

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

АКПМ - 18.00.00.000 ПЗ

гр. АКПМ-24-1

Артур КУПЕЦЬ

2025 рік

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

Купець Артур Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.5
(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Підвищення енергоефективності процесів доочищення стічних
(назва роботи)

ВОД ШЛЯХОМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(назва освітньої програми)

174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та роботехніка
(шифр і назва спеціальності)

Консультант з нормоконтролю

асистент

(посада)

Л.І. Лагойда

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКПм-24-1

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

А.В.Купець

(ініціали та прізвище)

Науковий керівник

доц., к.т.н.

(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Р.Б.Скрип'юк

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

доц., к.т.н.

(посада)

(підпис)

(дата)

А.І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

Рецензент-опонент

доц., к.т.н.

(посада)

(підпис)

(дата)

Л.І.Фешанич

(ініціали та прізвище)

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

Івано-Франківськ - 2025

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень магістерський

Спеціальність 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКИТ

(А.І. Лагойда)

«___» _____ 20__ року

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

Купцю Артуру Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення енергоефективності процесів доочищення стічних вод шляхом автоматизації

керівник роботи доцент, к.т.н. Скрип'юк Ростислав Богданович

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «10» листопада 2025 року № 699/7

2. Строк подання студентом роботи 08 грудня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи Літературні джерела, матеріали переддипломної практики, технологічний регламент

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Огляд і аналіз технологічних стадій очищення промислових стоків для. 2. Аналіз та обґрунтування основного рішення поставленої задачі. 3. Автоматизація технологічного процесу доочищення біологічно-очищених стоків. 4. Розробка основних проектних рішень по автоматизації. Висновки. Список використаних джерел

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

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 01 березня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вступ	15.03 2025	
2.	Огляд і аналіз технологічних стадій очищення промислових стоків для формування вимог до автоматизації.	01.04 2025	
3.	Аналіз та обґрунтування основного рішення поставленої задачі	15.06.2025	
4.	Автоматизація технологічного процесу доочищення біологічно-очищених стоків.	30.09.2025	
5	Розробка основних проектних рішень по автоматизації	30.10.2025	

Студент _____

(підпис)

Купець А.В. _____

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

(підпис)

Скрип'юк Р.Б. _____

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У роботі розглянуто комплексну проблему підвищення енергоефективності процесів доочищення стічних вод шляхом удосконалення систем автоматизації та впровадження інтелектуальних алгоритмів керування. Сучасні очисні споруди характеризуються значними енергетичними витратами, основна частка яких припадає на обладнання для аерації, перекачування стоків, дозування реагентів та підтримання необхідних гідравлічних режимів. Наявність нестабільного навантаження, коливань складу стічних вод і впливу зовнішніх факторів ускладнює підтримання оптимальних параметрів очищення та призводить до нераціонального використання енергії. Тому актуальним є створення адаптивних систем керування, здатних забезпечувати мінімальні енерговитрати при збереженні нормативної якості очищеної води.

У дослідженні здійснено аналіз існуючих методів автоматизації, структури витрат електроенергії на етапах біологічного та фізико-хімічного доочищення, а також визначено ключові фактори, що впливають на енергоефективність технологічного процесу. Особливу увагу приділено параметрам роботи аераційних систем, які є найенергомісткішими елементами очисних споруд. На основі отриманих залежностей сформовано підхід до оптимізації режимів аерації, дозування реагентів та управління гідравлічними потоками шляхом застосування автоматизованих систем керування з використанням сучасних сенсорів і математичних моделей.

Запропонована концепція автоматизації ґрунтується на інтеграції інформаційно-вимірювальних засобів, оптимізаційних алгоритмів та систем моніторингу стану обладнання, що забезпечує гнучкість керування та зменшення експлуатаційних витрат.

Ключові слова: АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ, ЦИФРОВА АСР, СЕНСОРИКА TR106П, НАЛАШТУВАННЯ РЕГУЛЯТОРА

ANNOTATION

The paper considers the complex problem of increasing the energy efficiency of wastewater treatment processes by improving automation systems and implementing intelligent control algorithms. Modern wastewater treatment plants are characterized by significant energy costs, the main share of which falls on equipment for aeration, pumping wastewater, dosing reagents, and maintaining the necessary hydraulic regimes. The presence of unstable load, fluctuations in wastewater composition, and the influence of external factors makes it difficult to maintain optimal treatment parameters and leads to irrational use of energy. Therefore, it is relevant to create adaptive control systems capable of ensuring minimal energy consumption while maintaining the regulatory quality of purified water.

The study analyzed existing automation methods, the structure of electricity consumption at the stages of biological and physico-chemical secondary treatment, and also identified key factors that affect the energy efficiency of the technological process. Particular attention is paid to the operating parameters of aeration systems, which are the most energy-intensive elements of wastewater treatment plants. Based on the obtained dependencies, an approach to optimizing aeration modes, reagent dosing, and hydraulic flow control was developed through the use of automated control systems using modern sensors and mathematical models.

The proposed automation concept is based on the integration of information and measuring tools, optimization algorithms, and equipment condition monitoring systems, which provides flexible control and reduced operating costs.

Keywords: AUTOMATIC CONTROL, MODELING, DIGITAL ASR, SENSORIKA TR106P, ADJUST REGULATOR

ЗМІСТ

	ст.
ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД І АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СТАДІЙ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТОКІВ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	12
1.1 Призначення установки і суть процесу очищення промислових.....	12
1.2 Характеристика неочищених і очищених стоків	17
1.3 Аналіз технологічної схеми установки очищення промислових стоків, як об'єкта автоматизації	19
1.4 Технічна характеристика технологічного обладнання.....	
1.5 Вибір і обґрунтування параметрів контролю і регулювання.....	
Висновки до розділу 1.....	24
2. АНАЛІЗ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНОГО РІШЕННЯ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ.....	25
2.1 Основні принципи обґрунтування щодо удосконалення системи	25
2.2 Постановка задачі на магістерську роботу	27
2.5 Висновки до розділу 2.....	27
3. АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДООЧИЩЕННЯ БІОЛОГІЧНО-ОЧИЩЕНИХ СТОКІВ	29
3.1 Синтез та аналіз одноконтурної системи автоматизації	29
3.2. Розрахунок цифрової системи керування	41
Висновки до розділу 3.....	47
4 РОЗРОБКА ОСНОВНИХ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ ПО АВТОМАТИЗАЦІЇ	49
4.1 Вимоги до проектування і експлуатації систем управління	49
4.2 Вибір технічних засобів автоматизації	51

4.3 Методика перевірки та налагодження схем автоматизації.....	57
4.4 Проектування схеми зовнішніх з'єднань.....	58
4.5 Обґрунтування розміщення засобівавтоматизації на щиті керування	60
4.6 Методика перевірки та налагодження схем автоматизації.....	60
Висновки до розділу 4.....	61
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

ТП – технологічний процес;

ЕОМ – електронна обчислювальна машина;

ТЗА – технічні засоби автоматизації;

САР – система автоматичного регулювання;

АСК ТП – Автоматизована система керування технологічним процесом;

МПК – мікропроцесорний контролер;

АСР – автоматична система регулювання;

ФСА – функціональна схема автоматизації;

АСУ – автоматична система управління;

ВМ – виконавчий механізм;

КО – керований об'єкт.

ВСТУП

Актуальність теми. Підвищення енергоефективності процесів доочищення стічних вод є одним із найважливіших завдань сучасної водоочисної галузі, оскільки саме ці етапи технологічного циклу споживають значну частку енергоресурсів очисних споруд. У багатьох промислових та комунальних об'єктах витрати електроенергії на аерацію, перекачування, перемішування та дозування реагентів досягають 40–60 % загального енергоспоживання. Зростання вартості енергії та необхідність забезпечення стабільної роботи споруд в умовах змінної якості та кількості стічних вод вимагають впровадження більш раціональних та керованих технологій. Традиційні системи керування часто не забезпечують потрібного рівня адаптації до коливань навантаження, що призводить до перевитрати енергії, погіршення ефективності очищення та збільшення експлуатаційних витрат.

Автоматизація процесів доочищення відкриває можливості для оптимізації режимів роботи обладнання, мінімізації втрат енергії та підвищення стабільності технологічних параметрів. Використання сучасних вимірювальних засобів, інтелектуальних сенсорів і адаптивних алгоритмів дозволяє оперативно реагувати на зміни складу стоків, коригувати інтенсивність аерації, дозування реагентів і гідравлічні режими відповідно до реальних потреб процесу. Це забезпечує не лише зниження енергоспоживання, а й підвищення якості очищення, покращення екологічних показників та зменшення негативного впливу на водні екосистеми.

Підвищення енергоефективності в умовах модернізації очисних споруд відповідає міжнародним тенденціям сталого розвитку, вимогам екологічного законодавства та необхідності зменшення вуглецевого сліду підприємств. Автоматизація доочищення створює підґрунтя для впровадження енергоощадних технологій без масштабних капітальних інвестицій, що робить цю тему особливо актуальною для підприємств різної продуктивності, органів місцевого самоврядування й екологічних служб.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дана магістерська робота виконувалась автором відповідно до основного наукового напрямку діяльності кафедри «Автоматизації та комп'ютерно - інтегрованих технологій» Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ). «Синтез комп'ютерних систем та розробка програмного забезпечення для об'єктів нафтогазового комплексу» (ДР №011U005890) та комплексної цільової програми «Науково-організаційні засади нарощування видобутку вітчизняних нафти і газу та диверсифікації постачання енергетичних ресурсів для підвищення енергетичної безпеки України» (ДР №0115U007099). Автор роботи у рамках обраної теми безпосередньо виконав всі розділи, удосконалив математичну модель та структуру технологічного процесу доочищення промислових стоків, та вдосконалив АСУ ТП даного процесу.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності технологічного процесу доочищення промислових стоків.

Досягнення поставленої мети здійснюється розв'язанням таких основних задач:

- проаналізувати існуючі підходи до проблеми ідентифікації і моделювання процесу доочищення промислових стоків для задач автоматичного регулювання;
 - проаналізувати статистичні характеристики параметрів і показників процесу доочищення промислових стоків на основі експериментальних даних, розробити структуру системи автоматичного регулювання продуктивності з ПД - регулятором;
 - удосконалити структуру системи автоматизації доочищення промислових стоків;
 - проаналізувати потенційні небезпеки та забезпечити безаварійну роботу автоматичної системи керування процесом отримання перегрітої пари;
- скласти кошторис витрат на проведення науково-дослідної роботи та обґрунтувати доцільність її виконання.

Об'єктом дослідження є технологічний процес доочищення промислових стоків, що функціонує за умов апріорної та поточної невизначеності щодо параметрів та структури об'єкта.

Предметом дослідження є методи автоматичного регулювання процесом доочищення промислових стоків.

Методи дослідження. Методи теорії автоматичного керування – для розробки системи керування та алгоритму її функціонування; методи спектрально-кореляційного аналізу і обробки експериментальних даних – для аналізу закономірностей досліджуваних процесів і їх статистичних характеристик; методи ідентифікації систем – для моделювання об'єкта керування на основі вхідних і вихідних даних про досліджуваний об'єкт; методи імітаційного моделювання – для тестування розробленої системи на ПК.

Наукова новизна одержаних результатів Наукова новизна роботи полягає у розробленні та обґрунтуванні нових підходів до підвищення енергоефективності процесів доочищення стічних вод на основі впровадження сучасних систем автоматизації та інтелектуальних методів керування. На відміну від традиційних підходів, що ґрунтуються на фіксованих технологічних режимах, у роботі запропоновано адаптивну концепцію регулювання, яка передбачає динамічну зміну режимів аерації, дозування реагентів та гідравлічного розподілу потоків залежно від поточного складу і навантаження стічних вод.

Вперше сформовано комплексну математичну модель процесів доочищення, яка враховує енергоємні стадії технологічного циклу та дозволяє прогнозувати оптимальні режими роботи обладнання з позицій енергозбереження. Модель охоплює взаємозв'язки між концентрацією домішок, рівнем розчиненого кисню, ефективністю біологічних процесів і витратами електроенергії, що дає можливість формувати нові критерії оптимального керування.

Запропоновано методику інтеграції інтелектуальних сенсорів та алгоритмів адаптивного керування, які забезпечують автоматичне коригування

роботи системи в умовах змінних вхідних параметрів. Науковою новизною є також застосування алгоритмів прогнозування навантаження на основі аналізу часових рядів і виявлення закономірностей коливань у надходженні стічних вод, що дозволяє мінімізувати енергетичні втрати й уникати нераціональних режимів.

Практичне значення одержаних результатів. Практична цінність роботи полягає у створенні передумов для впровадження енергозберігаючих технологій на очисних спорудах різної продуктивності. Запропоновані методи автоматизації можуть бути інтегровані в існуючі технологічні лінії, забезпечуючи економію ресурсів, підвищення надійності та екологічної безпеки водоочисних комплексів.

Особистий внесок. Всі наукові результати та положення магістерської роботи, які виносяться на захист, одержані автором на основі результатів аналізу літературних джерел і власних досліджень.

Апробація результатів магістерської роботи. Основні результати роботи доповідались і одержали позитивну оцінку на міжнародній конференції. Borun V.S., Skrypyuk R.B., Kupets A.V. Improving energy efficiency of wastewater treatment processes through automation. Modern aspects of modernization of science: status, problems, development trends. Materials of the 62th International Scientific and Practical Conference. November 7, 2025, Shumen (Bulgaria). Pp. 99-102. DOI: <https://doi.org/10.52058/62>

Публікації. Основні результати магістерської роботи викладено у 1 публікації (тези міжнародної конференції).

Структура і обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається зі вступу, семи розділів, висновків і додатків. Обсяг роботи 67 сторінок машинописного тексту.

Магістерська робота містить 14 рисунків, 8 таблиць, список використаних літературних джерел із 22 найменувань.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД І АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СТАДІЙ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТОКІВ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1. Призначення установки і суть процесу очищення промислових стоків

1.1.1. Призначення установки

Сутність процесу очищення стоків полягає у видаленні зі стічних вод нафтопродуктів, зважених часток, подачі води на технічні потреби на каркасно-засипних фільтрах, освітленні вод перед їх подачею на адсорбційні фільтри.

1.1.2. Суть процесу

Суть процесу полягає в тому, що на каркасно-засипних фільтрах піддають очищенню господарсько-побутові і органовмісні стічні води, які надалі пройшли двоступеневе біологічне очищення.

Таке очищення здійснюється за допомогою відповідних паралельних процесів:

- затриманням в засипці фільтрів винесених суспензованих з третинних відстійників частин;
- мінералізацією нагромаджених в масі фільтрів розчинених у воді органічних речовин в присутності кисню мікроорганізмами активного мулу.

В очищеній воді після фільтрів масова концентрація завислих речовин (до змішування з кислотно-лужними стоками) не повинна перевищувати 13 мг/дм³, БСК20 - 4,5 мг/дм³.

1.2 Характеристика неочищених і очищених стоків

1.2.1 Характеристика неочищених стоків, матеріалів і напівпродуктів

Характеристику сировини, матеріалів і напівпродуктів подано у таблиці

1.1

Таблиця 1.1

Характеристика сировини, матеріалів і напівпродуктів

Найменування сировини, матеріалів,	Показники, обов'язкові для перевірки (найменування і одиниця)	Регламентовані значення показників з допустимими
Господарсько-побутові стоки	Об'ємна витрата, м ³ /добу	58764
	Показник концентрації водневих іонів	від 6,5 до 8,5
	БСК ₂₀ , мг/дм ³	не більше 265
	БСК ₅ , мг/дм ³	не більше 240
	ХСК, мг/дм ³	не регламентується
	Масова концентрація, мг/дм ³ :	
	- завислих речовин	не більше 248
	- сухого залишку	не більше 766
	- в т. ч. хлорид-іонів	не більше 315
	- ПАР	не більше 3
	- формальдегіду	відсутність
	- нафтопродуктів	не більше 0,33
	- легкоокислюваних речовин по Кубелю	не більше 85
	Мікробне число, млн/см ³	не більше 2
Колі-титр	не менше 1·10 ⁻⁶	
	- оксидів кальцію і магнію в перерахунку на оксид кальцію	не менше 150
	- осаду, нерозчинного в соляній кислоті	не більше 3
	- непогашених зерен	не більше 6

Продовження табл. 1.1

Найменування сировини, матеріалів, напівпродуктів	Показники, обов'язкові для перевірки (найменування і одиниця)	Регламентовані значення показників з допустимими відхиленнями
Органовмісні стоки (після змішування всіх органовмісних стоків)	Об'ємна витрата, м ³ /добу	5896
	Показник концентрації водневих іонів	від 6,5 до 8,5
	БСК ₂₀ , мг/дм ³	не більше 1776
	БСК ₅ , мг/дм ³	не більше 1600
	ХСК, мг/дм ³	не більше 3500
	Масова концентрація, мг/дм ³ :	
	- завислих речовин	не більше 197
	- сухого залишку	не більше 770
	- в т. ч. хлорид-іонів	не більше 350
	- формальдегіду	не більше 60
	- нафтопродуктів	не більше 21
	- амінів	не більше 25
	- фенолів	не більше 5
- аміаку і іонів амонію	не більше 100	
- ПАР	не більше 2	

1.2.2. Характеристика очищених стічних вод

Очищені стічні води є основним продуктом виробництва. Спільний потік господарсько-побутових і органічних, кислотно-лужних, гіпохлоритних стоків, які спрямовано на скид в річку Дністер, повинен відповідати вимогам, які наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Характеристика очищених промислових стоків

Назва показника та одиниця вимірювання	Норма
Об'ємна витрата, м ³ /добу	79876
Показник концентрації водневих іонів	від 6,5 до 8,5
Біохімічне споживання кисню, повне (БСК ₂₀), мг/дм ³	не більше 15
Те саме, за 5 діб (БСК ₅), мг/дм ³	не більше 13,5
Масова концентрація, мг/дм ³	
- сульфат-іонів	не більше 148
- поверхнево-активних речовин (ПАР)	не більше 0,1
- азоту нітритів	не більше 0,1
- азоту нітратів	не більше 10
- аміаку і іонів амонію	не більше 0,5
- розчиненого кисню	не менше 2
- хлору активного	відсутність
- формальдегіду	не більше 0,22
- нафтопродуктів	не більше 0,07
- натрію	не більше 542
- фенолів	не більше 0,007
- дихлоретану	не більше 0,26
- вуглецю чотирьохлористого	не більше 0,034

1.3. Аналіз технологічної схеми установки очищення промислових стоків, як об'єкта автоматизації

На рисунку 1.1. подаємо зображення технологічної схеми установки очищення промислових стоків.

Біологічно очищені стічні води з масовою концентрацією завислих речовин (не більше 15 мг/дм^3 по трубопроводу К1.5) поступають з резервуара 1 у стічні води з об'ємною витратою $(3000 \pm 500) \text{ м}^3/\text{год}$, які насосами 2а÷в подають на каркасно-засипні фільтри 3а÷е.

Міжпоровий простір гравійного каркасу на 0,9 м заповнюється піщаною засипкою. На каркасно-засипних фільтрах 3а÷е зверху вниз через гравійний каркас висотою 1,8 м, проходить фільтрування стоків

За допомогою розгалуженої системи жолобів здійснюється подача стоків на фільтри. Через дренажну систему високого опору, яку виготовлено з дірчастих труб в нижній частині фільтра під завантаженням проходить збирання відфільтрованої води.

Відфільтрована (очищена) вода з фільтрів 3а÷е поступає в резервуар відфільтрованої води 4 з переливним трубопроводом.

З резервуара 4 по переливному трубопроводу відфільтрована вода поступає в колектор К1.7.

З резервуара 4 насосом 5а,б частину відфільтрованої води подають на приготування розчину суперфосфату.

Гіпохлоритні стічні води для знезаражування очищених стічних вод та очищені кислотно-лужні стічні води подають в колектор К1.7. В буферний став 6 – штучну гідротехнічну споруду, обваловану земляною дамбою поступає загальний потік стічних вод. Стічні води з показником концентрації іонів водню від 6,5 до 8,5 з буферного ставу скидають в річку Дністер.

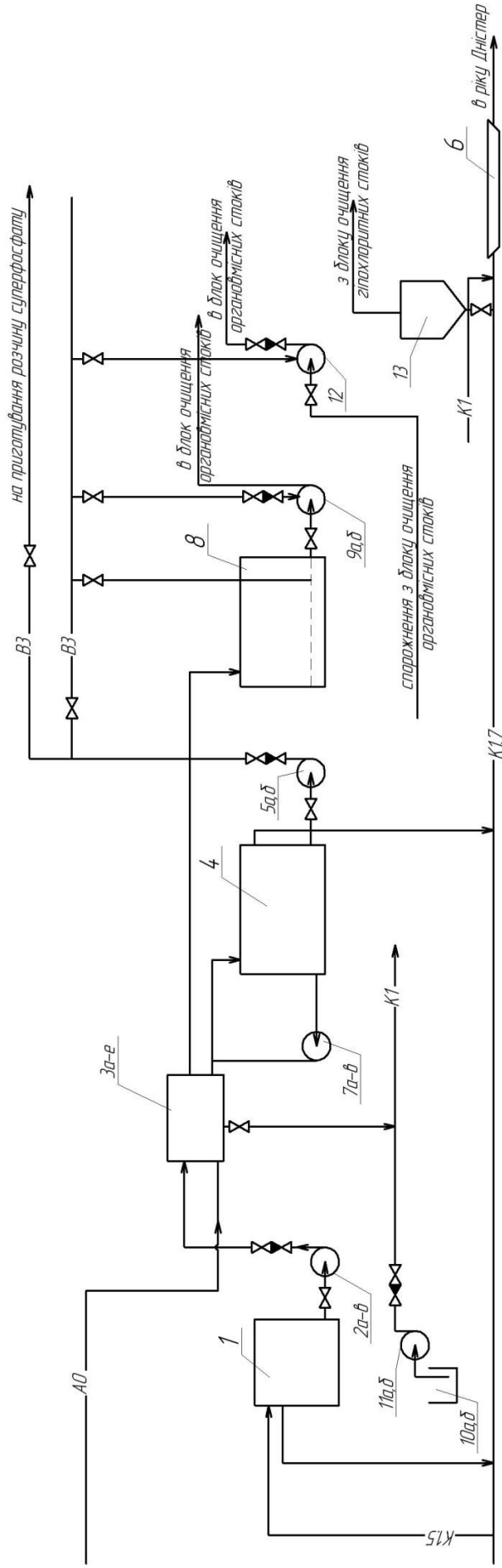


Рис. 1.1. Технологічна схема установки очищення промислових стоків

Дозуючи гіпохлорит натрію з бака систематично здійснюють знезаражування очищених стічних вод а фільтри 3 а÷е періодично піддають водоповітряному промиванню. Задля такого промивання використовують відфільтровану воду з резервуару 4 і повітря від мережі АО з об'ємною витратою (5200 ± 100) м³/год . У спеціальну повітряну систему фільтра, розміщену під завантаженням і побудовану з дірчатих трубок подають повітря з тиском (60 ± 5) кПа. Під тиском в діапазоні від 0,14 до 0,15 МПа, воду подають в дренажну систему збору відфільтрованої води протитоком насосами 7а÷в. Під час означеного промивання піщане завантаження фільтра переходить в завислий стан і відмивається від відкладених забруднень. З фільтра по жолобах і трубопроводу в резервуар промивної води 8 відводять промивні води. Резервуар поз. 8, який обладнаний системою скаламучування, подають воду з резервуара відфільтрованої води 4 насосом 5а,б.

На установку очищення органічних стічних вод з резервуара 8 промивні води з об'ємною витратою (190 ± 10) м³/год подають насосом 9а,б.

Фільтри 3 а÷е періодично довантажують піском, оскільки під час завантаження фільтра частина піску втрачається з промивними водами. Готують пісок на спеціально обладнаному майданчику, його тут відмивають від глинистих домішок.

Фільтри промивають гіпохлоритними стоками два рази на рік, використовуючи такий метод задля боротьби з біобростаннями у фільтрах і комунікаціях корпусу доочищення їх (гнучкий рукав під'єднують до трубопроводу гіпохлоритних стоків К1.8 в колодязі і через верх подають гіпохлоритні стічні води у фільтр 3а÷е).

По трубопроводу спорожнення повне спорожнення фільтрів проводять в каналізацію К1 (під час ремонту).

Для спорожнення аеротенка і третинних відстійників установки очищення органічних стічних вод використовують насос 12, який встановлено в корпусі очищення. В каналізацію К1 насосами 11а,б віддають воду з дренажних приямків 10а,б. Якщо під час активної роботи насосу 11а,б

рівень води в прямку 10а,б досягає 1,0 м - до роботи автоматично долучають резервний насос 11а,б.

1.4 Технічна характеристика технологічного обладнання

Технічна характеристика технологічного обладнання складається з наступних складових: резервуара відфільтрованої води, приймального резервуара, буферного ставу, фільтра каркасно-засипного, резервуара промивної води, бака для хлорування, дренажних приймачів, відцентрованих насосів.

Технічну характеристику технологічного устаткування нами наведено в таблицях 1.3, 1.4.

Таблиця 1.3

Технічна характеристика резервуарів, фільтрів

Позиція за схемою	Найменування обладнання	Матеріал	Технічна характеристика
1	Приймальний резервуар	залізобетон	Резервуар прямокутної форми місткістю 480 м ³ .
3а-е	Фільтр каркасно-засипний	залізобетон	Фільтр швидкий, безнапірний, однопоточний; площа фільтрації 90 м ² , швидкість фільтрації від 6,3 до 10 м ³ /год.
4	Резервуар відфільтрованої води	залізобетон	Резервуар прямокутної форми місткістю 1200 м ³ .
6	Буферні стави	ущільнений ґрунт	Штучна споруда прямокутної форми, по периметру земляна гребля; довжина 400 м, ширина 200 м, місткість 80000 м ³ .
8	Резервуар промивної води	залізобетон	Резервуар прямокутної форми місткістю 1200 м ³ , обладнаний системою збовтування.
13	Бак для хлорування	титан	Циліндрична ємкість з конусним днищем місткістю 5 м ³

Таблиця 1.4

Технічна характеристика насосів

Позиції за схемою	Найменування обладнання	Матеріал	Технічна характеристика
2а-в	Насос відцентровий 550Д	чавун	Об'ємна продуктивність 1800 м ³ /год, тиск 0,18 МПа; електродвигун 4А315S-6 потужністю 110 кВт, частота обертів 16,6 с ⁻¹ , виконання нормальне.
5а,б	Насос відцентровий КМ 60-50-200	чавун	Об'ємна продуктивність 140 м ³ /год, тиск 0,37 МПа; електродвигун 4А180N2ж потужністю 30 кВт, виконання нормальне.
7а-в	Насос відцентровий Д 3200-33	чавун	Об'ємна продуктивність 2300 м ³ /год, тиск 0,17 МПа; електродвигун 4А355 МВ потужністю 160 кВт, виконання нормальне.
9а,б	Насос відцентровий СД 250/22,5б	чавун	Об'ємна продуктивність 250 м ³ /год, тиск 0,16 МПа; електродвигун потужністю 11 кВт, частота обертів 16,6 с ⁻¹ , виконання нормальне.
12	Насос відцентровий СД 250/22,5	чавун	Об'ємна продуктивність 250 м ³ /год, тиск 0,16 МПа; електродвигун 4А180 4У3 потужністю 22 кВт, виконання нормальне.

1.5. Вибір і обґрунтування параметрів контролю і регулювання

Параметрами, які активно впливають на хід технологічного процесу є наступні:

- рівень в резервуарах;
- витрата подачі стічних вод на каркасно-засипні фільтри;
- рівень у фільтрах;

- витрата стисненого повітря;
- витрата промивних вод, що поступає на очищення органомісних стоків;
- тиск на насосах;
- витрата відфільтрованої води з фільтра;
- перепад тиску в каркасно-засипному фільтрі;
- тиск подачі стисненого повітря;
- показник концентрації водневих іонів.

Надалі розглянемо більш детальніше вплив кожного параметра на хід технологічного процесу.

1.5.1 Рівень в резервуарах

Переливання стоків з одного резервуара неперервно відбувається у процесі очищення промислових стоків. Отож, щоб не рідина не переливалась через верх і не затопило цех, необхідно регулювати рівні в цих апаратах та постійно контролювати цей процес.

1.5.2 Рівень у фільтрах

Для запобігання переливу застосовують регулювання рівня води у фільтрах застосовується. Також регулювання рівня води також здійснюють для контролю за ступенем забруднення та пропускної здатності фільтра. Проте фільтр слід піддавати промивці у випадку зростанні рівня за межі допустимого і неможливості його регулювання.

1.5.3 Тиск на насосах

Значну кількість насосів для перекачування стоків по трубопроводах розміщено на установці очищення промислових стоків.

Також варто контролювати тиск нагнітання насоса, оскільки він може перевищити допустимий тиск труби.

1.5.4 Перепад тиску в каркасно-засипному фільтрі

Контролюють перепаду тиску у фільтрі проводять для додаткового контролю забруднення фільтра.

1.5.5 Витрати речовин на установці

Задля реєстрації кількості різних речовин на установці, варто обов'язково стежити за контролем витрати цих речовин.

1.5.6 Показник концентрації водневих іонів

Одним з найважливіших параметрів, що визначає якість процесу є показник концентрації водневих іонів, над яким постійно ведеться постійний автоматизований та лабораторний контроль.

Показник концентрації водневих іонів (рН) — це кількісна характеристика кислотності або лужності водних розчинів, яка визначає ступінь концентрації водневих іонів (H^+) у середовищі. Він є одним з найважливіших параметрів у хімічних, біологічних та технологічних процесах, зокрема в системах очищення стічних вод, оскільки безпосередньо впливає на швидкість реакцій, розчинність речовин, активність мікроорганізмів та ефективність роботи обладнання.

Значення параметрів контролю і регулювання відображено нами у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5

Значення параметрів контролю і регулювання

Назва параметру	№ позиції на ФСА	Одиниці вимірювання	Межі коливання
Рівень в приймальному резервуарі	2	м	1,5 – 3,6
Рівень в каркасно засипному фільтрі 3а-е	8	м	не більше 4
Рівень в резервуарі відфільтрованої води 4	12	м	1,2 – 3,1
Рівень в резервуарі промивної води 8	14	м	0,55 – 2,55
Витрата відфільтрованої води	11	м ³ /год	840 – 860
Рівень в дренажних приймачах 10 а,б	3	м	0,1 – 0,8
Рівень в баку для хлорування 13	19	м	не більше 1,5
Витрата стисненого повітря	1	м ³ /год	5100 – 5300
Витрата стічних вод	6	м ³ /год	2500 – 3500
Витрата промивних вод	16	м ³ /год	180 – 200
Показник концентрації водневих іонів	17	-	6,5 – 8,5
Перепад тиску в каркасно-засипному фільтрі 3а-е	9	кгс/см ²	не більше 0,35
Тиск подачі стисненого повітря	7	кгс/см ²	0,55 – 0,65
Тиск на насосі 11а,б	4	МПа	0,15 – 0,16
Тиск на насосі 2а-в	5	МПа	0,17 – 0,18
Тиск на насосі 7а-в	10	МПа	0,14 – 0,15
Тиск на насосі 5а,б	13	МПа	0,33 – 0,37
Тиск на насосі 9а,б	15	МПа	0,15 – 0,16
Тиск на насосі 12	18	МПа	0,15 – 0,16

Висновки до розділу 1

У ході проведеного огляду та аналізу технологічних стадій очищення промислових стічних вод встановлено, що ефективність роботи очисних споруд значною мірою визначається узгодженістю та стабільністю функціонування кожної окремої ланки технологічного циклу. Розглянуті механічні, фізико-хімічні та біологічні процеси продемонстрували суттєву чутливість до змін навантаження, коливань складу забруднень та умов експлуатації. Це зумовлює необхідність постійного контролю ключових параметрів, зокрема витрати і складу стоків, рН, концентрації завислих речовин, рівня розчиненого кисню, дозування реагентів та гідравлічних режимів.

Проаналізовані етапи очищення дали змогу визначити найбільш енергоємні та технологічно критичні стадії, що потребують пріоритетної уваги при автоматизації. Виявлено, що значні втрати ефективності виникають унаслідок нерівномірного надходження стоків, запізненого коригування режимів аерації та реагентного забезпечення, а також недостатньої точності ручного регулювання. Це підтверджує необхідність переходу до автоматизованого моніторингу та адаптивного керування, здатного оперативно реагувати на зміну параметрів середовища.

Узагальнення результатів аналізу дозволило сформулювати науково обґрунтовані вимоги до систем автоматизації процесів очищення, серед яких — підвищення точності вимірювань, забезпечення безперервного контролю критичних показників, впровадження інтелектуальних алгоритмів для оптимізації технологічних режимів та зменшення енерговитрат. Отже, проведене дослідження створює методологічне підґрунтя для подальшого синтезу автоматизованої системи керування, спрямованої на підвищення ефективності, надійності й економічності роботи промислових очисних комплексів.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНОГО РІШЕННЯ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ

2.1 Основні принципи обґрунтування щодо удосконалення системи

На локальному рівні, на рівні підприємства та суспільства в цілому техніко-економічна оцінка заходів з автоматизації технологічних процесів виробництв та установок повинна визначати їх ефективність, а заміна існуючої системи автоматизації іншою має обов'язково бути обґрунтованою і виправданою на техніко-економічному рівні.

Також необхідно порівняти і проаналізувати показники технічного рівня оцінки якості приладів технології, продукції по базовому варіанту і проекту задля того, щоб довести доцільність заміни функціонуючої системи

Такі показники умовно можна розділити на групи: техніко – технологічні показники конструкції, екологічні, економічні і т.д.

Так, точність роботи системи автоматизації, швидкодія (здатність швидко реагувати на зміну технологічних показників, за якими ведеться контроль) відносять до техніко – економічних показників.

Габаритністю розмірів, масою, придатністю, пристосованістю приладу до відновлення його експлуатаційних характеристик оцінюють показники конструкції. Надійність є характерною властивістю певного об'єкту зберігати здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах, довговічність, рівне автоматизації основних функцій, безвідмовність (властивість безперервно зберігати роботу здатність на протязі певного часу), потужність.

Сутність економічних показників полягає в тому, що вони дають змогу визначити відповідні системи антропологічними, фізіологічними і технологічними властивостями людини, передбачають дотримання відповідних вимог щодо гігієни та безпеки праці. До них зазвичай відносять рівень шуму, освітленості і забрудненості. Натомість призначення техніко-економічних

показників у контролі відповідних змін під час вдосконалення системи автоматизації.

Скористаємось відносними безрозмірними коефіцієнтами, які розрахуємо як співвідношення між одиничними техніко–економічними показниками, показниками конструкції по повному і базовому варіантах для визначення технічного рівня та рівня якості системи автоматизації (якщо збільшення показника свідчить про покращення технічного і якісного рівня системи). Відтак відносний коефіцієнт технічного рівня розраховується за формулою:

$$K_i = \Pi_i^m / \Pi_i^b \quad (2.1)$$

У випадку збільшення показника відносний коефіцієнт має обернену залежність, що свідчить про погіршення технічного рівня системи (шум).

Розрахунки та їх значення аналізують, підсумовують, заносять в таблицю.

Таблиця 2.1

Показники оцінки ТЕП варіантів систем автоматизації

Показники	Базовий варіант	Новий варіант	Коеф. технічного рівня
Загальна похибка, %	2,6	0,95	0,63
Швидкодія системи	15	8	2
Інтенсивність відмов	$1,98 \times 10^{-3}$	$1,43 \times 10^{-4}$	4,6
Термін служби, рік	6	8	0,75

У нашому дипломному проект проаналізуємо детальніше установку очищення промислових стоків, розглянемо синтез автоматичної системи регулювання рівня в каркасно-засипному фільтрі. Фільтр служить для забезпечення якісної роботи установки очищення і є одним із головних технологічних апаратів.

Проте задля того, щоб належним чином оцінити вплив зміни технічного рівня на економічні показники установки і підприємства в цілому варто провести більш детальніші розрахунки.

2.2 Постановка задачі на магістерську роботу

Техніко-економічне обґрунтування по першому варіанту полягає в тому, що діючою системою автоматизації на установці є система традиційної автоматики з застосуванням одноконтурних систем керування. До складу цих локальних засобів та систем входять датчики, регулятори електричних віток з елементами централізації керування через операторну, перетворювачі.

Рвень у фільтрі змінюється відносно повільно при зміні витрат стоків, оскільки цей спосіб регулювання рівня є незначним. Отже застосування зазначеного вище способу не забезпечує необхідної якості керування.

Техніко-економічне обґрунтування по другому варіанті полягає в тому, що для всього блоку доочищення пропонуються систему автоматизації, яка дозволить безперервно і швидко контролювати та регулювати параметри на базі Сенсоріка TP106П. Також застосовуємо цифрову АСР для регулювання потоків, оскільки саме ця система здатна значно збільшити швидкість регулювання.

Висновки до розділу 2

У результаті проведеного аналізу та обґрунтування основного рішення щодо вдосконалення технологічних стадій очищення промислових стічних вод було встановлено, що ефективність роботи очисних систем безпосередньо залежить від узгодженості функціонування окремих етапів очищення, точності контролю технологічних параметрів та здатності системи оперативно реагувати на зміни складу і навантаження стоків. Розгляд можливих варіантів реалізації технологічних рішень показав, що традиційні підходи, які базуються на

ручному регулюванні або статичних режимах, не забезпечують необхідного рівня стабільності та енергоефективності, особливо в умовах високої варіабельності промислових стоків.

Проаналізовані технологічні схеми дали змогу визначити оптимальний напрямок удосконалення — упровадження автоматизованої системи керування, здатної інтегрувати дані первинних вимірювань, оцінювати стан процесу в режимі реального часу та формувати коригувальні впливи з урахуванням якості стічних вод і технологічних обмежень. Обґрунтування основного рішення підтвердило доцільність застосування інтелектуальних підходів до регулювання аерації, дозування реагентів, гідравлічного розподілу потоків та стабілізації біологічних процесів. Особливу увагу приділено розробленню критеріїв оптимальності, спрямованих на зниження енергоспоживання при збереженні нормативних показників очищення.

Таким чином, проведений аналіз дозволив визначити ключові умови та технічні вимоги до реалізації основного рішення, яке полягає у створенні гнучкої, адаптивної та енергоефективної системи керування технологічними стадіями очищення промислових стоків. Це рішення є науково й практично обґрунтованим, відповідає сучасним тенденціям автоматизації та створює передумови для підвищення надійності, стабільності й економічності роботи очисних споруд.

РОЗДІЛ 3

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДООЧИЩЕННЯ БІОЛОГІЧНО-ОЧИЩЕНИХ СТОКІВ

3.1 Синтез та аналіз одноконтурної системи автоматизації

3.1.1 Вибір об'єкта керування. Структурна схема керованого об'єкта

Ефективність побудови автоматизованої системи керування технологічними стадіями очищення промислових стоків значною мірою залежить від коректного вибору об'єкта керування та визначення його ключових структурних особливостей. Оскільки процес очищення включає низку фізико-хімічних та біологічних операцій, що характеризуються нелінійністю, інерційністю та взаємним впливом параметрів, важливо виділити ті елементи технологічної схеми, які є найбільш критичними з точки зору стабільності, енерговитрат та якості кінцевого очищення.

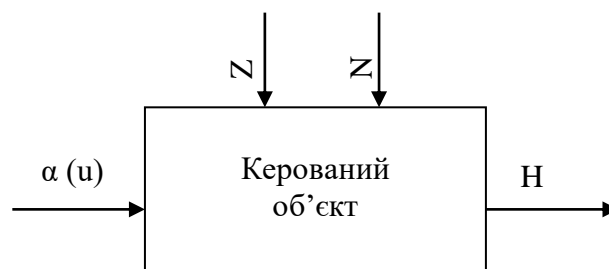
На цьому етапі дослідження необхідно чітко ідентифікувати основні технологічні ланки – механічну, фізико-хімічну та біологічну стадії, – визначити їх функціональні взаємозв'язки та встановити комплекс параметрів, що підлягають автоматичному контролю та регулюванню. Побудова структурної схеми керованого об'єкта дозволяє систематизувати інформаційні та матеріальні потоки, визначити точки вимірювання, можливі впливи, збурення та вихідні характеристики. Такий підхід є необхідним для подальшого формування алгоритмів керування, вибору оптимальних технічних засобів та інтеграції майбутньої системи автоматизації у технологічний процес.

Таким чином, метою даного розділу є обґрунтований вибір об'єкта керування з урахуванням технологічних особливостей очищення промислових стоків, а також розроблення структурної схеми, яка відображає основні зв'язки та взаємодії між елементами об'єкта. Це створює методичну основу для подальшого синтезу системи автоматизованого керування та забезпечує можливість її оптимального

налаштування відповідно до вимог енергоефективності та технологічної надійності.

Надалі промивні стоки (після фільтрів) поступають в резервуар відфільтрованої води. З цього резервуару частину речовини після хлорування зливають в Дністер. Інша ж частина йде на приготування розчину суперфосфату, а ще одна частина потрапляє у блок очищення органічних стоків.

Отож об'єктом автоматизації вибираємо каркасно-засипний фільтр, оскільки суть його полягає в тому, що концентрація водневих іонів, як головний параметр залежить, в основному, від якості очистки на фільтрах. На основі аналізу фільтра, як об'єкта керування створено його структурну схему, яку зображено нами на рисунку 3.1



де H – рівень рідини у фільтрі;

N – ступінь забрудненості фільтра;

Z – природні опади.

Рис. 3.1. Структурна схема каркасно-засипного фільтра

Основними збурюючими факторами є забруднення фільтра N та опади Z .

3.1.2 Експериментальне моделювання керованого об'єкта

3.1.2.1 Підготовка і планування експерименту, виявлення вхідних і вихідних змінних, проведення експерименту

Динамічні характеристики об'єкту керування визначаються за допомогою активного експерименту. Він включає в себе три основні етапи:

- підготовка та планування експерименту;
- проведення експерименту;
- обробка результатів експерименту.

При підготовці вивчаємо об'єкт дослідження, визначаємо вхідну та вихідну змінні. Вхідною величиною в даному випадку є витратостоків, а вихідною – сигнал вторинного приладу, який поступає на регулятор. При вивченні об'єкту дослідження слід виявити та усунути можливі джерела шуму і збурень.

Проведення експерименту починають з установки на об'єкті вибраного режиму роботи, який встановився при раніше вибраному значенні вихідної змінної $X_{\text{вих}}$, витримують декілька хвилин, оскільки процес спочатку проходить повільно. Потім наносять збурення, відкривають РО на (10-15)% і починають реєструвати зміну вихідної величини, тобто рівень продукту.

Закінчення перехідного процесу визначається по значенню вихідної змінної. Дослід вважається закінченим, якщо вихідна змінна, починаючи з деякого моменту часу, залишається практично не змінною.

Результати проведення експерименту зведемо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1

Результати проведення експерименту

t, с	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
Q, м ³ /год	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Д	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H, м	3,60	3,65	3,695	3,74	3,775	3,81	3,84	3,87	3,891	3,911	3,933	3,948	3,966

Продовження таблиці 3.1

t, с	260	280	300	320	340	360	380	400	420
Q, м ³ /год	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
H, м	3,97	3,978	3,985	3,991	3,996	4	4	4	4

У відповідності з таблицею 3.1 побудуємо експериментальну перехідну характеристику по каналу регулювання рівня (рисунок 3.2).

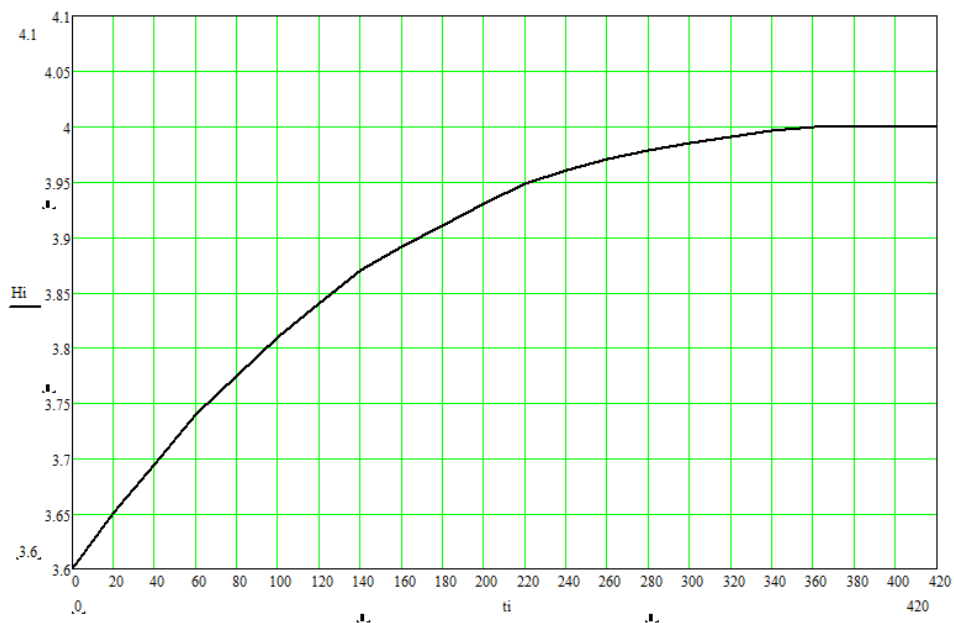


Рис. 3.2. Експериментальна перехідна характеристика по каналу регулювання рівня.

3.1.2.2 Обробка результатів експерименту

Експериментальну перехідну характеристику, отриману в результаті проведеного експерименту (таблиця 3.1), приведемо до безрозмірних величин. Формули переходу від розмірних одиниць до безрозмірних мають наступний вигляд:

$$X_{ex}^* = \frac{X_{exi} - X_{ex0}}{X_{ex\ max} - X_{ex0}}, \quad (3.1)$$

$$Y_{вих}^* = \frac{Y_{вихi} - Y_{вих0}}{Y_{вих\ max} - Y_{вих0}}, \quad (3.2)$$

де X_{exi} , $Y_{вихi}$ – біжуче значення вхідної і вихідної величини в розмірних одиницях;

X_{ex0} , $Y_{вих0}$ – значення вхідних і вихідних величин в розмірних одиницях до моменту нанесення збурення на керований об'єкт;

$X_{ex\ max}$, $Y_{вих\ max}$ – максимальне значення вхідної і вихідної величини в розмірних одиницях після закінчення перехідного процесу.

$$Y_{вих1}^* = \frac{3,6 - 3,6}{4 - 3,6} = 0;$$

$$Y_{вих2}^* = \frac{3,65 - 3,6}{4 - 3,6} = 0,125;$$

$$Y_{вих3}^* = \frac{3,695 - 3,6}{4 - 3,6} = 0,237;$$

$$Y_{вих4}^* = \frac{3,74 - 3,6}{4 - 3,6} = 0,35;$$

$$Y_{вих5}^* = \frac{3,775 - 3,6}{4 - 3,6} = 0,437;$$

$$Y_{вих6}^* = \frac{3,81 - 3,6}{4 - 3,6} = 0,525;$$

$$Y_{вих7}^* = \frac{3,84 - 3,6}{4 - 3,6} = 0,6;$$

$$Y_{вих8}^* = \frac{3,87 - 3,6}{4 - 3,6} = 0,675;$$

$$Y_{вих9}^* = \frac{3,891 - 3,6}{4 - 3,6} = 0,727;$$

$$Y_{вих10}^* = \frac{3,91 - 3,6}{4 - 3,6} = 0,775;$$

$$Y_{вих11}^* = \frac{3,93-3,6}{4-3,6} = 0,825;$$

$$Y_{вих12}^* = \frac{3,948-3,6}{4-3,6} = 0,87;$$

$$Y_{вих13}^* = \frac{3,96-3,6}{4-3,6} = 0,9;$$

$$Y_{вих14}^* = \frac{3,97-3,6}{4-3,6} = 0,925;$$

$$Y_{вих15}^* = \frac{3,978-3,6}{4-3,6} = 0,945;$$

$$Y_{вих16}^* = \frac{3,985-3,6}{4-3,6} = 0,962;$$

$$Y_{вих17}^* = \frac{3,991-3,6}{4-3,6} = 0,978;$$

$$Y_{вих18}^* = \frac{3,996-3,6}{4-3,6} = 0,99;$$

$$Y_{вих19}^* = \frac{4-3,6}{4-3,6} = 1,0;$$

$$Y_{вих20}^* = \frac{4-3,6}{4-3,6} = 1,0;$$

$$Y_{вих21}^* = \frac{4-3,6}{4-3,6} = 1,0;$$

$$Y_{вих22}^* = \frac{4-3,6}{4-3,6} = 1,0;$$

$$X_{вх}^* = 1.$$

Одержані результати зведемо в таблицю 3.2

Таблиця 3.2

Результати проведення експерименту в безрозмірних одиницях

t, с	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
$X_{вх}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$Y_{вих}$	0	0,12	0,23	0,3	0,43	0,52	0,6	0,67	0,72	0,77	0,82	0,8	0,9
x		5	7	5	7	5		5	7	5	5	7	

Продовження таблиці 3.2

t, с	260	280	300	320	340	360	380	400	420
X_{ex}	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$Y_{вих}$	0,925	0,945	0,962	0,978	0,99	1	1	1	1

Згідно таблиці 3.2 побудуємо експериментальну перехідну характеристику регулювання рівня в безрозмірних одиницях (рисунок 3.3).

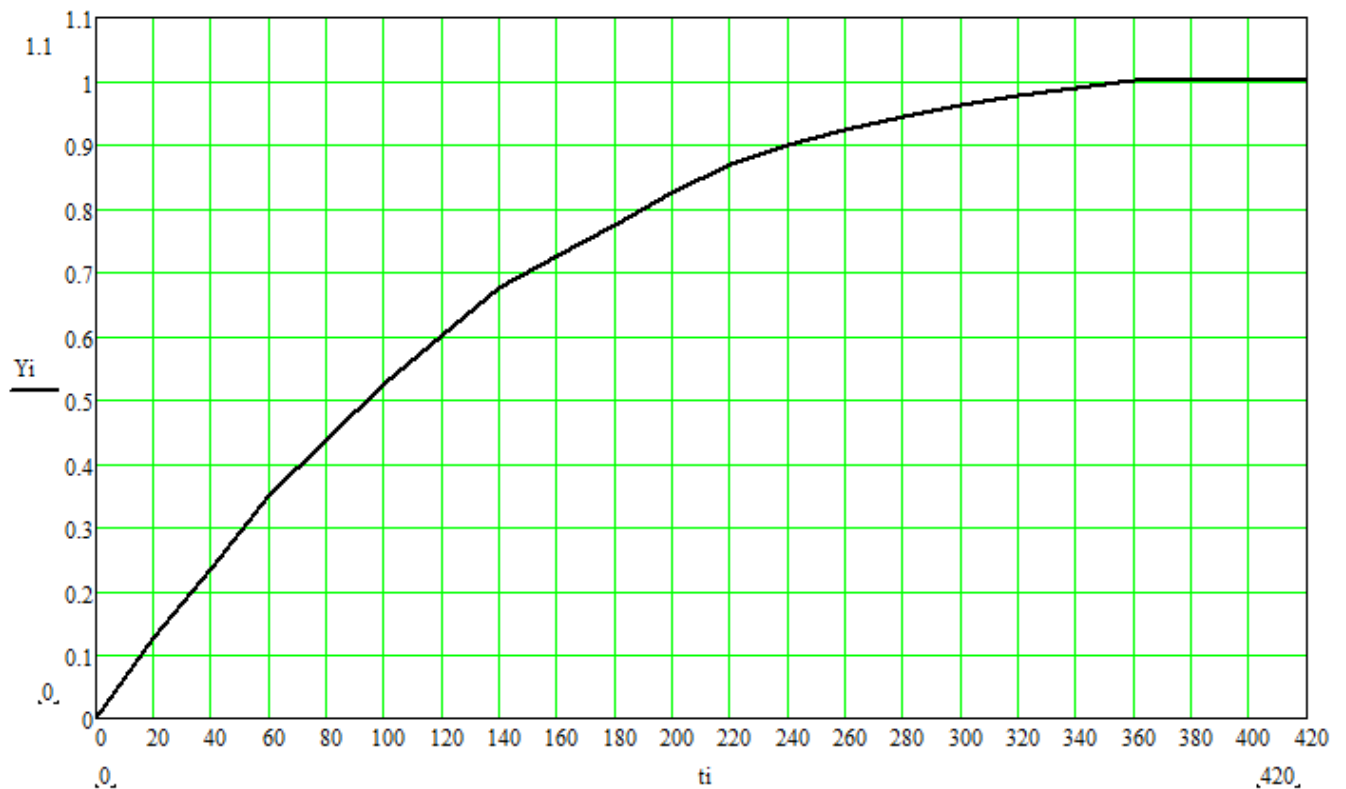


Рис. 3.3. Експериментальна перехідна характеристика регулювання рівня в безрозмірних одиницях.

Апроксимуємо дану перехідну характеристику за допомогою ЕОМ, використовуючи програму APROX. Як видно з результатів роздрукування (додаток А) передавальна функція об'єкта керування має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{1972,097p^2 + 53,67p + 1}{269750,411p^3 + 10679,119p^2 + 166,43p + 1} \quad (3.3)$$

3.1.3 Розрахунок оптимальних параметрів налагодження регуляторів за умови забезпечення заданих показників якості регулювання

Даний об'єкт є об'єктом самовирівнювання, який протікає при повільних навантаженнях. Об'єкт описується передавальною функцією третього порядку. То згідно критерій оптимального мінімуму для забезпечення необхідних показників якості регулювання (перерегулювання менше (30-40)%) і для забезпечення хорошої якості перехідного процесу, підвищення стійкості системи, краще використовувати ІІІ-регулятор. Статична похибка процесу регулювання цього регулятора рівна нулю. Передавальна функція ІІІ-регулятора має вигляд:

$$W_p(P) = \frac{Pp + I}{p} \quad (3.4)$$

Здійснимо розрахунок оптимальних параметрів налагодження за допомогою ЕОМ, використовуючи підпрограму Simulink, в пакеті програм Matlab.

Як видно з результатів отримуємо такі оптимальні параметри ІІІ-регулятора.

$P=8,8483$;

$I=0,43356$.

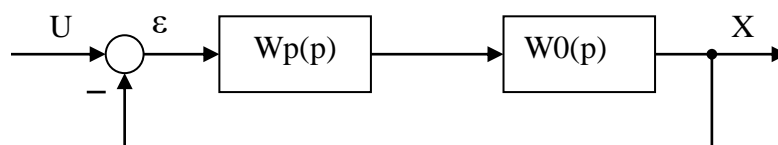
Отже, передавальна функція регулятора запишеться:

$$W_p(p) = \frac{8,8483p + 0,43356}{p} \quad (3.5)$$

Ці параметри налагодження регулятора і будемо використовувати для подальших розрахунків.

3.1.4 Дослідження АСР на стійкість

Структурна схема АСР зображена на рисунку 3.4



Рису. 3.4. Структурна схема АСР.

Визначимо передавальну функцію розімкнутої системи.

$$W_{роз}(p) = W_o(p) * W_p(p) \quad (3.6)$$

$$W_{роз}(p) = \frac{1972,097p^2 + 53,67p + 1}{269750,41p^3 + 10679,12p^2 + 166,43p + 1} \cdot \frac{8,8483p + 0,43356}{p}$$

Після обрахунків отримали:

$$W_{роз}(p) = \frac{17449,7p^3 + 1329,9p^2 + 32,1p + 0,43}{269750,4p^4 + 10679,1p^3 + 166,43p^2 + p} \quad (3.7)$$

Для дослідження на стійкість скористаємось критерієм Найквіста, за допомогою програми Matlab. Програма і годограф Найквіста зображені в додатку В.

Зобразимо годограф Найквіста в масштабі, для кращого розуміння інформації (рис. 3.5).

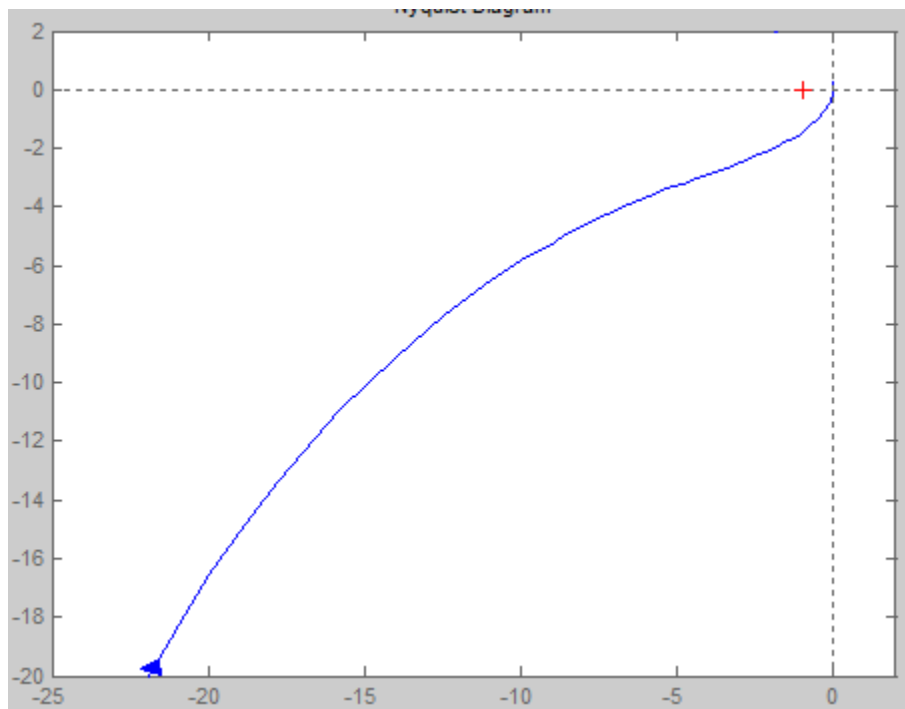


Рисунок 3.5 – Годограф Найквіста

Годограф при зміні частоти від 0 до $+\infty$ не охоплює точку з координатами $(-1; j0)$, отже, у відповідності з основним формулюванням критерію Найквіста, досліджувана система стійка.

Для перевірки, дослідимо систему на стійкість по критерію Гурвіца. Для цього знайдемо передавальну функцію замкнутої системи за формулою:

$$W_3(p) = \frac{W_p(p) \cdot W_o(p)}{1 + W_p(p) \cdot W_o(p)} \quad (3.8)$$

Підставляємо в формулу (3.8) значення $W_o(p)$ і $W_p(p)$, тоді отримуємо:

$$W_3(p) = \frac{\frac{1972,097p^2 + 53,67p + 1}{269750,41p^3 + 10679,12p^2 + 166,43p + 1} \cdot \frac{8,8483p + 0,43356}{p}}{1 + \frac{1972,097p^2 + 53,67p + 1}{269750,41p^3 + 10679,12p^2 + 166,43p + 1} \cdot \frac{8,8483p + 0,43356}{p}}$$

Після нескладних алгебраїчних перетворень отримуємо

$$W_3(p) = \frac{17449,7p^3 + 1329,9p^2 + 32,1p + 0,43}{269750,4p^4 + 28128,8p^3 + 1496,33p^2 + 33,1p + 0,43} \quad (3.9)$$

Виходячи з виразу (3.9) складаємо характеристичне рівняння системи:

$$269750,4p^4 + 28128,8p^3 + 1496,33p^2 + 33,1p + 0,43 = 0 \quad (3.10)$$

Як видно всі коефіцієнти характеристичного рівняння (3.10) додатні, тобто необхідна умова стійкості виконується.

Для визначення достатніх умов стійкості складаємо матрицю Гурвіца

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 28128,8 & 33,1 & 0 & 0 \\ 269750,4 & 1496,33 & 0,43 & 0 \\ 0 & 28128,8 & 33,1 & 0 \\ 0 & 269750,4 & 1496,33 & 0,43 \end{vmatrix} = 3,257 \cdot 10^8 > 0.$$

Складаємо доповнюючі матриці

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 28128,8 & 33,1 & 0 \\ 269750,4 & 1496,33 & 0,43 \\ 0 & 28128,8 & 33,1 \end{vmatrix} = 7,574 \cdot 10^8 > 0;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 28128,8 & 33,1 \\ 269750,4 & 1496,33 \end{vmatrix} = 3,316 \cdot 10^7 > 0;$$

$$\Delta_1 = |28128,8| = 28128,8 > 0.$$

Оскільки всі доповнюючі матриці більші нуля, то згідно критерію Гурвіца система є стійка.

Реакція системи на вхідне збурення показана на рисунку 3.6.

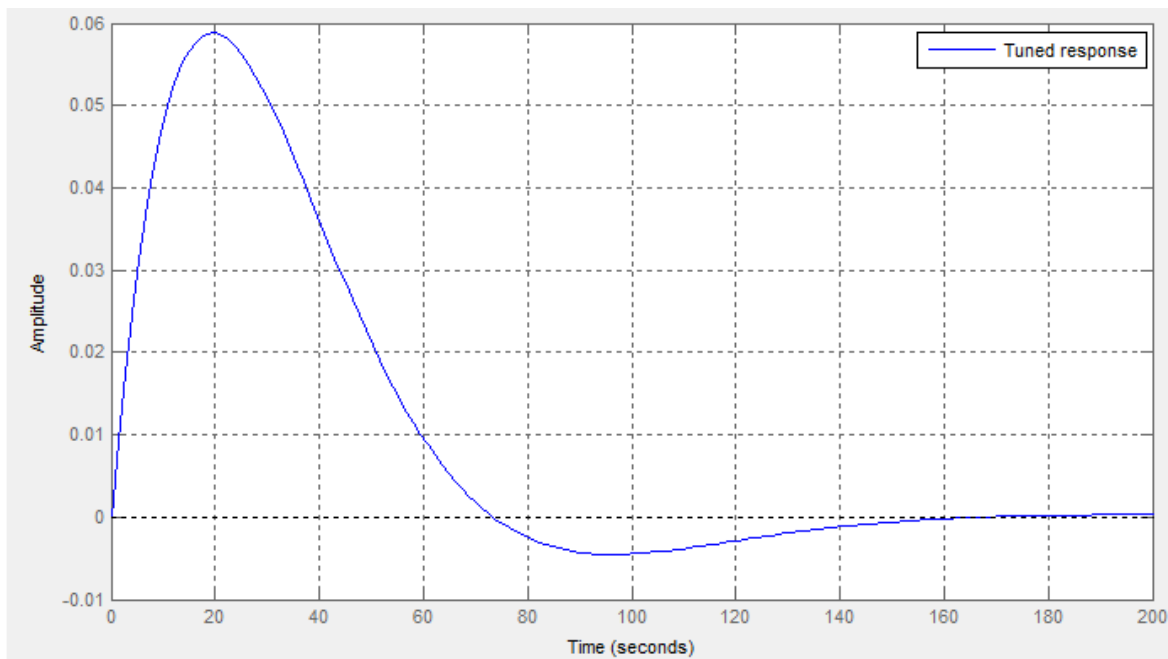


Рис. 3.6. Реакція системи на вхідне збурення.

3.1.5 Визначення запасу стійкості одноконтурної системи

При проектуванні систем для забезпечення доброї якості керування задаються запасом стійкості по амплітуді $\Delta A \geq 0,5 \div 0,6$ і по фазі $\Delta \varphi \geq 30 \div 60^\circ$. Для визначення запасу стійкості системи по фазі і амплітуді скористаємось програмним пакетом Matlab. Програма показана в додатку Г. Результати програми показані на рисунку 3.7.

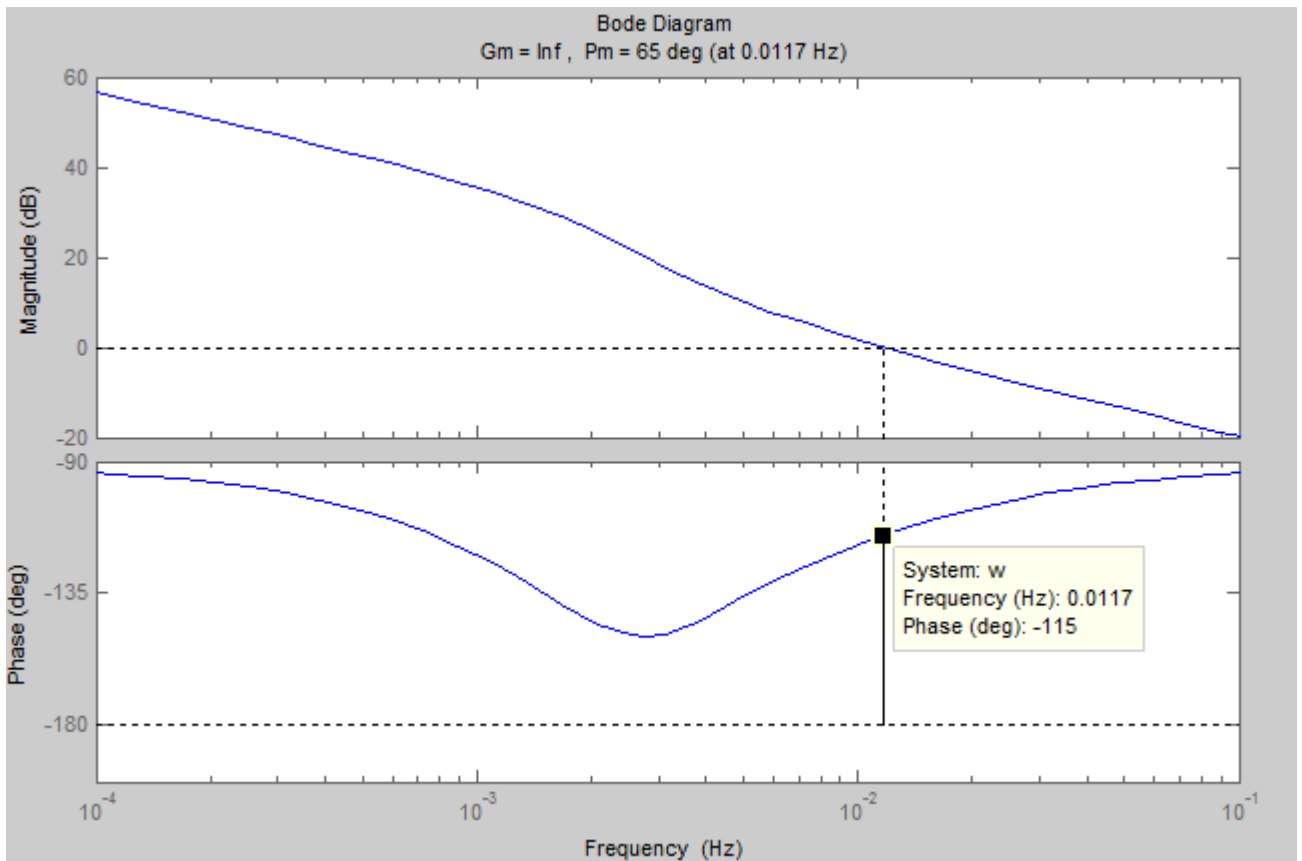


Рис. 3.7. ЛАХ і ЛФХ розімкнутого контуру

Як видно з рисунку 3.6 запас стійкості по фазі становить:

$$\Delta\varphi = 180 - 115 = 65^\circ \quad (3.11)$$

Оскільки ЛФХ не перетинає лінію 180° (-180°), то система має достатньо великий запас стійкості по амплітуді. Як бачимо отримані з розрахунку значення задовольняють всі умови.

3.1.6 Визначення показників якості системи

Для визначення показників якості систем необхідно отримати перехідний процес цієї системи.

Для отримання перехідних процесів використаємо ЕОМ, а саме програму Mathcad.

Графічно це показано на рисунку 3.8.

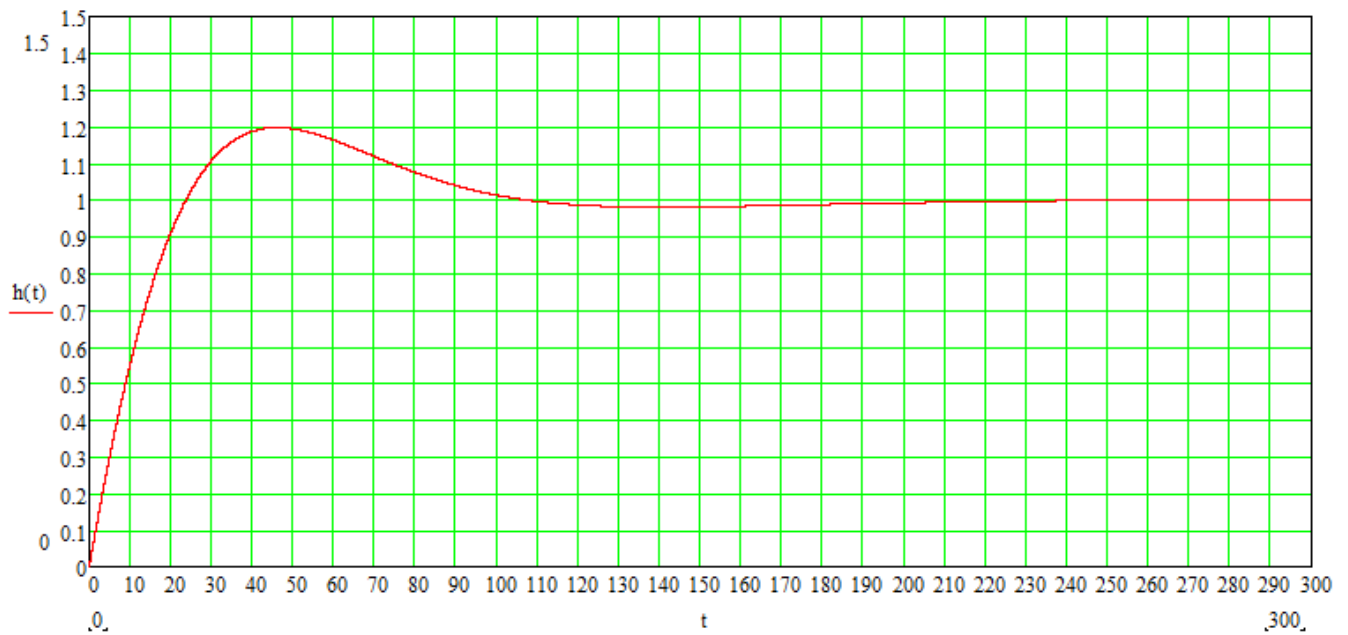


Рис. 3.8. Перехідний процес одноконтурної АСР.

З рисунка 3.8 визначимо прямі показники якості.

а) перерегулювання:

$$\sigma = \frac{A1}{X(\infty)} * 100\% = \frac{0,2}{1} * 100\% = 20\% \quad (3.12)$$

б) степінь затухання:

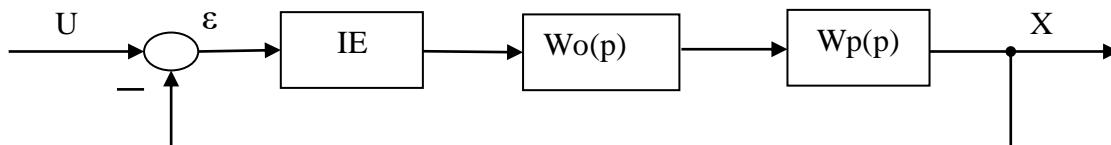
$$\varphi = \frac{A1-A3}{A1} = \frac{0,2-0}{0,2} = 1 \quad (3.13)$$

в) час регулювання $t_n = 97c$.

3.2. Розрахунок цифрової системи керування

3.2.1 Розрахунок дискретної передавальної функції керованого об'єкта

Структурна схема цифрової системи автоматичного регулювання зображена на рисунку 3.9.



де $W_o(p)$ – передавальна функція об'єкта керування;

IE – імпульсний елемент;

$W_p(p)$ – передавальна функція регулятора.

Рис. 3.9. Структурна схема цифрової АСР

Імпульсний елемент перетворює неперервний сигнал U в послідовність короткочасних рівновіддалених один від одного імпульсів, площі яких рівні значенням вхідного сигналу в дискретні моменти часу.

Передавальна функція імпульсного елемента, наступна

$$W_i(p) = \frac{1 - e^{-p}}{p} \quad (3.14)$$

Запишемо передавальну функцію об'єкта керування, формула (3.3).

$$W_o(p) = \frac{1972,097p^2 + 53,67p + 1}{269750,411p^3 + 10679,119p^2 + 166,43p + 1}$$

Знайдемо дискретну передавальну функцію керованого об'єкта

$$W_o(z) = Z \left\{ \frac{1 - e^{-p}}{p} W_o(p) \right\}. \quad (3.15)$$

Дану формулу можна переписати в іншому вигляді

$$W_o(z) = (1 - z^{-1}) \cdot Z \left\{ \frac{W_o(p)}{p} \right\} \quad (3.16)$$

Відповідні математичні операції проведемо, використовуючи програмний пакет MathCAD. Запишемо імпульсну передавальну функцію об'єкта керування.

$$W_o(z) = \frac{0,0072z^3 - 0,014z^2 + 0,007z}{z^3 - 2,96z^2 + 2,92z - 0,6} \quad (3.17)$$

3.2.2 Розрахунок параметрів налаштування дискретного регулятора

Передавальна функція цифрового ПІ-регулятора має вигляд:

$$W_p(z) = \frac{Iz+P}{z-1} \quad (3.18)$$

Здійснимо розрахунок оптимальних параметрів налагодження за допомогою ЕОМ, використовуючи підпрограму Simulink, в пакеті програм Matlab.

Як видно з результатів роздруківки (додаток Д) отримуємо такі оптимальні параметри дискретного ПІ-регулятора.

$P=249,4$;

$I=399,9$.

Отже, передавальна функція регулятора запишеться:

$$W_p(z) = \frac{399,9z+249,4}{z-1} \quad (3.19)$$

Ці параметри налагодження регулятора і будемо використовувати для подальших розрахунків.

3.2.3 Дослідження цифрової САР на стійкість

Для перевірки системи на стійкість знайдемо передавальну функцію замкнутої цифрової системи.

$$W_3(z) = \frac{W_p(z) \cdot W_o(z)}{1+W_p(z) \cdot W_o(z)} \quad (3.20)$$

Підставляємо в формулу (3.18) значення $W_o(z)$ і $W_p(z)$, тоді отримаємо:

$$W_3(z) = \frac{\frac{0,0072z^3-0,014z^2+0,007z}{z^3-2,96z^2+2,92z-0,6} \cdot \frac{399,9z+249,4}{z-1}}{1 + \frac{0,0072z^3-0,014z^2+0,007z}{z^3-2,96z^2+2,92z-0,6} \cdot \frac{399,9z+249,4}{z-1}}$$

Після нескладних алгебраїчних перетворень отримаємо:

$$W_3(z) = \frac{2,88z^4 - 3,8z^3 - 0,69z^2 + 1,75z}{3,88z^4 - 7,76z^3 + 5,19z^2 - 1,77z + 0,6} \quad (3.21)$$

Запишемо характеристичне рівняння замкнутої системи.

$$3,88z^4 - 7,76z^3 + 5,19z^2 - 1,77z + 0,6 = 0 \quad (3.22)$$

Використовуємо білінійне перетворення:

$$z = \frac{1 + w}{1 - w}$$

Отримаємо:

$$3,88 \left(\frac{1+w}{1-w} \right)^4 - 7,76 \left(\frac{1+w}{1-w} \right)^3 + 5,19 \left(\frac{1+w}{1-w} \right)^2 - 1,77 \frac{1+w}{1-w} + 0,6 = 0 \quad (3.23)$$

Звівши рівняння 3.23 до спільного знаменника та прирівнявши чисельник до нуля, отримаємо:

$$19,2w^4 + 25,1w^3 + 16,5w^2 + 1,14w + 0,14 = 0 \quad (3.24)$$

Знайдемо корені рівняння 3.22 за допомогою програмного пакету Mathcad.

$$h := \begin{pmatrix} 0.14 \\ 1.14 \\ 16.5 \\ 25.1 \\ 19.2 \end{pmatrix} \quad \text{polyroots}(h) = \begin{pmatrix} -0.623 - 0.621i \\ -0.623 + 0.621i \\ -0.031 + 0.092i \\ -0.031 - 0.092i \end{pmatrix}$$

Проставимо корені на комплексній площині з колом радіусом $r=1$. Результати показані на рисунку 3.8.

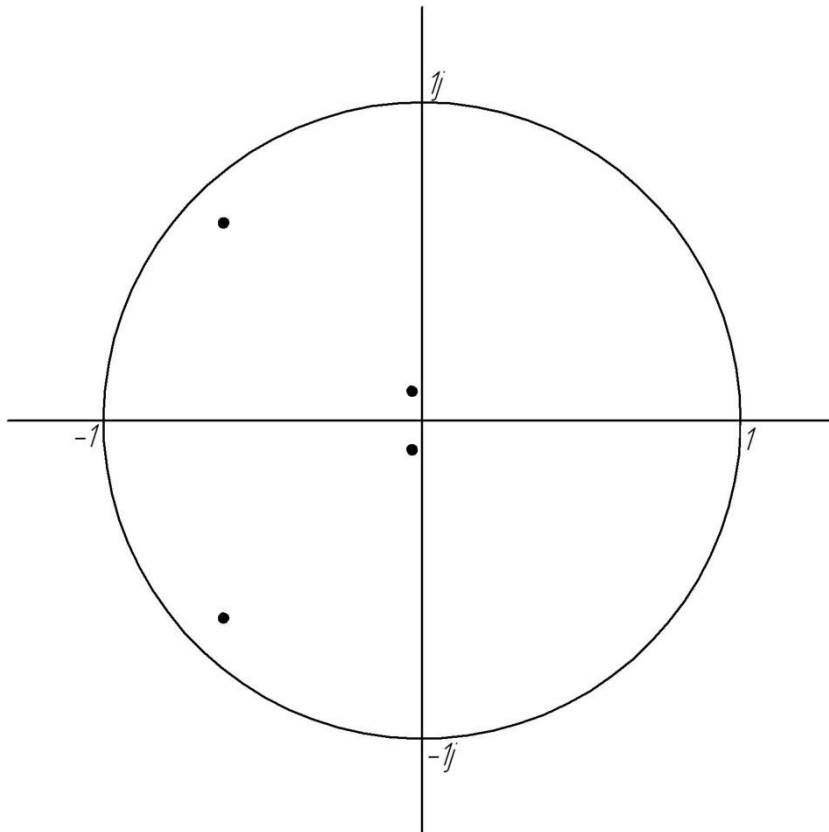


Рис. 3.10. Корені рівняння 3.23 на комплексній площині з одиничним радіусом

Як видно з розрахунків та рисунка 3.10 корені рівняння 3.23 знаходяться в лівій частині комплексної площини і не виходять за межі одиничного кола. Отже можна зробити висновок що система стійка.

Для перевірки проведемо дослідження на стійкість за критерієм Гурвіца. Як видно всі коефіцієнти рівняння (3.23) додатні, тобто необхідна умова стійкості виконується.

Для визначення достатніх умов стійкості складаємо матрицю Гурвіца

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 25,1 & 1,14 & 0 & 0 \\ 16,2 & 16,5 & 0,14 & 0 \\ 0 & 25,1 & 1,14 & 0 \\ 0 & 19,2 & 16,5 & 1,14 \end{vmatrix} = 50,2 > 0.$$

Складаємо доповнюючі матриці

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 25,1 & 1,14 & 0 \\ 16,2 & 16,5 & 0,14 \\ 0 & 25,1 & 1,14 \end{vmatrix} = 362,8 > 0;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 25,1 & 1,14 \\ 16,2 & 16,5 \end{vmatrix} = 395,7 > 0;$$

$$\Delta_1 = |25,1| = 25,1 > 0.$$

Оскільки всі доповнюючі матриці більші нуля, то згідно критерію Гурвіца система є стійка.

Реакція цифрової системи на вхідне збурення зображена на рисунку 3.11.

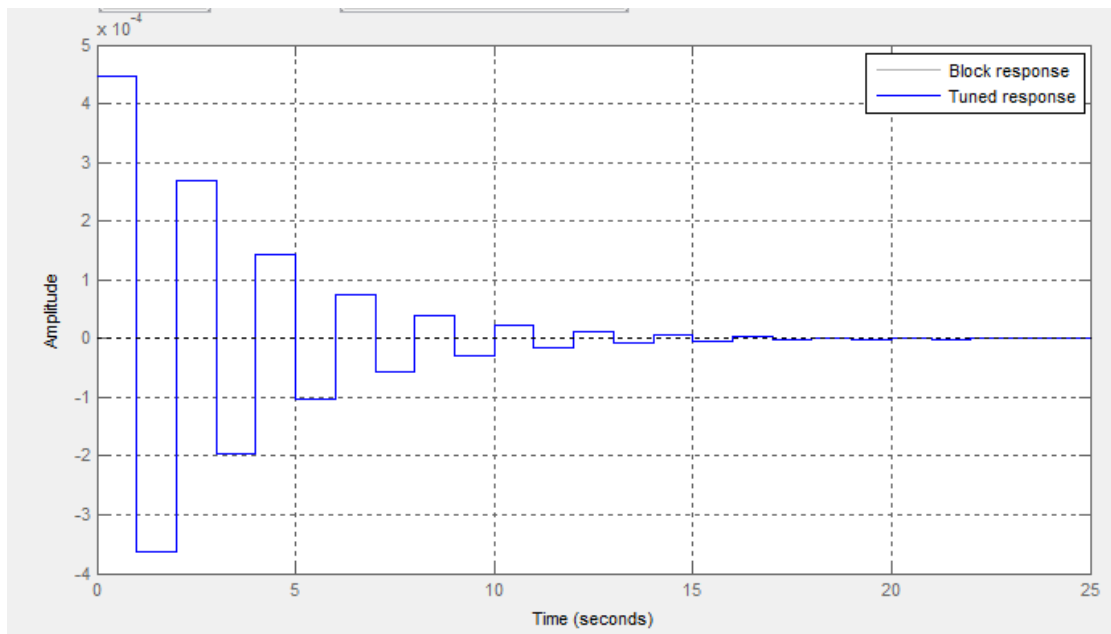


Рис. 3.11. Реакція цифрової системи на вхідне збурення.

3.2.4 Визначення показників якості цифрової САР

Для визначення показників якості систем необхідно отримати перехідний процес цієї системи.

Для отримання перехідних процесів використаємо ЕОМ, а саме програму Mathcad.

Графічно це показано на рисунку 3.12.

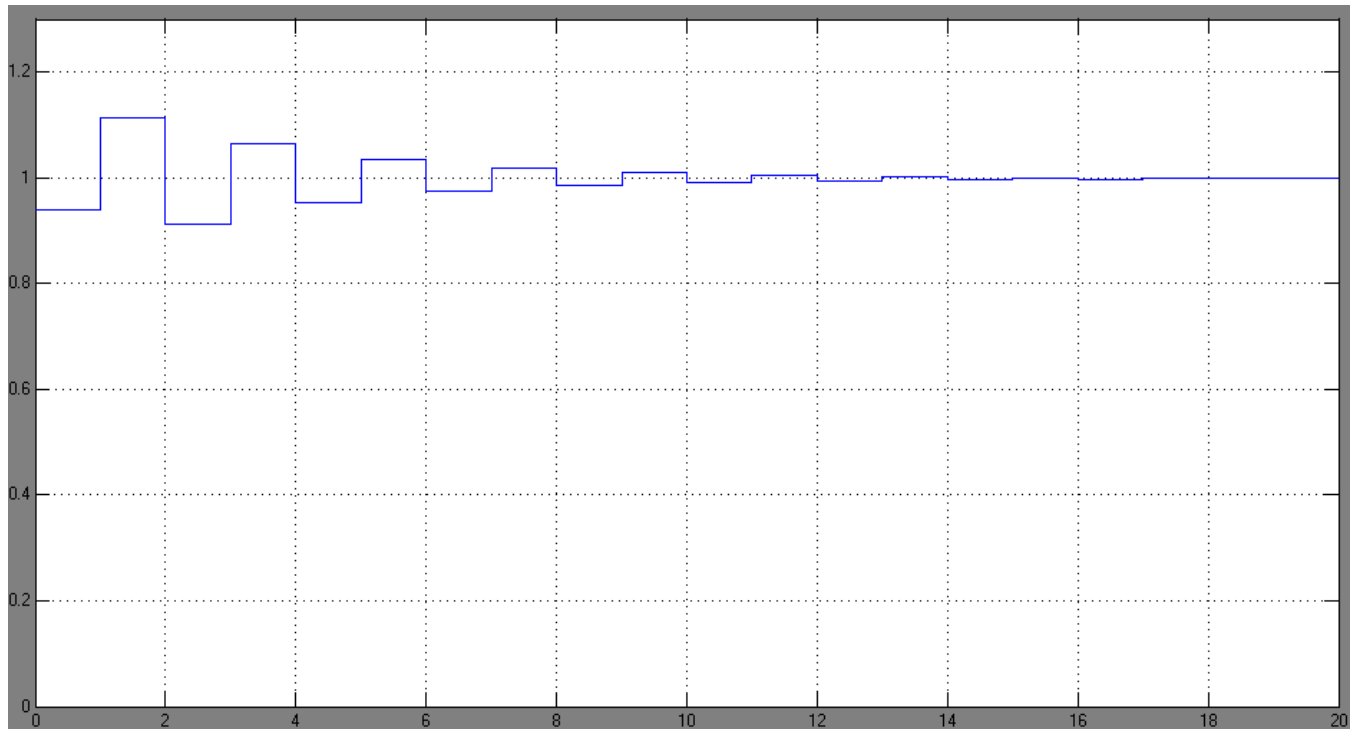


Рис. 3.12. Перехідна характеристика цифрової САР.

З рисунка 3.10 визначимо прямі показники якості.

а) перерегулювання:

$$\sigma = \frac{A1}{X(\infty)} * 100\% = \frac{0,11}{1} * 100\% = 11\% \quad (3.12)$$

б) степiнь затування:

$$\varphi = \frac{A1-A3}{A1} = \frac{0,11-0,07}{0,11} = 0,37 \quad (3.13)$$

в) час регулювання $t_n = 15c$.

Висновки до розділу 3

В даному розділі магістерської роботи розглянуте питання створення експериментальної моделі каркасно-засипного фільтра на установці доочищення біологічно-очищених стоків.

У межах даного розділу було розглянуто ключові принципи, методи та технічні рішення щодо автоматизації процесу доочищення біологічно-очищених стічних вод. Аналіз існуючих технологічних схем та їхніх недоліків засвідчив, що

традиційні системи керування, засновані на періодичних вимірюваннях та ручному регулюванні, не забезпечують необхідної стабільності параметрів очищення та раціонального використання енергоресурсів. Особливої уваги потребують процедури керування аерацією, дозуванням реагентів і підтриманням оптимальних гідравлічних режимів, оскільки саме ці стадії є найбільш чутливими до змін у складі стічних вод та впливу зовнішніх збурень.

Проведене дослідження дало змогу визначити оптимальні напрямки автоматизації, що передбачають використання сучасних сенсорів, інтелектуальних систем діагностування стану процесу та адаптивних регуляторів. Застосування таких рішень забезпечує безперервний моніторинг показників, оперативне реагування на зміни навантаження та формування керуючих впливів, спрямованих на стабілізацію якості очищення. Автоматизовані системи дозволяють мінімізувати надлишкове енергоспоживання, запобігати перевантаженням технологічного обладнання та підвищувати надійність роботи очисних споруд у цілому.

Узагальнюючи результати виконаної роботи, можна зробити висновок, що впровадження комплексної автоматизації процесу доочищення біологічно-очищених стоків є необхідною умовою підвищення енергоефективності, технологічної стійкості та екологічної безпеки водоочисних систем. Запропоновані підходи формують науково обґрунтоване підґрунтя для подальшого вдосконалення систем керування та впровадження сучасних енергоощадних технологій на очисних спорудах різної продуктивності.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ОСНОВНИХ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ ПО АВТОМАТИЗАЦІЇ

4.1 Вимоги до проектування і експлуатації систем управління

При експлуатації системи керування технологічними процесами повинні забезпечити:

- контроль за станом тепломеханічного обладнання;
- захист обладнання та системи його керування, надійність і економічність його роботи.

Всі передбачені проектом пристрої автоматичного регулювання, дистанційного і логічного управління, технологічних захистів, сигналізації, блокування, вимірювання, інформаційних і керуючих обчислювальних систем постійно повинні бути в експлуатації при роботі обладнання.

Персонал, який обслуговує системи управління, повинен постійно забезпечувати їх надійну роботу і ремонт.

Персонал, що обслуговує технологічне обладнання, повинен своєчасно вводити в роботу і ефективно використовувати системи керування.

Відповідальність за збереження і чистоту зовнішніх частин пристроїв систем керування несе персонал цехів, діляниць підприємства, де встановлені системи керування.

Технічне обслуговування, біжучий і капітальний ремонт засобів керування організовують за графіком, затвердженим головним інженером.

Щити шафні повинні бути надійно ущільнені, з закритими дверима; мати постійне освітлення та штепсельні розетки з напругою 12 і 220В. Між місцем розташування місцевих приладів, панелей, зборок, засувок та оперативним щитом керування повинен існувати телефонний зв'язок.

На апаратурі, встановленій на панелях, пультах по місцю, первинних перетворювачах, запірній арматурі і зборках затискачів повинні бути зроблені чіткі написи про їх призначення.

Щити, перехідні коробки, виконавчі механізми, всі затискачі і кабелі, що до них підходять, проводи і жилки кабелів повинні мати маркування.

Біля відбірних пристроїв, первинних перетворювачів і виконавчих механізмів повинні бути площадки для їх обслуговування.

Заборонено в одному кабелі прокладати силові і вимірювальні кола. Прокладка силових і вимірювальних кабельних ліній повинна відповідати вимогам протипожежної безпеки.

Вимоги до електроживлення:

Електроживлення систем управління здійснюється за групами споживачів:

- технологічні захисти та їх інтерфейс;
- пристрої дистанційного керування і їх інтерфейс;
- прилади технологічного контролю і їх інтерфейс;
- пристрої аварійної попереджувальної сигналізації;
- засоби автоматичного регулювання;
- засоби обчислювальної техніки.

Розподіл по підгрупах, групах повинен здійснюватись через самостійні апарати захисту, які повинні забезпечити селективне вимикання пошкоджених ділянок і ремонт елементів мережі електроживлення без зупинки основного обладнання.

Дія сигналізації повинна бути забезпечена при повній втраті живлення будь-якої групи споживачів, чи одного зі введів.

Справність систем автоматичного вмикання резерву перевіряється за графіком, затвердженим головним інженером.

Температура оточуючого повітря, вологість, вібрація, радіація, напруженість зовнішніх електричних і магнітних полів, запиленість в місцях встановлення

засобів управління не повинні перевищувати значень, що допускають стандарти і технічні умови.

Вимоги до захистів:

Введення в експлуатацію технологічних захистів після монтажу або реконструкції проводиться за розпорядженням головного інженера. Вимикати з роботи справні захисти заборонено. Захисти повинні бути виведені з роботи в наступних випадках:

- при роботі обладнання в перехідних режимах, коли необхідність вимикань захисту визначена інструкцією по експлуатацію основного обладнання;
- при очевидній несправності захисту, з обов'язковим повідомленням головного інженера і оформленням відповідного запису в оперативній документації;
- для періодичної перевірки згідно графіку.

Проводити ремонтні роботи і налагоджувальні роботи в колах працюючого захисту заборонено.

Технічні засоби систем захисту (первинні вимірювальні перетворювачі, вимірювальні прилади, зборки затискачів, ключі і перемикачі, запірні арматура імпульсних ліній) повинні мати відмітні зовнішні ознаки, фарбування.

На панелях захистів з обох сторін на встановленій на них апаратурі повинні бути написи, що вказують їх приналежність. Апаратура захисту, що має пристрої для зміни уставок, повинна бути опломбована. Зняття пломб дозволене працівникам служби захистів тільки при вимкнених пристроях захисту.

Технологічні захисти, які працюють на вимкнення обладнання, повинні бути оснащені безперервно працюючими пристроєм, який фіксує причину їх спрацювання.

4.2 Вибір технічних засобів автоматизації

Розглянувши технологічний об'єкт та особливості його роботи, вимоги до

технологічних параметрів та загальний рівень автоматизації досліджуваного виробництва здійснимо вибір технічних засобів автоматизації.

Комплекс технічних засобів включає в себе: засоби отримання інформації про стан технологічного процесу, засоби формування та передачі інформації, засоби представлення інформації обслуговуючому персоналу, виконавчі механізми.

Оскільки досліджування виробництва відноситься до пожежо- та вибухонебезпечних, то у відповідності до цієї специфіки проводимо вибір конкретних типів технічних засобів. Встановлені по місцю первинні перетворювачі та прилади в операторній виконані в іскробезпечному виконанні.

Оскільки на установці контролюється та регулюється ряд однотипних параметрів технологічного процесу, то в систему приладів ТЗА входять однакові автоматичні пристрої, що значно полегшує їх використання та експлуатацію, налаштування та ремонт.

Вибираючи ТЗА, віддаємо перевагу використанню автоматичних пристроїв серійного виробництва.

4.1.1 Вимірювання тиску на насосах

Тиски на всіх насосах не перевищують 0,37 МПа. В зв'язку з цим вибираємо манометр типу МПЗ-УУ2 з діапазоном вимірювання 0-6 кгс/см². Стійкі до природніх температур від -50 до +60°C. Клас точності 1,5. Прилад витримує дію вібрації в діапазоні частот від 5 до 25 Гц з амплітудою 0,1 мм.

4.1.2 Вимірювання тиску на трубопроводі стисненого повітря

Максимальний тиск в трубопроводі 0,65 кгс/см². Вибираємо манометр електроконтактний МТ-4С з діапазоном вимірювання 0-10 кгс/см². Клас точності приладу – 1,5.

4.1.3 Вимірювання перепаду тиски на фільтрах

Для додаткової сигналізації рівня у фільтрах вимірюється і сигналізується перепад тиску у цих апаратах. Сигналізація повинна спрацьовувати при перепаді тиску $0,35 \text{ кгс/см}^2$. Вибираємо диференційний манометр, рівнемір показуючий ДСП-4Сг з гранично номінальним перепадом тиску 1 кгс/см^2 на надлишковий тиск 250 і 300 кгс/см^2 . Розрахований на температуру навколишнього середовища від -40 до $+70^\circ\text{C}$, вологість 80%. Клас точності 1,5.

4.1.4 Вибір давачів витрати

В якості давачів витрати використовуються такі прилади:

- на трубопроводі стисненого повітря (АО), а також на трубопроводі подачі промивної води в блок очищення органовмісних стоків встановлена діафрагма камерна ДКС6-250-П;
- на трубопроводі подачі стоків на фільтри встановлена діафрагма безкамерна з однією парою відбору імпульсу ДБС6-1000б;
- на трубопроводі виводу очищених стоків з фільтрів встановлена діафрагма безкамерна ДБС6-600б.

4.1.5 Вибір вторинних приладів

В якості вторинних приладів вимірювання витрати використовуємо прилад реєструючий Ш932.9А. Прилад фірми «Сенсорика» Ш932.9А – це шести каналний реєстратор економ класу з кольоровим TFTекраном 5,7". Призначений для використання в якості вимірювального, реєструючого і сигналізуючого пристрою, який працює автономно, або в складі системи. На дисплеї відображається така інформація:

- аналогові графіки;

- гістограми;
- цифрові значення;
- графіки дискретних сигналів;
- журнал подій.

5.1.6 Вибір давачів рівня

В якості давачів рівня використовуємо мікропроцесорні перетворювачі (давачі) тиску САПФІР-22 МПС. Перетворювачі вимірювальні Сапфір-22 МПС призначені для безперервного перетворення значення вимірюваного параметра, а також перетворення рівня в уніфікований струмовий вихідний сигнал і цифровий сигнал на основі HART-протоколу.

4.1.7 Вибір приладів регулювання рівня

Для керування технологічними параметрами вибираємо програмний регулятор фірми «СЕНСОРИКА», який має 6 каналів регулювання – ТР106П. Особливості цього приладу:

- 5,7" кольоровий TFT дисплей з підсвіткою;
- одночасно з регулюванням забезпечує реєстрацію регулюючих параметрів;
- комбіновані функції реєстратора і регулятора дозволяє значно пришвидшити і спростити процедуру оптимальної настройки ПД-регулятора;
- кольоровий графічний дисплей дозволяє відобразити задану часову діаграму регулюючого параметра і накладену на неї реальну діаграму процесу;
- можливість роботи в стартозупному режимі з керуванням по вхідним релейним сигналам (дистанційне керування);
- каскадне регулювання;
- програмне регулювання;

- можлива робота з регуляторами типу TP101, TP101П, TP102П для збільшення каналів регулювання.

Регулятор TP106П має 6 універсальних аналогових входів, 6 дискретних входів, 6 математичних каналів. В приладі присутній блок живлення датчиків 4-20мА. Кількість програм регулювання – до 30 програм по 99 сегментів. Результати вимірювання архівуються на внутрішню енергонезалежну пам'ять, або на транспортний носій (USB-Flash 1Гб). Інтерфейси: RS232, RS485 (протокол MODBUS), USB, Ethernet. Період опитування вхідних аналогових і дискретних сигналів від 0,6с. Клас точності приладу 0,1.

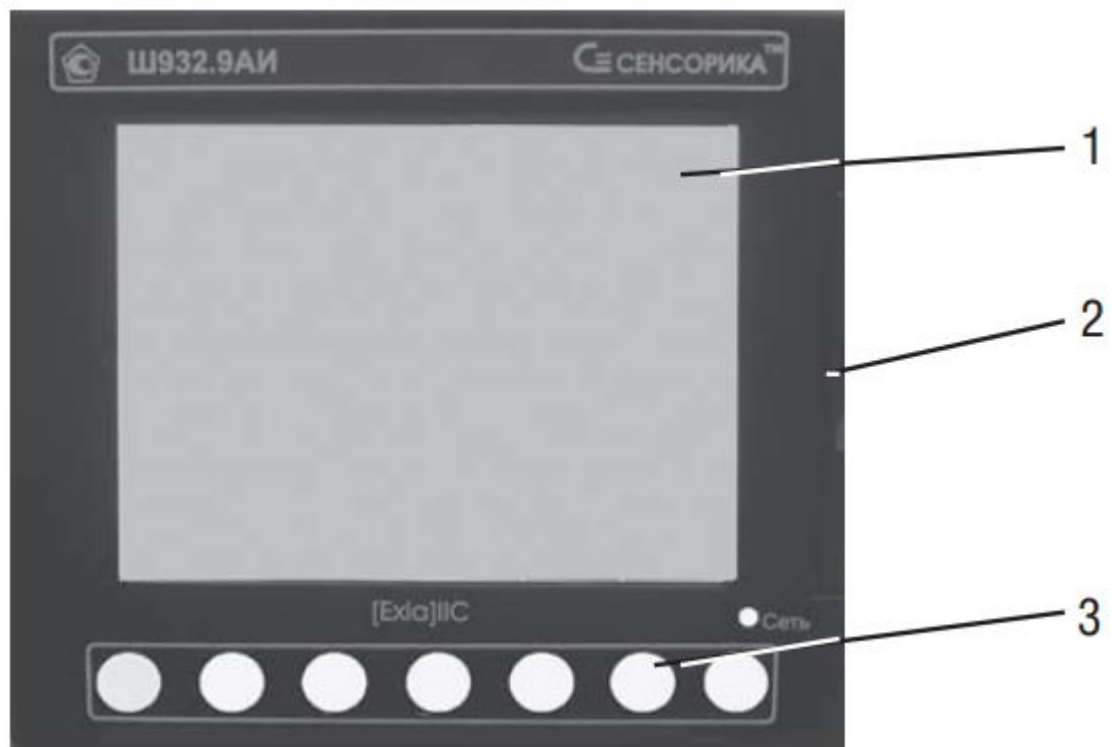
Елементи індикації і правління регулятора TP106П зображені на рисунку 4.1.

4.1.8 Вибір давача концентрації

Показник концентрації водневих іонів не повинен перевищувати 8,5. Вибираємо електрод ЭСП-04-14, з діапазоном вимірювання від 0 до 12 рН. Температура вимірюного середовища від 0 до 40°C.

4.1.9 Вибір вторинного приладу контролю якості

Для контролю концентрації водневих іонів використовуємо перетворювач П-215. Призначений для перетворення ЕРС електродної системи в аналоговий електричний сигнал постійного струму і напруги при вимірюванні рН, рХ і редокспотенціала в технологічних водних розчинах і пульпа, в системах автоматичного контролю та регулювання технологічних процесів.



- 1- Кольоровий TFT дисплей 5,7";
- 2- Роз'єми USB і PS/2;
- 3- Клавіатура управління.

Рис. 4.1. Зовнішній вид передньої панелі TP106П.

4.1.10 Вибір вторинного приладу контролю якості

Для контролю концентрації водневих іонів використовуємо перетворювач П-215. Призначений для перетворення ЕРС електродної системи в аналоговий електричний сигнал постійного струму і напруги при вимірюванні рН, рХ і редокспотенціала в технологічних водних розчинах і пульпа, в системах автоматичного контролю та регулювання технологічних процесів.

4.1.11 Додаткові засоби автоматизації

Регулювання рівня в дренажних приймачах і резервуарах відфільтрованої води здійснюється за допомогою регулятора сигналізатора рівня ESP-50. Сигналізатор ESP-50 призначений для сигналізації і управління рівнем рідини з гарною і слабкою електричною провідністю у відкритих або закритих резервуарах. Застосовується для звукової, оптичної сигналізації, для регулювання рівня, самостійного випорожнення або наповнення таких об'єктів, як резервуари питної води, резервуари молока, відстійники стоків, резервуари конденсаторів, пневматичні водонапірні установки, котли, резервуари з хімікатами, резервуари напоїв і продовольчих товарів, іригаційні резервуари та інші.

Контроль і сигналізація рівня в баку для хлорування здійснюється за допомогою регулятора сигналізатора рівня БКС.

4.3 Розробка функціональної схеми автоматизації

Функціональна система автоматизації (ФСА) – це основний технічний документ, який визначає функціональну структуру і об'єкт автоматизації технологічної установки.

Прилади і засоби автоматизації, електричні пристрої і елементи обчислювальної техніки на ФСА показані у відповідності з діючими ГОСТ 21.407.

Функціональну схему виконують на одному листі, на якому зображують засоби автоматизації і апаратуру всіх систем контролю, регулювання і сигналізації, яка відноситься до заданої установки.

Допоміжні пристрої: редуктори, фільтри для повітря, джерела живлення, реле, автомати, вимикачі, з'єднувальні коробки та інші пристрої і монтажні елементи на ФСА не зображують.

Функціональні схеми автоматизації виконують спрощеними і розгорнутими. Спрощена схема ФСА не відображає організацію пунктів контролю і керування об'єктом. При розгорнутому способі на схемах показують:

відбірні пристрої, давачі, перетворювачі, вторинні прилади, виконавчі механізми, регулюючі ізапірні органи, апаратуру управління і сигналізації.

Прямокутники щитів і пультів розташовують в нижній або верхній частині креслення.

Прилади або засоби автоматизації, які розташовані поза щитами і які не зв'язані безпосередньо з технологічним обладнанням і трубопроводами розташовують в прямокутнику "Прилади місцеві". Первинні вимірювальні перетворювачі, відбірні і приймальні пристрої, які вмонтовуються в технологічні апарати і трубопроводи на ФСА не зображуються.

Всім приладам і засобам автоматизації, зображення на ФСА, присвоюють позиційне позначення. Позиційне позначення виконують арабськими цифрами – номер функціональної групи і букв українського алфавіту. Буквенні позначення присвоюють кожному елементу функціональної групи в порядку абетки в залежності від послідовності проходження сигналу – від пристрою отримання інформації до пристроїв впливу на керований процес. Технологічне обладнання і комунікації на ФСА зображують, як правило, спрощено.

На технологічних трубопроводах показують регулюючу запірну апаратуру, яка безпосередньо бере участь в контролі і керуванні процесом.

4.4 Проектування схеми зовнішніх з'єднань

Схеми зовнішніх з'єднань – це комбінована схема, на якій зображуються зовнішні підключення апаратів, установки щитів, пультів, та електричні і трубні зв'язки між приладами і засобами автоматизації, установленими на технологічному обладнанні, поза щитами і на щитах. Основними документами при проектуванні і функціонуванні є: схеми автоматизації технологічними процесами; специфікація на обладнання та технічні засоби автоматизації; принципові електричні та пневматичні схеми.

Схеми зовнішніх з'єднань проводок виконують на основі функціональних схем, типових електричних схем управління і сигналізації. Вони виконуються у вигляді комбінованих схем, де на одному кресленні показують схеми електричних і трубних проводок, у вигляді суміщених схем, де на одному кресленні показують схеми електричних проводок і підключення проводок, а також кабелів зовнішнього монтажу до затискачів, роз'ємів. Для зменшення кількості кабелів, труб, а також спрощення монтажу і його здешевлення передбачені з'єднуючі коробки і коробки перебірних з'єднань.

При виконанні схем підключень за допомогою умовних графічних зображень показують: відбірні пристрої і первинні перетворювачі, щити, пульти та місцеві пункти управління, контролю та сигналізації вимірювання; поза щитові прилади та засоби автоматизації; з'єднувальні та протяжні коробки; електропроводки та кабелі, які прокладені поза щитами, запірну арматуру, комутаційні затискачі, розташовані поза щитами; захисне заземлення.

Шафи з окремими приладами умовно позначені у вигляді прямокутників і кіл, всередині яких розміщується відповідні надписи.

Зв'язки одного призначення на схемах підключень зображуємо суцільною лінією і лише в місцях приєднання до приладів, виконавчих механізмів проводи розрізняють, щоб привести їх маркування.

На лініях зв'язку, які позначають проводи і кабелі вказуємо номер проводки, марку, переріз, довжину. Якщо проводка виконується в трубі, то необхідно привести характеристику труби.

Схеми узгоджуються з кресленнями загального вигляду щитів, а також з планами розміщення ЗА. В загальному випадку схеми зовнішніх проводок повинні вміщувати: місцеві пункти контролю і управління, позащитові прилади і ЗА, з'єднуючі і протяжні коробки, електричні і трубні проводки, підвід стиснутого повітря, основний надпис, технологічні вказівки, таблиця умовних графічних позначень і перелік кабелів, проводок та монтажної арматури.

Схеми зовнішніх з'єднань виконуються без дотримання масштабу. На цій схемі під'єднання зроблено таким чином:

- давачі витрати, які встановлені на трубопроводах з'єднуються із первинними перетворювачами, які встановлені в місцевій шафі, за допомогою кабеля ПВХ, який входить в комплект поставки витратомірів;

- всі перетворювачі тиску, витрати, рівня, а також виконавчі механізми з'єднані із вторинними приладами за допомогою контрольних кабелів типу КВВБГ 4х1, які прокладені в коробі електричних проводок;

- живлення до перетворювачів, а також до виконавчих механізмів підводиться за допомогою кабелів типу КВВБГ 4х1.

Довжина всіх кабелів і труб вказані на схемі зовнішніх з'єднань, а загальна їх довжина кожного виду кабелів і труб приведено в таблиці над основним надписом. В цій таблиці вказано всі монтажні вироби і матеріали необхідні для зовнішніх з'єднань.

4.5 Обґрунтування розміщення засобів автоматизації на щиті керування

При розміщенні приладів на щиті береться до уваги зручність обслуговування, конструктивні особливості щита та самих приладів, а також вимоги техніки безпеки.

Наприклад, повинні строго дотримуватись мінімально допустимі відстані між корпусами приладів, що дозволяє забезпечити більше відкриття кришок приладів і є приєднання електричних ліній зв'язку. При розміщенні в середині щита установочних виробів, конструкцій, кабелів, пристроїв для їх кріплення, необхідно враховувати габарити виступаючих частин приладів. На щитах вирізають отвори, відповідно до конфігурації приладів.

При розміщенні приладів і засобів автоматизації на щиті слід мати на увазі зручність при роботі з цими приладами.

4.6 Методика перевірки та налагодження схем автоматизації

В об'єм та налагодження схем автоматизації входять:

- ознайомлення з проектними матеріалами: креслення, схеми і т. д.;
- перевірка наявності апаратури і обладнання автоматизацій, які є в проекті;
- огляд і перевірка відповідності між проектом і діючими нормативними матеріалами змонтованих електричних проводок, а також допоміжної апаратури ;
- перевірка наявності і правильності маркування, надписів і інших засобів інформації систем;
- відповідність підключення апаратури до схем ;
- перевірка апаратури окремо і системи в цілому.

Перевірка схем з'єднання електричної апаратури включає в себе: огляд схеми; перевірку цілісності і надійності компонентів; продзвонку окремих кіл; вимірювання опору ізоляції; перевірка ізоляції високою напругою; перевірка окремих ліній і загальну перевірку схеми. Огляд схеми проводиться з метою визначення якості монтажу.

Висновки до розділу4

У результаті проведеного аналізу та розробки проектних рішень щодо автоматизації процесу доочищення біологічно-очищених стоків було визначено ключові напрямки та складові ефективною автоматизованої системи керування. Було обґрунтовано вибір основних параметрів контролю та регулювання, включаючи рівень розчиненого кисню, концентрацію завислих речовин, витрати стоків, дозування реагентів та гідравлічні режими, які є критичними для стабільного і ефективного функціонування технологічного процесу.

Розроблені проектні рішення передбачають використання сучасних датчиків і сенсорних систем, інтегрованих у структуру керованого об'єкта, а також застосування адаптивних алгоритмів регулювання, здатних оперативно коригувати режими роботи обладнання відповідно до змінних умов надходження стоків. Такий підхід забезпечує підвищення стабільності технологічних параметрів, оптимізацію енергоспоживання та мінімізацію ризику перевантаження технологічних ланок.

Впровадження розроблених проектних рішень дозволяє створити гнучку, надійну та енергоефективну систему автоматизації, яка забезпечує стабільну якість очищення, підвищує ефективність використання ресурсів і сприяє зниженню експлуатаційних витрат очисних споруд. Таким чином, проведена робота формує науково обґрунтовану методичну основу для практичної реалізації автоматизованих систем керування процесом доочищення стічних вод на промислових та комунальних об'єктах.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській роботі було розроблено комплексну систему автоматизації процесу очищення промислових стоків, що забезпечує підвищення ефективності та надійності технологічного процесу. Запропонована автоматизована система керування передбачає централізоване управління технологічними стадіями із застосуванням програмних регуляторів ТР106П, що дозволяє оптимізувати роботу обладнання та підвищити точність регулювання. У роботі виконано детальний опис технологічної схеми установки очищення, а також наведено технічні характеристики основного обладнання — каркасно-засипних фільтрів, резервуарів та насосів. Проведено обґрунтований вибір параметрів контролю та регулювання, які є критичними для стабільної роботи системи.

Створено експериментальну модель каркасно-засипного фільтра, на основі якої визначено динамічні характеристики керованого об'єкта. Здійснено вибір регуляторів для одноконтурної та цифрової автоматичної системи регулювання (АСР) та розраховано оптимальні параметри їх налаштування. Проведено синтез і аналіз роботи АСР, що дозволив встановити, що цифрова система забезпечує якісніші показники регулювання у порівнянні з одноконтурною. Крім того, розраховано надійність контуру регулювання рівня рідини у фільтрі, що підтверджує стабільність і безпечність роботи системи.

Розглянуто технічну організацію автоматичної системи, включаючи вимоги до проектування та експлуатації, схеми електричних і трубних з'єднань, підключення регуляторів та обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації. Проведено метрологічний аналіз і забезпечення, розраховані метрологічні показники каналів вимірювання рівня рідини. Оцінено умови безпеки праці та техногенно-екологічні аспекти роботи установки, встановлено, що створені нормальні та безпечні умови експлуатації.

Впровадження розробленої системи автоматизації дозволяє знизити енергоспоживання, підвищити точність і стабільність технологічного процесу та

забезпечити економічну ефективність виробництва. Виконано розрахунок економічних показників та обґрунтовано доцільність впровадження системи на багатоканальних приладах. У підсумку, магістерська робота поєднує теоретичне обґрунтування та практичне застосування на реальному технологічному обладнанні, формуючи комплексну основу для підвищення продуктивності, безпеки та ефективності процесу очищення промислових стоків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стенцель Й.І. Автоматизація технологічних процесів хімічних виробництв: Навч. посібник. - К.: ІСДО, 1995. - 360 с.
2. Технологічний регламент цеху нейтралізації і очищення промислових стічних вод ТОВ «Карпатнафтохім».
3. Li Y., Ang K.H, Chong G.C.Y. Patents, software, and hardware for PID control. An overview and analysis of the current art // IEEE Control Systems Magazine. Feb.2006. P. 41-54.
4. Семенцов Г.Н. Теорія автоматичного керування. / Г.Н. Семенцов. – Івано-Франківськ, 1999.
5. Bova, S., Codara, P., Maccari, D., Marra, V. A., Logical analysis of Mamdani-type fuzzy inference, I theoretical bases, IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Barcelona, pp. 1-8, 2021.
6. Дранчук М.М. Методичні вказівки для індивідуальної підготовки студентів із курсів “Проектування, монтаж і експлуатація систем автоматизації” та “Автоматизація технологічних процесів” / Надійність технічних пристроїв автоматики та автоматичних систем керування / М.М. Дранчук , М.І. Когутяк , С.А. Чеховський.– Івано-Франківськ, 1991.
7. Автоматизація процесів переробки нафти та газу: навч. посіб. / Г.Н.Семенцов, М.І.Горбійчук, Л.І.Жуган, С.А.Чеховський. - Львів: Світ, 1992. - 352 с.
8. Горбійчук М.І. Моделювання об'єктів і систем керування в нафтовій та газовій промисловості: навч. посіб. Ч. 1. - Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1999. - 149 с.
9. Горбійчук М.І. Математичне моделювання на ЕОМ технологічних об'єктів: навч. посіб. - Івано-Франківськ: Факел, 2001. - 240 с.

10. Горбійчук М.І. Моделювання об'єктів і систем керування в нафтовій та газовій промисловості: навч. посіб. Ч. 2. - Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1999. - 226 с.
11. Compernelle, Tine & Witters, Nele & Van Passel, Steven & Thewys, Theo, 2011. "Analyzing a self-managed CHP system for greenhouse cultivation as a profitable way to reduce CO₂-emissions," Energy, Elsevier, vol. 36(4), pages 1940-1947. Режим доступу: <https://uhdSPACE.uhasselt.be/dSPACE/bitstream/1942/11943/1/compernelle%201.pdf>
12. Теорія систем керування: підручник / В. І. Корнієнко, О. Ю. Гусєв, О. В. Герасіна, В. П. Щокін. Дніпро: НГУ, 2017. 497 с.
13. Шаруда, В. Г. Дослідницька частина в кваліфікаційній роботі магістра [Текст]: навч. посіб. / В. Г. Шаруда, В. В. Ткачов, А. В. Бубликов; Держ. ВНЗ "Нац. гірн. ун-т". - Дніпропетровськ: НГУ, 2015. - 489 с.
14. Critten DL, Bailey VJ. A review of greenhouse engineering developments during the 1990s. Agricultural and Forest Meteorology 2002;122:1e22.
15. Directive 2004/8/EC of the European Parliament and of the Council of 11 February 2004.
16. Nielsen, B & Madsen, H 1995, 'Identification of Transfer Functions for Control of Greenhouse Air Temperature', Journal Agric. Engng.Res., vol. 60, сторінки. 25-34. Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021863485710931?>
17. Семенцов Г.Н. Планування та обробка результатів експерименту: навч. посіб. / Г.Н.Семенцов, Я.Р.Когуч, М.М.Дранчук. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2013. - 222 с.
18. Семенцов Г.Н. Теорія автоматичного управління (нелінійні та дискретні системи): навч. посіб. / Г.Н.Семенцов, І.І.Чигур. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014. - 96 с.
19. Aidan O`Dwyer Handbook PI and PID Controller Tuning Rules.—2nd Edition.— Ireland: Imperial College Press.— 545 p

20. Song, Yang (2018) Intelligent PID controller based on fuzzy logic control and neural network technology for indoor environment quality improvement. PhDthesis, University of Nottingham. Режим доступу:

http://eprints.nottingham.ac.uk/14300/1/Yang_PhD_Thesis.pdf

21. Лагойда А.І., Шавранський М.В., Когутяк М.І., Борин В.С., Чигур І.І. «Магістерська робота»: Методичні вказівки. – Івано-Франківськ: Факел, 2024. – 30 с.

22. Boryn V.S., Skrypyuk R.B., Kupets A.V. Improving energy efficiency of wastewater treatment processes through automation. Modern aspects of modernization of science: status, problems, development trends. Materials of the 62th International Scientific and Practical Conference. November 7, 2025, Shumen (Bulgaria). Pp. 99-102.

DOI: <https://doi.org/10.52058/62>