

**БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

**КРБ.СІ-07.00.00.000 ПЗ**

**Група СІ-21-1**

**Борис КІЛЬЧИЦЬКИЙ**

**2025**

**Міністерство освіти і науки України**  
**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**  
**Інститут інформаційних технологій**  
**Кафедра інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем**

**Кільчицький Борис Андрійович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК \_\_\_\_\_  
(індекс)

**БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

**Розроблення автоматизованої системи управління переробкою стічних вод**

(назва роботи)

**Системна інженерія – інтернет речей**

(назва освітньої програми)

**151-Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології**

(шифр і назва спеціальності)

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

Здобувач освітнього ступеня \_\_\_\_\_ **Б.А. Кільчицький**  
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник \_\_\_\_\_ **Левицький Іван Теодорович, к.т.н.**  
(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

**Допущено до захисту**  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ **Заміховський Л.М.**  
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

**Івано-Франківськ – 2025**

**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут Інформаційних технологій

Кафедра Інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем

Освітній рівень бакалавр

Спеціальність 151-Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

*Завідувач кафедри ІТТС д.т.н., проф.*

Л.М.Заміховський

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 року

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

Кільчицькому Борису Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення автоматизованої системи управління переробкою стічних вод

керівник роботи Левицький Іван Теодорович, к.т.н.

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від "05" травня 2025 року № 281/7

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи Матеріали та результати отримані під час проходження переддипломної практики, технічні вимоги, методичні вказівки.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
Порівняльний аналіз існуючих систем очистки стічних вод

Вибір апаратних технологій та середовища розробки

Розробка апаратної частини

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

Структурна схема

Функціональна схема

Результати розробки

6. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_



## РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 65 сторінок, 31 рисунок, 17 посилань.

Об'єктом дослідження є система управління переробкою стічних вод.

Мета роботи – розробка автоматизованої системи управління переробкою стічних вод в умовах побутової діяльності людини та відсутності агресивних промислових відходів.

В першій частині роботи проведено аналіз складу типових стічних вод, методів їх переробки та можливості автоматизації процесу їх переробки.

В другій частині здійснено розроблення структурної та функціональної схеми автоматизованої системи управління, здійснено підбір засобів автоматизації (давачів і виконавчих механізмів) і контролера управління. В ролі контролера обрано МахуСоп Flexy.

В третій частині здійснено аналіз роботи системи на основі функціональної схеми а також аналіз перехідного процесу системи автоматичного управління регулятора.

СТІЧНІ ВОДИ, СТАНЦІЯ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД, БІОРЕАКТОР  
СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ, КОНТРОЛЕР.

## **ABSTRACT**

Calculation and explanatory note: 65 pages, 31 figures, 17 references.

The object of the study is the wastewater treatment control system.

The purpose of the work is to develop an automated wastewater treatment control system in the conditions of human domestic activity and the absence of aggressive industrial waste.

In the first part of the work, an analysis of the composition of typical wastewater, methods of their treatment and the possibility of automating the process of their treatment was carried out.

In the second part, a structural and functional diagram of an automated control system was developed, automation tools (sensors and actuators) and a control controller were selected. MaxyCon Flexy was chosen as the controller.

In the third part, an analysis of the system operation was carried out based on the functional diagram, as well as an analysis of the transient process of the automatic control system of the regulator.

**WASTEWATER, WASTEWATER TREATMENT PLANT, BIOREACTOR  
AUTOMATIC CONTROL SYSTEM, CONTROLLER.**

## ЗМІСТ

с.

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ .....	7
ВСТУП .....	8
1 АНАЛІЗ СТІЧНИХ ВОД І СИСТЕМ ЇХ ОЧИСТКИ .....	10
1.1 Поняття стічних вод .....	10
1.2 Аналіз сучасних способів очистки води .....	12
1.3 Аналіз можливостей автоматизації процесів очищення стічних вод ...	18
1.4 Аналіз сучасних апаратних і програмних засобів автоматизації .....	21
2 ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ...	26
2.1 Технологічна схема об'єкту автоматизації .....	26
2.2 Розробка структурної схеми .....	29
2.3 Розроблення функціональної схеми автоматизації .....	32
2.4 Вибір давачів і виконавчих механізмів .....	41
2.5 Вибір контролера управління .....	53
3 АНАЛІЗ РОБОТИ СИСТЕМИ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ	56
3.1 Опис процесу функціонування .....	56
3.2 Побудова перехідного процесу САР.....	58
ВИСНОВКИ .....	61
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА .....	63
БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА .....	65

					<b>КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ</b>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Кільчицький</i>			<i>Розроблення автоматизованої системи управління переробкою стічних вод</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перев.</i>		<i>Левицький</i>					6	65
<i>Н. контр.</i>					<b>ІФНТУНГ ар.СІ-21-1</b>			
<i>Затв.</i>		<i>Заміховський</i>						

## ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

СОСВ	— система очистки стічних вод
СВ	— стічна вода
САК	— система автоматичного керування
ККД	— коефіцієнт корисної дії
ОС	— очисні споруди
ПЛК	— програмований логічний контролер
МК	— мікроконтролер

					КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

## ВСТУП

Протягом історії людські поселення та промислові об'єкти переважно розміщувалися поблизу джерел прісної води, які використовувалися для питних, санітарно-гігієнічних, сільськогосподарських і виробничих потреб. У процесі використання вода змінювала свої природні властивості і в багатьох випадках ставала потенційно небезпечною з санітарної точки зору. З розвитком міського господарства та інженерної інфраструктури виникла потреба в організованому відведенні забруднених вод по спеціально побудованих гідротехнічних спорудах.

У сучасних умовах роль прісної води як стратегічного природного ресурсу постійно зростає. Після використання в побуті або промисловості вода забруднюється органічними й мінеральними домішками і перетворюється на стічну.

Залежно від джерела походження, стічні води можуть містити токсичні речовини та збудники інфекційних захворювань. Системи водовідведення міст і промислових підприємств включають розгалужену інфраструктуру: напірні та самоплинні трубопроводи, насосні станції, очисні споруди тощо. Вони виконують функції збору, транспортування, очищення, знешкодження та, за можливості, повторного використання забрудненої води та осаду. Такі системи забезпечують також водовідведення атмосферних опадів — дощових і талих вод. Їх будівництво є необхідною умовою для забезпечення належного рівня життя населення й охорони довкілля.

Історично активний розвиток водовідведення розпочався в Європі у XIX столітті разом зі зростанням міст та індустріалізацією. Значний поштовх цьому процесу дала епідемія холери в Англії у XVIII столітті, після чого було ініційовано будівництво підземних каналів, впроваджено нормативи якості

					КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

стічних вод, що скидаються у водойми, та започатковано біологічне очищення на полях фільтрації.

У 1898 році в Києві було введено в експлуатацію першу централізовану систему водовідведення, яка включала напірні й самоплинні трубопроводи, насосну станцію та поля зрошення. Вона стала основою сучасної київської системи очищення стічних вод.

На сьогодні розвиток систем водовідведення має ключове значення для захисту довкілля від забруднення побутовими та промисловими стоками. Суттєвих результатів вдалося досягти завдяки впровадженню нових технологічних рішень, спрямованих на ефективне очищення та повторне використання води. Успішне проектування та експлуатація таких систем неможливі без участі кваліфікованих спеціалістів, які застосовують передові науково-технічні досягнення у сфері водопостачання та каналізації.

					<i>КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ</i>	Арк.
						9
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		

# 1 АНАЛІЗ СТІЧНИХ ВОД І СИСТЕМ ЇХ ОЧИСТКИ

## 1.1 Поняття стічних вод

Стічні води — це вода й атмосферні опади, які, потрапивши на території населених пунктів або промислових об'єктів, відводяться через каналізаційні системи або самопливом, при цьому втрачають свої первинні властивості внаслідок впливу людської діяльності (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Стічні води

Стічні води класифікуються за джерелом походження:

**Виробничі (промислові)** — утворюються під час технологічних процесів у промисловості або під час видобутку корисних копалин. Відводяться через промислову або загальносплавну каналізацію [1].

**Побутові (господарсько-фекальні)** — формуються у житлових будинках та побутових приміщеннях підприємств (санвузли, душові тощо). Відводяться через господарсько-побутову або загальносплавну систему.

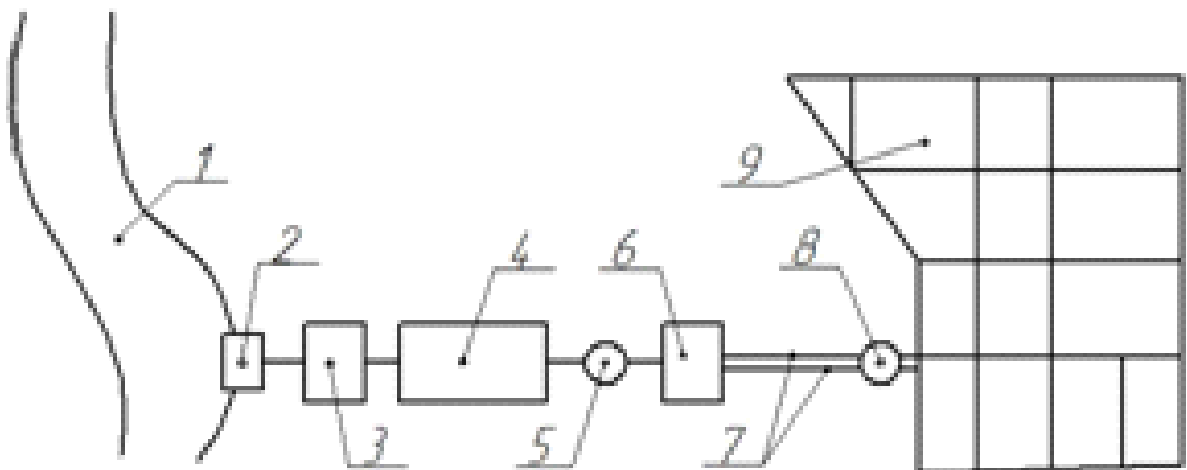
					КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

**Поверхневі** — включають дощові та талі води, що надходять в результаті танення льоду і снігу. Відводяться здебільшого системами зливової каналізації (зливові стоки).

**Промислові стоки**, на відміну від побутових і атмосферних, мають змінний склад і можуть класифікуватися за:

- видом і концентрацією забруднювальних речовин;
- фізико-хімічними властивостями домішок;
- рівнем кислотності;
- токсичністю та потенційним впливом на водні об'єкти.

Метою очищення стічних вод є забезпечення можливості їх подальшого використання або безпечного скидання у навколишнє середовище. Система водопостачання повинна гарантувати забирання води з природних джерел, її очищення згідно з нормативами та подачу до споживача (рис. 1.2).



1 - джерело надходження води, 2 – вузол прийому води, 3 - станція I підйому насосна, 4 - очисні споруди, 5 - ємність очищеної води, 6 - станція II підйому, 7 - водопровід, 8 - водонапірна акумулютивна вежа, 9 – система водо розподілу води

Рисунок 1.2 - Схема водопостачання

Для реалізації цих функцій у складі систем водопостачання зазвичай передбачають такі основні елементи:

- споруди забору води з джерел природного надходження;

- насосні станції, які забезпечують підйом і подачу води до пунктів очищення, зберігання або споживання;
- установки для очищення води;
- водоводи та розподільчі мережі, призначені для транспортування води до кінцевих споживачів;
- резервуари та водонапірні башти, що виконують функції регулювання подачі та накопичення запасів води в системі.

## 1.2 Аналіз сучасних способів очистки води

Критично важливим для людства є очищення стічних вод з метою збереження довкілля та здоров'я людей. Воно дозволяє видаляти шкідливі домішки, токсичні речовини, мікроорганізми та важкі метали, які можуть забруднювати ґрунт, підземні й поверхневі води. Без належної очистки стічні води становлять загрозу для водних екосистем, сприяють поширенню захворювань і погіршують якість питної води. Ефективне очищення також дозволяє повторно використовувати воду в технічних чи господарських цілях, що є важливим в умовах дефіциту водних ресурсів, рис. 1.3.

Сучасні методи очищення стічних вод поділяються на механічні, фізико-хімічні та біохімічні. У ході очищення утворюються осади, які підлягають обробці: зневодненню, знезараженню, сушінню та, за можливості, подальшій утилізації. У випадках, коли необхідно досягти підвищеного рівня очищення перед скиданням води у природні водойми, після повного біологічного очищення додатково застосовуються споруди для глибокого очищення [2].

					<i>КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ</i>	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Рисунок 1.3 - Очистка стічних вод

Споруди механічного очищення стічних вод застосовуються для вилучення нерозчинених забруднень. До основних елементів таких систем належать решітки, сита, пісковловлювачі, відстійники та фільтри різних типів. Решітки й сита використовуються для затримання крупних включень як органічного, так і мінерального походження.

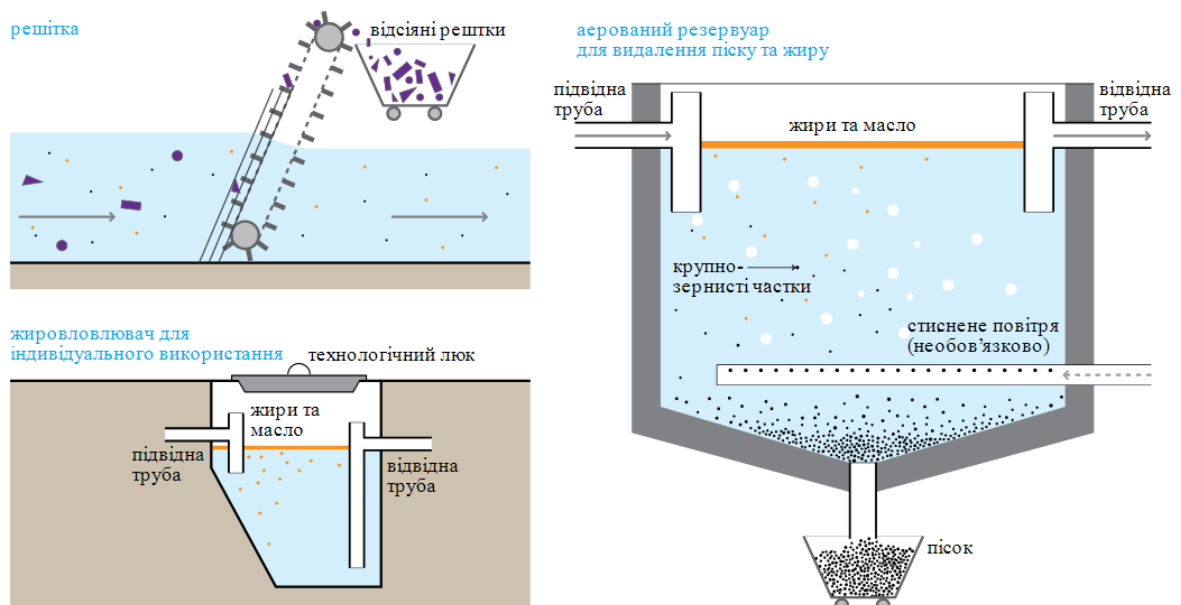


Рисунок 1.4 – Механічна очистка стічних вод

					КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		13

Пісковловлювачі призначені для вилучення з води домішок мінерального походження, зокрема піску. Відстійники, у свою чергу, затримують як осаджувані, так і плаваючі забруднення стічних вод.

Для очищення виробничих стічних вод, що містять специфічні домішки, застосовують спеціалізовані споруди — жироловки, нафтоловки, масло- та смолоуловлювачі тощо [3].

Споруди механічного очищення є первинним етапом перед біологічною очисткою. На цьому етапі можливо вилучити до 60% нерозчинених домішок із міських стічних вод.

Фізико-хімічні методи очищення міських стічних вод застосовуються рідко, оскільки зазвичай мають меншу економічну доцільність. Проте вони ефективно використовуються для очищення промислових стічних вод.

До методів фізико-хімічного очищення виробничих стічних вод належать: очищення з використанням реагентів, сорбція, екстракція, випарювання, дегазація, іонний обмін, озонування, електрофлотація, хлорування, електродіаліз та інші.

Біологічне очищення ґрунтується на використанні мікроорганізмів, які розкладають органічні забруднення, мінералізуючи їх, оскільки ці речовини слугують для них джерелом живлення.



Рисунок 1.5 – Біологічна очистка стічної води

					<i>КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		14

Механічне очищення стічних вод може здійснюватися одним із двох основних методів:

- перший метод передбачає фільтрацію води через ґрати та сита, які утримують великі тверді включення;
- другий метод полягає у відстоюванні води в спеціальних резервуарах, де важкі мінеральні частинки осідають на дно.

На початковому етапі очищення стічні води з каналізаційної мережі спрямовуються на ґрати або сита, де відбувається затримання великих фрагментів — таких як ганчірки, залишки їжі, папір тощо. Зібрані залишки знешкоджують та вивозять. Після фільтрації вода потрапляє до пісковловлювачів, у яких осідають домішки переважно мінерального походження (пісок, шлак, зола, вугілля тощо).

При механічному очищенні стічних вод найбільш широке застосування отримали пісковловлювачі, нафтоловушки, відстійники, а також решітки, сітки та фільтри.

За допомогою пісковловлювачів видаляються механічні рубодисперсні домішки, а також частина нафтопродуктів. У технологічних схемах очищення стоків пісколовки розташовуються між решітками та первинними відстійниками.

Нафтоловушки призначені для вилучення основної частини нафтопродуктів зі стічних вод. Залежно від конструкції, вони можуть бути горизонтальними, вертикальними або радіальними, доповненими спеціальними елементами, що забезпечують ефективне видалення як нафтопродуктів, які спливають на поверхню, так і осаду, що накопичується на дні. Серед різних типів найбільше поширення на нафтобазах отримали саме горизонтальні нафтоловушки. Ступінь очищення даним методом становить 60-70%. Для підвищення ефективності застосовують тонкошарове відстоювання [4].

					<i>КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ</i>	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Фільтри ефективні для очищення стічних вод від дрібних частинок. Стічні води пропускаються через фільтр з масою, що фільтрує, з різних тканин, зернистих і хімічних матеріалів. Фільтруючий матеріал збирає на своїй активній поверхні всю завись.

Найдоступніший спосіб очищення стічних вод від нафтопродуктів – застосування відстійників. На нафтопродукти у відстійниках починає впливати сила гравітації планети. Частинки спливають нагору або осідають на дно. На нафтових підприємствах використовують резервуари для відстоювання, у яких нафтопродукти піднімаються поверхню. У такий спосіб видаляється до 95% нафтопродуктів. Час відстоювання становить від 6 до 24 години [5].

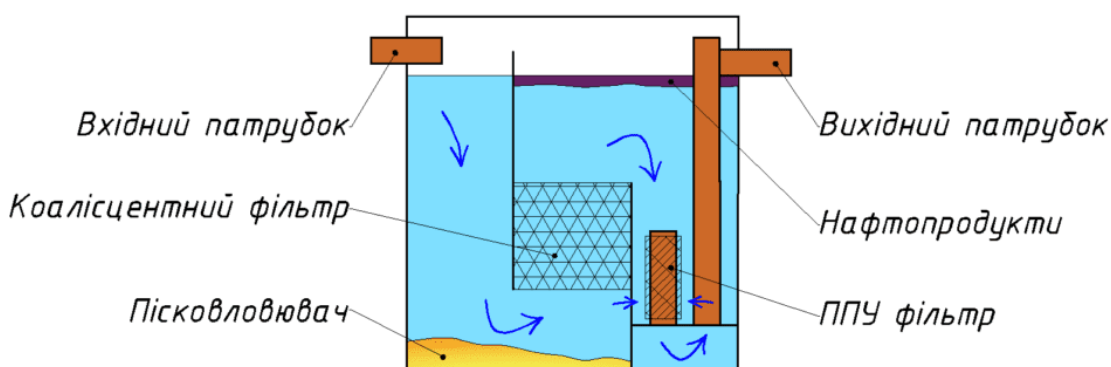


Рисунок 1.6 - Нафтоловушка

Механічні способи є одним із ступенів очищення води у всій очисній системі.

Фізико-хімічні способи включають сорбцію, коагуляцію і флотацію.

Сорбція може протікати на поверхні (адсорбція – процес вибіркового поглинання домішок з рідини поверхнями твердих матеріалів) та в обсязі (абсорбція – процес вилучення компонента з однієї фази та розчинення в іншій – у поглиначі).

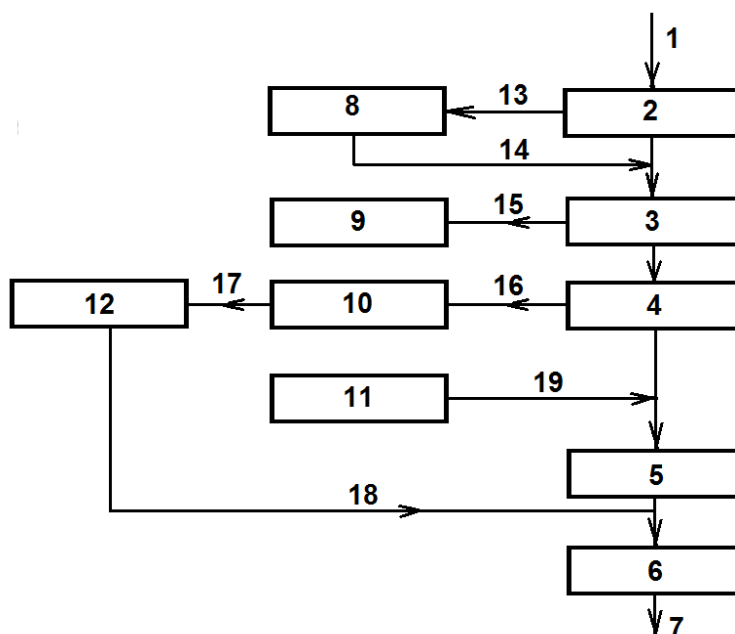
Коагуляція – процес укрупнення дисперсних частинок внаслідок взаємодії з коагулянтами. Як коагулянти зазвичай використовують солі заліза, алюмінію та їх суміші.

					КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Флотація – процес впливання домішок при обволіканні їх бульбашками повітря.

Хімічна очистка стічних вод активно використовується на промислових підприємствах.

Однак застосування даного способу завдає значної шкоди навколишньому середовищу через виникнення на поверхні води плівки, яка набуває токсичних властивостей багаторічної дії. Хімічна очистка стічних вод може довести вміст нерозчинних небезпечних домішок до 95%, розчинних до 25%. Крім того, в ході хімічного очищення необхідно дотримання суворого дозування дорогих реагентів, що робить цей процес трудомістким та фінансово витратним [6,7].



1 – стічні води, 2 – решітчасті механізми, 3 – вловлювачі бруду і піску, 4 – гравітаційні відстійники, 5 – електропровідні мішалки, 6 – резервуар очищеної води, 7 – вихід у водойму, 8 – механічний подрібнювач, 9 – поля для твердих відходів, 10 – метантанки, 11 – пристрій для знезараження (хлорування), 12 – мулові поля, 13 – відходи, 14 – пульпа, 15 – піщана пульпа, 16 – сирий осад, 17 – осад, 18 – вода з дренажної системи, 19 – хлор

Рисунок 1.7 – Технологічна схема очищення стічних вод

Стічні води, які надходять із каналізаційної мережі, спочатку подаються на решітки або сита, де затримуються великі механічні домішки — зокрема ганчір'я, побутові відходи, папір тощо. Уловлені відходи підлягають транспортуванню для подальшого знезараження. Після цього проціджена вода направляється у пісковловлювачі, де осаджуються важкі мінеральні домішки — пісок, шлак, вугілля, зола тощо [8,9].

### **1.3 Аналіз можливостей автоматизації процесів очищення стічних вод**

Метою автоматизації систем водовідведення та очисних споруд є покращення ефективності процесів водовідведення й очищення стічних вод, здійснення стабільної та безперебійної роботи обладнання, підвищення якості очищення, а також зниження експлуатаційних витрат і покращення умов праці для персоналу.

Ключова функція автоматизованих систем полягає у підвищенні надійності роботи очисних споруд через контроль стану обладнання, перевірку достовірності даних і забезпечення стабільності функціонування технологічних процесів. Це дозволяє оперативно реагувати на зовнішні впливи, зокрема коливання у витратах або складі стічних вод. У кінцевому результаті автоматизація сприяє ефективнішому управлінню всією системою водовідведення [10, 11].

Система керування очисними спорудами складається з кількох структурних компонентів:

- функціональної, яка є основою проєктування;
- організаційної;
- інформаційної;
- програмної;

					<i>КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ</i>	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- технічної.

Визначальною в побудові системи є функціональна структура, навколо якої формуються всі інші компоненти. Згідно з функціональним призначенням, система управління поділяється на три основні підсистеми:

- оперативне керування технологічними процесами;
- оперативне планування виробничих процесів;
- аналітика, розрахунки техніко-економічних показників і стратегічне планування функціонування системи водовідведення .

Крім того, ці підсистеми можна згрупувати за критерієм оперативності у вигляді ієрархічних рівнів. Однорідні функціональні завдання, які належать до одного рівня, об'єднуються в окремі функціональні блоки [12].

Функціональна структура АСУ очисними спорудами включає кілька основних рівнів, що відповідають за збір, обробку та передачу інформації, а також управління обладнанням. Кожен рівень має свої функції та завдання.

Основні рівні АСУ очисними спорудами:

1. Нижній рівень (польовий рівень):

- давачі: збір інформації про параметри очисних споруд (температура, тиск, витрата, якість води та ін.).
- виконавчі механізми: управління роботою обладнання (насоси, клапани, змішувачі та ін.).
- допоміжне обладнання: підготовка проб для вимірювання, посилення сигналів та інші допоміжні функції.

2. Середній рівень (рівень локальної мережі):

- локальні контролери (PLC): обробка даних із давачів, виконання базових логічних операцій, керування локальним обладнанням.
- системи управління: забезпечують взаємодію з іншими рівнями, передають дані та команди.

3. Верхній рівень (рівень управління):

					<i>КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ</i>	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- системи управління підприємством (MES): Забезпечують моніторинг та керування всіма параметрами очисних споруд, аналіз даних, автоматизацію процесів.

- системи керування на основі хмарних технологій: Забезпечують віддалений доступ до даних та можливість керування очисними спорудами з будь-якої точки.

Функції АСУ очисними спорудами:

- збір та обробка даних. АСУ збирає дані з датчиків, обробляє їх і перетворює на потрібний формат;

- моніторинг та контроль. АСУ контролює роботу обладнання, параметри процесів та стан очисних споруд;

- управління. АСУ керує роботою обладнання, оптимізує процеси очищення стічних вод, забезпечує їх безпечну роботу;

- аналіз даних. АСУ аналізує зібрані дані, виявляє відхилення від нормативів, прогнозує та попереджає можливі аварії;

- інформування. АСУ інформує персонал про поточний стан очисних споруд, попереджає про аварії, відображає дані на екранах;

Види забезпечення АСУ:

- інформаційне забезпечення. Бази даних, програмне забезпечення обробки даних, звіти;

- програмне забезпечення. Програми управління АСУ, візуалізації даних, аналізу;

- технічне забезпечення. Комп'ютерне обладнання, датчики, виконавчі механізми лінії зв'язку;

- організаційне забезпечення. Структура керування АСУ, регламенти роботи, інструкції;

- метрологічне забезпечення. Калібрування та повірка датчиків, підтримання точності вимірювань;

- правове забезпечення. Нормативні документи, ліцензії, дозволи;

					<i>КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ</i>	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- лінгвістичне забезпечення. Підтримує різні мови інтерфейсу АСУ.

Для підвищення швидкості передачі даних, забезпечення надійного зв'язку з диспетчерськими пунктами та ефективного керування водовідведенням і процесами очищення стічних вод доцільно замінити ненадійну телефонну мережу на оптоволоконну. У такому разі більшість операцій в автоматизованих системах керування водовідвідними мережами, насосними станціями та очисними спорудами будуть виконуватися на електронно-обчислювальних машинах. Аналогічний підхід застосовуватиметься і до обліку, аналізу даних, розрахунків для перспективного планування, а також формування необхідної звітної документації щодо роботи всіх елементів системи водовідведення [13].

На основі зібраної звітної інформації та її аналізу можна організувати стратегічне планування, що забезпечить безперебійну роботу систем водовідведення та підвищить надійність усієї інфраструктури.

#### **1.4 Аналіз сучасних апаратних і програмних засобів автоматизації**

Програмовані логічні контролери є ключовим елементом автоматизованих систем підприємств і технологічного керування процесами. Сфера їхнього застосування дуже широка: від простого управління освітленням до контролю за екологічним станом на хімічних виробництвах. Серцем будь-якого ПЛК є контролер, до якого підключаються необхідні модулі розширення для реалізації конкретних функцій, а програмування дозволяє виконувати завдання заданої складності [14].

Контролери виготовляють велика кількість виробників електроніки — а саме серед них відомі Siemens, Motorola чи Fujitsu, так і відомі фірми мікроелектроніки, така як Texas Instruments Inc. При цьому кожен виробник пропонує власний набір функціональних можливостей та комбінації

					<i>КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ</i>	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

«ціна/якість». Оскільки на сьогодні контролери Siemens are найбільш поширені в Європі і часто зустрічаються як у промисловості, так і в наукових лабораторіях, саме вони стануть об'єктом нашого детального аналізу.



Рисунок 1.8 – Програмований логічний контролер Logo!

Програмувати контролери Siemens LOGO! Basic можна здійснювати безпосередньо з клавіатури на передній панелі, з інформаційним відображенням на вбудованому дисплеї, таблиця 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики [15]

Напруга живлення: номінальне значення	~115 ... 240 В
Споживана потужність	~3.6 ... 6.0 Вт/ ~230 В
Кількість дискретні входів:	8
Вхідна напруга: низького рівня, не більше високого рівня, не менше	5 В 12 В
Вхідний струм: низького рівня, не більше високого рівня, не менше	~0.03 мА ~0.08 мА/ =0.12 мА
Кількість дискретних виходів	4
Наявність гальванічного розділення	Так
Кількість аналогових входів	4 (I1 и I2, I7 и I8)
Діапазон аналогових каналів вимірювання	=0 ... 10 В
Максимальна вхідна напруга	=28.8 В
Ступінь захисту корпусу	IP 20
Маса	190 г

Програмування контролера Siemens здійснюється шляхом об'єднання потрібних функцій за допомогою програмних конструкцій та встановленні відповідних параметрів (наприклад, запізнення ON/OFF, двійкових лічильників, компараторів тощо). Для здійснення переліку цих налаштувань і з'єднань використовується система вбудованих меню. Після створення програма записується на змінний модуль пам'яті, який вставляється в інтерфейс пристрою LOGO!

Серед українських моделей варто виділити двох виробників – Раут-Автоматік і Мікрол. Обидва виробники займаються виробництвом вільно програмованих контролерів з відкритим середовищем розробки.

До складу продукції Раут-Автоматік входять:

- чотири серії вільно програмованих контролерів, які призначені для керування різноманітними технологічними процесами або установками відповідно до логіки, створеної користувачем за допомогою мов програмування FBD / CFS та ST відповідно до стандарту IEC 61131-3 (середовище розробки RAUT QUBIX). Дана серія отримала доволі широке розповсюдження.

- одна серія вільно програмованих контролерів, розроблена для автоматизації технологічних процесів і установок за індивідуальною логікою користувача, що реалізується мовою програмування «сходових діаграм» (Ladder Diagram) згідно зі стандартом IEC 61131-3 (конфігуратор CDL).

- один багатофункціональний універсальний контролер, що виконує роль регулятора та забезпечує підтримку заданого значення будь-якого технологічного параметра (температури, тиску тощо) як у звичайних одноконтурних, так і в каскадних схемах регулювання [16].

Дані контролери представлені доволі широкою лінійкою в залежності від кількості входів і виходів і також типу графічного інтерфейсу, рис. 1.9.

					КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

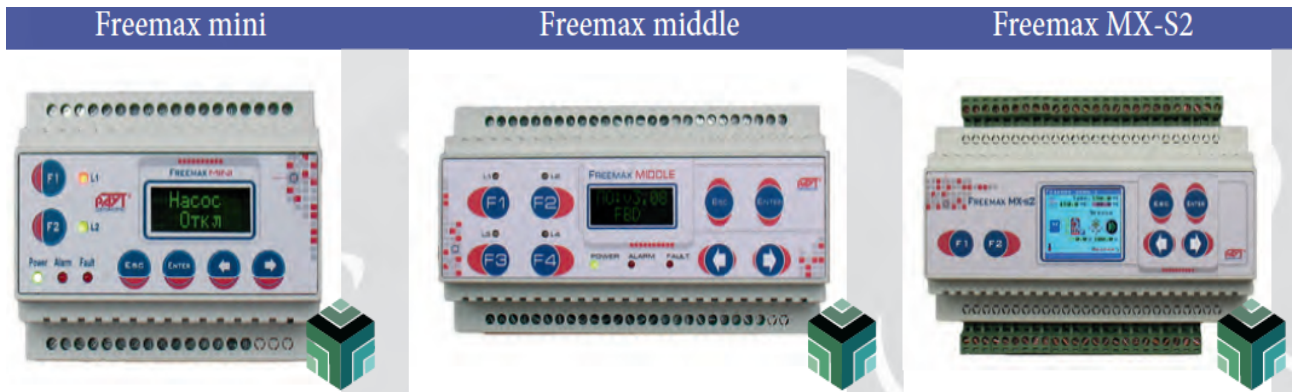


Рисунок 1.9 – Лінійка вільно програмованих контролерів Freemax

До складу даної лінійки входять чотири моделі вільно програмованих контролерів із різною кількістю аналогових та дискретних входів/виходів, які не підтримують підключення додаткових модулів розширення, і призначені для автоматизації різноманітних технологічних процесів. Усі контролери, залежно від конкретної моделі, оснащені одним або двома комунікаційними інтерфейсами та мають опцію активації функції «Web-сервер».

До складу даної лінійки також входить один базовий модуль із великою кількістю аналогових та дискретних входів/виходів і три різні модулі розширення, що додають додаткові входи/виходи до базового контролера. Загалом до контролера можна приєднати до трьох модулів розширення. Окремі моделі дозволяють доєднати 8 модулів розширення. Усі вони призначені для керування широким спектром технологічних процесів, оснащені двома комунікаційними інтерфейсами одночасно та підтримують активацію функції «Web-сервер» [17].

Також до складу лінійки входять три типи базових модулів із значною кількістю аналогових та дискретних входів/виходів, а також три різновиди модулів розширення додаткових можливостей, які додають різну кількість додаткових входів/виходів до базового контролера. Ці пристрої призначені для керування різноманітними технологічними процесами, оснащені двома вбудованими комунікаційними інтерфейсами, мають активований «Web-

сервер» і підтримують роботу з архівами через веб-інтерфейс — перегляд історичних даних у браузері та завантаження їх на ПК через протокол HTTP.

Варто відзначити фірму Мікрол через великий вибір програмованих логічних контролерів, високу підтримку продуктів і гнучкість при використанні їхньої продукції.

Лінійка вільно програмованих контролерів представлена кількома моделями контролерів, рис. 1.10.



Рисунок 1.10 – Лінійка вільно програмованих контролерів МК

Контролери МК – це компактні вільнопрограмовані мікропроцесорні контролери із багатofункціональними можливостями призначені для створення систем автоматичного регулювання та логічного керування технологічними процесами. Програмування здійснюється через інтерфейс за допомогою спеціального програмного забезпечення – візуального редактора FBD-програм «АЛЬФА», що надається безкоштовно, або за допомогою кнопок на передній панелі. У комплект входить бібліотека функціональних блоків, яка дозволяє вирішувати складні завдання автоматичного регулювання та програмно-логічного керування [17].

### 3 ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Автоматизація виконує низку важливих завдань, серед яких — автоматичний контроль і керування широким спектром технологічними процесами, зокрема обладнанням насосних станцій та очисних споруд, а також створення диспетчерських автоматизованих робочих місць для різних спеціалістів і профілів, базуючись на сучасних технологічних рішеннях.

Головна мета систем та споруд водовідведення — забезпечити надійну експлуатацію шляхом постійного моніторингу стану технологічного обладнання та автоматичної перевірки достовірності даних і стабільності роботи очисних споруд. Це дозволяє автоматично підтримувати параметри технологічних процесів та показники якості очищення стічних вод, а також оперативно реагувати на збурення (зміни обсягу стоків або якості очищеної води). Остаточна мета автоматизації — підвищення ефективності управлінських рішень.

Сучасні очисні системи і їх вузли необхідно проектувати з управлінням без потреби у постійній присутності обслуговуючого персоналу.

#### 2.1 Технологічна схема об'єкту автоматизації

Стічні води містять різноманітний набір сполук органічного та неорганічного походження, які відрізняються складом, фізико-хімічними властивостями та фазово-дисперсним станом. Саме ця складність обумовлює необхідність розробки оптимальних умов для технологічного процесу очищення. Вибір схеми біологічної очистки стічних вод є непростим інженерним завданням, оскільки вимагає чіткого визначення таких параметрів:

- загальний об'єм стічних вод, що підлягають очищенню;

					КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- усі види забруднювачів та їхні біохімічні характеристики;
- перелік тих речовин, що домінують за концентрацією, із врахуванням їхніх токсикологічних властивостей.

Крім того, мають бути чітко сформульовані цілі чистки технологічного процесу.

Традиційно головна мета біохімічної очистки стічних вод полягає в досягненні заданих санітарно-хімічних показників очищеної рідини з урахуванням її розбавлення при скидці у водойму. Під час розробки технологічної стратегії для очищення стічних вод слід вирішити наступні завдання:

Максимально видалити забруднювачі зі стічних вод.

Забезпечити такий режим роботи очисних споруд, який мінімізує негативний вплив хімічного виробництва на навколишнє середовище.

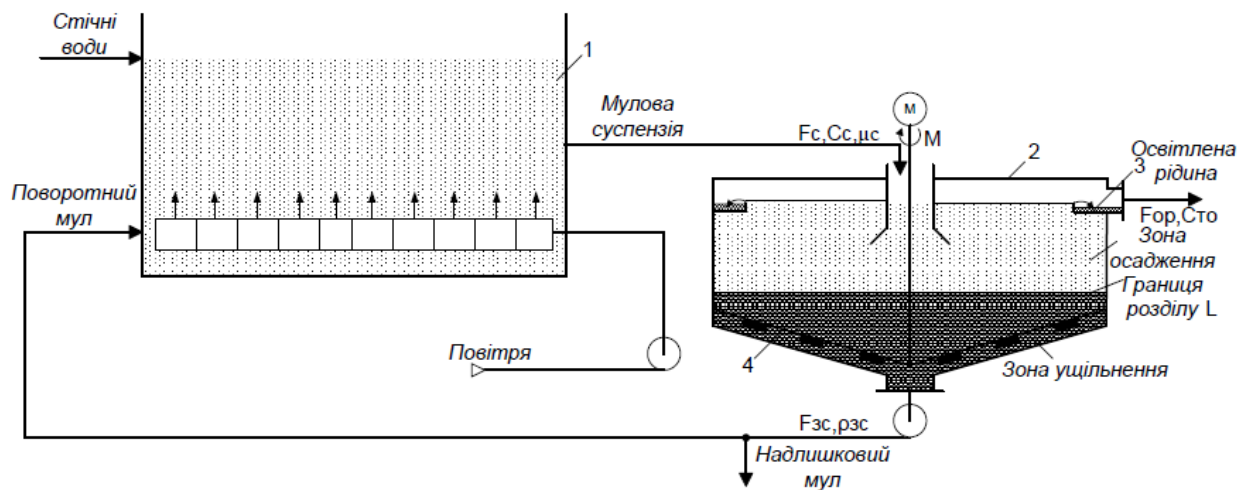
Підвищити ефективність очищення виробничих стічних вод до рівня, що дозволяє повторно використовувати їх у технологічних процесах.

Досягти максимальної продуктивності та економічності основних фондів біологічних очисних споруд.

Виконати бар'єрну функцію біохімічних споруд, перешкоджаючи потраплянню рідких відходів хімічного виробництва у водні об'єкти-приймачі очищених стічних вод.

Біологічні очисні споруди можуть реалізовуватися за різними технологічними схемами, вибір яких залежить від характеристик стічних вод, що надходять. Найпростіша з таких схем біологічної очистки промислових стічних вод наведена на рис. 2.1.

					<i>КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ</i>	Арк.
						27
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		



1 - аеротанк; 2- відстійник; 3- пристрій для контролю переливу;  
 4- змішувач;  $F_c, C_c, \mu_c$  – відповідно витрата, концентрація та в'язкість мулової суспензії;  $F_{op}$ - витрата освітленої рідини;  $C_{то}$  – концентрація твердої фази в освітленій рідині;  $F_{зс}, \rho_{зс}$  – відповідно витрата та густина згущеної суспензії;  $L$  – рівень границі розділу зон осадження та ущільнення у відстійнику;  $M$  – момент на валу електродвигуна мішалки відстійник.

Рисунок 2.1 - Технологічна схема об'єкту

Стічні води надходять до аеротанка 1. З аеротанка суміш активного мулу з витратою  $F_c$ , концентрацією  $C_c$  та в'язкістю  $\mu_c$  перетікає у відстійник 2. У відстійнику очищена рідина відокремлюється від активного мулу й спрямовується або до пристроїв доочищення, або безпосередньо у водойму з витратою  $F_{op}$ . При цьому концентрація твердого осаду в освітленій рідині становить  $C_{то}$ . Утворений у відстійнику активний мул (щільністю  $\rho_{зс}$ ) частково повертається до аеротанка в якості поворотного мулу з витратою  $F_{зс}$ , а надлишкова його частина відводиться на подальшу обробку.

Для забезпечення перемішування стічної води з поворотним активним мулом та насичення суміші киснем, у нижню зону аеротанка через численні секції подається повітря. У цій системі можуть одночасно очищатися як промислові й агропромислові, так і господарсько-побутові стічні води.

Розглянута технологічна схема біохімічного очищення є апаратно найпростішою, проте ефективна лише за умови стабільного складу та сталих основних параметрів стічних вод: постійної витрати, незмінного рівня рН, температури та концентрації забруднень.

## 2.2 Розробка структурної схеми

Структурна схема передбачає розробку взаємозв'язків між вузлами і компонентами системи автоматизованої системи управління переробкою стічних вод. (рис. 2.2).

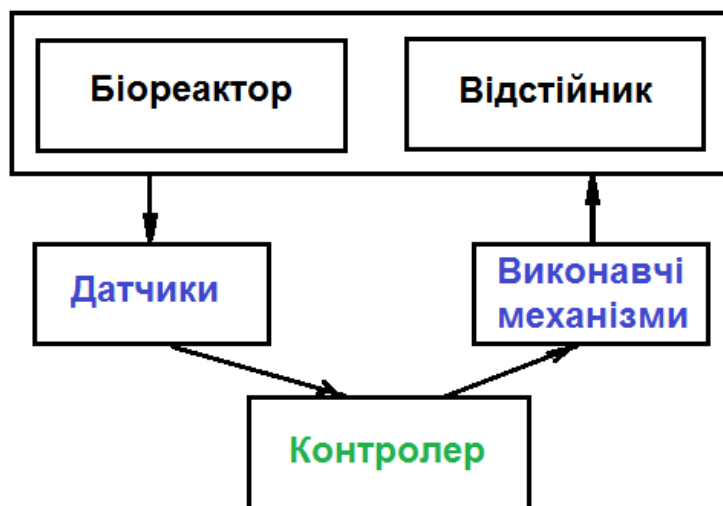


Рисунок 2.2 – Структурна схема системи автоматизації очистки стічних вод

Структура системи очистки стічних вод включає сам об'єкт що являє собою біореактор, де відбувається біологічний розпад основної частини стічних вод під дією процесу барботації і відстійник, де проходить розділення продуктів розпаду і технічної води. Датчики які розміщені на елементах об'єкта виконують роль збору інформації і її передачі контролеру. Контролер на основі обробленої інформації і закладеного в ньому алгоритму здійснює

управління виконавчими механізмами для корекції чи зміни проходження технологічного процесу.

Об'єктом керування виступає відстійник стічних вод, оснащений гребковими мішалками. Структурна схема наявних у об'єкті взаємозв'язку технологічних параметрів цього об'єкта наведена на рис. 2.3.

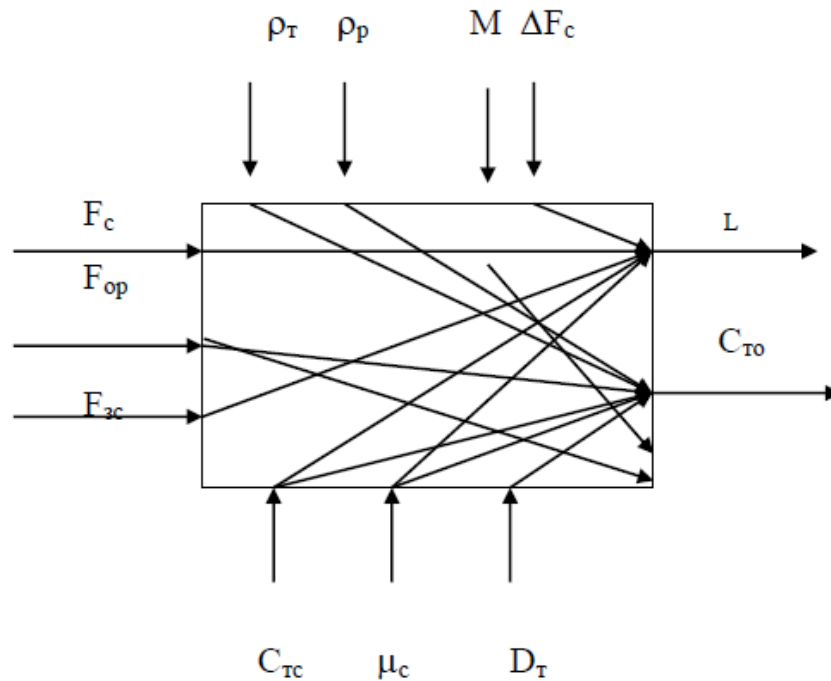


Рисунок 2.3 – Схема зв'язку факторів впливу із технологічними параметрами

Вхідні величини:

- $F_c$  - витрата суспензії;
- $F_{op}$  - витрата очищеної рідини;
- $F_{зс}$  - витрата згущеної суспензії;

Збурювальні дії:

- $\rho_p$  - густина речовини рідкої фази;
- $\rho_t$  - густина речовини твердої фази;
- $M$  – обертовий момент на валу мішалки;
- $C_{тс}$  - концентрація твердих частинок у суспензії;
- $\Delta F_c$  - зміна витрати суспензії;

- $\mu_c$  - в'язкість рідкої суспензії;
- $D_T$  - дисперсність твердої фази.

Контрольовані величини:

- $L$  - межа поділу (рівень розділу фаз);
- $C_{то}$  - концентрація твердої фази в освітленій рідині.

Вхідні величини для відстійника охоплюють три основні витрати:

- потік (витрата) початкової суспензії  $F_c$ ;
- потік згущеної суспензії  $F_{зс}$ ;
- потік освітленої рідини  $F_{ор}$ .

Вихідні параметри процесу відстоювання визначаються:

- позицією межі розділу зон осадження й ущільнення  $L$ ;
- вмістом твердої фази у вихідній (освітленій) рідині  $C_{то}$ .

Через те, що безперервний контроль  $C_{то}$  технічно ускладнений, саме рівень  $L$  зазвичай приймають за головний показник, який підлягає регулюванню.

Фактори, що задаються попереднім етапом технології. Значення витрати початкової суспензії  $F_c$ , концентрації твердих частинок у ній  $C_{тс}$  та її в'язкості  $\mu_c$  переважно формуються ще на попередніх стадіях виробництва. Внаслідок обмежених можливостей втручання ці величини зазвичай лише відстежують, хоча всі вони суттєво впливають на кінцеві показники процесу.

Додатковий вплив мішалки. Концентрація твердої фази у прозорій рідині  $C_{то}$  залежить також від крутного моменту  $M$  на валу електропривода мішалки (або від відповідної споживаної потужності). Тож частоту обертання мішалки вибирають так, щоб забезпечити оптимальний баланс між диспергуванням і осадженням.

Результати аналізу структурної схеми. Розгляд взаємозв'язків між усіма технологічними величинами та самим процесом відстоювання свідчить, що

					<i>КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ</i>	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

такі вхідні параметри, як в'язкість суспензії  $\mu_c$ , густина рідкої фази  $\rho_p$  та дисперсність твердої фази  $D_t$ , змінюють положення межі зон осадження й ущільнення  $L$  менш ніж на 5 %. Отже, під час проектування системи автоматичного регулювання їх впливом можна знехтувати.

Натомість витрати початкової суспензії  $F_c$ , згущеної суспензії  $F_{zc}$  та освітленої рідини  $F_{op}$ , густина твердої фази  $\rho_t$  і крутний момент мішалки  $M$  демонструють значну чутливість вихідних параметрів. Тому саме ці величини обов'язково враховують і регулюють у межах системи автоматизації процесу відстоювання.

### 2.3 Розроблення функціональної схеми автоматизації

Необхідна система автоматизації повинна забезпечувати надійний та всебічний захист технологічного обладнання, персоналу, що його обслуговує, а також довкілля. Окрім цього, система має реалізовувати максимально можливу кількість функціональних характеристик. Обсяг технологічної інформації, яку вона збирає, повинен бути достатнім для проведення розрахунків техніко-економічних показників, а також для ефективного прогнозування надійної та безперебійної роботи всієї системи.

Регульовані технологічні параметри.

У процесі відстоювання ключовим регульованим технологічним параметром є положення рівня межі поділу зон осадження речовини та ущільнення. На цей параметр безпосередньо впливають витрата згущеної суспензії та витрата початкової суспензії.

Для утримання рівня межі поділу на встановленому значенні регулюючий вплив має здійснюватися шляхом коригування ступеня відкриття регулювального елемента, розташованого на трубопроводі згущеної суспензії.

					<i>КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ</i>	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

У свою чергу, стабілізація витрати початкової суспензії досягається шляхом зміни положення регулюючого органу на відповідній лінії подачі.

Організація централізованого управління.

З метою централізованого управління та можливості дистанційного контролю за об'єктом, усі вимірювані та контрольовані параметри повинні бути виведені на одне диспетчерське або операторське місце.

Вибір контрольованих параметрів має здійснюватися таким чином, щоб їх кількість була мінімально необхідною, але водночас достатньою для формування повної інформаційної картини щодо перебігу технологічного процесу.

Контрольовані параметри процесу очистки стічних вод.

Відповідно до діючих нормативно-технічних вимог, у процесі відстоювання підлягають обов'язковому контролю такі параметри:

- витрата речовини початкової суспензії;
- витрата речовини згущеної суспензії;
- витрата очищеної речовини;
- мутність освітленої рідини (виступає як непрямий показник ефективності процесу відстоювання);
- густина згущеної суспензії;
- положення межі розділу зон осадження та ущільнення;
- струм електродвигуна мішалки;
- режим роботи насоса, який перекачує згущену суспензію.
- тиск повітря у системі барботування.

Усі зазначені технологічні параметри повинні перебувати під постійним, безперервним контролем з обов'язковим виведенням їх поточних значень на інтерфейс оператора та фіксацією в системі реєстрації даних.

					<i>КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ</i>	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

### Система сигналізації.

Параметри, відхилення яких може призвести до аварійної ситуації або до значного порушення режиму технологічного процесу, повинні бути оснащені відповідною системою сигналізації. До таких параметрів належать:

- мутність освітленої рідини;
- потужність, що споживається приводом мішалки;
- рівень межі розділу зон осадження та ущільнення;
- режими функціонування насоса згущеної суспензії;
- тиск повітря системи барботування.

Функціонування системи сигналізації реалізовано на базі вільно програмованого контролера. Сигнали про відхилення параметрів передаються через блок на світлове табло.

Для підвищення ефективності виявлення критичних відхилень передбачено візуальне блимання індикаторів відповідних параметрів та звукове оповіщення, що сповіщає оператора про перевищення встановлених меж.

### Автоматичний захист.

Функції автоматичного захисту налаштовуються з урахуванням ймовірних аварійних сценаріїв. У разі, якщо рівень мутності рідини перевищує допустимі межі, система автоматично виконує необхідні керуючі дії без участі персоналу – зокрема, зупиняє подачу вхідної суспензії методом повного перекриття регулюючого елемента на відповідній технологічній лінії.

Перелік технологічних параметрів і необхідних функцій над ними представлено у таблиці 2.1.

					КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 2.1 – Перелік технологічних параметрів

№	Параметр	Показ	Архівування	Інтегрування	Сигналізація	Дистанційне управління	Захист	Блокування	Регулювання
1	Рівень розподілу фаз суспензії	+	+		+	+			+
2	Мутність очищеної речовини	+	+		+		+		
3	Витрата речовини початкової суспензії	+	+			+			+
4	Витрата речовини освітленої рідини	+	+						
5	Витрата речовини згущеної суспензії	+	+						
6	Густина речовини згущеної суспензії	+							
7	Струм споживання електродвигуна мішалки	+			+				
8	Режим роботи насоса згущеної суспензії	+			+	+			
9	Тиск повітря барботування	+	+		+		+		
10	Режим роботи компресора барботатора	+			+	+			

Процес побудови схем автоматизації для процесу відстоювання полягає у забезпеченні необхідної ефективності цього процесу, яка, в першу чергу, виражається у досягненні мінімально можливої концентрації твердої фази речовини в освітленій рідині. Як уже зазначалося раніше, у відстійнику на досягнення цієї умови впливають численні чинники. Серед них ключовими є: рівень межі поділу зон осадження речовини та ущільнення, витрата початкової

речовини суспензії, концентрація твердої фази в суспензії, а також густина згущеної суспензії.

Проте в більшості випадків витрата початкової суспензії та концентрація твердої фази в ній визначаються параметрами технологічного режиму попереднього етапу обробки. Внаслідок цього, впливати на ці параметри під час управління процесом відстоювання не є можливим. У зв'язку з цим потреба у безпосередньому регулюванні показника ефективності процесу – концентрації твердої фази в освітленій рідині – відповідає, оскільки впливати на його визначальні фактори неможливо в межах самого процесу відстоювання.

На рисунку 2.3 представлено схему регулювання процесу відстоювання, яка ґрунтується на підтриманні постійного рівня межі поділу між зонами осадження та ущільнення. Оскільки цей рівень змінюється залежно від витрати згущеної суспензії, то регулюючий вплив здійснюється шляхом зміни ступеня відкриття регульовального елемента, розташованого на трубопроводі згущеної суспензії.

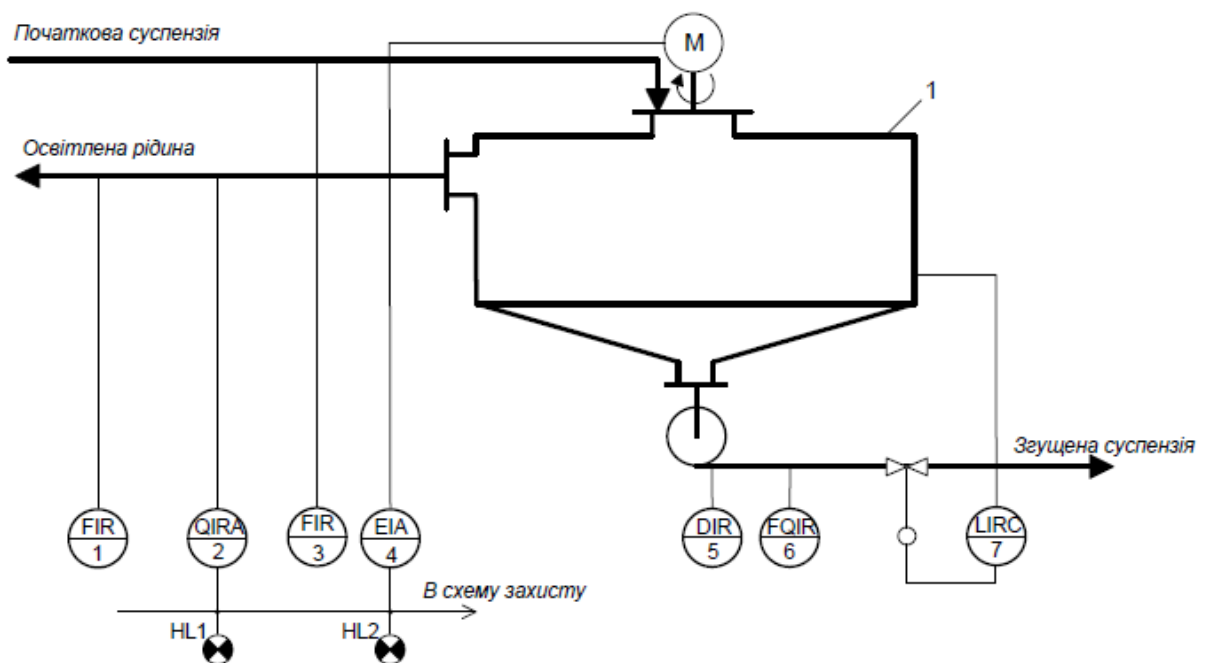


Рисунок 2.3 – Схема керування процесом відстоювання, яка забезпечує підтримання постійного положення межі розділу зон осадження та ущільнення

**Регулювання густини речовини згущеної суспензії.** У низці типів відстійників здійснюється процес згущення речовини суспензії до заданого рівня вмісту твердої фази. Зазвичай вологість осаду при такому відстоюванні може змінюватися в межах від 35 до 55%. У таких випадках концентрація твердої фази у зливі не є визначальною, а має другорядне значення. Відповідно, основний акцент у керуванні процесом зміщується на регулювання густини згущеної суспензії.

**Регулювання режиму роботи гребкового механізму.** Густина осаду може також контролюватися за допомогою непрямого параметра - навантаження на валу гребкового механізму. Це навантаження прямо пов'язане з густиною згущеної суспензії, яка утворюється в нижній частині відстійника. У такому випадку регулятор навантаження поетапно впливає спочатку на виконавчий механізм, встановлений на трубопроводі згущеної суспензії, а потім — на механізм підйому гребків. Коли фіксується перевантаження приводу, відбувається автоматичне підняття скребкового пристрою, а у випадку зменшення навантаження — гребки опускаються назад у зону згущення.

**Регулювання витрати речовини початкової суспензії.** В окремих ситуаціях витрата початкової суспензії не жорстко визначається попереднім технологічним процесом і може бути предметом активного регулювання. У таких випадках допускається її зміна з метою стабілізації мутності освітленої рідини. Зокрема, при зростанні мутності вище за встановлене значення витрату суспензії зменшують, а при зниженні мутності — відповідно, збільшують (рис. 2.4).

У випадку, коли в системі наявний давач мутності, регулятор реагує на зміну мутності освітленої рідини та коригує витрату початкової суспензії відповідно до заданих параметрів. Це дозволяє динамічно підтримувати ефективність процесу відстоювання та мінімізувати вміст твердих частинок у прозорому зливі.

					<i>КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ</i>	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

На схемі рис.2.4 зображено систему автоматичного регулювання витрати початкової суспензії з урахуванням поточної мутності освітленої рідини.

Основні елементи схеми:

- 1 – відстійник;
- 2 – регулятор мутності освітленої суспензії;
- E – споживана потужність приводу електродвигуна мішалки;
- Q – поточне значення мутності рідини.

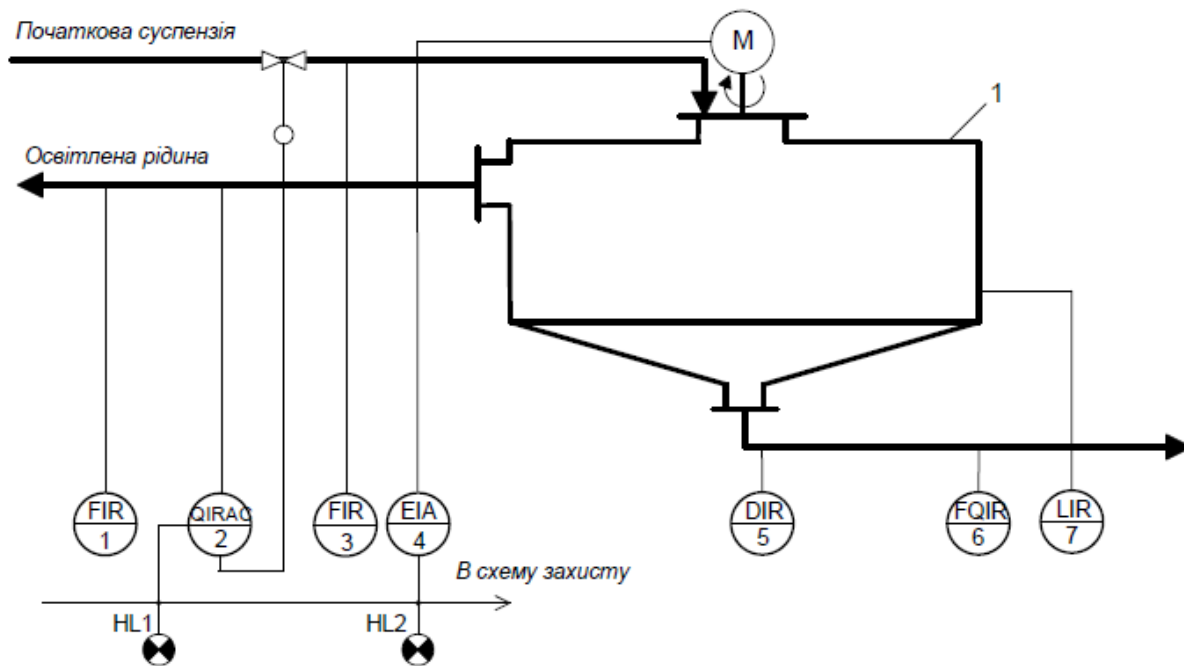


Рисунок 2.4 - Схема регулювання витрати вхідної суспензії з використанням датчика мутності

У разі відсутності в системі датчика мутності витрата суспензії підтримується на стабільному рівні. Такий підхід дає змогу усунути одне з найбільш значущих збурень у системі — зміну витрати подачі суспензії (див. рис. 2.5), що сприяє загальній стабілізації технологічного процесу.

**Регулювання подачі коагулянта.** Для покращення процесу відстоювання деяких суспензій до їх складу додають коагулянт — речовину, що сприяє коагуляції, тобто укрупненню частинок твердої фази. Регулювання витрати коагулянта здійснюється в залежності від висоти межі розділу між



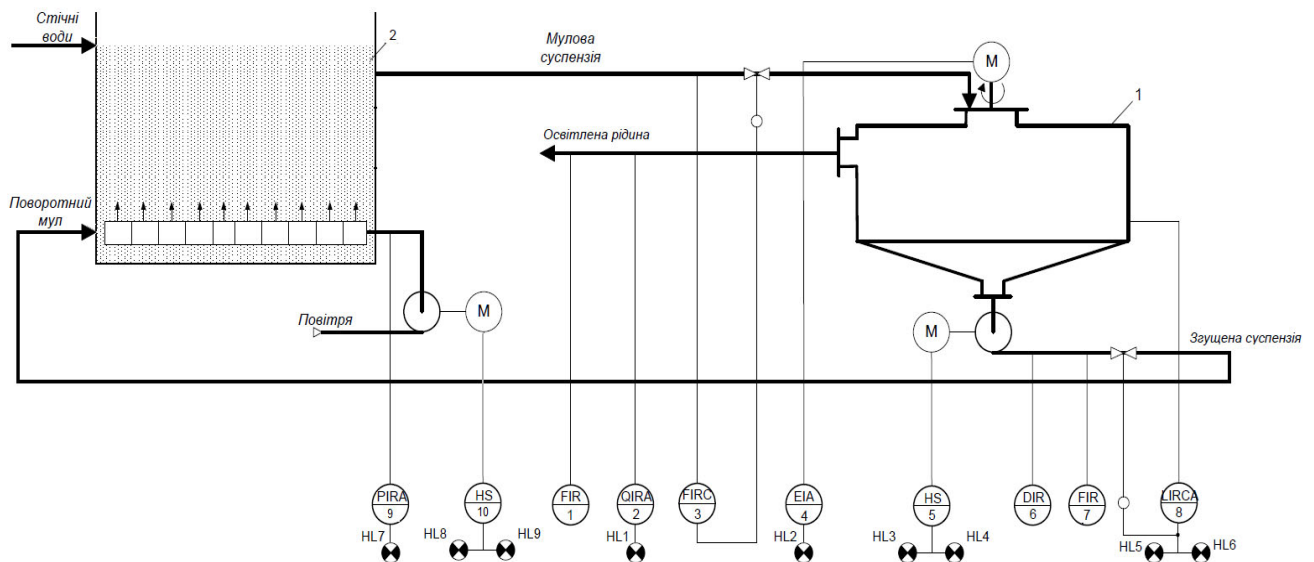
У наступних по ходу потоку відстійниках вимоги до точності керування значно нижчі. Внаслідок цього в них, як правило, встановлюють лише регулятори густини згущеної суспензії, тоді як витрата коагулянта регулюється вручну.

Для виконання технологічного процесу регулювання відстоювання було доцільно застосовувати схему, яка ґрунтується на підтриманні заданого рівня межі розділу зон осадження та ущільнення. Додатково передбачається стабілізація витрати початкової суспензії, що дозволяє усунути одне з найпотужніших збурень, які впливають на перебіг процесу. Окрім цього передбачено подачу стиснутого повітря у барботатор біореактора.

Запропонована схема регулювання дає змогу підтримувати необхідний показник ефективності відстоювання, а саме — концентрацію твердої фази в освітленій рідині. При цьому вона забезпечує стабільність цього параметра не лише в умовах сталого (стаціонарного) режиму, а й у разі істотних змін навантаження, а також при виникненні порушень у самому технологічному процесі.

Завдяки такій конфігурації система регулювання здатна гарантувати належну якість перехідних процесів, включно з динамічними змінами в технологічному середовищі, а також забезпечує достатній рівень стійкості всієї автоматизованої системи (рис. 2.6).

					<i>КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ</i>	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



1 – відстійник; 2 – біореактор барботуючого типу

Рисунок 2.6 - Функціональна схема автоматизації процесу очистки стічних вод

Схема автоматизації процесу очистки стічних вод передбачає наявність в технологічному обладнанні біореактора із барботаором для розкладу вхідної суспензії та відстійника для розділення освітленої рідини і згущеної суспензії.

Початкова вхідна стічна вода потрапляє у барботатор, де проходить очистку через біореактор внаслідок барботації і наявності бактерій. Далі рідина подається на відстійник де розділяється гравітаційно на освітлену рідину і поворотний мул, який знову повертається у барботатор.

## 2.4 Вибір датчиків і виконавчих механізмів

З метою здійснення технологічного вимірювання витрати початкової суспензії, освітленої рідини та згущеної суспензії застосовується спеціалізована вимірювальна система, до складу якої входить витратомір SITRANS F M MAGFLO типу MAG 3100 у комбінації з перетворювачем сигналу MAG 5000, рис.2.7.

					<i>КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ</i>	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Рисунок 2.7 - Витратомір SITRANS F M MAGFLO

В основі роботи цієї системи лежить магнітно-індуктивний метод вимірювання з використанням пульсуючого постійного магнітного поля. Максимальна відносна похибка вимірювання вказаного перетворювача спільно з витратоміром не перевищує 0,5% від значення вимірної витрати. Перетворювач сигналу MAG 5000 має три вихідні сигнали: один струмовий у межах 0(4)–20 мА, один релейний та один цифровий. Живлення приладу може здійснюватися від джерела постійного або змінного струму в діапазоні 11–24 В, а також від мережі змінного струму 115–230 В. Прилад оснащено 3-рядковим індикатором для візуалізації параметрів.

Для автоматизованого керування процесом відстоювання у відстійнику необхідно підтримувати сталий рівень межі розділу зон осадження та ущільнення. Для цього застосовується хвилеводний радарний давач рівня Rosemount моделі 3302, який призначений для вимірювання рівня межі зон у діапазоні від 0,1 до 20 метрів, рис.2.8. Отримане значення перетворюється у стандартний уніфікований сигнал постійного струму 4–20 мА.

					<i>КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ</i>	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Рисунок 2.8 - Хвильоводний радарний давач рівня Rosemount

Давачі рівня серії Rosemount 3300 працюють на основі технології рефлектометрії з часовою роздільністю (TDR – Time Domain Reflectometry). Принцип дії полягає у генерації імпульсів надмалої потужності тривалістю приблизно 1 наносекунда, які спрямовуються по хвильоводу, зануреному у середовище. Коли імпульс досягає межі середовищ із різною діелектричною проникністю, частина його енергії відбивається назад. Часовий інтервал між переданим сигналом та відбитим сигналами прямо пропорційний відстані до поверхні продукту або межі розділу зон. Завдяки нечутливості до властивостей вимірюваного середовища, температури, тиску, форми резервуару та внутрішнього обладнання, забезпечується висока точність вимірювання.

Усі прилади серії 3300 постачаються із зондувальними елементами заданої замовником довжини, а також електронним модулем, корпус якого поділений на два відсіки. Модульна конструкція забезпечує можливість демонтажу корпусу без вилучення зонду, а також поворот у зручне для користувача положення. Вбудований дисплей інформує про такі параметри:

					КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

рівень, відстань до поверхні, об'єм, внутрішню температуру, положення межі зон, амплітуду сигналу, товщину шару, відсоток від діапазону, вихідний струм. Живлення приладу здійснюється по сигнальному двопровідному кабелю у діапазоні 11–42 В. Для встановлення приладу потрібне лише одне врізання у резервуар.

Вимірювання мутності освітленої рідини вирішено було здійснити за допомогою системи виробництва Endress+Hauser, що складається з давача мутності CUS 31 та відповідного перетворювача Liquisys CUM 223/253. Принцип дії ґрунтується на методі розсіювання випромінювання з довжиною хвилі 880 нм (ближній інфрачервоний спектр) під кутом 90°, відповідно до стандартів ISO 7027 / EN 27027. Це забезпечує стандартизовану методику порівняння при вимірюванні мутності. Промінь інфрачервоного випромінювання проходить у середовище, де розсіюється на частинках і спрямовується до приймача. Результати вимірювання постійно порівнюються з показами опорного каналу. Вбудований цифровий фільтр повністю усуває перешкоди, а система самодіагностики забезпечує високу достовірність отриманих даних. Окрім мутності, прилад також вимірює температуру середовища.



Рисунок 2.9 - Давач мутності CUS 31 та перетворювач Liquisys CUM 223/253

					КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Діапазон вимірювання давача CUS 31 охоплює: 0.000–9999 FNU, 0.00–3000 ppm, 0.0–3.0 г/л, 0.0–200.0%.

Перетворювач Liquisys CUM 223/253 має такі функціональні можливості:

- контроль та реєстрація граничних значень мутності і температури;
- вибір межі вимірювань;
- наявність кіл аварійної сигналізації;
- дворядковий дисплей з вибором однієї з шести мов інтерфейсу;
- гальванічно ізольований аналоговий вихід 4–20 мА;
- додаткові опції: HART-інтерфейс або Profibus PA, другий аналоговий вихід, додаткові релейні контакти.

Для виконання вимірювання споживаної електричної потужності приводу електродвигуна мішалки у відстійнику застосовується вимірювальний спеціалізований перетворювач активної потужності змінного струму типу ПМ-113, рис.2.10. Цей прилад призначений для лінійного перетворення активної потужності в трифазних і однофазних колах змінного струму (чотирипровідних і трипровідних) у стандартний уніфікований вихідний сигнал струму або напруги постійного струму.



Рисунок 2.10 - Перетворювач активної потужності змінного струму типу ПМ-113

					КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Індикатор параметрів трифазної мережі ППМ-113 призначений для виконання функцій вимірювання, індикації та контролю електричних параметрів у трифазних електричних мережах. Пристрій забезпечує можливість передачі отриманих вимірювальних даних через інтерфейс RS-485 з використанням протоколу Modbus RTU. Окрім цього, індикатор здатен формувати дискретні керуючі сигнали відповідно до попередньо встановлених порогових значень, а також генерувати аналоговий вихідний сигнал, який відповідає одному з обраних параметрів вимірювання, за заданою функцією перетворення.

Функціональні можливості ППМ-113 включають:

- використання приладу для внутрішнього (некомерційного) обліку електричної енергії;
- можливість монтажу на стандартну DIN-рейку для зручної установки в електротехнічних шафах;
- займання приладом шести модульних позицій на DIN-рейці (ширина становить 110 мм);
- перетворення вхідних електричних параметрів у стандартизований уніфікований аналоговий сигнал;
- забезпечення керування вихідними каналами відповідно до навантаження або як сигналізаційна функція при досягненні встановлених меж вимірювання;
- збереження останніх вимірних значень та налаштувань в енергонезалежній пам'яті, що гарантує збереження вимірних даних у випадку зникнення живлення.

Для вимірювання густини згущеної суспензії застосовується густиномір занурювального типу Solartron 7828, що має вбудований електронний модуль для повної обробки сигналів, виконання розрахунків і діагностики. Діапазон вимірювання густини становить від 0 до 3000 кг/м<sup>3</sup>, з основною похибкою не більше 1 кг/м<sup>3</sup>. Прилад має аналоговий вихід 4–20 мА. Живлення

					КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

забезпечується від джерела постійної напруги у межах 20–28 В, при струмі 35–45 мА, рис. 2.11.

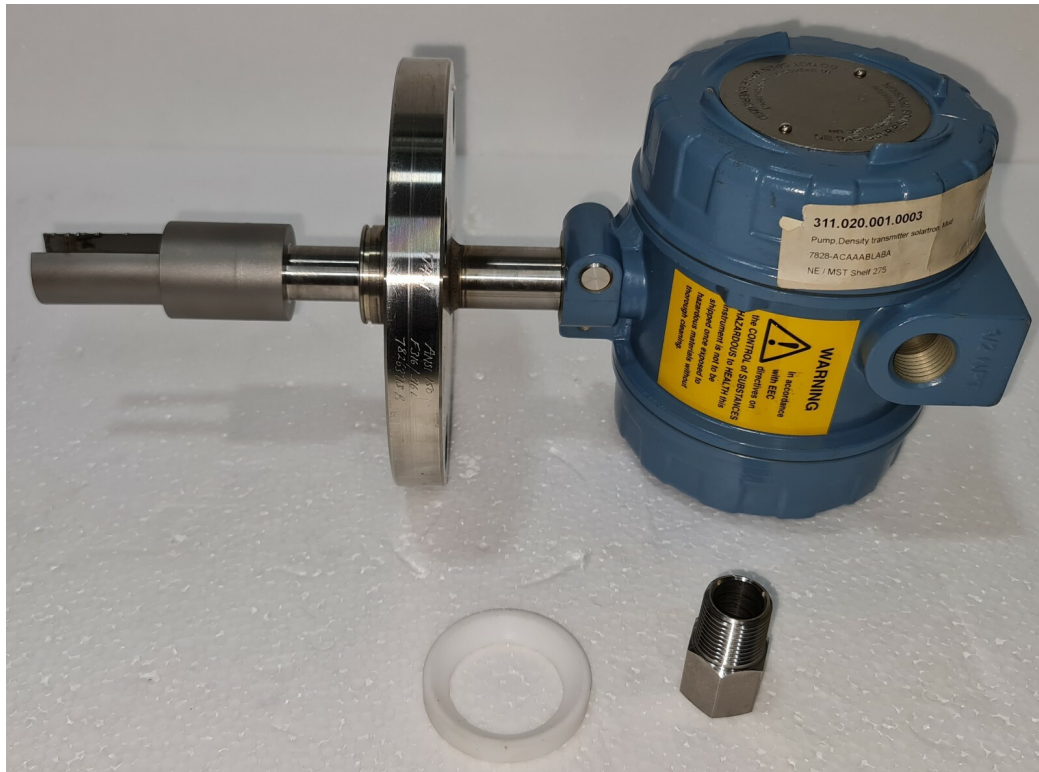


Рисунок 2.11 – Густиномір Solartron 7828

Для вимірювання тиску повітря у барботаторі використовуються давач тиску Sitrans P310, рис. 3.12. SIEMENS SITRANS P310 – це цифровий датчик тиску з інтегрованими функціями діагностики HART та високим комфортом експлуатації. SITRANS P310, що є базовим пристроєм для простих вимірювань з низькими вимогами до точності, доповнює вже існуючий P DS III. Доступні різні варіанти конструкції для вимірювання манометричного та диференціального тиску.

					КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Рисунок 2.12 – Давач тиску SITRANS P310

Для контролю та візуалізації величини споживаної потужності приводом електродвигуна мішалки відстійника та інших параметрів застосовується універсальний цифровий індикатор типу UDI 1700. Цей прилад має розширені функціональні можливості та забезпечує високу точність вимірювання й надійність експлуатації, рис.2.13.



Рисунок 2.13 – Цифровий індикатор UDI 1700

Основні технічні характеристики та функції UDI 1700:

- один універсальний вхід з точністю вимірювання  $0,1\% \pm 1$  одиниця найменшого розряду;
- до п'яти програмованих сигналізацій з відповідною кількістю релейних виходів (до 5);
- двофункціональний екран з червоним і зеленим підсвічуванням;
- один дискретний вхід;
- комунікаційний інтерфейс RS-485 з підтримкою протоколу Modbus RTU;
- захист передньої панелі відповідно до стандартів NEMA 3 / IP65;
- стандартний розмір корпусу 1/8 DIN (горизонтальна конфігурація);
- частота дискретизації – 4 вимірювання на секунду;
- цифровий вхідний фільтр: налаштування від 0,5 до 100 секунд з кроком 0,5 секунди (можливість вимкнення – значення 0,0).

Конфігурування приладу здійснюється за допомогою клавіатури з передньої панелі, що забезпечує зручність налаштувань без необхідності відкривати корпус. Пристрій має універсальне джерело живлення, що підтримує роботу при напрузі від 90 до 264 В змінного струму (50/60 Гц) без перемичок, а також може працювати від джерела постійного струму 24/48 В.

Всі додаткові плати (вихідні реле, подвійні реле або лінійний ретрансляційний модуль) автоматично розпізнаються після встановлення, завдяки внутрішній системі самовизначення приладу. Великий світлодіодний дисплей (висотою символів 14 мм, 4 розряди, червоний колір) забезпечує читабельність навіть з великої відстані.

Сигналізації можуть бути налаштовані на спрацювання при перевищенні або зниженні контрольованого значення. Перша сигналізація може бути запрограмована як фіксована – після її активації потрібне ручне скидання. Також прилад має можливість зберігати значення часу з моменту спрацювання першої сигналізації.

					КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Для розширення можливостей керування в системі автоматизації додатково використовується блок ручного управління, завдання та індикації БРУ-10 виробництва компанії МІКРОЛ, рис.2.14.



Рисунок 2.14 – Блок ручного управління БРУ-10

Блок БРУ-10 виконує функції:

- багатфункціональної станції ручного управління аналоговими або імпульсними виконавчими механізмами;
- задавача аналогових або імпульсних сигналів типу «більше» – «менше»;
- цифрового індикатора двох технологічних параметрів.

Основні складові вузли БРУ-10:

- два канали для вимірювання аналогових сигналів;
- два незалежних задавачі – аналоговий та імпульсний;
- панель індикації, що складається з чотиризначного цифрового дисплея та 21-сегментного лінійного індикатора;
- набір клавiш для керування механізмами, задавачами та програмування пристрою.

Блок підтримує вибір одного з семи попередньо визначених режимів роботи, серед яких:

					<i>КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ</i>	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- режими «ручний» / «автоматичний» з індикацією поточного стану;
- функції статичного та динамічного балансування;
- відображення значення параметрів або положення механізмів на цифровому дисплеї;
- світлодіодна сигналізація досягнення мінімального або максимального значення;
- індикація сигналів «більше» / «менше»;
- ретрансляція вхідного сигналу;
- програмоване калібрування шкал вимірювання для двох аналогових входів та аналогового виходу;
- масштабування вимірювальної шкали у заданих технологічних одиницях;
- налаштування індикації (сегментна або гістограмна форма);
- вхідний спеціальний цифровий фільтр для аналогових каналів.

Технічні характеристики БРУ-10:

- кількість вимірювальних каналів: 2;
- період вимірювання: 0,25 с;
- типи вхідних сигналів: 0–5 мА (вхідний опір 400 Ом), 0(4)–20 мА (100 Ом), 0–10 В (понад 50 кОм);
- вихідні аналогові сигнали: 0–5 мА (навантаження до 2 кОм), 0–20 мА, 4–20 мА (500 Ом), 0–10 В (понад 2 кОм);
- максимальна похибка установки задавання:  $\pm 0,1$  %;
- діапазон зміни задавання: від 0 до 100 %;
- основна похибка вимірювання:  $\pm 0,2$  %;
- точність індикації: цифрова  $< 0,1$  %, лінійна  $< 5,0$  % (типова  $< 2,5$  %);
- кількість розрядів цифрового індикатора: 4;
- робочий температурний діапазон: від  $+5$  °С до  $+50$  °С;
- напруга живлення: змінний струм  $\sim (220 \pm 22)$  В, частота  $(50 \pm 1)$  Гц;
- споживана потужність: не більше 6 Вт.

					<i>КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ</i>	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Регулюючі клапани для керування подачею початкової та згущеної суспензії використовуються типу 25ч939нж, що призначені для роботи з рідкими та газоподібними неагресивними середовищами. Витратна характеристика клапанів – лінійна.

Клапани обладнані електричним виконавчим механізмом типу МЭО-16/10-0,25-82, який забезпечує (рис.2.15):

- роботу при перепаді тиску не більше 0,7 МПа;
- температурний діапазон експлуатації: від  $-15^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ ;
- однофазний електродвигун із фазозсувним конденсатором, який характеризується низькою інерційністю, високою надійністю та здатністю до тривалої роботи на упорі;
- живлення двигуна: 220 В, 50 Гц.

Для безконтактного керування МЭО використовується тиристорний пускач типу ПБР-2М, що працює від мережі змінного струму 220 В, 50 Гц, з такими характеристиками:

- максимальний комутований струм: 4 А;
- споживана потужність: 10 ВА;
- вхідний сигнал: постійний струм  $24\pm 6$  В;
- вхідний опір: не менше 750 Ом;
- діапазон робочої температури:  $5-50^{\circ}\text{C}$ ;
- відносна вологість: до 80 %.

					<i>КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ</i>	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Рисунок 2.15 - МЭО-16/10

Сигналізація положення виконавчих механізмів МЭО може виконуватись інтеграцією блоку БСПТ-10М. Даний пристрій здійснює перетворення стану вихідного органу в електричний сигнал і забезпечує індикацію/блокування у крайніх або проміжних положеннях.

Для реалізації технологічного захисту (зупинки подачі суспензії при аварійній ситуації) передбачено встановлення електромагнітного швидкодіючого клапана КО 50 з дистанційним керуванням, що автоматично перекриває потік робочого середовища при відхиленні технологічних параметрів.



Рисунок 2.16 - Електроклапан КО 50

					КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		53

Керування здійснюється кнопкою АРВВ-22N зі світловою індикацією. Кнопка призначена для оперативного керування в колах змінного струму до 660 В або постійного струму до 400 В, рис.2.17.



Рисунок 2.17 – Електрокнопка АРВВ-22N

## 2.5 Вибір контролера управління

Центральним вузлом автоматизованої системи є контролер управління. Вибір моделі контролера впливає як на надійність системи автоматизації в цілому, так і на можливість модернізації даної системи для підключення нових датчиків та виконавчих механізмів. Окремими важливими факторами, які впливають на вибір контролера є локалізація виробництва, підтримка виробника, доступність і зручність програмного забезпечення.

Мною було обрано вільно-програмований контролер фірми Раут-Автоматик модель МахуСоп Flexy. Контролер володіє широкою номенклатурою входів і виходів а також розповсюджених інтерфейсів, рис.2.18.

					КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		54

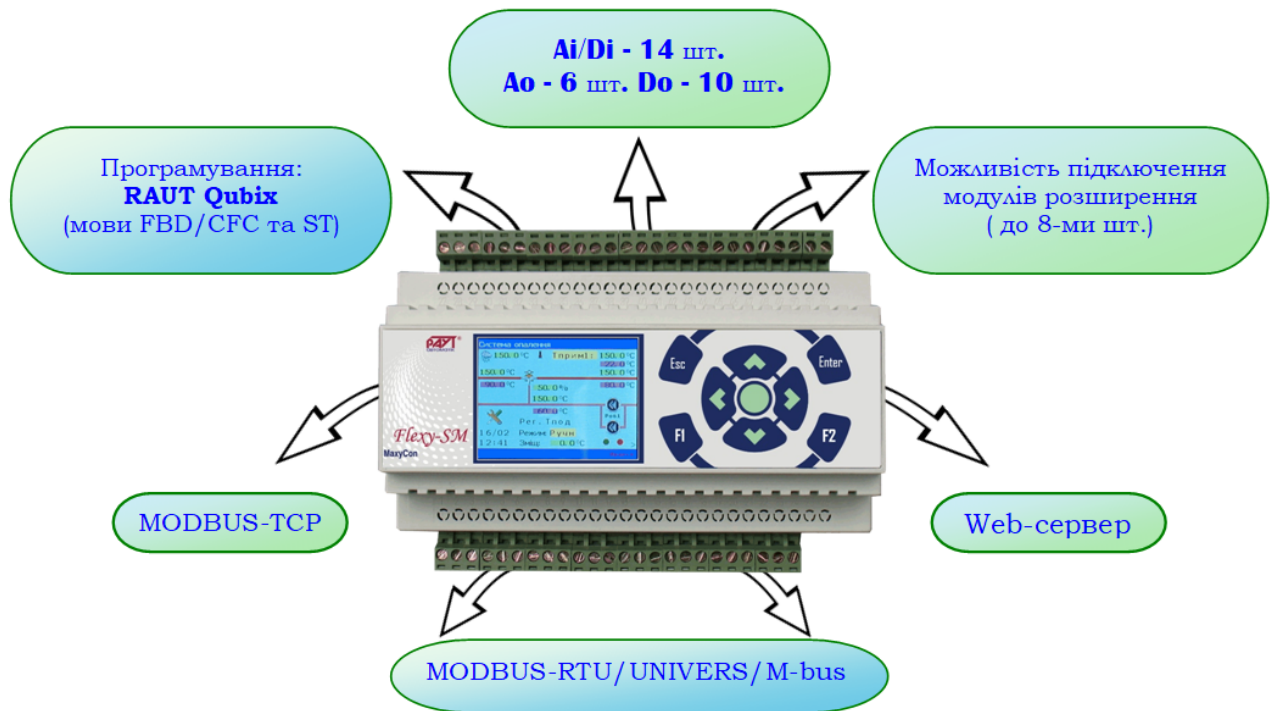


Рисунок 2.18 – Функціональна схема контролера МахуСon Flexу фірми Раут-Автоматик

Загальні функції:

- обробка вхідних сигналів відповідно до логіки, яка попередньо задається користувачем, а також керування вихідними сигналами контролера на основі цієї логіки;
- забезпечується можливість реалізації будь-яких функціональних завдань, пов'язаних з роботою в режимі Real time, зокрема можливість організації зберігання та архівування вхідних даних;
- передбачено підтримання заданих значень технологічних параметрів за допомогою регуляторів з пропорційно-інтегрально-диференціальним керуванням (ПІД-регуляторів), що забезпечують автоматичне регулювання процесів;

- інформація про стан системи, технологічні параметри, сигнали тривоги та інші дані відображається на кольоровому графічному дисплеї, що дозволяє зручно контролювати хід процесу;

- передбачена можливість встановлення додаткових функціональних модулів, тобто модулів розширення, які дозволяють підключати необхідну кількість вхідних і вихідних сигналів згідно з вимогами конкретної інженерної системи або технологічного процесу.

Схема включення даного контролера зображена на рис. 2.19.

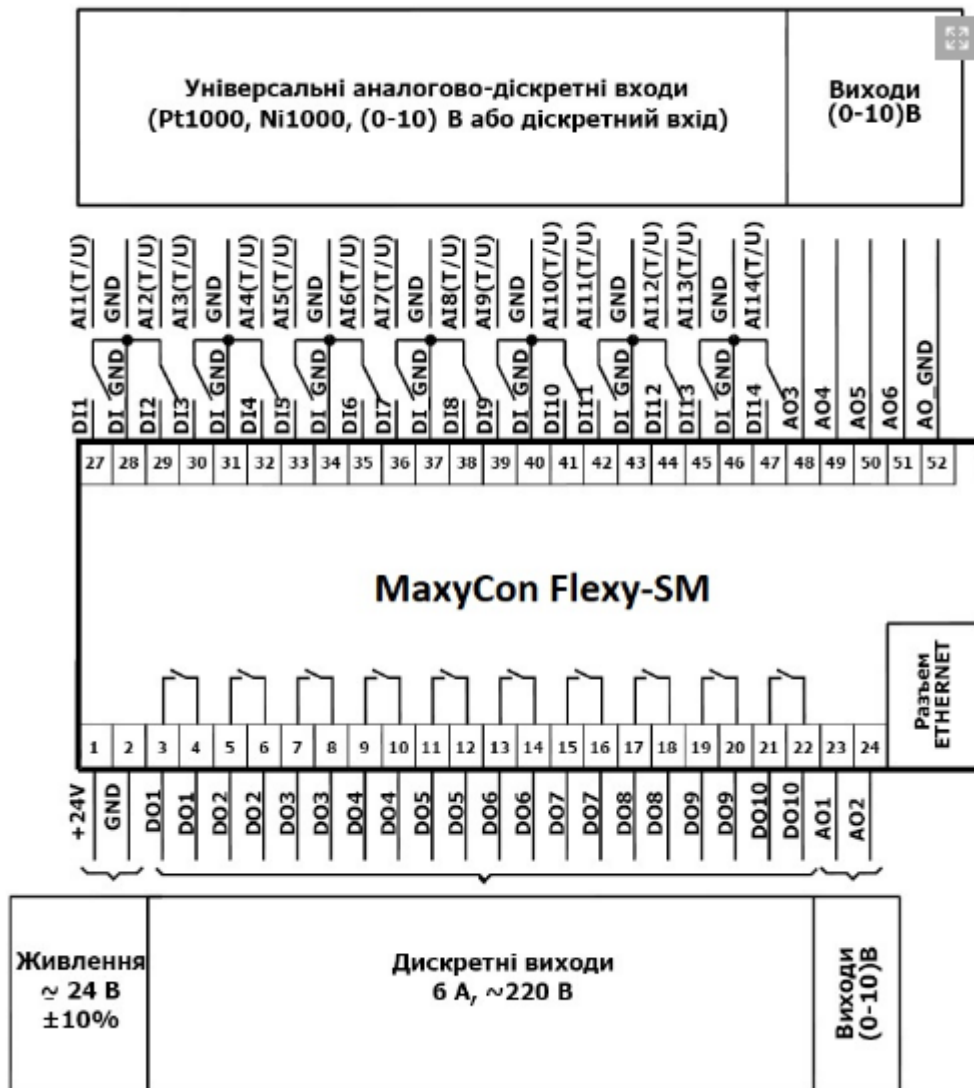


Рисунок 2.19 – Схема включення контролера MaxyCon Flexy

## 3 АНАЛІЗ РОБОТИ СИСТЕМИ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

### 3.1 Опис процесу функціонування

Розроблена система автоматизації процесу очистки стічних вод функціонує за наступним алгоритмом:

**Контроль витрати освітленої рідини.** У ролі первинного перетворювача застосовується витратомір SITRANS F M MAGFLO типу MAG 3100 (поз. 1-1), вихідний сигнал якого надходить на перетворювач MAG 5000 (поз. 1-2), що забезпечує індикацію витрати безпосередньо на місці. У цій системі використовується магнітно-індуктивний метод вимірювання з пульсуючим постійним магнітним полем. Після обробки сигналу в перетворювачі дані про витрату надходять на контролер МахуСон Fleу.

**Контроль тиску повітря в барботаторі.** У ролі первинного перетворювача застосовується давач тиску SITRANS P 310 (поз. 1-1), вихідний сигнал якого надходить на контролер. Після обробки сигналу в перетворювачі дані про витрату надходять на контролер МахуСон Fleу.

**Регулювання витрати початкової суспензії.** Процес вимірювання, індикації та реєстрації витрати організовано аналогічно до першого контуру. Сигнал з перетворювача MAG 5000 (поз. 2-2) у вигляді струму 4–20 мА передається на регулюючий блок контролера МахуСон Fleу. Відповідно до заданої програми, здійснюється імпульсно-часове регулювання витрати речовини початкової суспензії. Імпульсний вихід з контролера та блок ручного керування БРУ-10 (поз. 2-4) подається на пускач типу ПБР-2М (поз. 2-5). При відхиленні витрати речовини від заданого встановленого значення (7 м<sup>3</sup>/год), контролер активує ПБР-2М, який керує регулюючим клапаном 25ч939нж з електроприводом (поз. 2-6), встановленим на лінії подачі початкової (мулової) суспензії.

					КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

**Контроль витрати згущеної суспензії.** Цей контур виконується за схемою, аналогічною до контуру контролю витрати освітленої рідини.

**Контроль, сигналізація та захист за показниками мутності освітленої рідини.** Первинним датчиком мутності є прилад типу CUS 31 (поз. 4-1), що функціонує у зв'язці з вторинним перетворювачем Liquisys CUM 253 (поз. 4-2), який забезпечує індикацію поточних значень мутності. Вихідний аналоговий сигнал 4–20 мА передається на контролер МахуCon Flexu. Згідно з програмою контролера, при перевищенні допустимого рівня мутності активується сигналізація верхнього порогу та система захисту. Якщо рівень мутності перевищує граничне значення, сигнал подається на табло сигналізації і блок підсилення БУМ-20 — на електромагнітний відсічний клапан (поз. 4-3), який перекриває потік мулової суспензії.

**Контроль густини згущеної суспензії.** Вимірювання густини проводиться за допомогою погрузного перетворювача Solartron 7828 (поз. 5-1), який формує сигнал 4–20 мА. Дані передаються на контролер.

**Регулювання та сигналізація рівня межі зон осадження й ущільнення.** Первинним перетворювачем є зонд (поз. 6-1), що є частиною датчика рівня межі зон Rosemount 3302. Цей прилад формує аналоговий сигнал 4–20 мА і має вбудований дисплей (поз. 6-2) для місцевої індикації. Сигнал надходить на контролер, де реалізується імпульсне регулювання згідно з програмою. Імпульсний вихід через блок ручного керування БРУ-10 (поз. 6-3) подається на пускач ПБР-2М (поз. 6-4), який керує клапаном 25ч939нж з електроприводом МЕО-16/10-0,25-82 (поз. 6-5) на лінії згущеної суспензії. Для зворотного зв'язку сигнал з показника положення виконавчого механізму БСПТ-10М (поз. 6-6) передається на контролер. Контролер також забезпечує сигналізацію перевищення верхнього та зниження нижнього рівнів межі розділу. Відповідні сигнали подаються на табло сигналізації.

**Контроль і сигналізація струму спожива електродвигуна змішувача.** Здійснюється за допомогою вимірювального перетворювача E848/13-M1 (поз.

					КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

7-1) у комбінації з вторинним пристроєм UDI 1700 (поз. 7-2), який показує поточне значення потужності. Сигнал 4–20 мА подається на блок БК-21-25 контролера, який активує сигналізацію перевищення допустимої потужності. Цей сигнал також надходить на табло сигналізації.

**Керування насосом згущеної речовини суспензії.** Дистанційне керування електродвигуном насоса здійснюється за допомогою контактора із вбудованим електротепловим реле (поз. 8-1), розташованого в захисному корпусі. Увімкнення та вимкнення контактора здійснюється кнопкою типу АРВВ-22N (поз. 8-2), сигнал з якої надходить на контролер, де здійснюється логіка індикації режиму роботи насоса (Увімкнено/Вимкнено). Вихідний сигнал надходить на табло сигналізації.

Керування компресором повітря. Дистанційне керування електродвигуном компресора здійснюється включенням/виключенням контактора із вбудованим електротепловим реле (поз. 10-1), розташованого в захисному корпусі. Увімкнення та вимкнення контактора здійснюється кнопкою типу АРВВ-22N (поз. 10-2), сигнал з якої надходить на контролер, де здійснюється логіка індикації режиму роботи компресора (Увімкнено/Вимкнено). Вихідний сигнал надходить на табло сигналізації.

### 3.2 Побудова перехідного процесу САР

Перехідний процес даної в роботі системи автоматичного регулювання формується на основі визначених параметрів передавальної функції об'єкта регулювання, а також параметрів ПІ-регулятора. Для цього використовується математичне середовище MATLAB а також параметри що були взяті із довідникової літератури застосованих мною технічних засобів автоматизації.. На рисунку 3.1 наведено структурну схему системи регулювання рівня

					КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

речовини границі розділу зон, яка реалізована у середовищі SIMULINK, що входить до складу програмного пакету MATLAB.

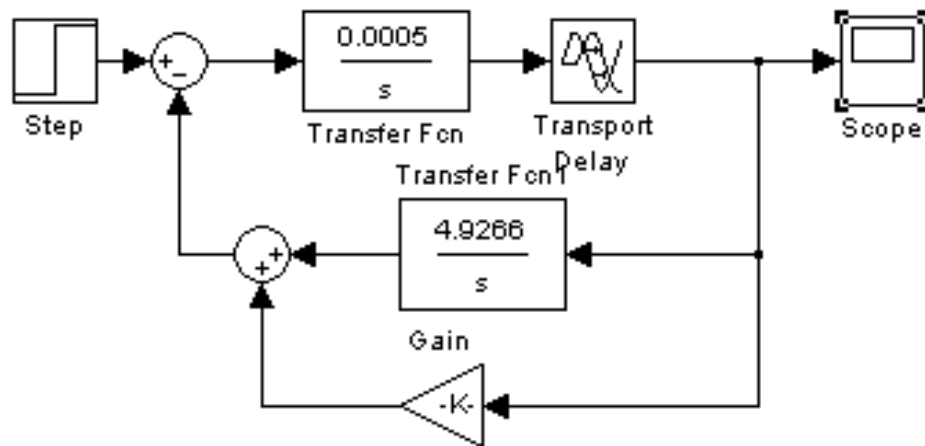


Рисунок 3.1 - Структурна схему системи регулювання рівня границі розділу зон

На основі цієї структурної схеми здійснимо моделювання перехідного процесу в системі автоматичного регулювання, що представлено на рисунку 3.2.

Як можна спостерігати на рисунку 3.2, максимальне динамічне відхилення становить  $A_1 = 0.008\text{мм}$ , час регулювання дорівнює  $t_p = 220\text{ с}$ , а статична похибка становить  $\Delta_{\text{стат}} = 0\text{ мм}$ . Значення коефіцієнта затухання коливань дорівнює  $\psi = 0,9$ . Отриманий перехідний процес відповідає вимогам до якості процесу регулювання. Таким чином, даний регулятор забезпечує необхідні параметри процесу регулювання.

В ролі регулятора було обрано регулятор ІІІ-типу. Відсутність диференціальної складової полегшує налаштування, окрім цього сам процес не потребує функції випередження.

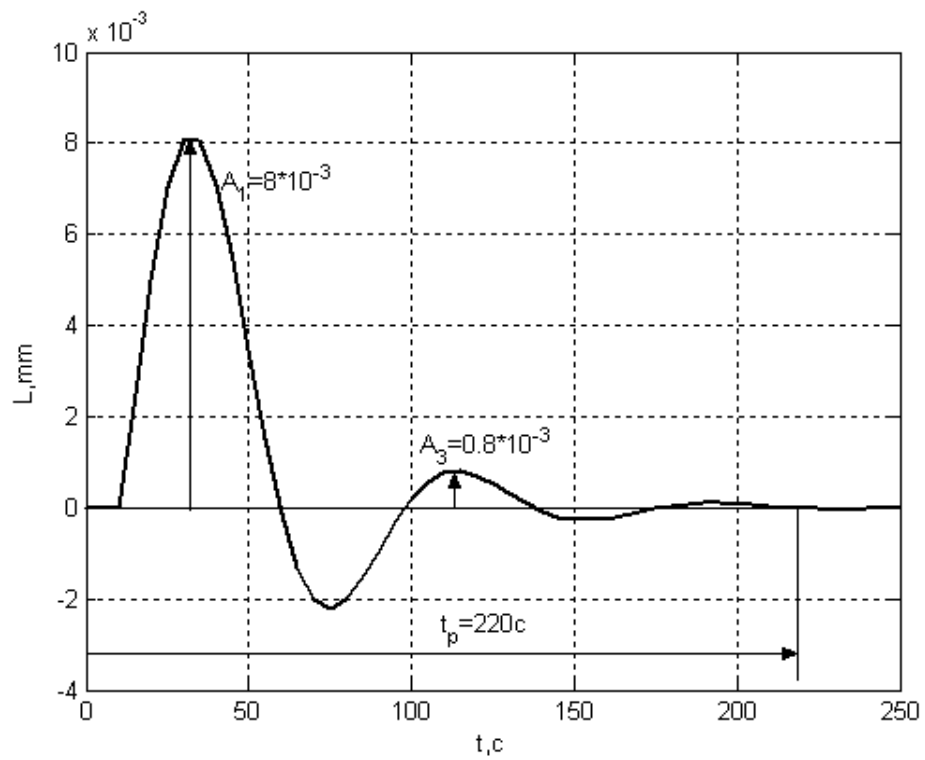


Рисунок 3.2 - Перехідний процес у системі автоматичного регулювання із ПІ-регулятором

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ

Арк.

61

## ВИСНОВКИ

На підставі проведених досліджень було розв'язано завдання автоматизації технологічного процесу очищення стічних вод, а також сформульовано такі підсумкові положення:

- підвищення ефективності роботи очисних споруд є одним із ключових факторів покращення стану навколишнього середовища та запобігання забрудненню водних об'єктів шкідливими речовинами як природного, так і техногенного походження. У системах очищення стічних вод значне поширення має процес барботації та відстоювання. Оптимізація конструктивного виконання відповідного обладнання, створення сприятливих фізіологічних умов для активного мулу, а також реалізація комплексу інших технічних рішень дали змогу суттєво інтенсифікувати процеси біохімічного окислення. У результаті цього було досягнуто покращення санітарно-хімічних характеристик очищених стічних вод, які надходять у природні водойми;

- у процесі гравітаційного відстоювання функції регулювання підлягають такі технологічні параметри, як рівень границі речовини розділу зон осадження та ущільнення, який визначається витратою згущеної суспензії, а також витрата початкової суспензії. Для забезпечення підтримки рівня речовини на заданому значенні регулюючий вплив повинен бути спрямований на зміну ступеня відкриття регулюючого органу, розташованого на трубопроводі згущеної суспензії. У свою чергу, щоб підтримувати витрату початкової суспензії на визначеному рівні, регулюючий вплив має бути спрямований на зміну ступеня відкриття регулюючого органу на лінії її подачі;

- було виконано розробку системи автоматизації біореактора і відстійника, що функціонує у складі комплексу біологічного очищення стічних вод. У межах цієї роботи проведено аналіз існуючих схем автоматизації, а також синтезовано функціональну схему автоматизації для

					КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

заданих умов експлуатації. Функціонування автоматизованої системи відстоювання реалізується наступним чином:

- контроль тиску повітря барботатора;
- контроль витрати освітленої речовини;
- регулювання витрати речовини початкової суспензії;
- контроль, сигналізація та захист мутності освітленої рідини;
- контроль густини речовини згущеної суспензії;
- регулювання та сигналізація рівня речовини границі розділу;
- контроль і також сигналізація обертового моменту електроприводу

мішалки;

- управління насосом суспензії;
- управління компресором повітря барботації.

					<i>КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						63
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Таварткіладзе І. М., Нечипор О. М. Водовідведення. Очистка стічних вод. У 2 книгах — Київ: КНУБА, 2014. Книга 2: «Очистка малої кількості стічних вод» — 107 с.

2. Петрук В. Г., Васильківський І. В., Петрук Р. В., Сакалова Г. В. Технології захисту навколишнього середовища. Частина 2: Методи очищення стічних вод — Херсон: Олді-плюс, 2019. — 298 с.

3. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод — Рівне: ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. — 622 с.

4. Мальований М. С., Петрушка І. М. Очищення стічних вод природними дисперсними сорбентами — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. — 177 с.

5. Семенова О. І., Сулейко Т. Л. Удосконалення біотехнології очищення стічних вод підприємств молокопереробної галузі / О. І. Семенова, Т. Л. Сулейко. — Київ: НУХТ, 2008. — 113 с.

6. Гудзенко Т. В., Іваниця В. О., Галкін Б. М., Волювач О. В., Горшкова О. Г. Мікробіологічні методи очищення стічних вод від органічних забруднювачів — Одеса: ОНУ імені І. І. Мечникова, 2020. — 129 с.

7. Петрушка І. М., Стокалюк О. В., Чайка О. Г. Безвідходні технології промислового очищення стічних вод від багатокomпонентних органічних сумішей — Львів: Львівська політехніка, 2007. — 260–266 с.

8. Лисак П. Ю., Кричківська Л. В. «Очищення стічних вод бродильних виробництв» // Хімія, біо- і нанотехнології...: зб. матеріалів 7-ї Міжнар. наук.-практ. конф. — Харків: ХПІ, 2019. — С. 125–127.

9. Луцький А. В., Ткаченко Т. Л., Семенова О. І. Очищення концентрованих стічних вод молокозаводів біологічними методами // Охорона

					КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів: зб. доп. VII Міжнар. конф., Донецьк, 2008. – Том 1, С. 61–62.

10. Величко В. Ю., Воїнова С. О., Граняк В. Ф. та ін. Нові інформаційні технології, моделювання та автоматизація — Одеса: «Екологія», 2022. — 724с.

11. Бобух А. О., Подустов М. М., Дзевочко О. М. та ін. Автоматизація технологічних процесів і виробництв — Харків: НТУ «ХПІ», 2019. — 94 с.

12. Гончаренко Б. М. Автоматизація виробничих процесів — конспект лекцій — Київ: НУХТ, 2013. — 384 с. [dspace.nuft.edu.ua+1elib.lntu.edu.ua+1](http://dspace.nuft.edu.ua+1elib.lntu.edu.ua+1)

13. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації — Київ: КПІ, 2008. — 236 с.

14. Переверзева А. М., Дзевочко О. М., Красніков І. Л., Дзевочко А. І. Автоматизація технологічних процесів і виробництв (лекції) — Харків: НТУ «ХПІ», 2024. — 119 с.

15. Проць Я. І., Данилюк О. А., Лобур Т. Б. Автоматизація неперервних технологічних процесів — Тернопіль: ТДТУ ім. І. Пулюя, 2008. — 239 с.

16. Бунь В. П., Баган Т. Г., Степанець О. В., Маріяш Ю. І. Автоматизація технологічних процесів. Автоматизація основних інженерних систем будівлі — Київ: КПІ ім. І. Сікорського, 2019. — 65 с.

17. Raut-Automatic [Електронний ресурс]: Контроллер МахуCon Flexy. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.raut-automatic.kiev.ua/kontroll-ua/multipurpose-ua/easily-programming-ua/maxycon-flexy-s-platform-ua/maxycon-flexy-sm-ua.html>.

					КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

## БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

**Тема:** Розроблення автоматизованої системи управління переробкою стічних вод

Обсяг ПЗ складає 65 аркушів

Перелік креслень графічної частини:

- КРБ.СІ-07.00.00.001 – Технологічна схема (аркушів 1);
- КРБ.СІ-07.00.00.000Е1 – Схема структурна (аркушів 1);
- КРБ.СІ-07.00.00.000Е2 – Схема функціональна (аркушів 1);
- КРБ.СІ-07.00.00.002 – Схема контролера (аркушів 1);

Дата закінчення виконання бакалаврської роботи: \_\_\_\_\_

Студент-дипломник \_\_\_\_\_ Кільчицький Б.А.

					КРБ.СІ-07.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		66