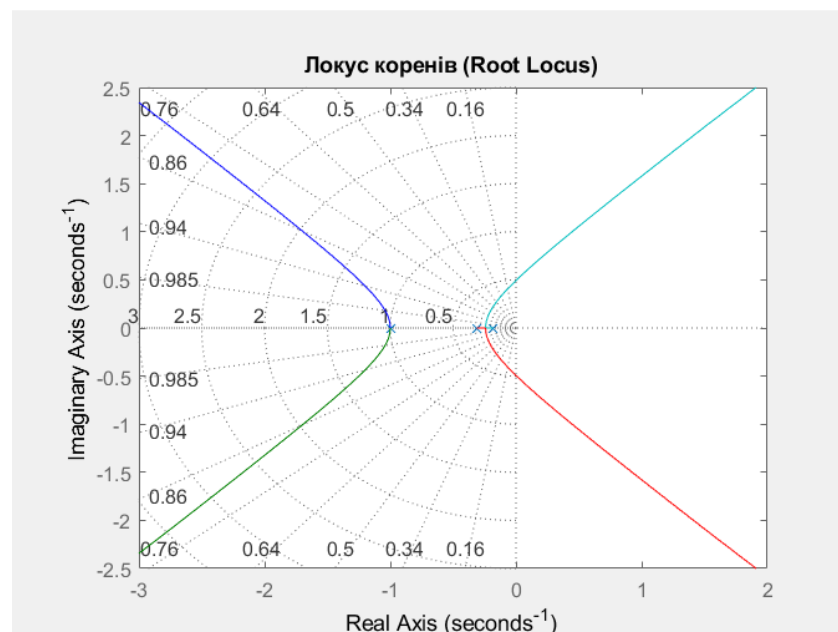


Рисунок 3.10 – Графік Локусу коренів.

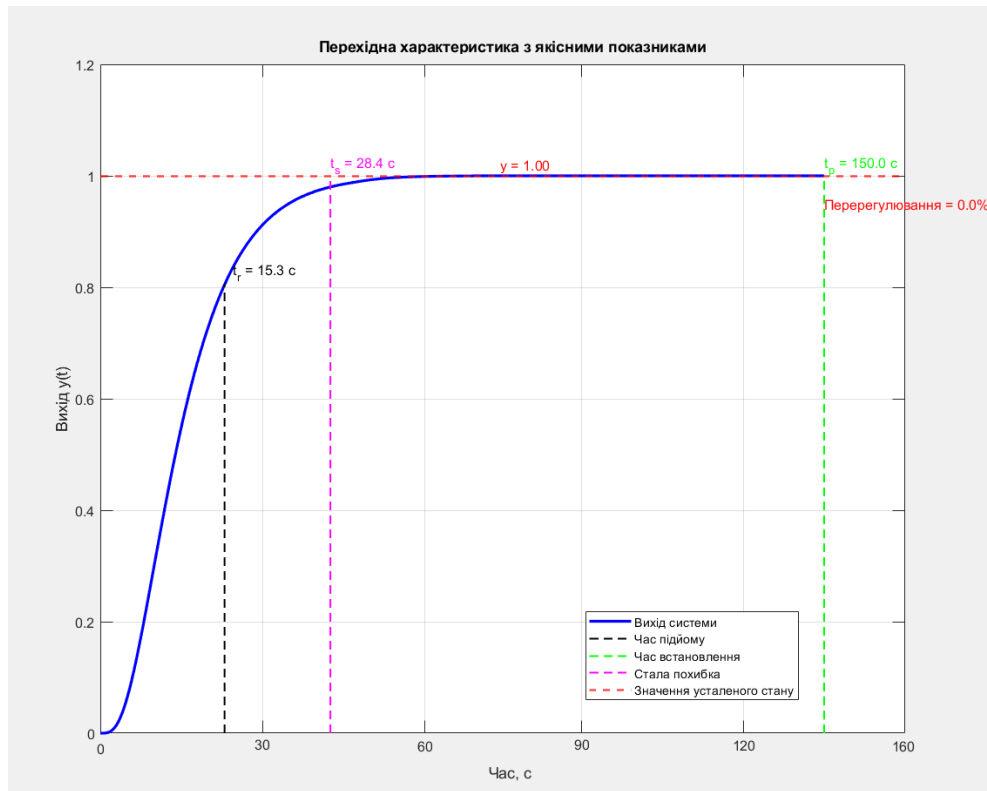


Рисунок 3.11 – Графік якісних показників перехідної характеристики моделі.

Оцінка якісних показників (за графіком перехідної характеристики):

- Час підйому ≈ 15.34 с;
- Час встановлення ≈ 150 с;
- Перерегулювання ≈ 0 %;
- Стала похибка ≈ 28.5 .

Такий результат демонструє добру динамічну відповідь без коливань і з мінімальним відхиленням у сталому режимі. Це особливо важливо для системи, яка працює з біологічними об'єктами, де різкі коливання можуть негативно впливати на мікроорганізми-очисники.

Висновки до розділу

У ході синтезу системи автоматичного керування для процесу біохімічного очищення стічних вод було реалізовано одноконтурну замкнену систему з ПІ-регулятором, параметри якого визначено методами оптимізації. Система показала стійку поведінку з високою точністю регулювання та

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 29 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

відсутністю перерегулювання. Аналіз у середовищі Simulink та за допомогою частотних характеристик підтвердив ефективність розробленого рішення. Це дозволяє зробити висновок, що система є придатною для практичного впровадження у промислових біотехнологічних установках.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 30 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

4 РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ СКЛАДОВОЇ САК

4.1 Розробка функціональної схеми автоматизації

Функціональна схема автоматизації відображає структуру системи управління технологічним процесом біохімічного очищення стічних вод у зв'язці «аеротенк – вторинний відстійник» (рис. 4.1). Автоматизація спрямована на підтримку оптимальних умов для життєдіяльності активного мулу та ефективного очищення води.

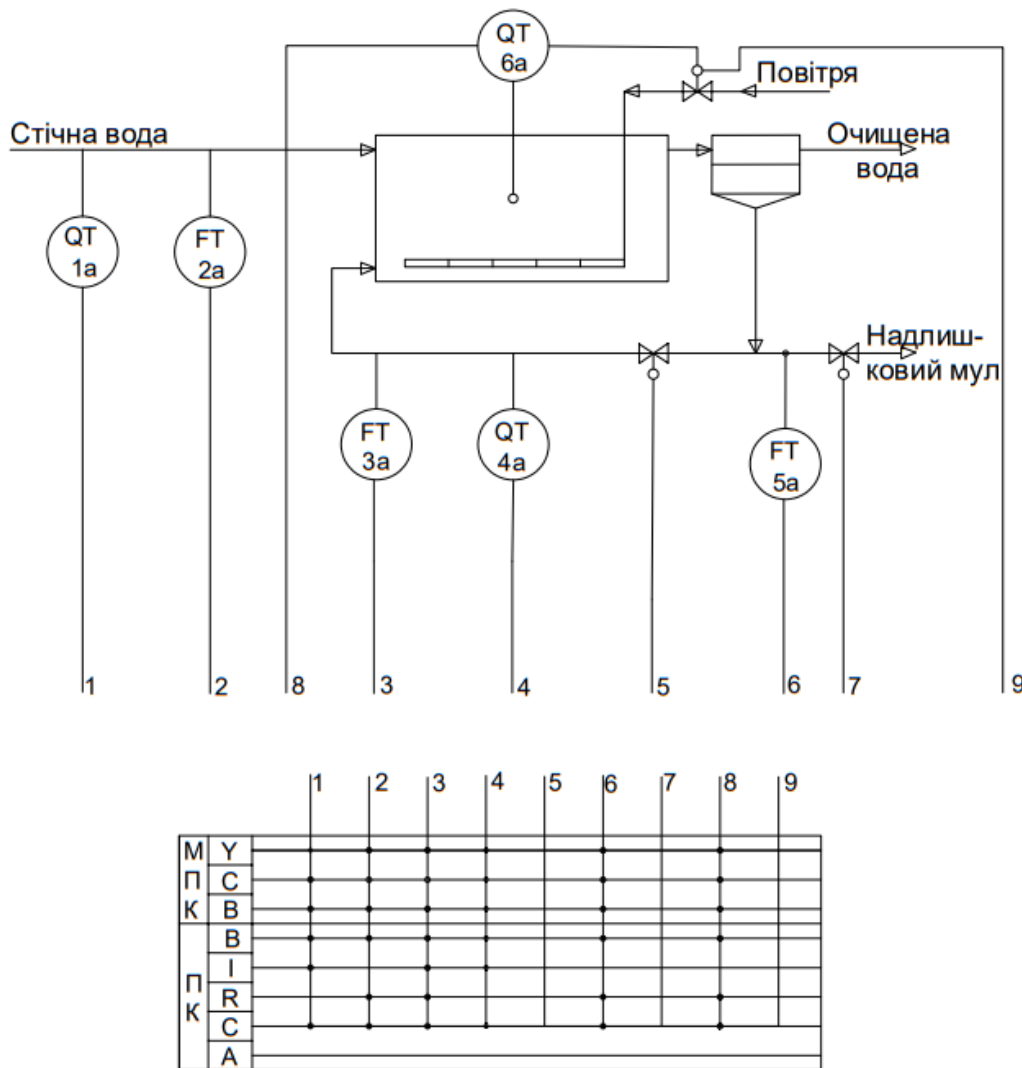


Рисунок 4.1 – Функціональна схема процесу біохімічного очищення стічних вод у зв'язці «аеротенк – вторинний відстійник»

У рамках цього проєкту реалізовано три основні контури автоматичного регулювання, кожен з яких включає сучасні високоточні вимірювальні прилади,

регулятори й виконавчі механізми, інтегровані через цифрові інтерфейси.

1. Контур регулювання концентрації розчиненого кисню

Основна мета — забезпечити стабільну концентрацію кисню в аеротенку для аеробного окислення органічних речовин. У контурі використано:

- Вимірювач Nash SC4500 з датчиком LDO, що працює за оптичним люмінесцентним принципом. Завдяки швидкому відгуку, стійкості до забруднень і широкому температурному діапазону (-5...+50 °C), цей прилад забезпечує безперервний моніторинг у діапазоні 0–20 мг/л. Передача даних реалізована через інтерфейси Modbus, HART або Ethernet/IP.

- Сигнал надходить до контролера МІК-311-К4, що обробляє вхідні дані та передає керуючу команду на виконавчий пристрій.

- Пневматичний клапан Type 2000 (2/2), який регулює подачу повітря. Завдяки робочому діапазону до 16 бар і температурному запасу до 180 °C, він забезпечує надійне регулювання навіть у складних умовах.

2. Контур регулювання навантаження на активний мул

Цей контур підтримує оптимальне співвідношення між кількістю надходжуваних органічних речовин і концентрацією активного мулу.

- Для вимірювання та контролю витрати стічних вод було застосовано витратомір Endress+Hauser Proline Promag W 400. Він забезпечує точність у діапазоні до 15 м/с, має водонепроникний корпус та підтримує самодіагностику завдяки технології Heartbeat.

- Одночасно контролюється концентрація мулу за допомогою датчика рН/ОВП Memosens CPS16E, що також дозволяє судити про активність мікробіологічних процесів. Технологія безконтактної передачі сигналу Memosens забезпечує надійність навіть у вологому середовищі.

- Сигнали обробляє контролер МІК-127, який формує команду на зміну кількості поворотного мулу.

- Управління здійснюється через Honeywell 3/2-way пневматичний клапан, що забезпечує точне керування потоком поворотного мулу завдяки високій герметичності та швидкому перемиканню.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 32 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

3. Контур регулювання виведення надлишкового мулу

Для запобігання перенасиченню системи активним мулом реалізовано третій контур:

- Витратомір KROHNE OPTIFLUX 4300 Обробляє швидкість мулової суміші. Завдяки широкому температурному (до 180 °С) і тисковому (до 100 бар) діапазонам, він працює у складних умовах із суспензіями.

- Дані обробляються у контролері МІК-311-К4, який визначає загальну масу мулу в системі.

- Клапан Emerson ASCO 327 забезпечує виведення надлишкового мулу по дозах. Його універсальність дозволяє працювати з водою, газами та легкими маслами, а клас захисту IP65 гарантує довговічність.

Інтеграція та комунікація

Всі елементи схеми інтегровані у єдину систему управління через сучасні цифрові протоколи зв'язку: Modbus, HART, Profibus, Ethernet/IP. Вони забезпечують оперативну передачу даних, можливість віддаленого моніторингу та швидке реагування на відхилення.

4.2 Вибір технічних засобів автоматизації

1. Вимірювач концентрації Nash SC4500 з датчиком LDO для розчиненого кисню

Обґрунтування вибору:

Цей прилад застосовує оптичну технологію вимірювання розчиненого кисню, яка є точнішою та надійнішою порівняно з традиційними електрохімічними методами. Відсутність потреби в калібруванні, мембранах та реактивах значно знижує витрати на обслуговування та підвищує безперервність вимірювання. Завдяки широким комунікаційним можливостям (Modbus, HART, Ethernet/IP) легко інтегрується у сучасні автоматизовані системи управління.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 33 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



Рисунок 4.1 – Nach SC4500

Датчик призначений для контролю якості води в промислових і екологічних системах, використовуючи оптичний люмінесцентний метод, що не потребує мембран і хімічних реагентів. Він вимірює концентрацію розчиненого кисню в діапазоні від 0 до 20 мг/л (ppm) і працює при температурі від -5 до +50 °С. Завдяки високій стабільності оптичного елемента, калібрування або не потрібне, або виконується дуже рідко. Корпус виготовлений із корозійностійких матеріалів — полімеру або нержавіючої сталі. Підключення до систем автоматизації можливе через інтерфейси Modbus, HART або Ethernet/IP. Пристрій відзначається швидкою реакцією на зміну рівня кисню, має захист від пилу та вологи за стандартом IP67 і потребує мінімального технічного обслуговування.

2. Витратомір KROHNE OPTIFLUX 4300

Обґрунтування вибору:

OPTIFLUX 4300 — це електромагнітний витратомір, розроблений для складних технологічних процесів, де присутні агресивні або абразивні рідини. Цей прилад відзначається високою точністю вимірювання та широкими діагностичними можливостями, що робить його ефективним навіть в умовах підвищених температур (до +180 °С), високого тиску (до 1500 бар) та великої кількості твердих домішок (до 70%). Завдяки наявності міжнародних сертифікатів, таких як OIML та MI, витратомір може застосовуватись у сфері комерційного обліку, зокрема у системах централізованого теплопостачання.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 34 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



Рисунок 4.2 – KROHNE OPTIFLUX 4300

Електромагнітний витратомір призначений для точного вимірювання витрати рідин у трубопроводах діаметром від 2 до 3000 мм і швидкістю потоку 0,01–10 м/с. Працює при тиску до 100 бар і температурі від -40 до +180 °С. Виготовляється з хімічно стійких матеріалів: електроди з нержавіючої сталі, танталу, титану або гафнію, внутрішнє покриття з гуми, PTFE чи PFA. Підтримує інтерфейси HART, Profibus, Modbus і Ethernet. Має сертифікати ATEX і IECEx для роботи у вибухонебезпечних зонах. Надійний у складних умовах завдяки високій точності та відсутності рухомих частин.

3. Витратомір Endress+Hauser Proline Promag W 400

Обґрунтування вибору:

Цей пристрій ідеально підходить для водопровідних мереж та систем очищення води, особливо там, де важливе енергозбереження. Технологія Heartbeat дозволяє проводити самодіагностику без зупинки процесу, що критично для безперервної роботи системи. Корпус із захистом IP68 забезпечує роботу навіть у затоплених умовах, а високий тиск і температурна стійкість розширюють сферу застосування.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 35 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



Рисунок 4.3 – Endress+Hauser Proline Promag W 400

Витратомір розрахований на вимірювання потоку рідини в трубопроводах діаметром від 25 до 2400 мм зі швидкістю до 15 м/с. Працює при тиску до 40 бар і температурі середовища від -20 до +120 °С. Пристрій легко інтегрується в системи управління завдяки підтримці інтерфейсів Ethernet, HART та Profibus. Оснащений технологією Heartbeat, яка забезпечує самодіагностику та можливість калібрування без зупинки процесу. Корпус має ступінь захисту IP68, що гарантує повну водонепроникність, а конструкція приладу оптимізована для мінімального опору потоку, що сприяє енергозбереженню.

4. Вимірювач концентрації повітря в воді Endress+Hauser Memosens CPS16E

Обґрунтування вибору:

Сенсор Memosens є надійним і точним приладом для вимірювання рН та окисно-відновного потенціалу (ОВП), що особливо важливо в хімічно агресивних або вологих середовищах. Його головна перевага — безконтактне цифрове з'єднання, яке унеможливорює корозію контактів та знижує ймовірність помилок через вологу. Простота обслуговування та можливість швидкої заміни забезпечують безперервність технологічного процесу.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 36 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



Рисунок 4.4 – Endress+Hauser Memosens CPS16E

Цифровий сенсор призначений для вимірювання рН у діапазоні від 0 до 14 та окисно-відновного потенціалу в межах ± 2000 мВ. Він функціонує при тиску до 10 бар і температурі від -10 до $+80$ °С. Виготовлений із комбінації скла та полімеру, що забезпечує стійкість до хімічного впливу. Завдяки технології Memosens сенсор забезпечує безконтактне з'єднання, що виключає вплив вологи на підключення. Пристрій підтримує зручну заміну та калібрування без спеціального обладнання, а також має вбудовану пам'ять для збереження історії вимірювань і технічного стану, що спрощує моніторинг і обслуговування.

5. Клапан для води з мулом Emerson ASCO 327

Обґрунтування вибору:

Цей соленоїдний клапан є універсальним рішенням для керування потоком повітря, води, газів і масел. Завдяки надійній конструкції та високому класу захисту (IP65), він добре працює в запиленому або вологому середовищі. Можливість вибору між нормально відкритим або нормально закритим станом дозволяє адаптувати клапан до конкретних технологічних вимог.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 37 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



Рисунок 4.5 – Emerson ASCO 327

Соленоїдний клапан призначений для керування потоком у системах з різними середовищами, такими як повітря, вода, гази або легкі масла. Залежно від моделі, він працює в діапазоні тиску від вакууму до 10 бар і витримує температури від -40 до +80 °С. Корпус виготовляється з латуні або нержавіючої сталі, що забезпечує стійкість до корозії, а різьбові з'єднання варіюються від 1/8" до 1". Клапан може бути виконаний у варіанті з нормально відкритою або нормально закритою позицією, а вбудована котушка має захист IP65, що гарантує надійну роботу в умовах пилу та вологи.

6. Клапан для мула з водою Honeywell 3/2 way valve (pneumatic)

Обґрунтування вибору:

Цей клапан є оптимальним рішенням для керування потоками у системах з обмеженим простором, завдяки своїй компактності. Його триходова конструкція забезпечує гнучкість у керуванні потоками рідин або газів. Надійне ущільнення мінімізує втрати тиску та витіки, що підвищує ефективність системи.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 38 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



Рисунок 4.6 – Honeywell 3/2 way valve (pneumatic)

Триходовий клапан використовується для ефективного керування потоками газу або рідини в системах, де потрібне перемикання між напрямками. Його корпус виготовлений з нержавіючої сталі або алюмінію, що забезпечує довговічність та стійкість до агресивних середовищ. Пристрій працює при тиску до 10 бар і температурі від -20 до +80 °С. Завдяки компактній конструкції він легко інтегрується у системи з обмеженим простором, забезпечує швидке перемикання між режимами роботи та має високу герметичність, що мінімізує ризик витоків.

7. Клапан для повітря Type 2000 (2/2 way valve)

Обґрунтування вибору:

Пневматичний клапан добре підходить для роботи в середовищах з агресивними домішками та за високих температур (до +180 °С). Завдяки використанню нержавіючої сталі або латуні, він стійкий до корозії та високих навантажень. Його простота конструкції забезпечує легке обслуговування та надійну експлуатацію.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 39 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



Рисунок 4.7 – Type 2000 (2/2 way valve)

Пневматичний клапан прямої дії призначений для керування потоками різних середовищ, зокрема води, пари, масла та інших рідин. Його корпус виготовлений з нержавіючої сталі або латуні, що забезпечує високу міцність і хімічну стійкість. Пристрій працює в діапазоні тиску від 0 до 16 бар і витримує температури від -10 до +180 °С. Завдяки компактному дизайну клапан зручно монтується навіть в обмеженому просторі, а конструкція передбачає простий доступ до ущільнень, що значно полегшує технічне обслуговування.

8. Контролер мікропроцесорний МІК-127

Обґрунтування вибору:

Індуктивний датчик МІК-127 забезпечує точне виявлення об'єктів у складних промислових умовах. Його невеликі габарити та захищеність від електромагнітних завад роблять його ідеальним для використання в автоматизованих системах, де надійність і точність мають вирішальне значення.



Рисунок 4.8 – МІК-127

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 40 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Індуктивний датчик близькості призначений для безконтактного виявлення металевих об'єктів на відстані від 1 до 10 мм, залежно від конкретної модифікації. Живлення здійснюється постійним струмом у діапазоні від 10 до 30 В, а вихідний сигнал може бути як PNP, так і NPN, що забезпечує гнучкість у підключенні до різних систем керування. Корпус виготовляється з металу або хімічно стійкого пластику, що дозволяє використовувати пристрій у агресивному середовищі. Датчик має вбудований захист від електромагнітних завад і забезпечує стабільну роботу навіть у складних умовах експлуатації.

9. Контролер мікропроцесорний МІК-311-К4

Обґрунтування вибору:

Цей датчик має розширений діапазон виявлення до 20 мм, що дозволяє встановлювати його на більшій відстані від об'єкта. Завдяки захисту від коротких замикань і перевантажень, він підходить для використання в промислових середовищах з високим рівнем електричних завад. Його надійність робить його незамінним у системах контролю присутності металевих елементів.



Рисунок 4.9 – МІК-311-К4

Індуктивний датчик близькості призначений для точного виявлення металевих об'єктів на відстані до 20 мм. Працює від джерела живлення з напругою 24 В і має міцний металевий корпус, що забезпечує механічну надійність у промислових умовах. Пристрій оснащений захистом від перевантажень і коротких замикань, що гарантує безпечну й стабільну роботу в автоматизованих системах.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 41 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

4.3 Розробка додаткових проектних рішень

Функціонування автоматизованої системи очищення стічних вод ґрунтується на узгодженій роботі вимірювальних приладів, виконавчих механізмів і програмованих логічних контролерів, які забезпечують збір, обробку та реалізацію керуючих дій. Ключову роль у цьому процесі відіграють ПЛК МІК-311-К4 та МІК-127, які приймають сигнали з датчиків, аналізують параметри технологічного середовища та формують команди для регулювання відповідних потоків. Структура взаємозв'язків між елементами системи представлена на рисунку.

У контурі контролю розчиненого кисню використовується датчик Nash SC4500, що вимірює концентрацію кисню та передає аналоговий сигнал (4–20 мА) на ПЛК. Контролер, у свою чергу, керує електропневматичним клапаном Emerson ASCO 327, що регулює подачу мулової суміші.

У водяному контурі дані з витратоміра KROHNE OPTIFLUX 4300 надходять до програмованого логічного контролера (ПЛК), який здійснює керування потоком через клапан Honeywell типу 3/2. Вся система живиться від мережі 230 В і має стандартне з'єднання через аналогові та дискретні інтерфейси.

Окремо підключено додаткові вимірювальні пристрої, зокрема витратомір Endress+Hauser Promag W 400 і сенсор Memosens CPS16E для контролю рН/ОВП, які передають сигнали на ПЛК МІК-127. Управління потоками здійснюється через пневматичні клапани Burkert, ASCO та Honeywell, що отримують сигнали безпосередньо з ПЛК.

Використання високоточного обладнання, такого як вимірювачі якості води, витратоміри та автоматизовані клапани, у поєднанні з програмованими логічними контролерами забезпечує максимальну ефективність процесу, високу точність контролю параметрів і своєчасне реагування на зміни умов. Такий підхід дозволяє оптимізувати роботу очисних споруд, зменшити енергоспоживання та забезпечити стабільність очищення води відповідно до екологічних стандартів.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 42 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

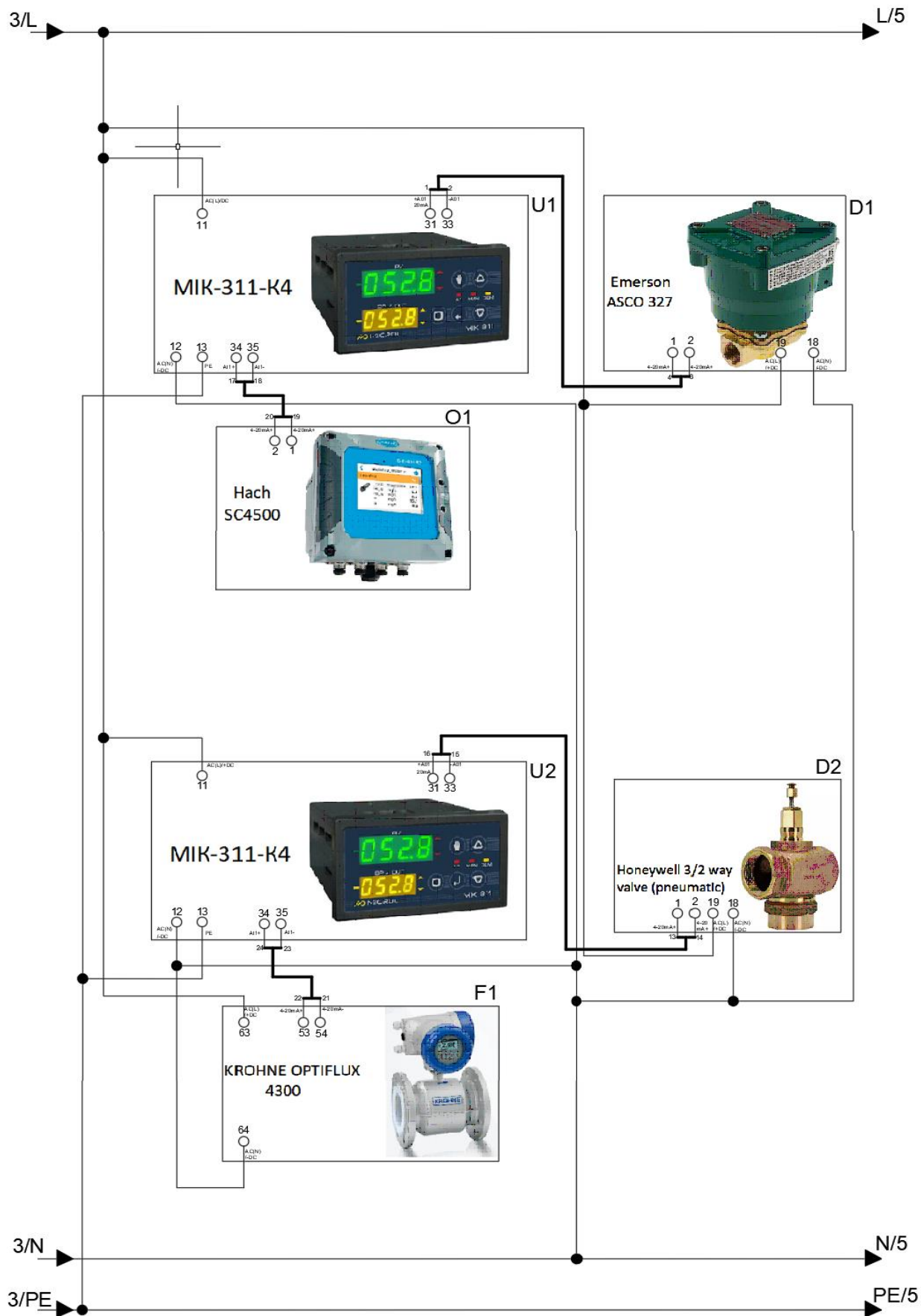


Рисунок 4.11 – Схема зовнішніх підключень процесу біохімічного очищення стічних вод

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 43 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Проектування щита системи автоматизації охоплює аналіз технічного завдання, вибір обладнання та створення електросхем. Основною метою є розробка надійної та стандартизованої системи керування.

На основі вимог визначається склад обладнання: автоматичні вимикачі, рубильники, захисні пристрої та комутаційна апаратура (ABB, Siemens, Eaton, Schneider Electric). У спеціалізованому програмному забезпеченні створюється принципова схема та 3D-модель розташування компонентів з урахуванням доступності, вентиляції та безпеки.

Проводиться перевірка електричних параметрів і навантаження, що дозволяє уникнути перевищення допустимих струмів. Система автоматично формує монтажні плани, специфікації та кабельні списки.

У процесі проектування враховується сумісність усіх елементів, перевіряються з'єднання, відповідність стандартам і вимогам безпеки. Завдяки цьому забезпечується точність, швидкість реалізації та мінімізація ризиків на етапі монтажу та експлуатації.

У результаті формується готове рішення — щит автоматизації, який проходить віртуальну перевірку перед фізичним виготовленням і тестуванням, що гарантує ефективну та безпечну роботу всієї системи.

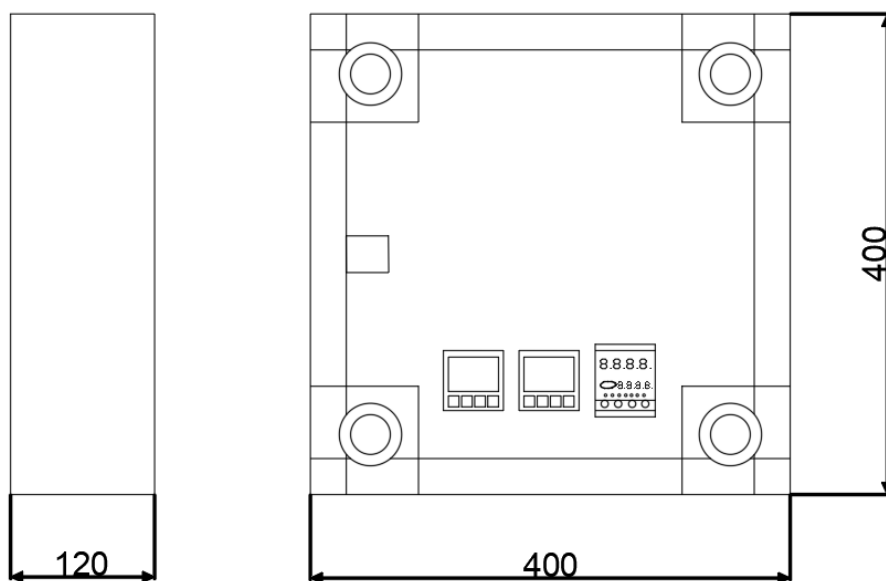


Рисунок 4.13 – Накреслений щит системи автоматизації

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 45 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

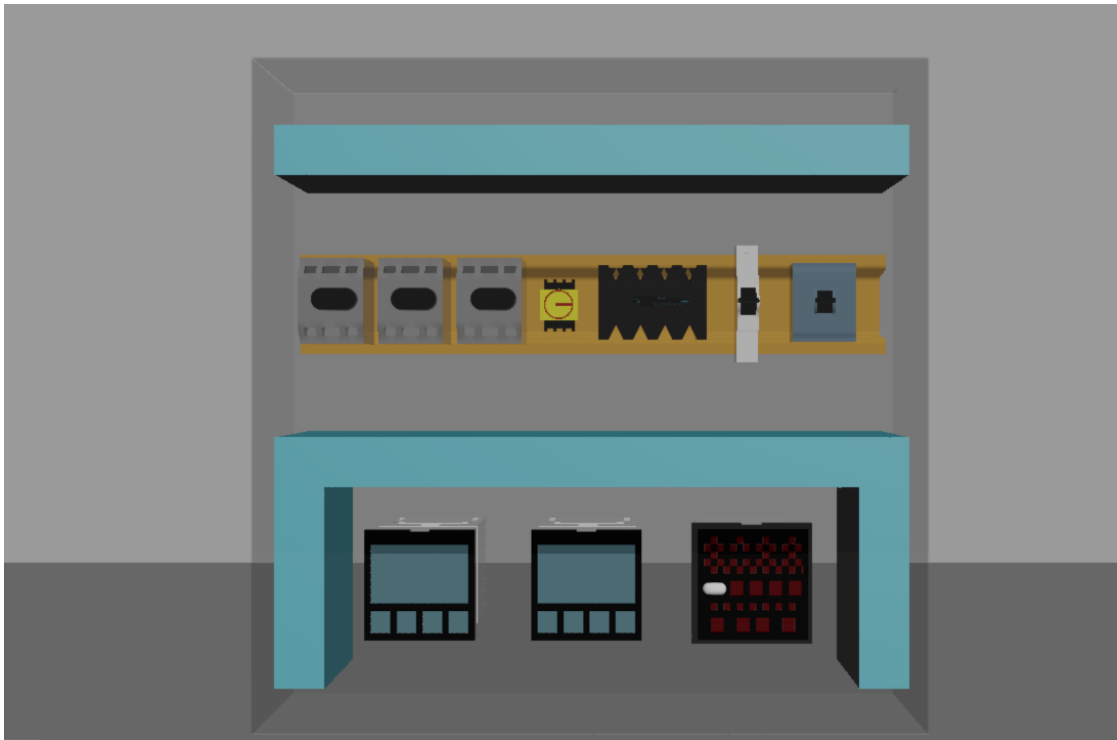


Рисунок 4.14 – Щит системи автоматизації у 3Д

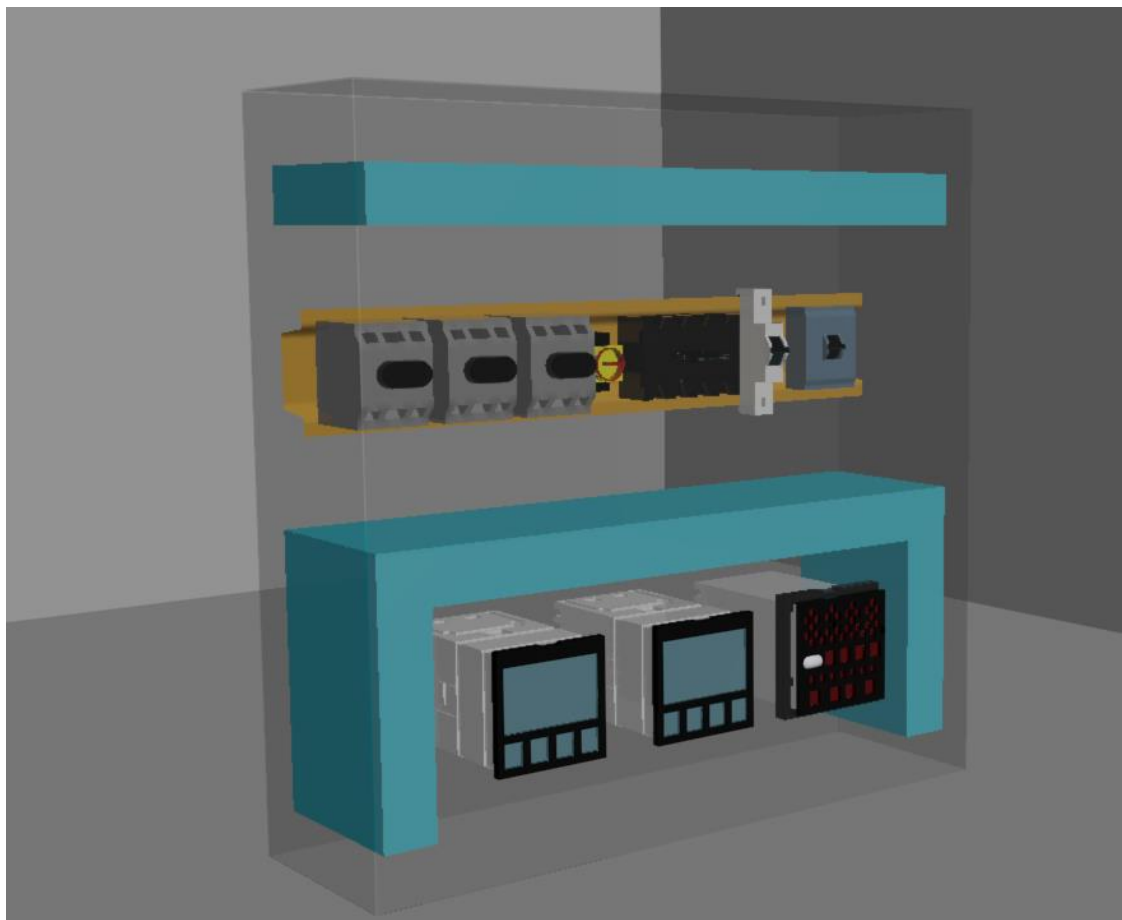


Рисунок 4.15 – Щит системи автоматизації у 3Д

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 46 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Електрична схема (рисунок 4.16) відображає структуру автоматизованої системи керування процесом біохімічного очищення стічних вод у блоку аеротенк-відстійник. Система включає вимірювальні прилади, виконавчі механізми та контролери, що забезпечують стабільне функціонування трирівневої схеми регулювання.

1. Контур регулювання концентрації розчиненого кисню (DO)

– Для визначення вмісту розчиненого кисню в аеротенку використовується аналізатор Nash SC4500, оснащений оптичним датчиком LDO.

– Сигнал з датчика передається до контролера МІК-311-К4, який аналізує значення DO.

– Керування подачею повітря здійснюється контролером серії МІК, який управляє електропневматичним клапаном Emerson ASCO 327. Це забезпечує підтримку необхідного рівня DO для оптимальної роботи мікроорганізмів.

2. Контур регулювання навантаження на активний мул

– Облік витрати як стічної води, так і поворотного мулу здійснюється за допомогою витратомірів KROHNE OPTIFLUX 4300.

– Типовий регулятор співвідношення (TYPE 2000) виконує функцію розрахунку навантаження на біомасу за вхідними сигналами.

– Контролер МІК-127 приймає ці сигнали та керує Honeywell 3/2 way valve, змінюючи витрату поворотного мулу.

– Контур регулювання виведення надлишкового мулу

– Облік витрати здійснюється за допомогою приладу Endress+Hauser Proline Promag W 400

– Сенсор концентрації мулу Endress+Hauser Memosens CPS16E.

– Сигнали надходять у обчислювальний блок та контролер, які керують витратами на виведення надлишкового мулу через регулятор потоку (наприклад, клапан типу TYPE 2000).

Сигнали з вимірювальних приладів надходять до програмованих контролерів (МІК-311-К4, МІК-127), які виконують обчислення та формують

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 47 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

управляючі дії на виконавчі механізми (клапани Emerson, Honeywell та TYPE 2000). У такий спосіб реалізується адаптивне регулювання трьох основних параметрів:

- рівень розчиненого кисню (DO),
- органічне навантаження на біомасу,
- маса активного мулу в системі.

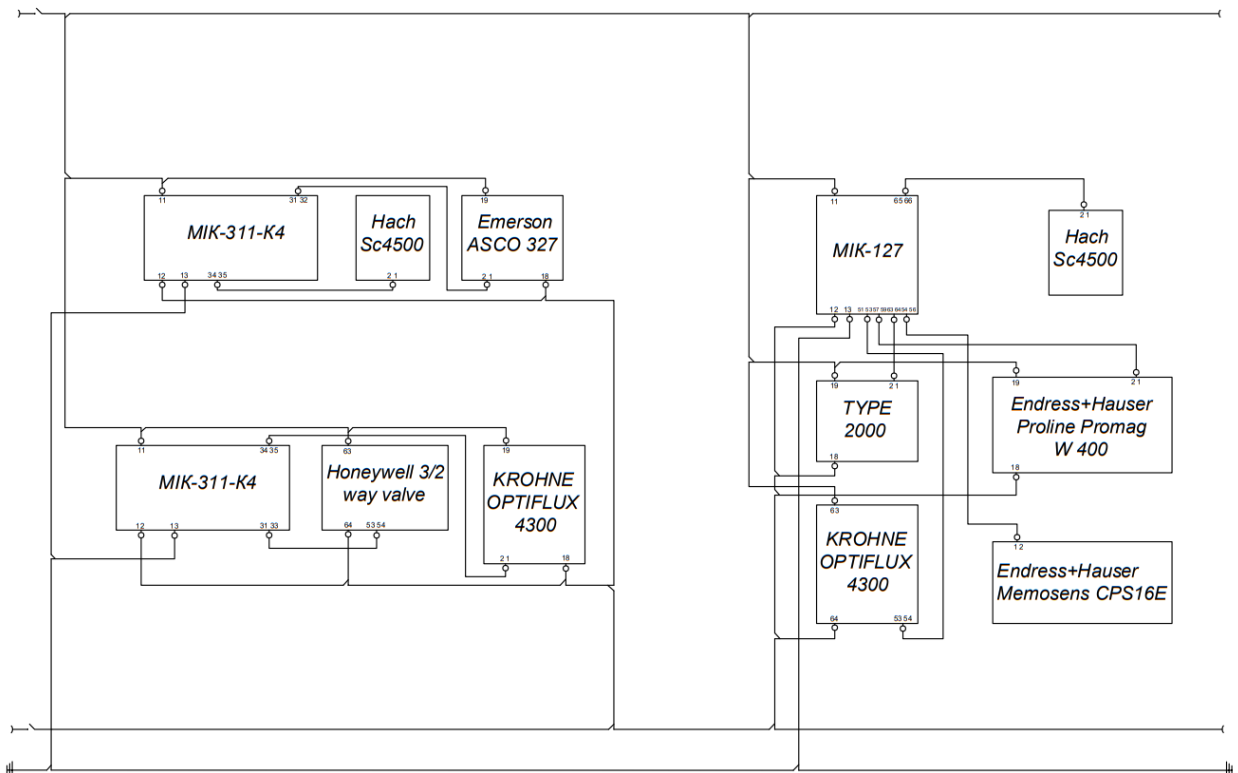


Рисунок 4.16 – Електрична схема процесу біохімічного очищення стічних вод

4.4 Розробка програмного забезпечення для PLC

Для реалізації автоматизованої системи очищення стічних вод типу «аеротенк – відстійник» було розроблено програмне забезпечення на основі мови функціональних блоків (FBD) у середовищі програмування ALFA. Програма призначена для програмованих логічних контролерів (ПЛК) серії МІКРОЛ. На рисунку зображено загальну структуру трьох контурів автоматизації: два з них реалізовані на контролерах МІК-311-К4, ще один – на контролері МІК-127.

| | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------------------------|------|
| | | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | | 48 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |

Розроблене програмне забезпечення виконує автоматичне керування процесами біохімічного очищення стічних вод. Основними функціями системи є:

- регулювання подачі повітря в аеротенк,
- контроль співвідношення органічних речовин до активного мулу,
- регулювання об'єму надлишкового мулу,
- моніторинг концентрації розчиненого кисню та витрат рідини у системі.

На початковому етапі роботи програма виконує ініціалізацію – активуються блоки обробки сигналів від датчиків (концентрації, витрати, рівня) та виконавчих пристроїв (насосів, клапанів, аераторів), які взаємодіють через аналогові та дискретні входи/виходи. Обмін даними з іншими пристроями здійснюється через промислові протоколи зв'язку, зокрема Modbus RTU.

Контур, реалізований на МІК-127, відповідає за регулювання концентрації розчиненого кисню шляхом ПІ-регулювання подачі повітря. За допомогою функціонального блоку регулятора формується керуючий аналоговий сигнал на клапан аерації, що дозволяє підтримувати необхідні умови для перебігу біохімічного процесу.

Один із контурів на МІК-311-К4 здійснює контроль об'єму надлишкового мулу. У разі перевищення заданого порогового значення активується блок керування відповідним клапаном для його відведення. Інший контур на цьому ж контролері виконує обчислення співвідношення «органіка/мул» і забезпечує корекцію режиму аерації відповідно до поточних даних.

Циклічне виконання програми з періодом в одну секунду забезпечує своєчасну реакцію на зміну технологічних параметрів.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 49 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

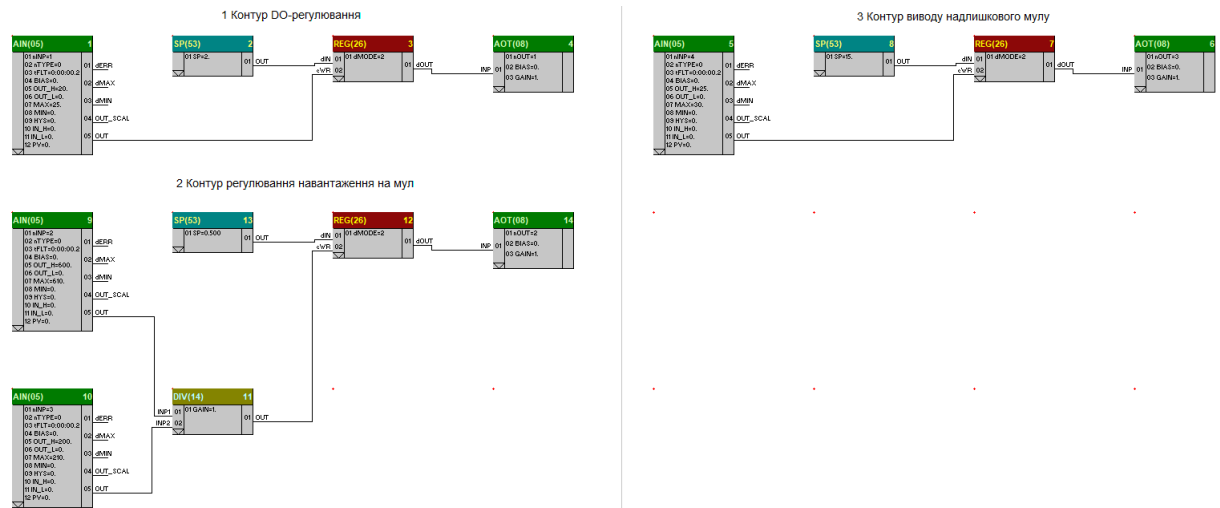


Рисунок 4.18 – Код програмування ПЛК у програмному забезпеченні ALFA

Висновки до розділу

У цьому розділі здійснено комплексну розробку проєктної частини системи автоматичного контролю та керування (САК) процесом біохімічного очищення стічних вод. Основна увага була зосереджена на виборі сучасних технічних засобів автоматизації, побудові функціональної схеми та визначенні взаємодії між елементами системи.

Проведено обґрунтований вибір високоточних приладів контролю параметрів середовища, таких як витратоміри, рН-метри, датчики розчиненого кисню та інші сенсори, що забезпечують надійний моніторинг ключових показників технологічного процесу. Прилади мають відповідні сертифікати якості, високий ступінь захисту (IP65–IP68), широкі діапазони вимірювання та підтримку цифрових протоколів зв'язку (Modbus, HART, Profibus, Ethernet/IP), що дозволяє ефективно інтегрувати їх у загальну систему керування.

Розроблена функціональна схема автоматизації охоплює три основні контури регулювання: концентрації розчиненого кисню, навантаження на активний мул та виведення надлишкового мулу. Для кожного з них визначено необхідні засоби вимірювання, контролери та виконавчі механізми. Всі компоненти інтегруються в єдину систему за допомогою програмованих логічних контролерів (ПЛК) МІК-127 і МІК-311-К4, що забезпечують збирання,

| | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------------------------|------------|
| | | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. 50 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |

обробку сигналів та реалізацію керуючих дій у реальному часі.

Особливу увагу приділено проектуванню щита системи автоматизації, включно з підбором елементів захисту, комутації та управління від провідних виробників (ABB, Siemens, Eaton, Schneider Electric), створенням електричних схем та 3D-моделі розташування обладнання. Забезпечено відповідність сучасним вимогам щодо безпеки, зручності обслуговування та вентиляції.

Реалізовані проєктні рішення сприяють підвищенню надійності та ефективності функціонування системи очищення стічних вод, зменшенню витрат на обслуговування та дотриманню екологічних стандартів завдяки автоматизованому контролю й гнучкому керуванню технологічними параметрами.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 51 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У межах бакалаврської роботи було здійснено комплексну розробку автоматизованої системи керування технологічним процесом біохімічного очищення стічних вод на основі взаємодії аеротенка та вторинного відстійника. У ході дослідження охоплено як теоретичні аспекти функціонування процесу, так і практичні завдання моделювання, вибору технічних засобів, розробки керуючої архітектури та програмного забезпечення.

В результаті моделювання процесу окиснення органічних речовин в аеротенку було побудовано адекватну математичну модель у вигляді передавальної функції четвертого порядку, яка точно відображає інерційні властивості системи. Це дозволило ідентифікувати об'єкт керування та закласти основу для ефективного синтезу регуляторів. Застосований підхід забезпечує високу точність реагування на зміну навантаження й дозволяє підтримувати стабільні умови для мікробіологічних процесів.

В рамках реалізації проєктної складової запропоновано трирівневу структуру автоматичного регулювання, яка охоплює три ключові контури: контроль концентрації розчиненого кисню, навантаження на активний мул та виведення надлишкового мулу. Ретельний підбір технічних засобів — сучасних сенсорів, витратомірів, пневматичних клапанів та ПЛК — дозволив сформувати функціонально завершену, стабільну та надійну систему керування.

Висока проєктна надійність запропонованої системи підтверджується наступними факторами:

- точним математичним описом об'єкта автоматизації, що забезпечує передбачуваність і стійкість регулювання;
- використанням високонадійного обладнання з підтвердженими технічними характеристиками (IP67–IP68, MTBF > 30 000 год);
- адаптивністю структури до змін навантаження та умов експлуатації;
- реалізацією SCADA-рівня для централізованого моніторингу, діагностики та оперативного втручання.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 52 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- Запропонована система дозволяє:
- стабільно підтримувати якість очищеної води відповідно до нормативів;
- знижувати енергоспоживання шляхом оптимізації подачі повітря та ресурсів;
- зменшити навантаження на обслуговуючий персонал завдяки автоматизації рутинних процесів;
- підвищити загальну безпеку та екологічну ефективність функціонування очисної установки.

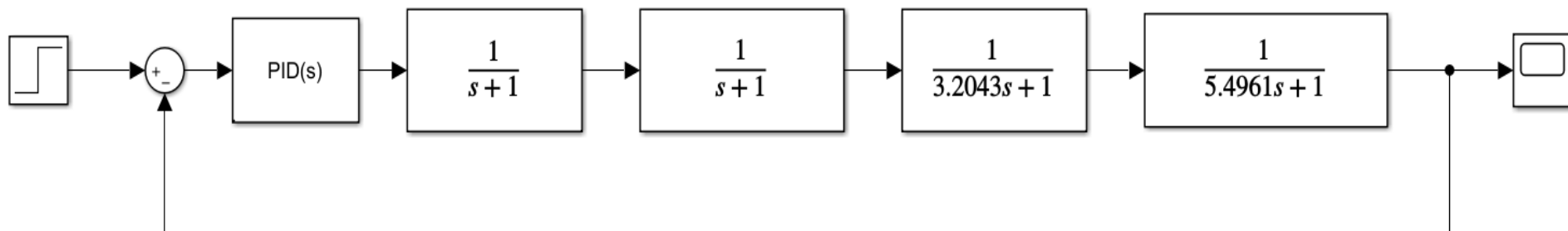
Отримані результати підтверджують доцільність впровадження автоматизованого керування для процесу біохімічного очищення стічних вод. Розроблені технічні й алгоритмічні рішення можуть бути використані для модернізації діючих систем або впровадження на нових об'єктах у сфері водоочищення.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 53 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

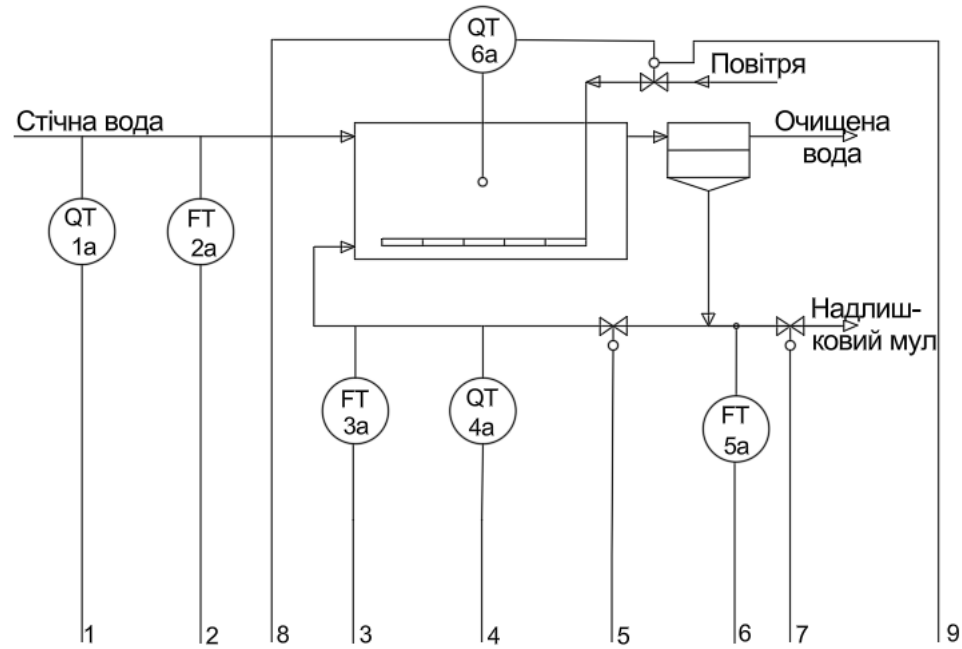
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Петрук В. Г., Васильківський І. В., Петрук Р. В. Технології захисту навколишнього середовища. Частина 2. Методи очищення стічних вод [Текст] / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, Р. В. Петрук. – Херсон : Олді-плюс, 2019. – 298 с.
2. Гивлюд А. М., Петрушка І. М., Руда М. В., Шибанова А. М. Технологія очищення природних та стічних вод [Електронний ресурс] / А. М. Гивлюд, І. М. Петрушка, М. В. Руда, А. М. Шибанова. – Київ : ГО «Міжнародна наукова гільдія», 2022. – 169 с.
3. Степова О. В. Навчальний посібник з дисципліни «Технології захисту довкілля». Модуль 2: Очищення стічних вод [Електронний ресурс] / О. В. Степова. – Полтава : Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2023. – 205 с.
4. Вовкодав Ю. І., Ребрикова П. А., Мокроусова О. Р. Біологічні способи очищення промислових стічних вод [Електронний ресурс] / Ю. І. Вовкодав, П. А. Ребрикова, О. Р. Мокроусова // Перспективні матеріали та інноваційні технології: біотехнологія, прикладна хімія та екологія : зб. тез Міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 14–15 травня 2020 р. – Київ : КНУТД, 2020. – С. 64.
5. Enabling wastewater treatment process automation: leveraging innovations in real-time sensing, data analysis, and online controls [Електронний ресурс] / ResearchGate. – 2020.
6. Dionisi, D. Biological Wastewater Treatment Processes [Текст] / D. Dionisi. – Boca Raton : CRC Press, 2020. – 336 с.
7. Olsson, G. *Control and Decision Strategies in Wastewater Treatment Plants for Operation Optimization* [Текст] / G. Olsson, B. Newell. – Cham : Springer, 2016. – 473 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 54 |

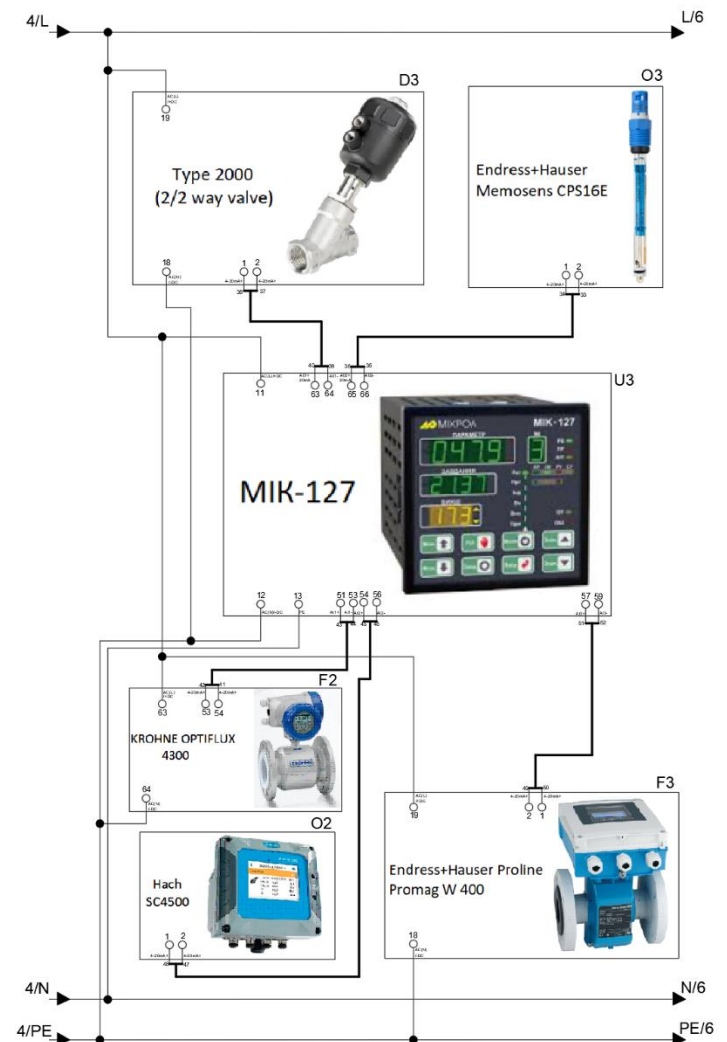
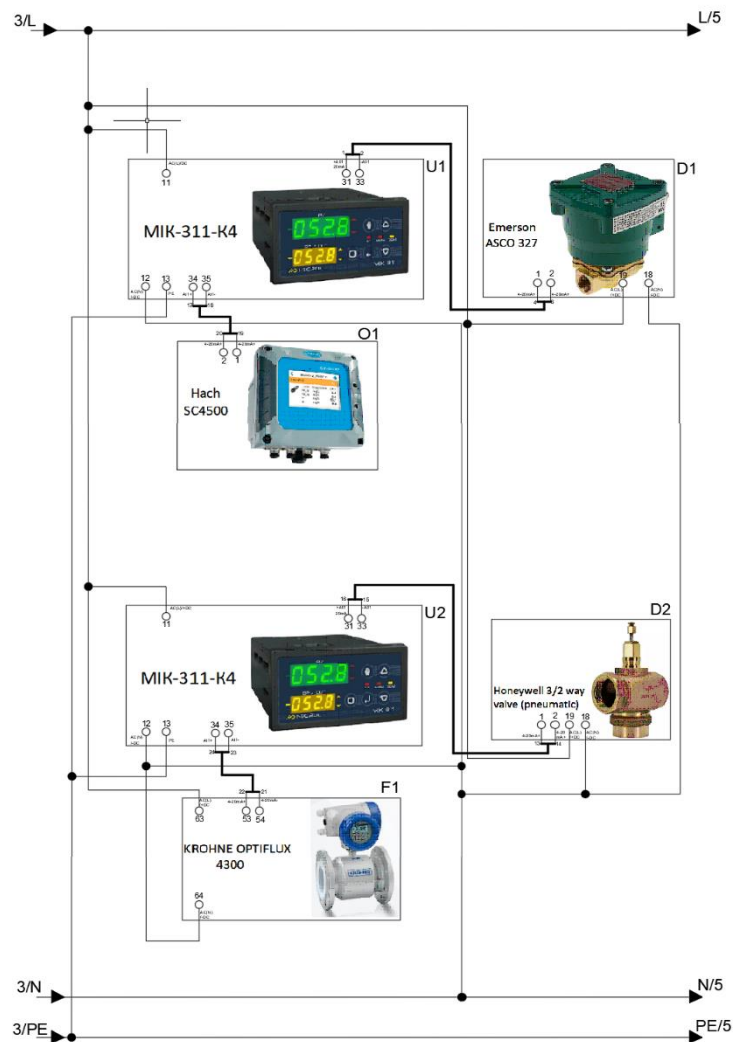


| | | | | | | | | | |
|-------------|------|------------------|--------|------|---|--------|----------------------|---------|---------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 02 | | | | |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | Розроблення системи автоматизованого керування для установки біохімічного очищення стічних вод | Літера | | Маса | Масштаб |
| Розробив | | Олексюк В.О. | | | | | | | |
| Перевірив | | Фешанич Л.І. | | | | | | | |
| Т. Контроль | | | | | | | | | |
| Рецензент | | Чигур Л.Я. | | | | Арк. | 56 | Аркушів | 61 |
| Н. Контроль | | Кучмистенко О.В. | | | Структурна схема | | АКП-23-2К ІФНТУНГ | | |
| Затвердив | | Лагойда А.І. | | | | | | | |



| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| М | У | | | | | | | | | |
| | С | | | | | | | | | |
| | В | | | | | | | | | |
| П | В | | | | | | | | | |
| | І | | | | | | | | | |
| | Р | | | | | | | | | |
| К | С | | | | | | | | | |
| | А | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|-------------|------|------------------|--------|------|---|----------------------|------------|---------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 03 | | | |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | Розроблення системи автоматизованого керування для установки біохімічного очищення стічних вод | Літера | Маса | Масштаб |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | Функціональна схема | АКП-23-2К ІФНТУНГ | | |
| Н. Контроль | | Кучмистенко О.В. | | | | Арк. 57 | Аркушів 61 | |
| Затвердив | | Лагойда А.І. | | | | | | |



| | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---|----------------------|------|------------|
| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 04 | | | |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | Розроблення системи автоматизованого керування для установки біохімічного очищення стічних вод | Літера | Маса | Масштаб |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | Схема зовнішніх з'єднань | Арк. | 58 | Аркушів 61 |
| | | | | | | АКП-23-2К ІФНТУНГ | | |

| <i>№</i> | <i>Позначення</i> | <i>Найменування</i> | <i>Кіл.</i> | <i>Примітка</i> |
|----------|-------------------|---|-------------|-----------------|
| 1 | O1,O2 | Вимірювачі концентрації Nach SC4500 | 2 | |
| 2 | F1,F2 | Витратоміри KROHNE OPTIFLUX 4300 | 2 | |
| 3 | F3 | Витратомір <u>Endress+Hauser Proline Promag W 400</u> | 1 | |
| 4 | O3 | Датчик якості води Endress+Hauser Memosens CPS16E | 1 | |
| 5 | D1 | Клапан води з мулом <u>Emerson ASCO 327</u> | 1 | |
| 6 | D2 | Клапан мула з водою <u>Honeywell 3/2 way valve</u> | 1 | |
| 7 | D3 | Клапан повітря Burkert Type 2000 (2/2 way valve) | 1 | |
| 8 | U1,U2 | ПІД регулятори <u>Мікрол МІК-311-К4</u> | 2 | |
| 9 | U3 | ПІД регулятор <u>Мікрол МІК-127</u> | 1 | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

| | | | | | БР.АКП-56.00.00.000 07 | | | | | |
|------|------|------------------------------|--------|------|--|--|--|----------------------|------|---------|
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | Розроблення системи автоматизованого керування для установки біохімічного очищення стічних вод | | | Літера | Маса | Масштаб |
| | | Олексюк В.О. | | | | | | | | |
| | | Фешанич Л.І. | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | Чигур Л.Я. | | | | | | | | |
| | | | | | Перелік елементів | | | АКП-23-2К ІФНТУНГ | | |
| | | Н. Контроль Кучмистенко О.В. | | | | | | | | |
| | | Затвердив Лагойда А.І. | | | | | | | | |