

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та
робототехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістр

Освітній рівень

Метод автоматизованого управління декарбонізатором при очищенні стічних

ВОД

Назва теми

КвРАКІТР.2023178.01.09 ПЗ

Галузь знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»

Шифр, назва

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

Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

Назва

Виконав:

студент II курсу, група АКІТРм-23-1

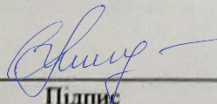


Підпис

Максим Загуровський

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник

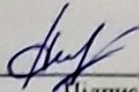


Підпис

Наталія МОРКУН

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер

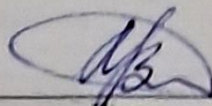


Підпис

Людмила КОРЕЦЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
зав. кафедри АКІТтаР



Підпис

Валерій МАРТИНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

« 19 » грудня 2024 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації

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

Освітня програма Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКИТтаР

Валерій МАРТИНЮК

01 вересня 2024р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Загуровському Максиму Сергійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи Метод автоматизованого управління декарбонізатором при очищенні стічних вод

Керівник роботи Моркун Наталія Володимирівна д.т.н., професор

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 26.08.2024 р. №60

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 02.12.2024р.


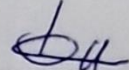
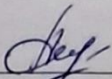
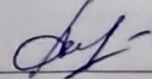
3 Вихідні дані до роботи Аналіз відомих устаткувань для очищення води. Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Характеристика технологічних процесів очищення стічних вод. Математична модель декарбонізатора у процесах очищення стічної води. Синтезування системи керування устаткуванням очищення води. Система контролю якості. Висновки.

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)
презентаційні матеріали (слайди)

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

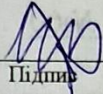
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., доцент кафедри АКИТтаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., доцент кафедри АКИТтаР		

7 Дата видачі завдання 01 вересня 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Вступ	10.09.2024р.	Виконано
2	Огляд літературних джерел та патентних даних	25.09.2024р.	Виконано
3	Огляд існуючих методів	15.10.2024р.	Виконано
4	Алгоритмічне проектування	30.10.2024р.	Виконано
5	Розробка програмного забезпечення	10.11.2024р.	Виконано
6	Висновки	15.11.2024р.	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки до ДР	20.11.2024р.	Виконано
7	Оформлення презентаційних матеріалів	1.12.2024р.	Виконано

Студент

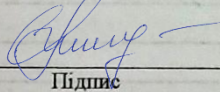


Підпис

Максим ЗАГУРОВСЬКИЙ

Ім'я, прізвище

Керівник роботи



Підпис

Наталія МОРКУН

Ім'я, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Метод автоматизованого управління декарбонізатором при очищенні стічних вод».

Автор роботи: Загуровський Максим Сергійович.

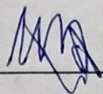
Керівник роботи: Моркун Наталія Володимирівна, д.т.н., професор

Пояснювальна записка: 85 с., 61 рис., 1 табл., 1 дод., 70 джерел.

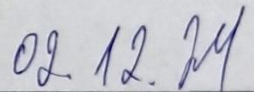
Графічна частина: 13 презентаційних слайдів.

ПРОЦЕС ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД, ДЕКАРБОНІЗАТОР,
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, АВТОМАТИЧНА
СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ.

Мета роботи: розробити метод автоматизованого управління декарбонізатором при очищенні стічних вод. Проведено аналіз інформації про існуючі способи та способи очищення стічних вод. Проаналізовано математичну модель та аналітичну модель існуючих технічних рішень декарбонізатора в процесі очищення стічних вод. Запропонована математична модель декарбюризатора. Рекомендується синтезувати систему управління декарбюризатором з кількома налаштуваннями. Розроблено автоматичну систему контролю якості продукції в режимі реального часу.



Підпис студента



Дата

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД.....	6
1.1 Загальні поняття очищення стічної води	6
1.2. Методи очистки стічних вод.....	9
1.3. Опис процесів очищення стічної води	14
1.4 Висновок до першого розділу.....	19
2.МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЕКАРБОНІЗАТОРА У ПРОЦЕСАХ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНОЇ ВОДИ.....	20
2.1 Побудова математичної моделі	20
2.2 Розрахунок параметрів налаштування схеми регулятора	28
2.3 Висновки до другого розділу	31
3 СИНТЕЗУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ УСТАТКУВАННЯМ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ	32
3.1 Розробка схеми керування	32
3.2 Аналіз налаштувань	32
3.3 Мінімальна швидкодія системи управління	36
3.4 Максимальна швидкість дії системи	37
3.5 Оптимальні настройки	39
3.5 Рекомендовані налаштування.....	42
3.5 Синтез МРС регулятора.....	45
3.6 Висновки до третього розділу	48
4 СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ.....	50
4.1. Структура системи контролю якості.....	50
4.2 Огляд структури бази даних для запропонованого рішення	54
4.3 Лістинг типових моделей та міграції	55
4.4 Опис процесу роботи	57
4.4 Схемотехнічна частина	59

4.5 Висновки до четвертого розділу.....	77
ВИСНОВКИ	78
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79
ДОДАТОК А Стаття у фаховому журналі.....	87

ВСТУП

Актуальність роботи Вода життєво важлива для Землі, і вона ніколи не перестає бути актуальною. Цей ресурс щодня використовується в різних сферах, як охолоджувач, як хімічна речовина, сировина тощо. Зрештою люди створюють нові технологічні системи, які є досконалішими, екологічно чистішими та ефективнішими. Незважаючи на досягнутий прогрес, ці системи не є непорушними, оскільки вода також є руйнівним компонентом.

Основною причиною, через яку забруднення поверхневих вод може спровокувати національну кризу, є нераціональне використання водних ресурсів, що порушує екологічні вимоги. Ця група розглянутих факторів є причинами виснаження та забруднення поверхневих вод, зниження здатності до самоочищення, деградації водних екосистем, бідності та дезінтеграції в Україні. З прискоренням урбанізації та розвитком промисловості та комунальних послуг кількість міських стічних вод, які потребують очищення, продовжує збільшуватися. На даний час внаслідок впливу техногенного та природного забруднення якість поверхневих водних ресурсів нашого міста погіршується.

Важливо розуміти специфіку роботи, пов'язаної з водою, адже неетичне та неправильне використання води може призвести до швидкого виходу з ладу Вашого технологічного обладнання чи пристроїв. Вода не зовсім чиста, але містить різні домішки. Це те, що потрібно враховувати.

Існує очевидна потреба в заходах для адаптації екологічного стану поверхневих вод до посилення антропогенного впливу людської діяльності. Ці заходи мають включати: покращення технологічних процесів, зменшення викидів забруднюючих речовин та підвищення ефективності очищення стічних вод шляхом розробки нових технологій очищення води та вдосконалення існуючих технологій очищення води.

Однією з основних проблем у системах такого типу є газ, вуглекислий газ (CO₂). Ця суміш істотно впливає на термін служби всіх трубопроводів і

обладнання. Щоб уникнути цих проблем і підвищити ефективність технологічних систем, використовується процес, який називається декарбонізація води. [1-5]

Ідея декарбонізації води полягає у видаленні CO_2 з води, щоб уникнути корозії вуглекислим газом. Існують певні правила щодо рівня вуглекислого газу, якщо він перевищений, застосовується декарбонізація.

Метою проекту є дослідити та запропонувати метод автоматизованого управління декарбонізатором при очищенні стічних вод.

Об'єкт дослідження процеси автоматизації очищення води ввід вмісту сполук вуглицю.

Предмет дослідження метод автоматизованого управління декарбонізатором при очищенні стічних вод.

Методи дослідження: методи диференційного числення, методи автоматичного керування, методи математичного моделювання.

Завдання які необхідно вирішити у роботі:

- дослідити відоме устаткування для очищення води;
- розробити математичні моделі процесів декарбонізації стічних вод;
- провести дослідження математичних моделей процесів декарбонізації стічних вод;
- провести оптимізацію регуляторів процесів декарбонізації стічних вод;
- розробити системи керування процесами декарбонізації стічних вод.

Наукова новизна полягає у розробці методу автоматизованого управління декарбонізатором при очищенні стічних вод, що покращує швидкодію та якість процесів.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

1.1 Загальні поняття очищення стічної води

Поняття «стічна вода» включає в себе різні речовини з різним походженням, складом, фізико-хімічними властивостями тощо. Ця вода використовується у фінансово-технічному пристрої, який є як економічним, так і технічним, вона забруднюється, і її фізико-хімічні властивості також змінюються. Стічні води різноманітні за своїм складом і властивостями, і їх можна розділити на три основні типи:

- господарсько–побутові;
- виробничі;
- атмосферні.

Промислові стічні води відрізняються від атмосферних і побутових стічних вод. Їх склад не є постійним і може бути розділений на:

- 1) Склад забруднюючих речовин.
- 2) Концентрація забруднюючих речовин.
- 3) Природа забруднюючих речовин.
- 4) Кислотність.
- 5) Токсична дія забруднюючих речовин та їх вплив на водойми.

Основним призначенням очищення стічних вод є водопостачання. Системи водопостачання (густонаселених районів або промислових підприємств) повинні забезпечувати отримання води з природних джерел, очищення (якщо це викликано вимогами споживачів) і транспортування до місця споживання.

Побутові стічні води утворюються в житлових, комунальних та адміністративних будівлях, а також у побутовій інфраструктурі промислових підприємств. Як правило, ця стічна вода походить із дренажних систем для санітарних пристроїв, містить виділення людей, а також побутові відходи:

пісок, миючі засоби, залишки їжі, папір, тканину тощо. Побутовими стічними водами вважається суміш сечі та фекалій, яка є розрідженою, подібно до стічних вод кухні та ванної кімнати. Послідовний склад їхніх відходів є однією з відмінних рис господарських і побутових стічних вод, це пояснюється подібністю між фізіологією людини та її господарською діяльністю.

Промислові стічні води утворюються під час виробництва товарів, продуктів, матеріалів тощо. Це сміття різноманітне за кількістю та складом, залежно від виробничого процесу, використовуваної сировини та технології. Загальні типи забруднення промислових стічних вод поділяються на п'ять класів:

- біологічно нестійкі органічні сполуки;
- малотоксичні органічні солі;
- нафтопродукти;
- біогенні сполуки;
- речовини зі специфічними токсичними властивостями, у тому числі важкі метали, біологічно жорсткі органічні синтетичні сполуки, що не розкладаються. [1-5]

Промислові стічні води, які містять органічні речовини та токсичні речовини, які перешкоджають хімічному перетворенню цих органічних речовин, спеціально фільтруються, метою є видалення токсичних речовин, а потім вода скидається в міську каналізацію.

Етап скидання суворо обмежений правилами прийому промислових стічних вод у каналізацію населених пунктів. Надходження промислових стічних вод у міську каналізацію буває рівномірним або нерівномірним, безперервним або проривним, сезонним або цілорічним.

Атмосферні стічні води утворюються в результаті природних явищ, таких як дощі, танення снігу, промислові, сільськогосподарські та природні газові станції, серед іншого. До цього класу можна віднести воду, яка пом'якшилася, а також воду, якою поливали вулиці. До складу атмосферних

стічних вод сучасних міст входять пісок, сміття з бруківки, органічні речовини та ін. Внаслідок цього за складом даного виду води можна віднести до малозабруднених побутових стічних вод.

Забруднення промислової території призводить до утворення домішок у зливових водах, що є унікальним для промисловості. Характерною ознакою зливого стоку є виникнення епідемій, значна нерівномірність стоку і концентрації забруднюючих речовин.

Залежно від системи каналізації, господарсько-побутові та промислові, або господарсько-побутові, промислові та атмосферні стічні води є частиною каналізаційної системи, яка, у свою чергу, є частиною міської каналізаційної системи.

Залежно від гідрогеологічних умов місцевості, типу виробничих процесів у тому чи іншому регіоні, обсягу води, що споживається господарством і виробничими процесами, вибирається система водовідведення і, як наслідок, схема дренажної мережі.

Усі перераховані вище види стічних вод потребують очищення при потраплянні у відкриті водойми, оскільки містять різноманітні забруднюючі речовини, які значно перевищують допустиму норму.

Різні рівні забруднення стічних вод і різні типи забруднень, які вони викликають, вимагають різного підходу до видалення та очищення конкретних типів стічних вод при проектуванні.

Основними ознаками стічних вод є: об'єм стічних вод, який вимірюється в л/с або м³/с, м³/год, м³/змін, м³/добу тощо; види забруднюючих речовин та їх концентрації у стічних водах, що характеризується об'ємом забруднюючих речовин, що вимірюється в мг/л або г/м³. [1-5]

Ступінь рівномірності або різноманітності формування та надходження в дренажні системи має вирішальне значення для характеристики стічних вод. Це вирішується нерівномірністю стоку води через добові години

бездіяльності в році. Цю особливість слід враховувати при проектуванні дренажних систем.[1]

Для виконання цих завдань використовуються такі споруди, які зазвичай є частиною системи водопостачання:

- 1) Водозабірні споруди, які отримують воду з природних вододжерел.
- 2) водопідйомні споруди, тобто насосні станції, які подають воду до місць очищення, зберігання або споживання.
- 3) Водоочисні споруди.
- 4) водопроводи та водопровідні мережі, що використовуються для транспортування та подачі води до місць споживання.
- 5) Вежі та резервуари для води, які виконують функцію регулюючих і резервних резервуарів для води в системі водопостачання.

1.2. Методи очистки стічних вод

Технологія очищення стічних вод повинна забезпечувати достатній ступінь очищення при мінімальних витратах. Залежно від ступеня очищення стічних вод і подальшого використання очищеної води можуть бути розглянуті різні технологічні ідеї. Для очищення побутової води зазвичай використовується двоетапна процедура, включаючи механічну та біологічну обробку. Необхідність охорони навколишнього середовища та створення умов для утилізації забрудненої води в сільському господарстві та промисловості зумовили необхідність розвитку технологічних систем, які були глибоко в природі. Ці системи мали високий ступінь очищення біологічно очищеної води. Побутові стоки видаляють механічним і біологічним методами, знищують бактерії шляхом дезактивації (дезінфекції). Механічні методи очищення не здатні видалити більше 60% зважених частинок. Підвищення ефективності седиментації досягається різними методами, серед яких: попередня аерація, біокоагуляція, освітлення в

плаваючому або тонкому шарі, які спрямовані на підвищення ефективності седиментації. Механічне очищення передбачає видалення зважених, а також частково колоїдних частинок. [6-15]

Сучасні методи очищення стічних вод включають механічні, хімічні та біологічні методи. При очищенні стічних вод утворюються солі, які піддаються хімічній нейтралізації, знезараженню, зневодненню, можливе додаткове використання солей. При дотриманні умов скидання стічних вод у водойму необхідний більш високий ступінь очищення, додаткові споруди глибокого очищення встановлюються після завершення споруди біологічного очищення стічних вод.

Станції механічної очистки стічних вод призначені для зберігання нерозкладених відходів. До них відносяться решітки, сита, пісковловлювачі, відстійники та різні типи фільтрів. Решітки та сита використовуються для утримання великих забруднюючих речовин органічного або мінерального походження.

Для цього використовується кілька різних конструкцій:

- решітки - для видалення великих частинок (ганчір'я, ганчір'я, папір тощо);
- пісковловлювач – для збору великих мінеральних домішок (пісок, шлак тощо);
- відстійник — для видалення завислих речовин, мулу.

Піщані кар'єри служать для вилучення домішок з мінеральних компонентів, головним чином піску. Осади зберігають осілі та плаваючі забруднення стічних вод.

Для очищення промислових стічних вод, що містять специфічні забруднювачі, використовуються такі установки, як жируловлювачі, масловловлювачі, масло- та смолоуловлювачі.

Будівництво механічних очисних споруд є попереднім етапом перед біологічним очищенням. У процесі механічного очищення міських стічних вод може затримуватися до 60% нерозчинених забруднюючих речовин.

За техніко-економічними показниками фізико-хімічні методи очищення міських стічних вод застосовуються рідко. Ці методи в основному використовуються для очищення промислових стічних вод.

Механічне очищення застосовується в будівлях, які мають технологічну послідовність, що сприяє видаленню найбільших частинок забруднення (сітки, екрани), потім мінеральних речовин, якими є переважно пісок (пісковловлювачі, гідроциклони), і, нарешті, більшість більш дрібних часток (відстійники), різні види). Плаваючі речовини (жири, олії, мінеральні масла, смоли та ін.) Також видаляється шлам з резервуарів, які осідають. Для очищення (зазвичай промислових) стічних вод, які містять багато цих речовин, використовуються окремі установки, які містять жиро-, мастилоуловлювачі та маслоуловлювачі.

Механічне очищення при очищенні міських стічних вод є необхідною умовою біологічного очищення. Біохімічні методи очищення використовують властивості життєдіяльності мікроорганізмів, які окислюють органічні речовини в стічних водах у вигляді рідкої суспензії, колоїду або розчину. Біохімічний процес здатний практично повністю знищити органічні забруднювачі, які залишаються в стічних водах після механічного очищення, а також зменшити кількість патогенних мікроорганізмів у воді. [6-15]

Біохімічне очищення - це перетворення хімічних речовин у воді, що залишилися після механічної очистки, в мінералізоване сміття. Для цього використовують природні споруди (поля зрошення, фільтри, біологічні озера) і штучні (біофільтри, аеротенки). Для низької продуктивності доречна схема, яка передбачає механічне очищення поверхонь через решітки, піскоуловлювачі, двоступеневі накопичувачі, а біологічне очищення використовується на полях зрошення, фільтрації та біологічних ставків. [1]

Для очищення побутових і промислових стічних вод використовуються різні методи. Спосіб очищення і склад очисних споруд вибираються з урахуванням необхідного ступеня очищення, складу забруднюючих речовин,

пропускної здатності очисних споруд, ґрунтових умов і місткості водойми і мають відповідну техніко-економічну обґрунтованість.

Механічне очищення здійснюється фільтруванням, відстоюванням, центрифугуванням, фільтруванням. Біологічні речовини потрапляють у водойму разом зі стічними водами, що призведе до руйнування природного балансу водойми, особливо евтрофікації. Під евтрофікацією (заболочуванням) розуміється збагачення річок і озер біогенними речовинами і підвищення продуктивності рослинності водойм. Евтрофікація може бути результатом природного старіння водойми та впливу людини. Основними хімічними елементами, відповідальними за евтрофікацію, є фосфор і азот. Незбалансована евтрофікація, спричинена людиною, може призвести до швидкого росту водоростей, дефіциту кисню та загибелі риб і тварин. Цей процес можна пояснити низьким проникненням сонячного світла вглиб водойми (через фітопланктон на його поверхні) і, як наслідок, відсутністю фотосинтезу рослин і кисню. [6-15]

План очищення стічних вод біологічним фільтром; 3-Пісковідбірник; вторинний відстійник;

Механічне очищення стічних вод може здійснюватися двома способами:

1) Перший спосіб передбачає фільтрацію води через решітки та сита, завдяки чому відокремлюються тверді частинки.

2) Другий спосіб полягає в відстоюванні води в спеціальному відстійнику, що дозволяє мінеральним частинкам осісти на дно.

До методів фізико-хімічного очищення промислових стічних вод належать: реагентне очищення, сорбція, екстракція, випарювання, дегазація, іонообмін, озонування, електродіаліз та ін.

Біологічні методи очищення стічних вод є похідними від основної діяльності мікроорганізмів, які перетворюють органічні сполуки в мінеральну форму, що є джерелом живлення для мікроорганізмів. Біологічні очисні споруди поділяються на два класи.

Стічні води, що надходять на очисні споруди, містять розчинні та нерозчинні речовини органічного та мінерального походження. Нерозчинні частинки органічного і мінерального походження затримуються в піщаних басейнах і первинних відстійниках. Органічний азот також зменшується в первинному відстійнику, а залишок згодом аміацізується в аеротенку. Гальванічні виробничо-очисні установки поділяються на:

- за гідравлічним режимом роботи: проточні, безпроточні та комбіновані;
- за режимом роботи: безперервна робота та періодична робота;
- ступінь розділення за категорією стічних вод: повністю відокремлений потік (з вмістом хрому, кислоти та лугу, що містить комплексні сполуки тощо), частково відокремлений потік (загальний потік та потік, що містить ціанід), відсутність сепараційного потоку (за відсутності потоку).

У процесі очищення стічних вод утворюється велика кількість осаду, який перед використанням необхідно нейтралізувати, знезаразити, зневоднити та висушити. Хімічне очищення також використовується як метод глибокого очищення стічних вод для дезінфекції, знебарвлення або видалення різних компонентів. У більшості випадків хімічні методи більше підходять для локального очищення промислових стічних вод. Хімічне очищення використовується, коли забруднення можна видалити лише шляхом хімічної реакції між забрудненням і реагентом. До основних методів хімічного очищення належать нейтралізація, окислення, відновлення, реагентні методи тощо для видалення забруднюючих речовин у вигляді нерозчинних і важкорозчинних сполук.

Методи окислення також включають електрохімічну обробку. Нейтралізація використовується для очищення промислових стічних вод, що містять кислоти і луги. Більшість кислих стічних вод містять солі важких металів, які необхідно видалити з цих вод. Нейтралізація проводиться з наступними цілями:

- для запобігання корозії матеріалів каналізаційних мереж і очисних споруд;
- для запобігання пошкодження біологічних окислювачів і біохімічних процесів у водоймах;
- для осадження солей важких металів зі стічних вод.

Судячи зі скиду промислових стічних вод у водойми або міську каналізацію, кислі стічні води дуже небезпечні і зустрічаються набагато частіше, ніж лужні стічні води. Найчастіше стічні води забруднені неорганічними кислотами: сірчаною, соляною, азотною та їх сумішами. Як правило, концентрація кислоти в стічних водах не перевищує 3%, але також доступні суміші з більшою концентрацією. [6-15]

1.3. Опис процесів очищення стічної води

Запропонована конструкція установки знехлорування стічних вод продуктивністю за розробленою схемою включає три технологічні лінії продуктивністю 150 м³/год кожна, з'єднані за структурною схемою. Окремою лінією є механічний (зернистий) фільтр, який з'єднується з низкою інших механічних (гранулятих) фільтрів, Н-іонообмінний фільтр, фільтр, що затримує вуглекислий газ, резервуар для дегазованої води, О-іонообмінний фільтр. Дві з трьох ліній стабільно успішні, одна завжди в резерві. Фільтри в резервній лінії не заповнені іонами (можливе перевантаження гідроіонів з робочого фільтра в резервний). Технологічний опис процесу видалення солі з дренажної води первинного водопостачання зображено на рисунку 1.1.

Стічні води з каналізаційної системи спочатку проходять через решітки або решітки, там фільтруються, а великі компоненти складають ганчір'я, кухонне сміття, папір тощо. - зберігаються Великі компоненти, які захоплюються ґратами та сітками, видаляються для очищення. Відфільтрована стічна вода протікає через пісковловлювач, де видаляється

більша частина мінерального вмісту (пісок, шлак, вугілля, зола тощо) зберігаються. [10-15]

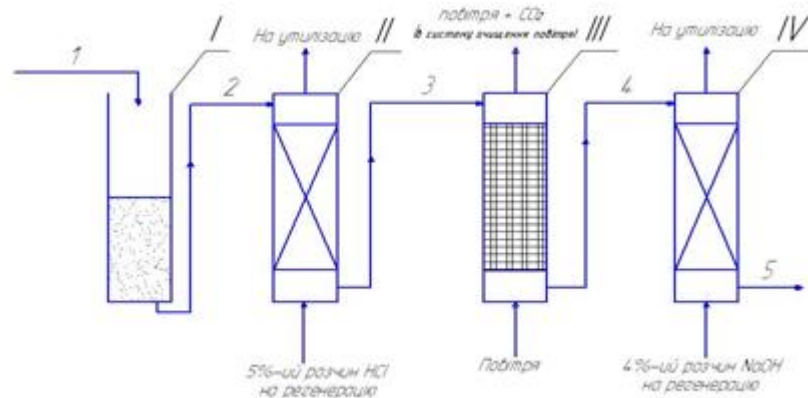


Рисунок 1.1 – Технологічна схема процесу опріснення продувних стічних вод зворотного водопостачання: I – механічний зернистий фільтр; II – Н-катіонітний обмінний фільтр; III – декарбонізатор; IV – ОН-аніонітний фільтр; 1 – стічні води; 2 – вода на Н-катіонування; 4 – вода до декарбонізатора; 5 – вода на ОН-аніонування; 6 – знесолена стічна вода.

Опріснення стічних вод ведеться на двох безперервних лініях роботи, на даний момент третя лінія доповнюється. Щоденний графік роботи станції наведено на рисунку 1.2. [16-20]



Рисунок 1.2 — Графік роботи станції іонообмінного знесолення стічних вод протягом доби.

Основними завданнями автоматизації систем і споруд водовідведення є підвищення якості водовідведення та очищення стічних вод (безперервне відведення та відкачування стічних вод, якість очищення води тощо), зниження витрат на експлуатацію, підвищення ефективності роботи. умови.

Основним призначенням водовідвідних систем і пристроїв є підвищення надійності пристроїв шляхом моніторингу стану обладнання та автоматичної перевірки стабільності інформації та надійності пристроїв. Все це сприяє автоматичному регулюванню параметрів технологічних процесів і показників якості очищення води у стічних водах, швидкому реагуванню на негативні впливи (збільшення об'єму очищеної води або зміна якості води). Кінцевою метою автоматизації є підвищення ефективності управлінських зусиль. Система управління очисними спорудами має функціональну структуру, організаційну, інформаційну та технічну.

Основою створення системи є функціональний дизайн, інші структури є похідними від найбільш функціонального дизайну. За функціональною ознакою кожна система управління складається з трьох окремих підсистем:

- нагляд за технологічними процесами в експлуатації та управлінні;
- планування технологічних процесів, що діють;
- розрахунок техніко-економічних показників, аналіз і проектування

систем водовідведення. [16-20]

І навпаки, підсистеми можуть бути організовані в ієрархічні рівні за критерієм оперативної ефективності (тривалість часу, витраченого на виконання функцій). Подібні типи функцій об'єднуються в блоки.

Щоб підвищити ефективність передачі даних, зв'язку з центрами управління та дренажу води, а також очищення стічних вод, слід розглянути можливість заміни часто надійної телефонної системи на оптоволокно. Крім того, більшість процесів в автоматичному управлінні системою водовідведення, насосною станцією та очисними станціями буде здійснюватися на комп'ютерах. Сюди також входить облік, аналіз, розрахунки передбачуваного планування та підготовки, а також оформлення необхідних документів для звітності про роботу всіх дренажних систем і споруд.

Для забезпечення безперебійної експлуатації водовідливних систем на основі фінансово-аналітичних досліджень може бути проведено

довгострокове планування, що, в кінцевому підсумку, підвищить надійність всього комплексу.

Програмовані логічні контролери (PLC) протягом десятиліть стали звичайним компонентом як технологічних, так і корпоративних систем автоматизації. Різноманітність використання ПЛК велика. Це можуть бути як традиційні засоби керування освітленням, так і монітори навколишнього середовища на хімічних підприємствах. Центральним компонентом ПЛК є контролер, до якого додаються компоненти, що забезпечують необхідну функціональність, і який запрограмований для виконання конкретного завдання. [21-23]

Контролери виробляються відомими виробниками електроніки, такими як Siemens, Fujitsu і Motorola, а також компаніями, які спеціалізуються на виробництві керуючої електроніки, такими як Texas Instruments Inc. Очевидно, що всі контролери мають різні функціональні можливості, а також різні ціни та якості. Так як сімейство мікроконтролерів Siemens на даний момент є найпопулярнішим в Європі, його, швидше за все, можна зустріти як на виробництвах, так і на експериментальних стендах, тому зупинимося на німецькому виробнику.



Рисунок 1.3 - Логічний модуль "LOGO"

Сфера застосування: регулювання технологічних пристроїв (насосів, вентиляторів, компресорів, пресів), систем опалення та вентиляції,

конвеєрних систем, систем керування рухом, управління комутаційними пристроями та ін.

Програмування контролерів «Siemens» - «LOGO!Basic» здійснюється за допомогою клавіатури з виведенням інформації на вбудований дисплей.

В даний час компанія «ОВЕН» успішно працює і спеціалізується на виробництві систем управління. Ця компанія спеціалізується на створенні мікроконтролерів і сенсорів з 1992 року. [24, 25]

Лідером серед мікроконтролерів корпорації «ОВЕН» є серія логічних контролерів PLA.



Рисунок 1.4 - Зовнішній вигляд ПЛК-150

Процедура програмування PLC-150 передбачає використання професійної системи програмування CoDeSys v.2.3.6.1 та попередніх версій. CoDeSys — це система, яка полегшує розробку контролерів. Програми записуються у швидкий машинний код, який потім завантажується в контролер. CoDeSys SP є частиною контролера та полегшує завантаження та налагодження коду, обслуговування вводу-виводу та інші функції. Це найпопулярніший засіб програмування МЕК у відомому світі. Практично він є втіленням стандартів системи програмування МЕК.

до нього можна підключати аналогові та цифрові вимірювальні прилади з однаковими сигналами. Контролер легко поєднується з персональним комп'ютером через порт "COM", це полегшує віддалений

доступ. Можливе поєднання PLC-150 з іншими виробниками, які мають програмований логічний чіп. PLC-150 планується за допомогою системи розробки контролерів CoDeSys на складній мові високого рівня. [24, 25]

1.4 Висновок до першого розділу

Вивчення літератури та існуючих установок показало, що всі системи очищення води, трубопроводи та пристрої мають значно менший термін служби через високу концентрацію вуглекислого газу. Як наслідок, метою цього дослідження є перегляд і дослідження відомих методів керування декарбонізатором, щоб максимізувати його ефективність і продовжити термін служби.

2.МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЕКАРБОНІЗАТОРА У ПРОЦЕСАХ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНОЇ ВОДИ

2.1 Побудова математичної моделі

Математична модель — це система рівнянь, яка описує процес або подію, що досліджується. Математична модель є значущою для таких галузей науки: економіки, екології, соціології, фізики, хімії, машинобудування, біології та ін.

Для математичних задач використовуються загальні принципи природничих наук, спеціальні принципи окремих наук, пасивні або активні експериментальні результати, комп'ютерне моделювання. Математичні моделі допомагають передбачити хід процесу, розрахувати очікувані цілі (початкові параметри процесу), контролювати процес і проектувати системи з бажаними властивостями.

Ви можете створювати математичні моделі за допомогою різноманітних математичних інструментів, включаючи диференціальні чи інтегральні рівняння, теорію множин, абстрактну алгебру, математичну логіку, теорію ймовірностей і графіки. Процес створення математичних уявлень називається математичним моделюванням. Це найпоширеніший і широко використовуваний метод у наукових дослідженнях, особливо в галузі кібернетики. [26-32]

Класифікація моделей ґрунтується на математичних засобах, що використовуються для розв'язання поставлених задач:

- лінійні та нелінійні;
- зосереджені та розподілені;
- детерміновані та стохастичні;
- статичні та динамічні.

За іншими ознаками поділяють:

- аналітичні математичні моделі;
- статистичні математичні моделі;
- комбіновані математичні моделі (аналітично-емпіричні; графоаналітичні моделі).

Аналітичні моделі знаходять з точних математичних рівнянь, що описують процедуру або систему. Вони використовують природні закони фізики, такі як закони фізики або закони хімії, для створення формальних взаємозв'язків. Ці моделі мають міцну теоретичну основу та використовують детерміновані рівняння, такі як диференціальні або алгебраїчні рівняння.

Імовірнісні моделі походять із статистичних даних або даних спостережень і включають випадкові процеси або фактори, які впливають на систему. Вони використовуються, коли явища незрозумілі.

Комплексні моделі включають як імовірнісні, так і аналітичні методи для пояснення як детермінованих, так і випадкових процесів. Вони використовуються для опису складних систем, які включають кілька компонентів. Ці моделі часто використовуються в техніці, економіці, екології та біології. [26-32]

Для побудови мат.моделі використаємо аналітичну модель, яка знайдена з аналізу роботи відомих установок очищення води. За основу взята математична модель протиточного декарбонізатора [2]:

$$Y_1(t)+4,33657 \quad dY_1(t)dt= + 0,00121*x_1(t)-0,016*x_2(t)+ 0,00136*x_3(t)-0,00112*x_2(t)*x_3(t);$$

$$Y_2(t)+7,75829 \quad dY_2dt= - 0,00014*x_1(t)+0,12x_2(t)+ 0,0016x_3(t);$$

$$Y_3(t)+18,417121 \quad dY_3dt= + 0,36414x_1(t)- 12,2x_2(t);$$

$$Y_4(t)+7,78057 \quad dY_4dt= - 0,00031x_1(t)+ 0,04171x_2(t)+0,0012x_3(t)-0,00006x_1(t)*x_2(t);$$

де x_1 - вхідна витрата води;

x_2 - температура води вхідна;

x_3 - споживана потужність вентилятора у %;

Y_1 -вміст CO_2 у воді;

Y_2 - вміст рН у воді;

Y_3 - залишок кисню у воді;

Y_4 - залишок рН у воді.

У диференціалах можна отримати:

$$\begin{aligned}
 Y_1(t)+4,33657 \quad dY_1(t)dt= & + 0,00121*x_1(t)-0,016*x_2(t)+ 0,00136*x_3- \\
 0,00112*x_2(t)*x_3(0) - 0,00112*x_2(0) *x_3(t); \\
 Y_2+7,75829 \quad dY_2dt= & - 0,00014*x_1+0,12x_2+ 0,0016x_3; \\
 Y_3+18,417121 \quad dY_3dt= & + 0,36414x_1- 12,2x_2; \\
 Y_4+7,78057 \quad dY_4dt= & - 0,00031x_1+ 0,04171x_2+0,0012x_3-0,00006x_1(t)*x_2(0) - \\
 0,00006x_1(0) *x_2(t);
 \end{aligned}$$

(2.1)

Якщо зробити перетворення Лапласа отримаємо вираз:

$$\begin{aligned}
 Y_1(s)+4,33657Y_1(s)*s= & + 0,00121*x_1(s)-0,016*x_2(s)+ 0,00136*x_3(s)- \\
 0,00112*x_2(s)*x_3(0)- 0,00112*x_2(0) *x_3(s); \\
 Y_2(s)+7,75829 \quad Y_2(s)*s= & - 0,00014*x_1+0,12x_2+ 0,0016x_3; \\
 Y_3(s)+18,417121 \quad Y_3(s)*s= & + 0,36414x_1- 12,2x_2; \\
 Y_4(s)+7,78057 \quad Y_4(s)*s= & - 0,00031x_1+ 0,04171x_2+0,0012x_3-0,00006x_1(s)*x_2(0)- \\
 0,00006x_1(0) *x_2(s);
 \end{aligned}$$

Знайдені з останньої системи рівнянь функції передавачів переписані у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Функції передачі каналів за входами та виходами

Канал	Функція передачі
$W_{x1} \rightarrow Y1$	$0,001214*s+1$
$W_{x1} \rightarrow Y2$	$-0,000147*s+1$
$W_{x1} \rightarrow Y3$	$0,3641418*s+1$
$W_{x1} \rightarrow Y4$	$-0,00031-0,00006*x2(0)+7,78057*s+1$
$W_{x2} \rightarrow Y1$	$-0,016-0,000112*x3(0)+4,33657*s+1$
$W_{x2} \rightarrow Y2$	$0,127*s+1$
$W_{x2} \rightarrow Y3$	$-12,218*s+1$
$W_{x2} \rightarrow Y4$	$0,04171-0,00006*x1(0)+7,78057*s+1$
$W_{x3} \rightarrow Y1$	$0,00136-0,00112*x2(0)+4,33657*s+1$
$W_{x3} \rightarrow Y2$	$0,00167*s+1$
$W_{x3} \rightarrow Y3$	$018,417121*s+1$
$W_{x3} \rightarrow Y4$	$0,00127*s+1$

За допомогою Simulink системи проведемо побудову опису об'єкта, що дозволить провести дослідження динаміки перехідних процесів, усі ці процеси показані схемою на рисунку 2.1.

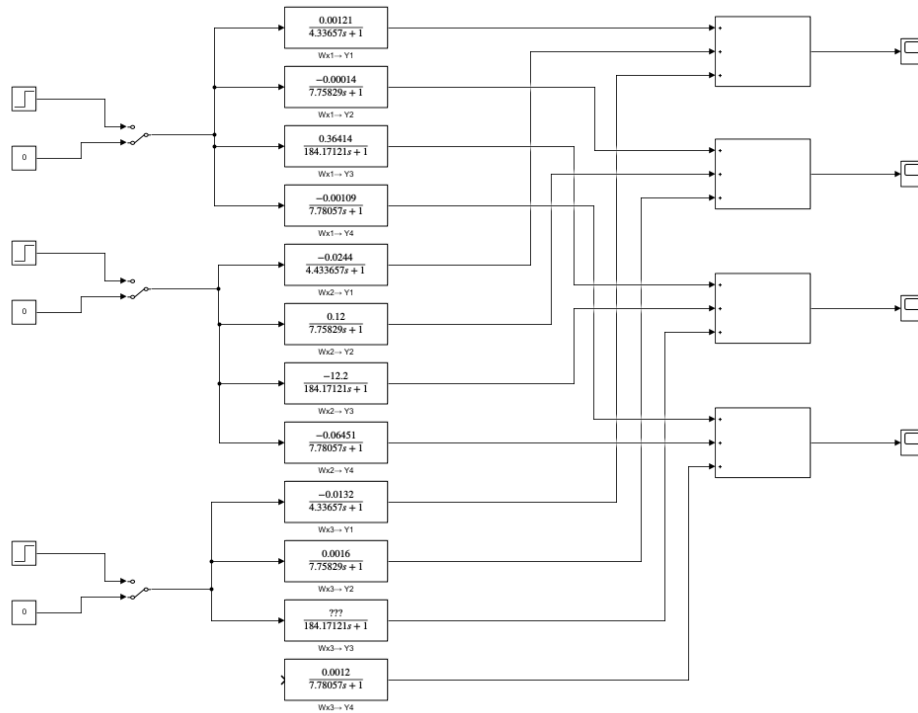


Рисунок 2.1 – Схема моделювання об'єкту у Simulink.

Далі проведемо розгляд динамічних процесів об'єкту: рис. 2.2-2.4 показують залежності по усіх виходах і виходах від часу.

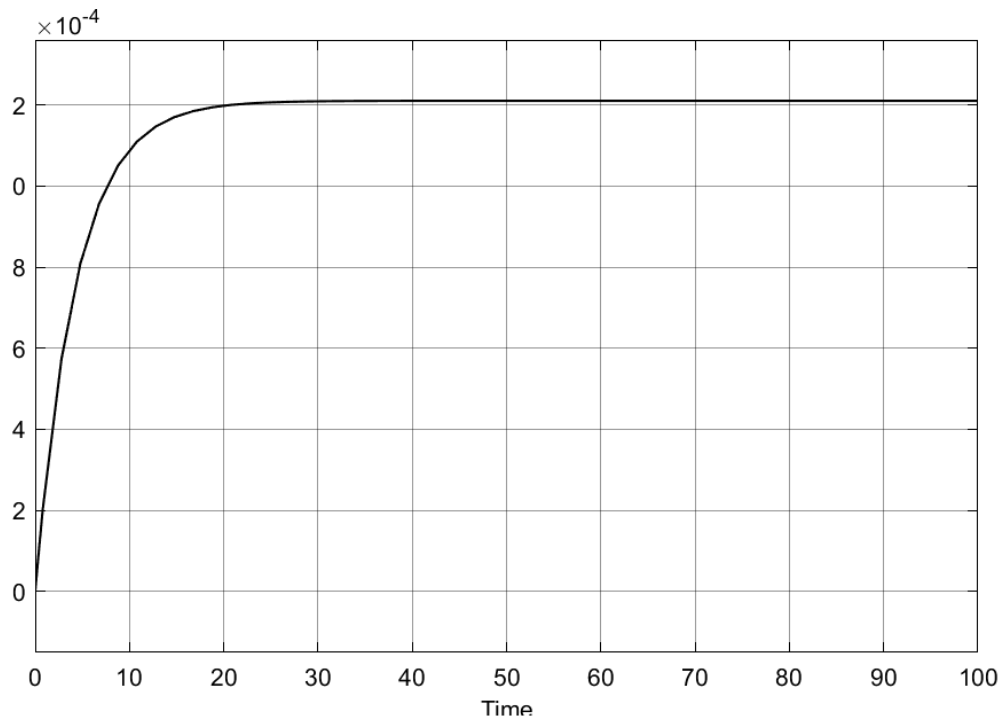


Рисунок 2.2 - Перехідна характеристика у каналі: витрати води – залежність вмісту вуглецю у очищеній воді.(Wx1 → Y1)

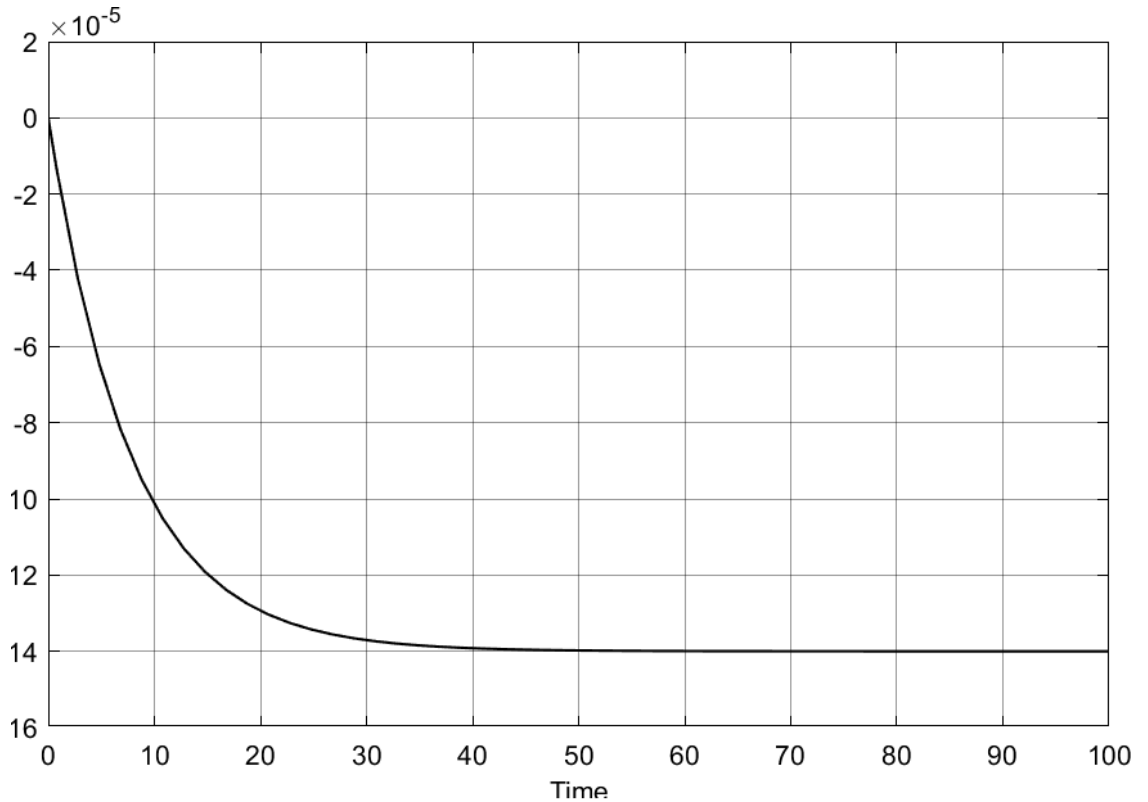


Рис 2.3 Перехідна характеристика у каналі: витрати води – залежність вмісту рН у очищеній воді ($W_{x1} \rightarrow Y_2$)

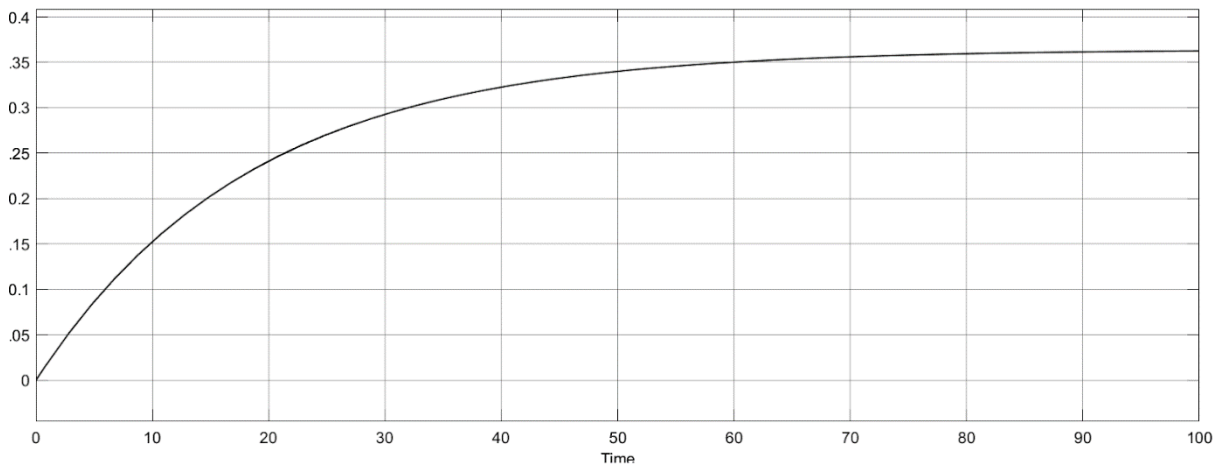


Рисунок 2.4 - Перехідна характеристика у каналі: витрати води – залежність вмісту вуглецю у очищеній воді. ($W_{x1} \rightarrow Y_3$)

По інших каналах відбувається аналогічна ситуація, тому у роботі їх залежності не приводимо.

Величину M будемо обирати за 1.3, з міркувань того що цей коефіцієнт задовольняє умови як були задані для магістерської роботи (допускаються змінні відхилення на похибку регулювання до 30%).

На рисунку 2.5 подано графік зміни k від k_0 , цей графік отримати оптимізоване значення коефіцієнтів схеми регулювання.

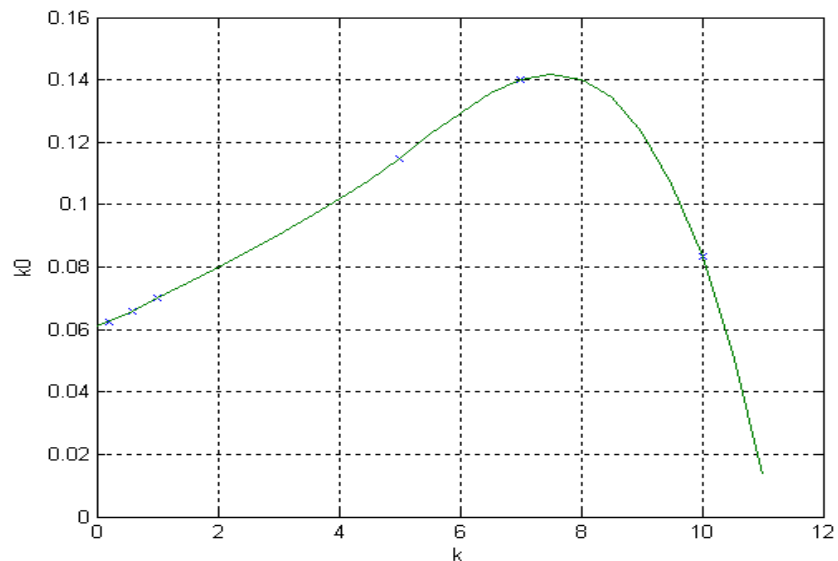


Рисунок 2.5 – Функція наблизених даних

З рисунку 2.5 можна побачити, що максимальним значенням настройки схеми ПІ-регулятора буде $K=7,3$, а $Ti=55$.

Перевіримо отримані значення для ПІ-регулятора. Щоб досягти цього, створимо часову поведінку закритої системи з ПІ-регулятором на рисунку 2.5.

Функція передачі замкнутої системи матиме вигляд (2.2):

$$W_{zs}(p) = \frac{W_1(p) * W_{pi}(p)}{1 + W_1(p) * W_{pi}(p)}, \quad (2.2)$$

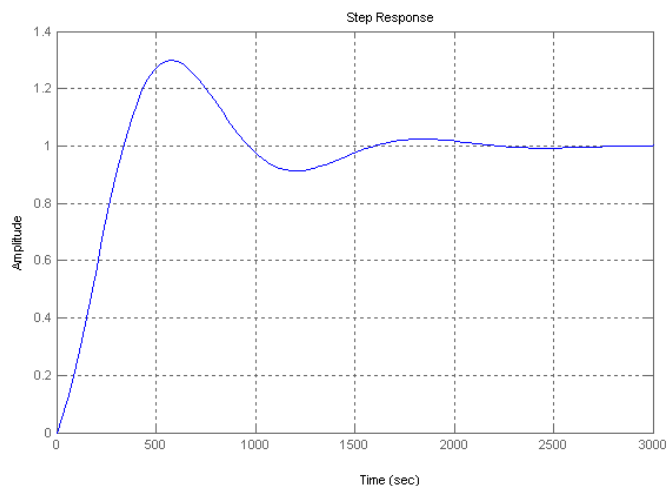


Рисунок 2.6 – Передаточна характеристика закритої системи із схемою ПІ регулятора

Получений перехідний процес $A_{zs}(\omega) := |W_{zs}(\omega)|$ отримує наступні показники якості:

- період коливань $T_k = 1160$ сек.;
- перерегулювання $\sigma = 35$ %;
- ступінь затухання $\psi = 15$ %.

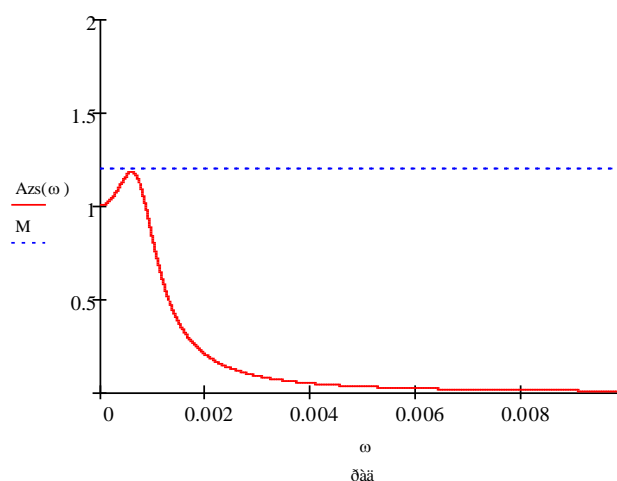


Рисунок 2.7 - АЧХ замкнутої системи $W_{zs}(\omega) := \frac{W_{rs}(\omega)}{1 + W_{rs}(\omega)}$

2.2 Розрахунок параметрів налаштування схеми регулятора

При розрахунку передатної функції за методом Даліна форму перехідного процесу в закритій системі задають як аперіодичну ланку першого порядку. Практично для T_3 закритої системи потрібен постійний час 3 години. [33-38]

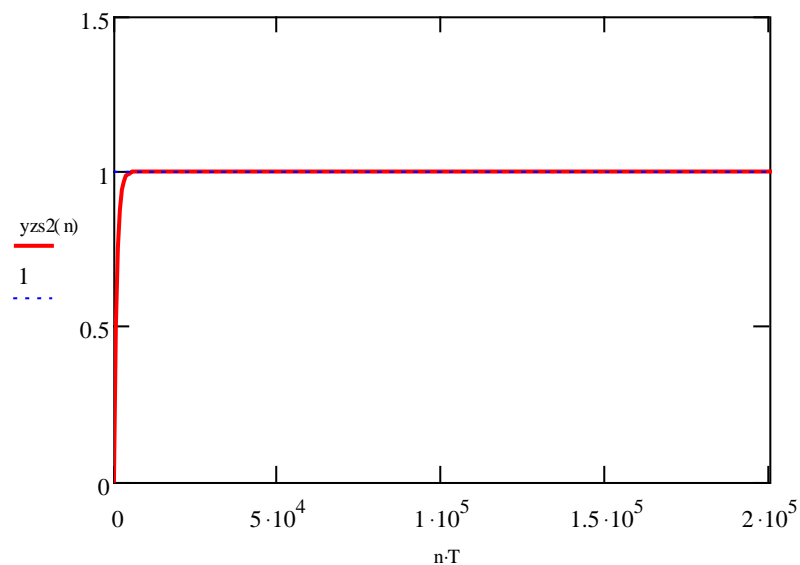


Рисунок 2.8 – Необхідна характеристика переходу закритої системи при $T_3 = 1100$

Функція переходу закритої системи з схемою регулятора (2.3):

$$\underline{W_{zs}(z)} := \frac{D(z) \cdot W_{pnc}(z)}{1 + D(z) \cdot W_{pnc}(z)} \quad (2.3)$$

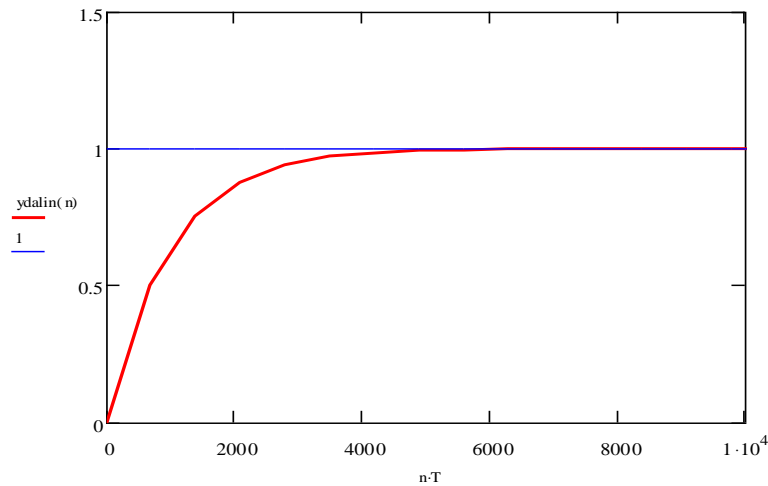


Рисунок 2.9 - Перехідний процес у закритій системі із схемою регулятора Даліна

Обрахунок параметрів настройки схеми регулятора Даліна у характеристики настройки схеми ПІД-регулятора (2.4 – 2.6):

$$K_{pid} := \frac{\left(e^{\frac{T}{T1}} + e^{\frac{T}{T2}} - 2 \right) \cdot \left(1 - e^{\frac{-T}{T3}} \right)}{Kob \cdot \left(-1 + \exp\left(\frac{T}{T2}\right) \right) \cdot \left(-1 + \exp\left(\frac{T}{T1}\right) \right) \cdot \left[1 + k \cdot \left(1 - e^{\frac{-T}{T3}} \right) \right]}, \quad (2.4)$$

$$Ti_{pid} := \frac{T \cdot \left(e^{\frac{T}{T1}} + e^{\frac{T}{T2}} - 2 \right)}{\left(1 - \exp\left(\frac{T}{T2}\right) \right) \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{T}{T1}\right) \right)}, \quad (2.5)$$

$$Td_{pid} := \frac{T}{e^{\frac{T}{T1}} + e^{\frac{T}{T2}} - 2}. \quad (2.6)$$

Передаточна функція схеми ПІД-регулятора представлена у виді z-перетворення [5]

$$W_{pid}(z) := K_{pid} \cdot \left[1 + \frac{T}{T_i \cdot (1 - z^{-1})} + \frac{T_d}{T} \cdot (1 - z^{-1}) \right] \quad (2.7)$$

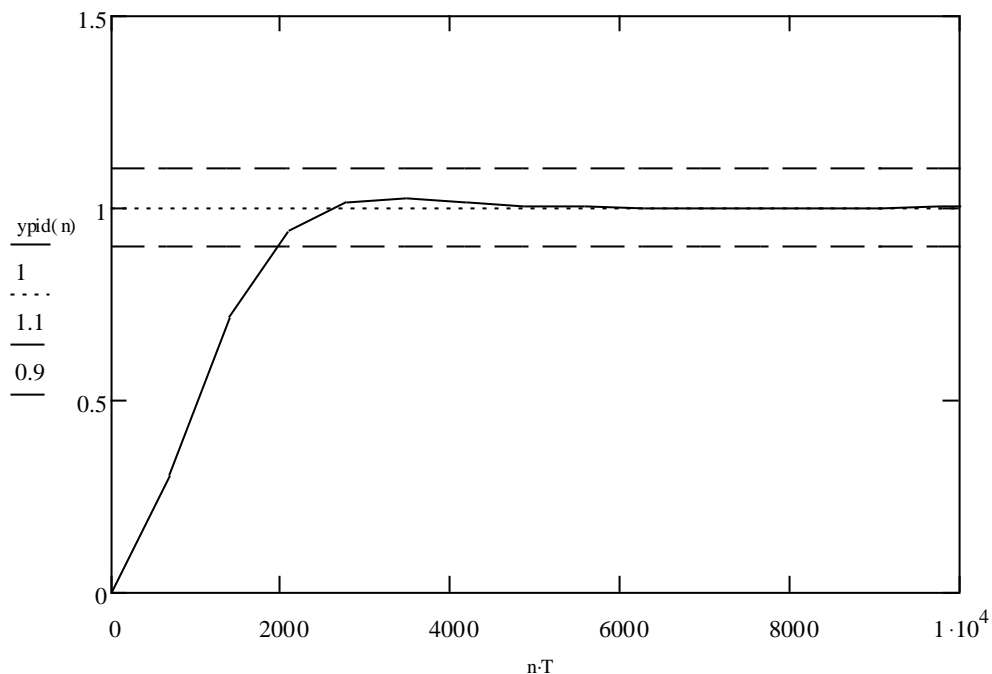


Рисунок 2.10 - Перехідний процес в закритій системі із схемою ПІД-регулятора

Дослідимо як впливає період дискретизації на показники якості перехідних процесів в системі із схемою ПІ-регулятора (рис. 2.11):

- час регуляції $t_{reg}=4950$;
- час наростання перехідного процесу $t_{zrost}=2200$;
- час переходу до першого максимуму $t_{max1}=3600$;
- величина перерегуляції 26.7%;
- період коливачь $T_k=3600$.

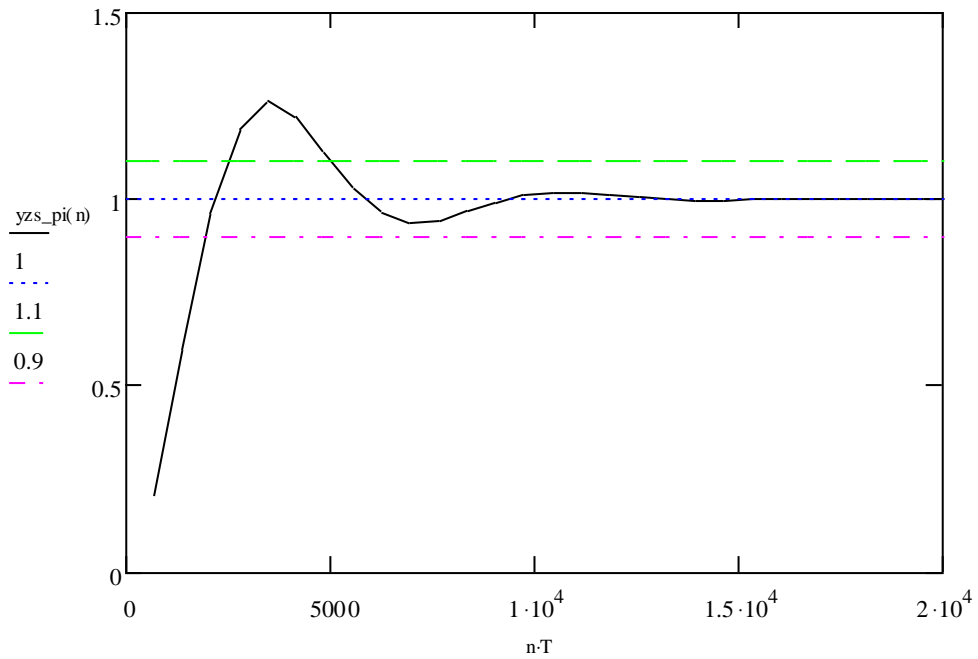


Рисунок 2.11 - Перехідний процес закритої системи схеми ПІ-регулятора при $T=750$

2.3 Висновки до другого розділу

Математичне представлення функції декарбонізатора було отримано у функціях перенесення з раніше відомої аналітичної моделі. Адаптивні функції передачі були виявлені для всіх первинних каналів, і характеристики кожного каналу були вивчені як перехідні.

3 СИНТЕЗУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ УСТАТКУВАННЯМ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

3.1 Розробка схеми керування

Спочатку розробимо первинну схему управління для устаткування, це базується на мат. моделі, яка реалізована за допомогою системи Matlab Simulink. [39-45]

Канал «Зміна споживання енергії — склад CO₂ у воді, що очищується» представлено на рис. 3.1.

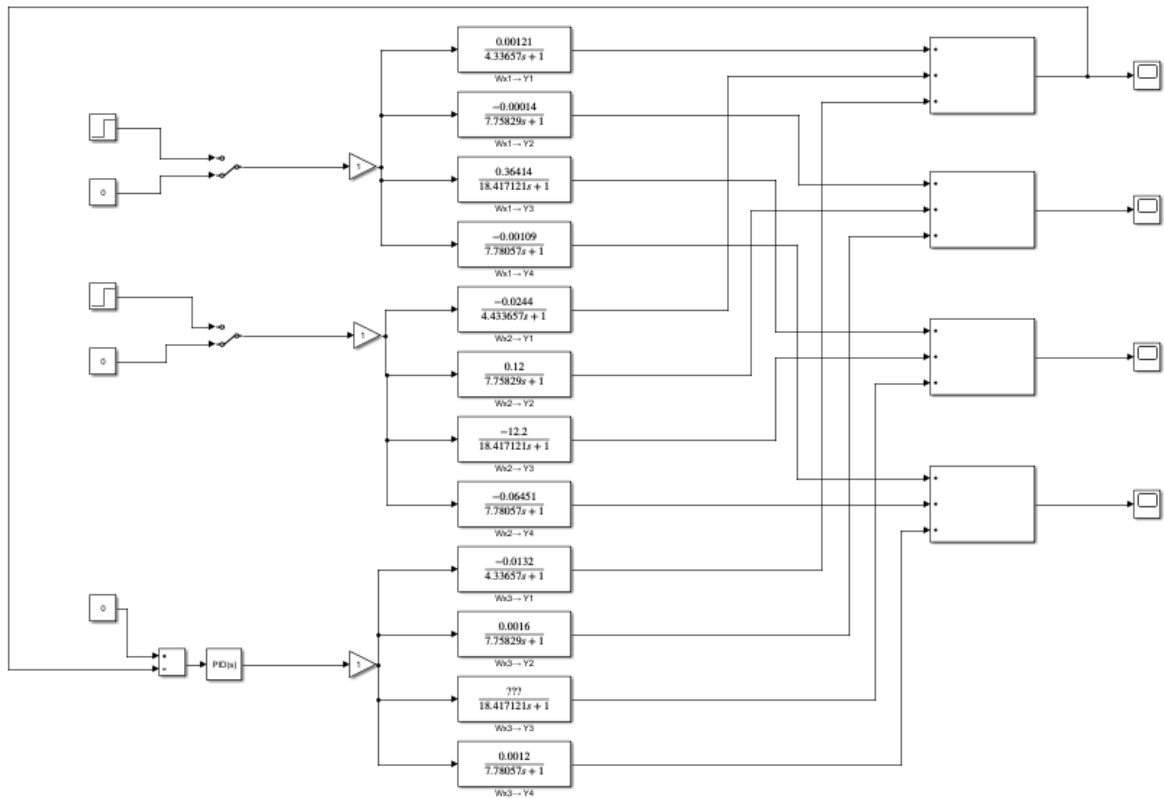


Рисунок 3.1 – Базова схема керування устаткування

3.2 Аналіз налаштувань

Аналіз бажаних конфігурацій контролера з Matlab і реакції об'єкта на конфігурації схеми PID-регулятора.

Нижче наведені найкращі умови, реакції схеми і короткострокові параметри для різних конфігурацій та завдань.

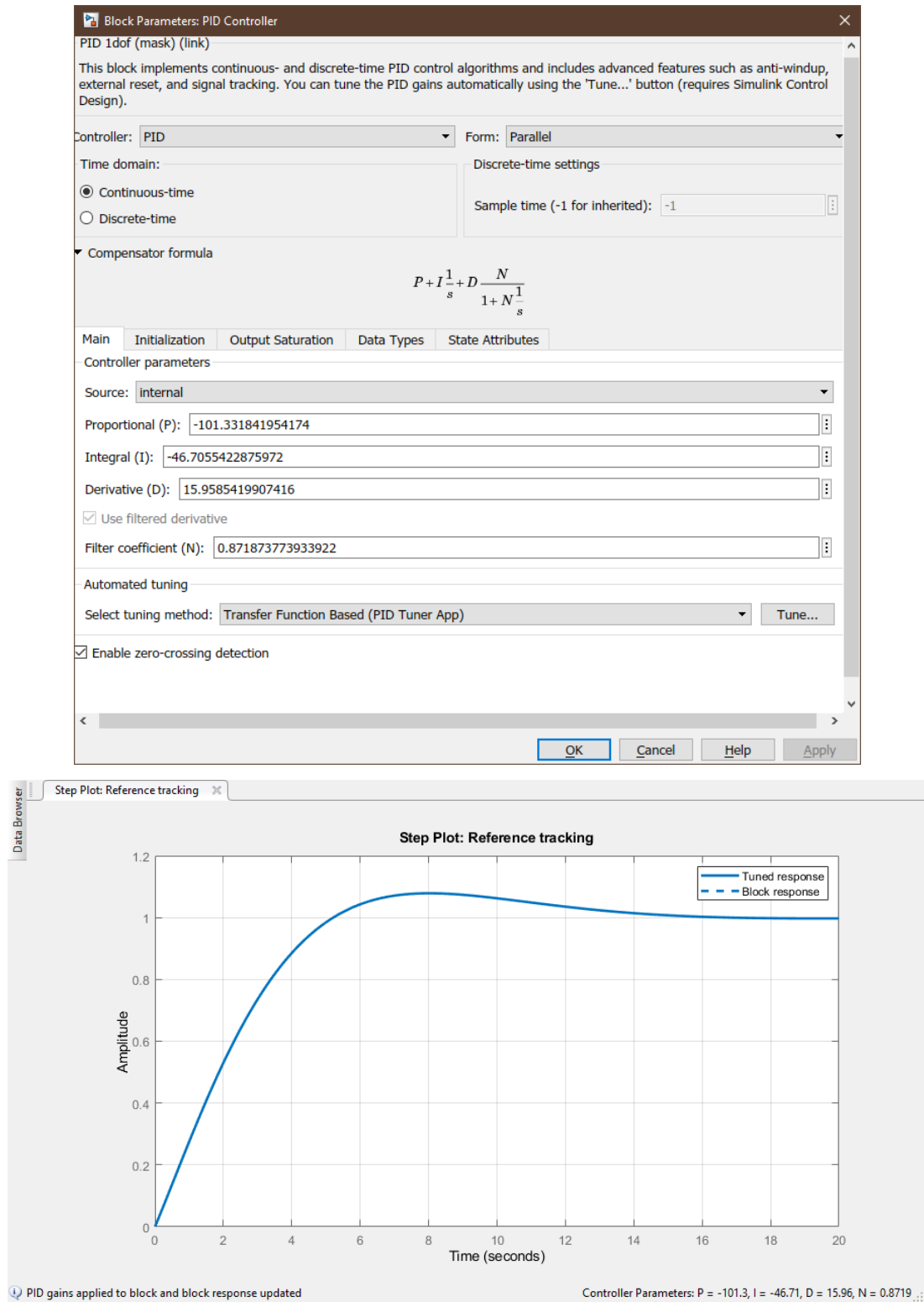


Рисунок 3.1 - Автоматичні налаштування схеми ПІД-регулятора

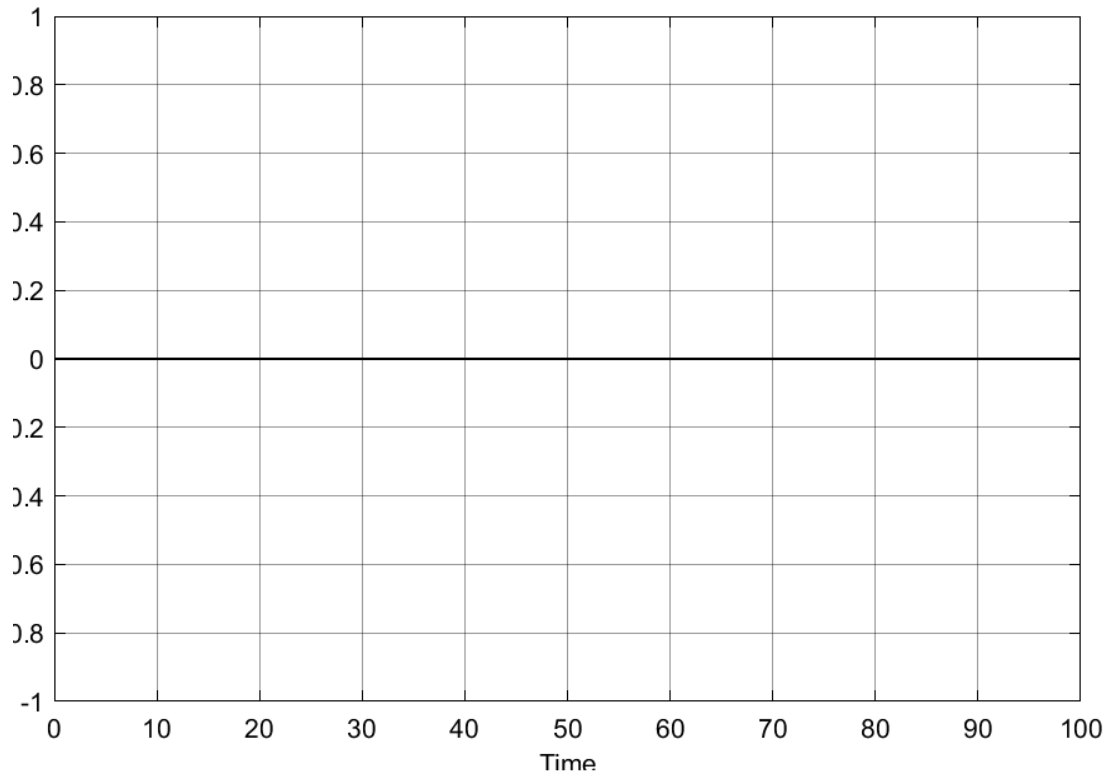


Рисунок 3.2 - Перехідна функція устаткування за нульового початкового значення

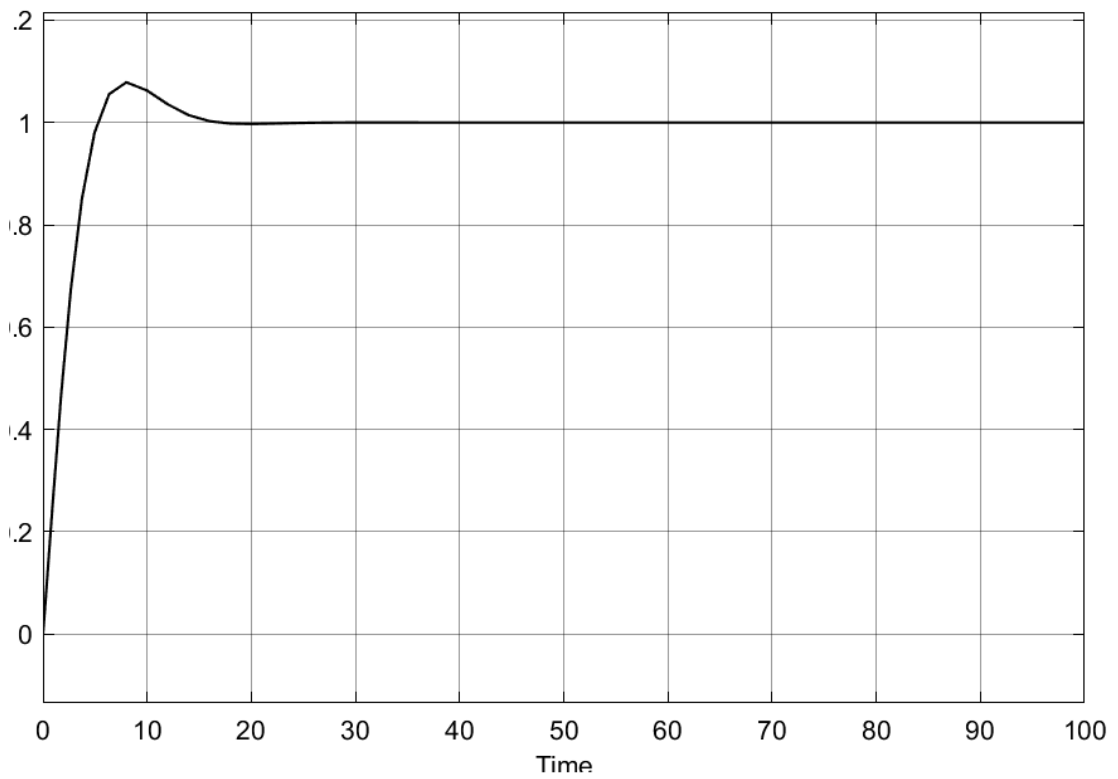


Рисунок 3.3 - Перехідна функція устаткування за одиничного початкового значення

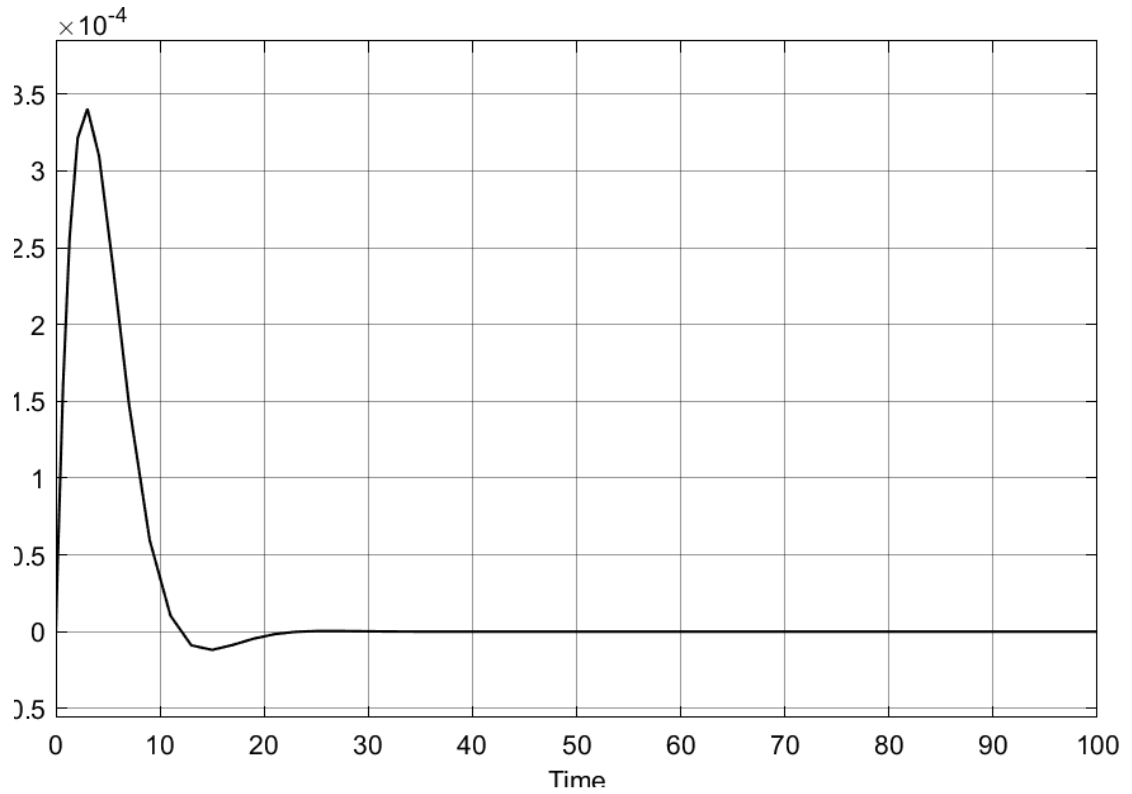


Рисунок 3.4 - Перехідна функція складу концентрації CO₂ протягом виявлення x1

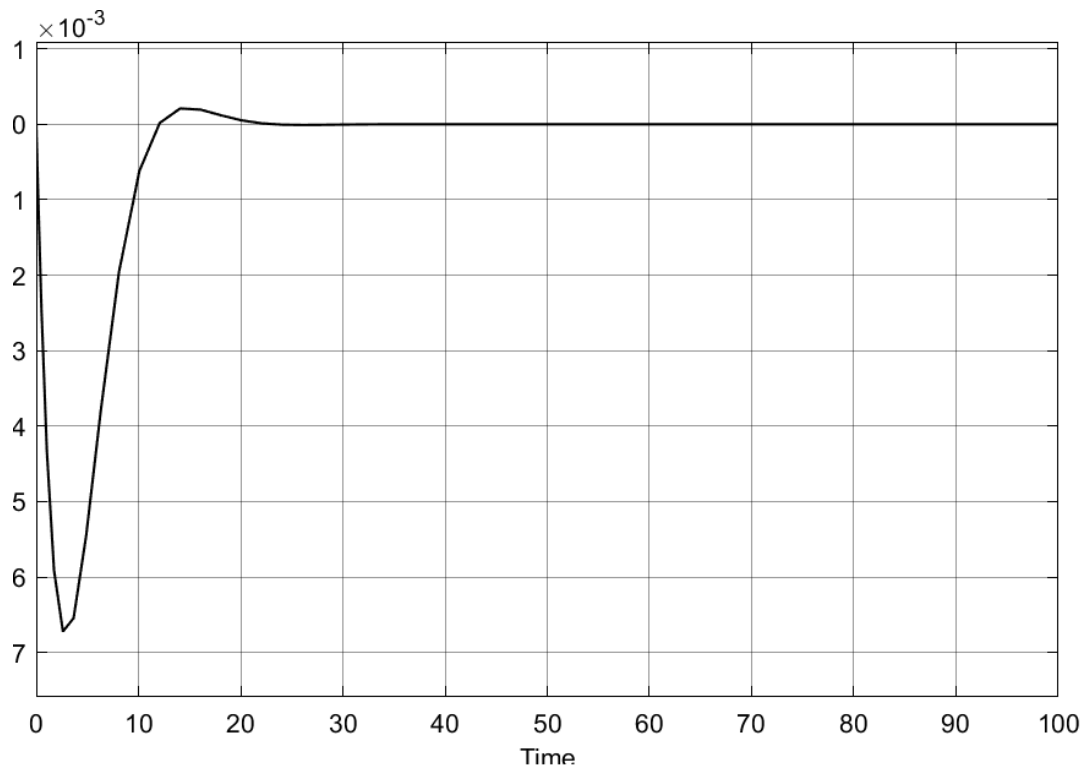


Рисунок 3.5 - Перехідна функція складу концентрації CO₂ протягом виявлення x2

3.3 Мінімальна швидкодія системи управління

Проведемо дослідження мінімальної швидкості дії системи управління установкою очищення стічної води. Для цього використано стандартні функції системи математичного моделювання MatLab Simulink. [39-45]

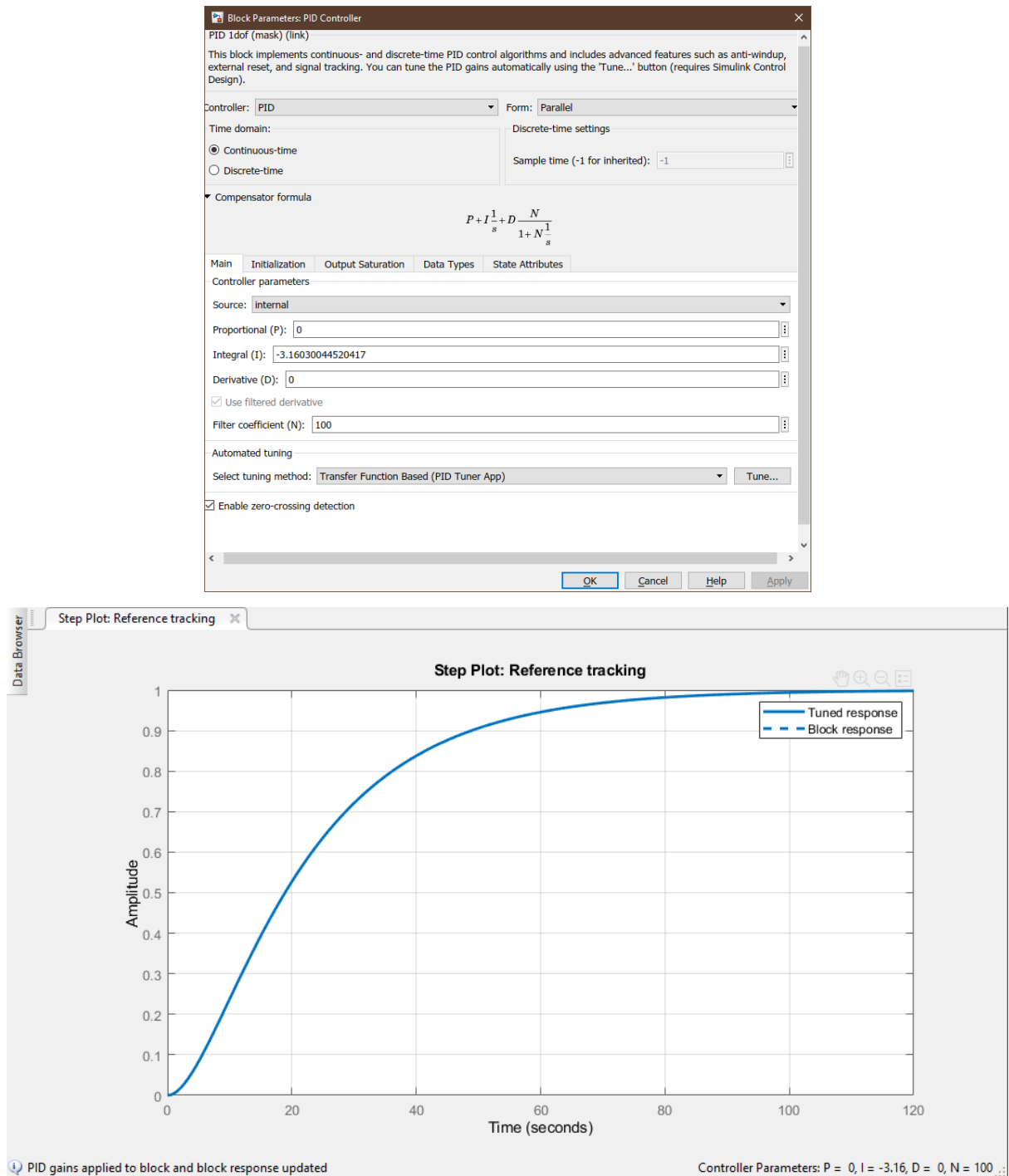


Рисунок 3.6 - Налаштування регулятора за мінімальної швидкості дії

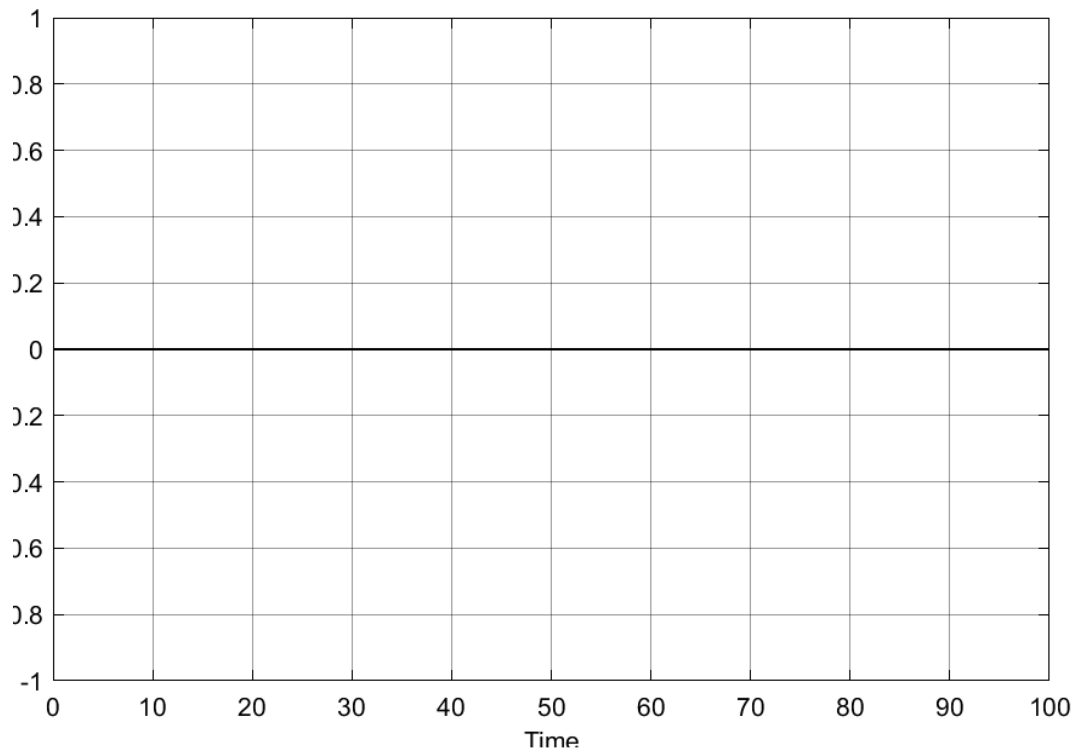


Рисунок 3.7 - Перехідна функція схеми за нульового початкового значення

3.4 Максимальна швидкість дії системи

Проведемо дослідження максимальної швидкості дії системи управління установкою очищення стічної води. Для цього використано стандартні функції системи математичного моделювання MatLab Simulink.

Ви можете створювати блок-схеми, які включають блоки як частину системи. Блок можна вважати фізичним компонентом, невеликою системою або процедурою. Відношення входу до виходу описує весь блок.

Повне визначення блоку складається з визначення його входів і виходів, це досягається через призначення моделі. Наприклад, швидкість візка може бути обрана як результат, якщо мета моделювання не включає його місцезнаходження. [39-45]

Simulink надає бібліотеки блоків, упорядкованих за функціями. Наприклад, щоб імітувати мегафон, який збільшує свій вхід на константу, ви використовуєте блок Gain з бібліотеки Math Operations.

Block Parameters: PID Controller

PID 1dof (mask) (link)

This block implements continuous- and discrete-time PID control algorithms and includes advanced features such as anti-windup, external reset, and signal tracking. You can tune the PID gains automatically using the "Tune..." button (requires Simulink Control Design).

Controller: **PID** Form: **Parallel**

Time domain:
 Continuous-time
 Discrete-time

Discrete-time settings
 Sample time (-1 for inherited): **-1**

Compensator formula

$$P + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}}$$

Main Initialization Output Saturation Data Types State Attributes

Controller parameters

Source: **internal**

Proportional (P): **-1300.19240350515**

Integral (I): **-1467.76814823622**

Derivative (D): **2.77016358891914**

Use filtered derivative

Filter coefficient (N): **469.355820250475**

Automated tuning

Select tuning method: **Transfer Function Based (PID Tuner App)** **Tune...**

Enable zero-crossing detection

OK Cancel Help Apply

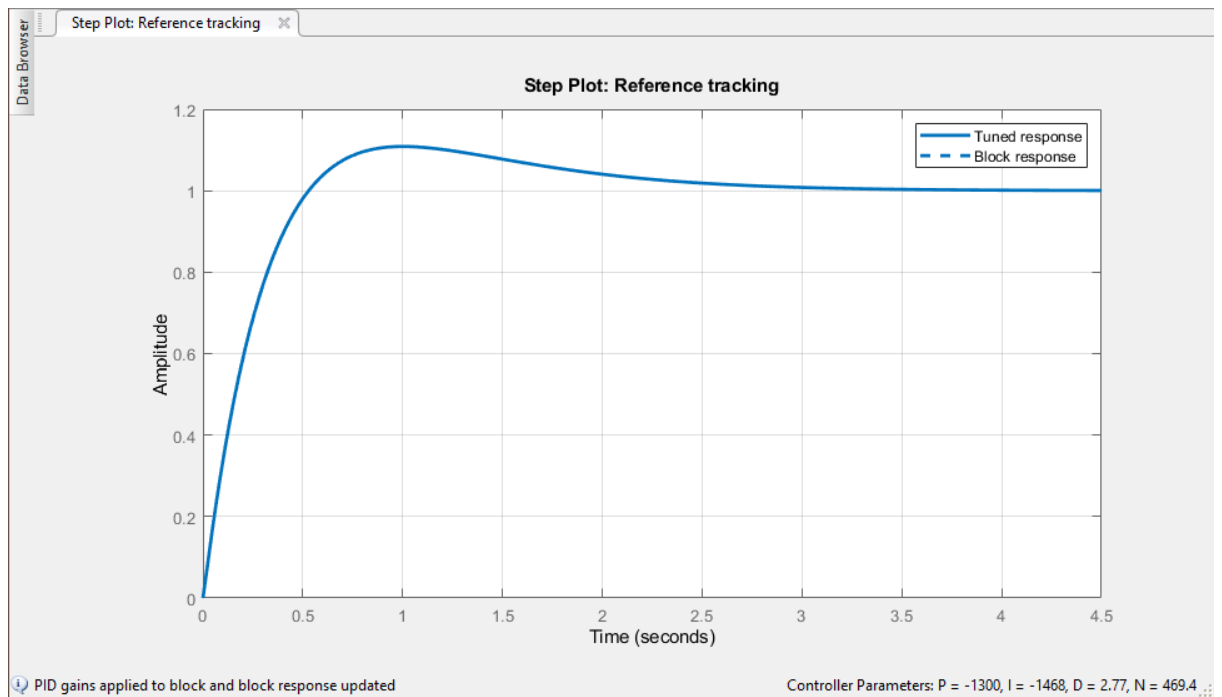


Рисунок 3.11 - Налаштування регулятора за максимальної швидкості дії

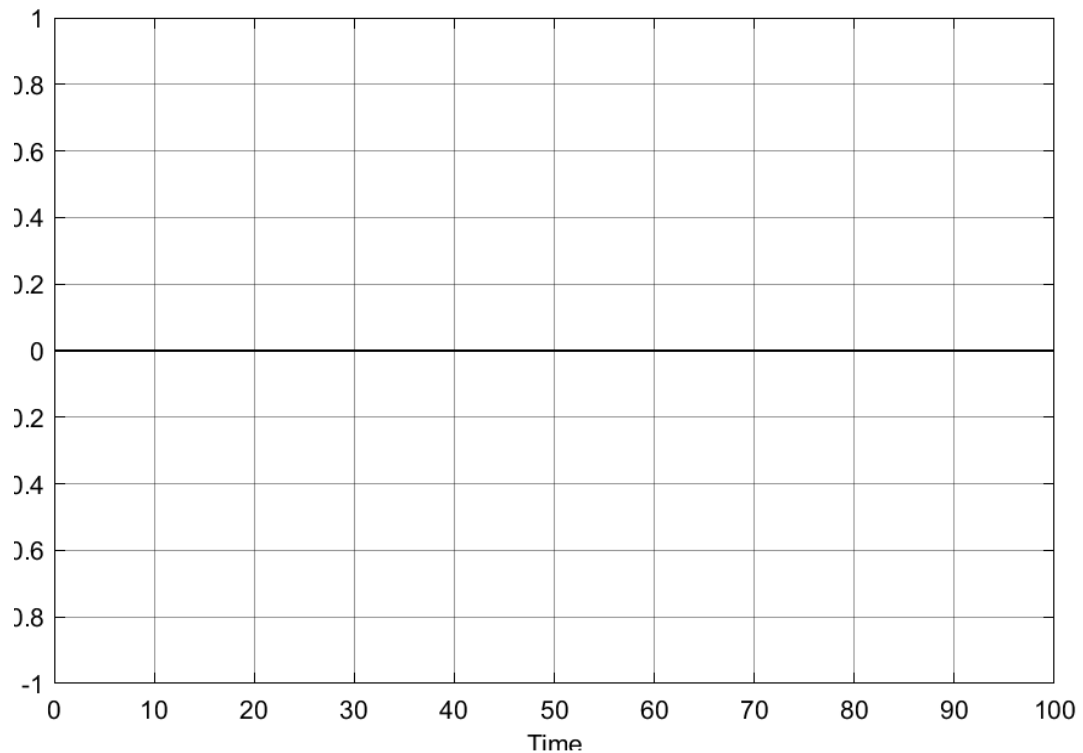


Рисунок 3.12 - Перехідна функція схеми за нульового початкового значення

3.5 Оптимальні настройки

Проведемо дослідження оптимальних настройок системи управління установкою очищення стічної води. Для цього використано стандартні функції системи математичного моделювання MatLab Simulink.

Simulink — це діаграмне середовище, яке полегшує моделювання кількох доменів і проектування на основі моделей. Це полегшує проектування складних систем, моделювання складних систем, автоматичне створення складного коду, а також тестування та перевірку вбудованих систем. Simulink надає графічний інтерфейс, який можна налаштувати, щоб включити блоки, які можна реалізувати, і розв'язувачі, які можна використовувати для моделювання та імітації динамічних систем. Він поєднується з MATLAB, що дозволяє використовувати алгоритми MATLAB у моделях і експортувати результати моделювання для їх подальшого аналізу в MATLAB. [39-45]

Block Parameters: PID Controller

PID 1dof (mask) (link)

This block implements continuous- and discrete-time PID control algorithms and includes advanced features such as anti-windup, external reset, and signal tracking. You can tune the PID gains automatically using the 'Tune...' button (requires Simulink Control Design).

Controller: **PID** Form: **Parallel**

Time domain:
 Continuous-time
 Discrete-time

Discrete-time settings
 Sample time (-1 for inherited): -1

Compensator formula

$$P + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}}$$

Main Initialization Output Saturation Data Types State Attributes

Controller parameters

Source: internal

Proportional (P): -235.899325667434

Integral (I): -87.8225004301423

Derivative (D): -62.3410599054136

Use filtered derivative

Filter coefficient (N): 1.34636114552581

Automated tuning
 Select tuning method: Transfer Function Based (PID Tuner App) **Tune...**

Enable zero-crossing detection

OK **Cancel** **Help** **Apply**

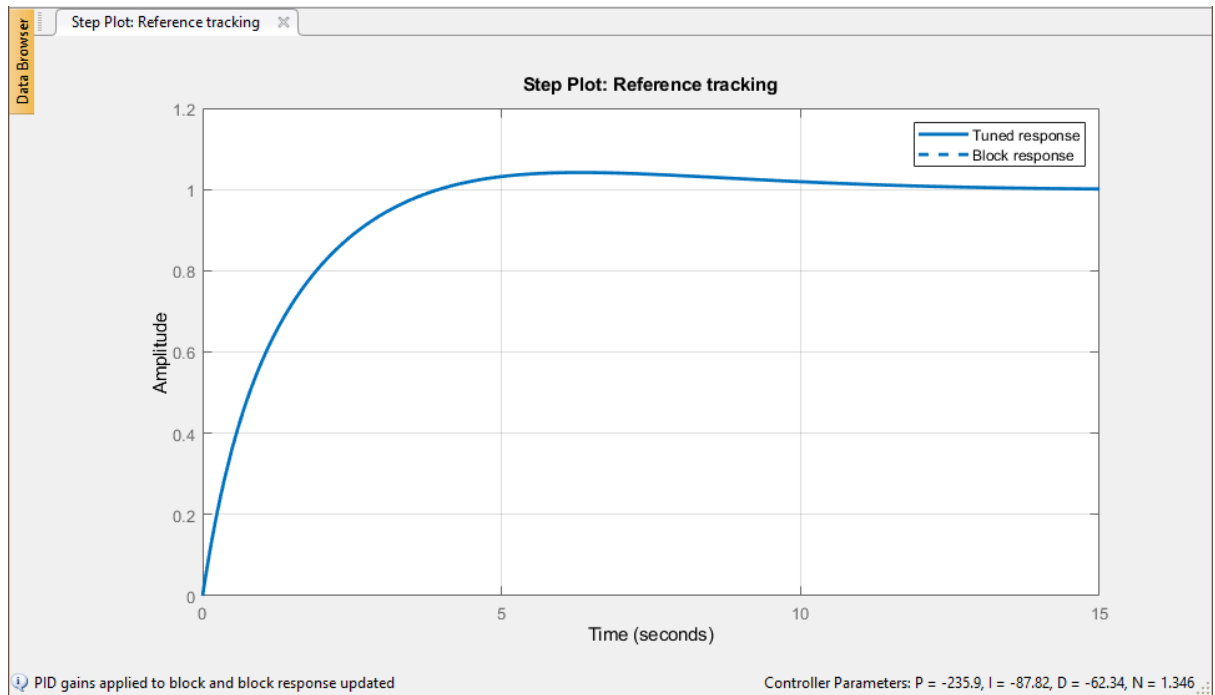


Рисунок 3.16 - Оптимальні настройки схеми регулятора

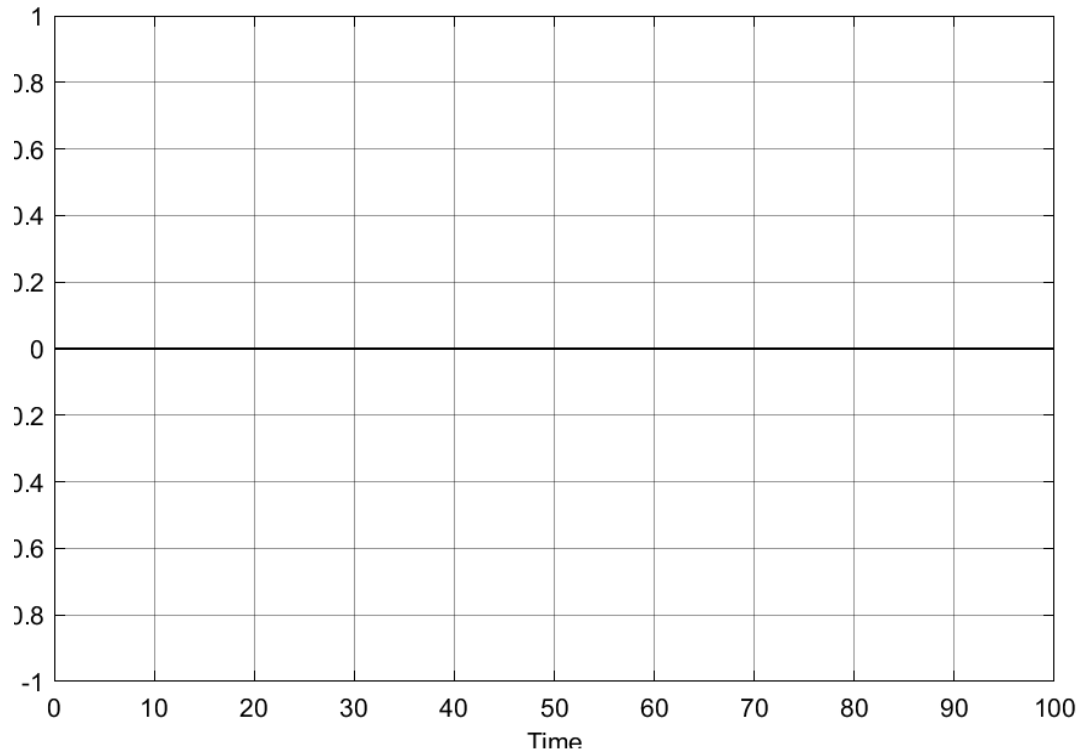


Рисунок 3.17 - Перехідна функція схеми регулятора за нульового встановлення

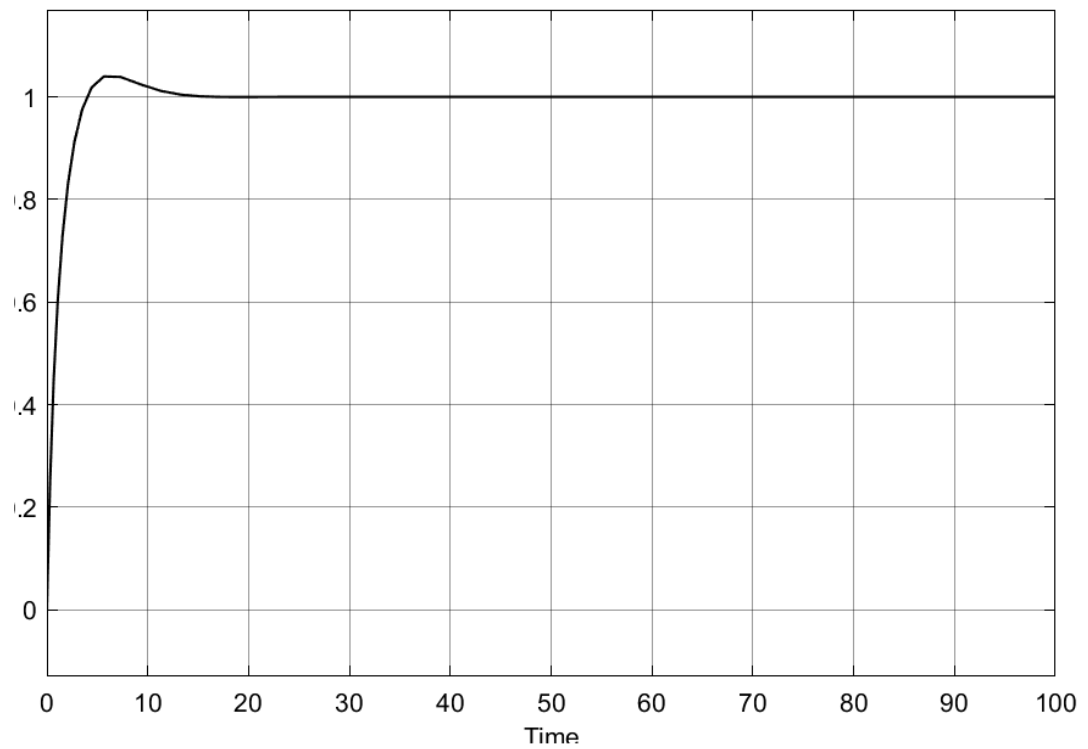


Рисунок 3.18 - Перехідна функція схеми регулятора за одиничного початкового значення

3.5 Рекомендовані налаштування

Проведемо дослідження рекомендованих настройок системи управління установкою очищення стічної води. Для цього використано стандартні функції системи математичного моделювання MatLab Simulink.

Проаналізуємо рекомендовані налаштування регулятора від Matlab та реакцію об'єкту на дані налаштування PI-регулятора. [46-50]

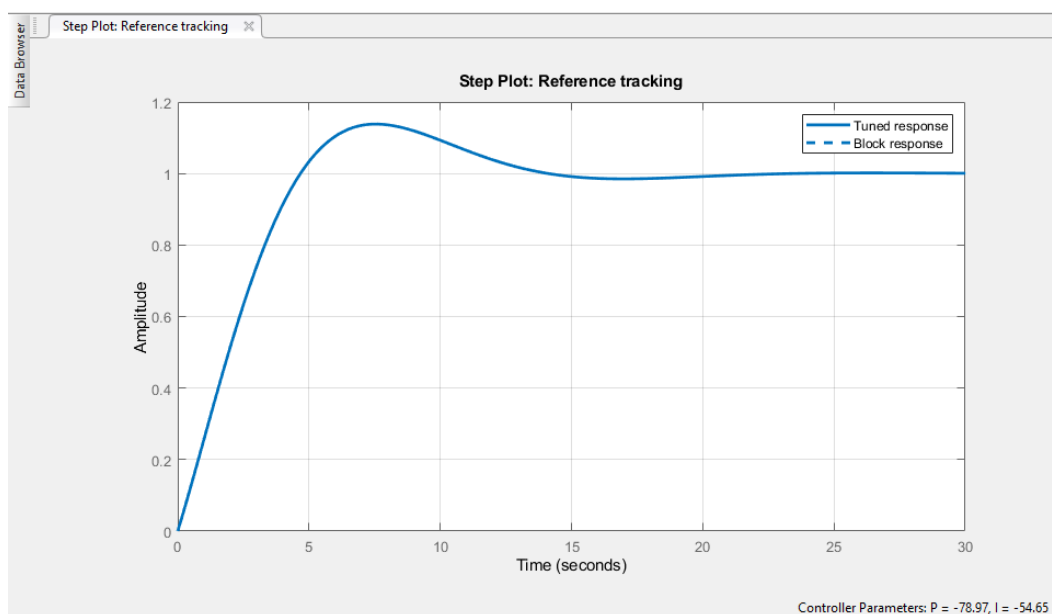
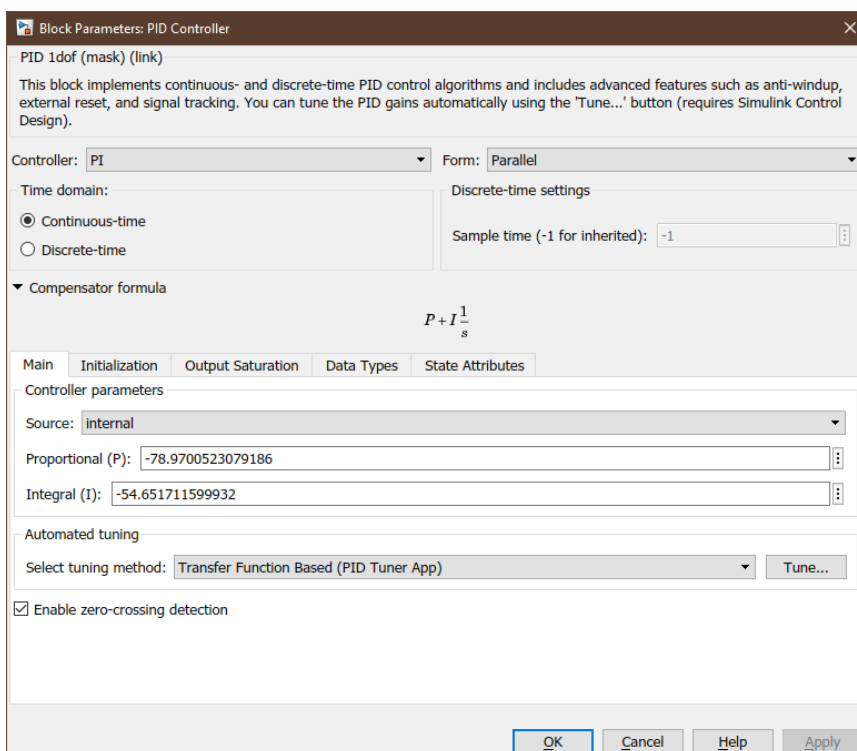


Рисунок 3.21 - Автоматичні встановлення настройок регулятора

Проведемо дослідження рекомендованих налаштувань системи управління установкою очищення стічної води для досягнення максимальної швидкості реакції. Для цього використано стандартні функції системи математичного моделювання MatLab Simulink.

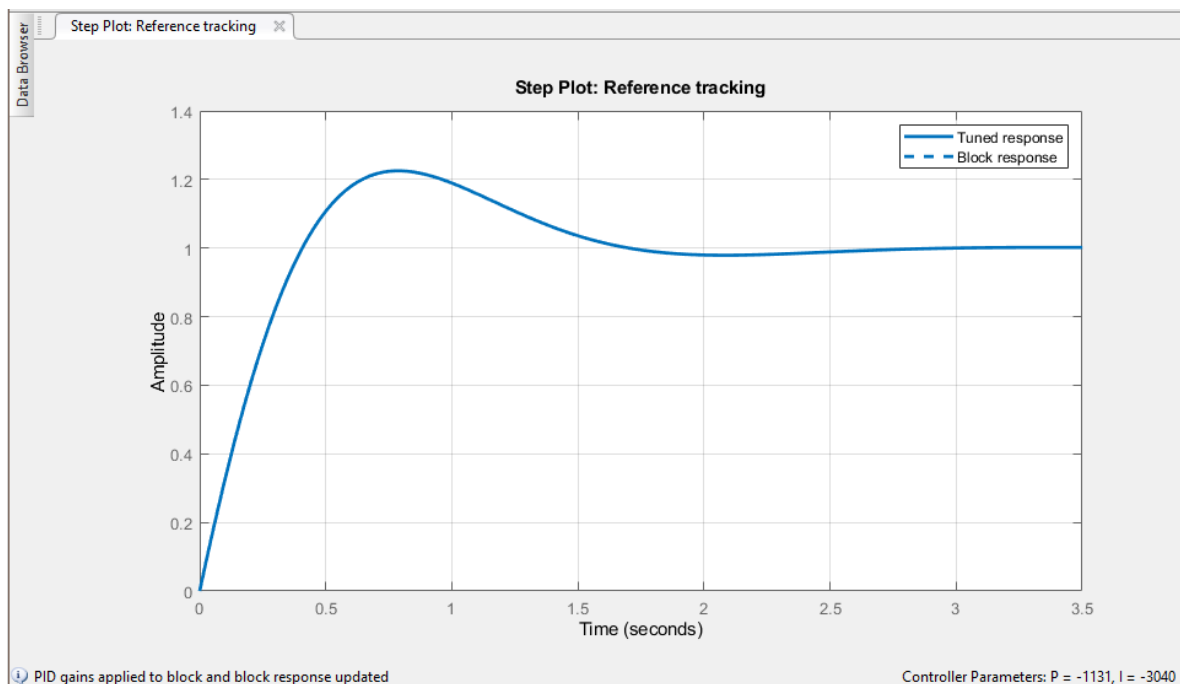
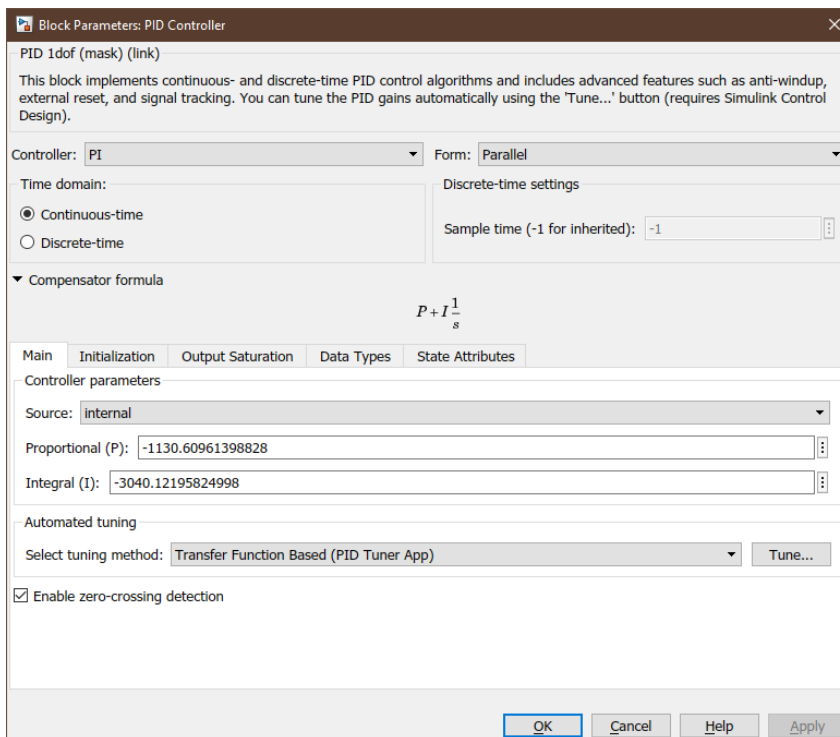


Рисунок 3.31 - Налаштування схеми регулятора для максимальної швидкості реакції схеми

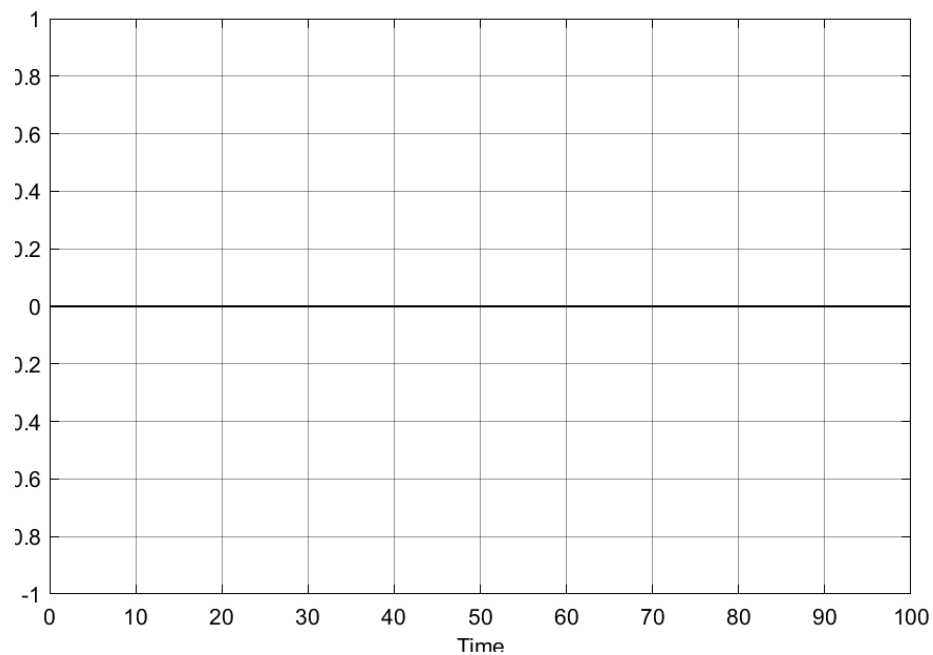
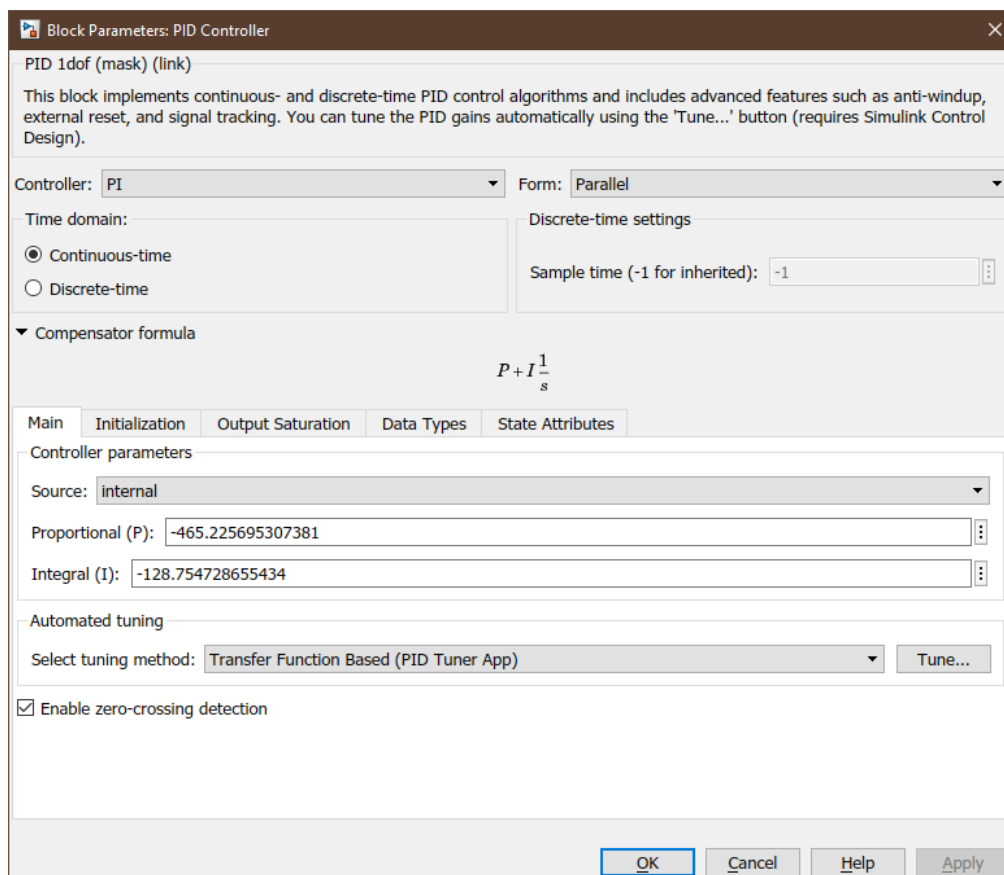


Рисунок 3.32 - Перехідна функція схеми регулятора за нульового початкового значення



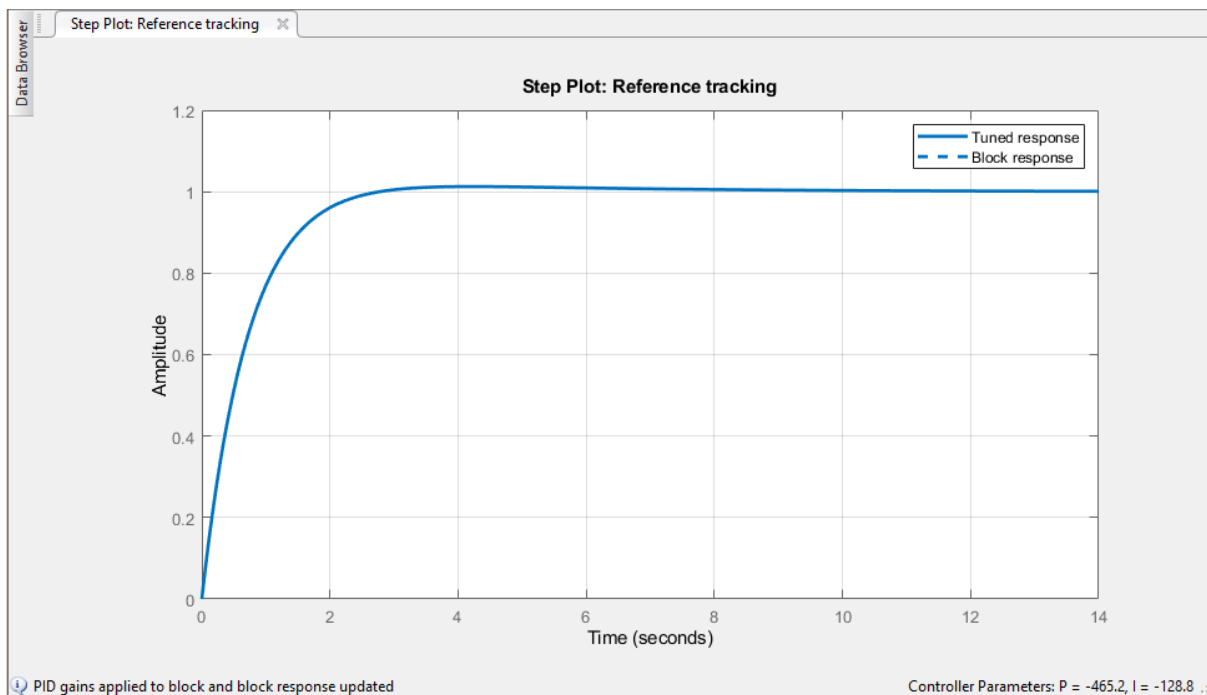


Рисунок 3.36 - Оптимальні настройки схеми регулятора

3.5 Синтез MPC регулятора

Оглянемо ще один спосіб синтезу, за допомогою MPC регулятора:

Структура системи з MPC регулятором зображена на рисунку 3.37.

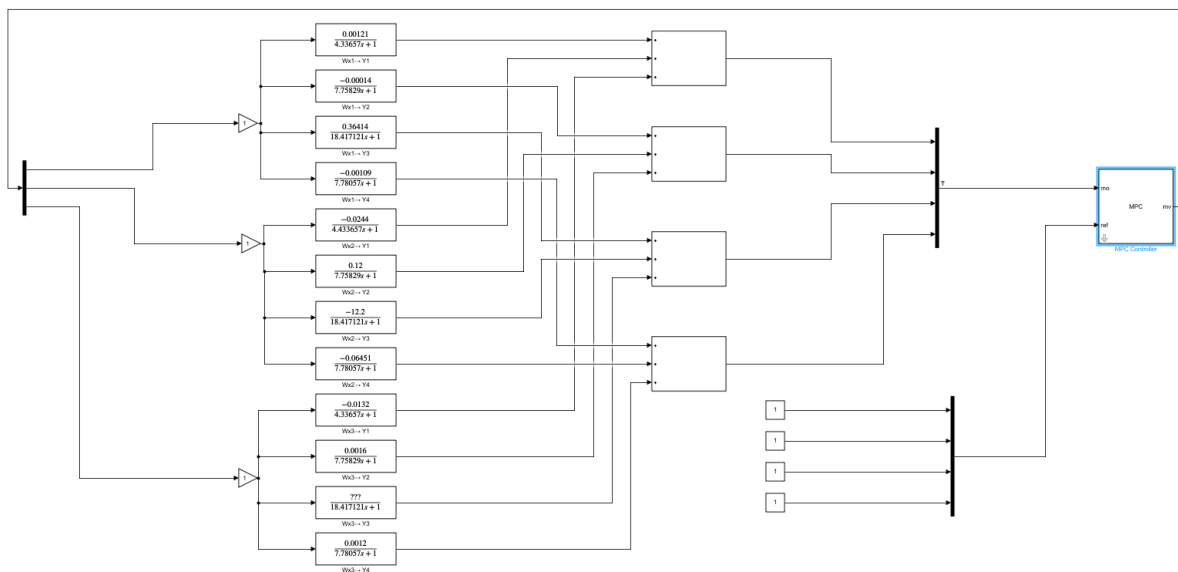


Рисунок 3.37 – Структурна схема із MPC регулятором

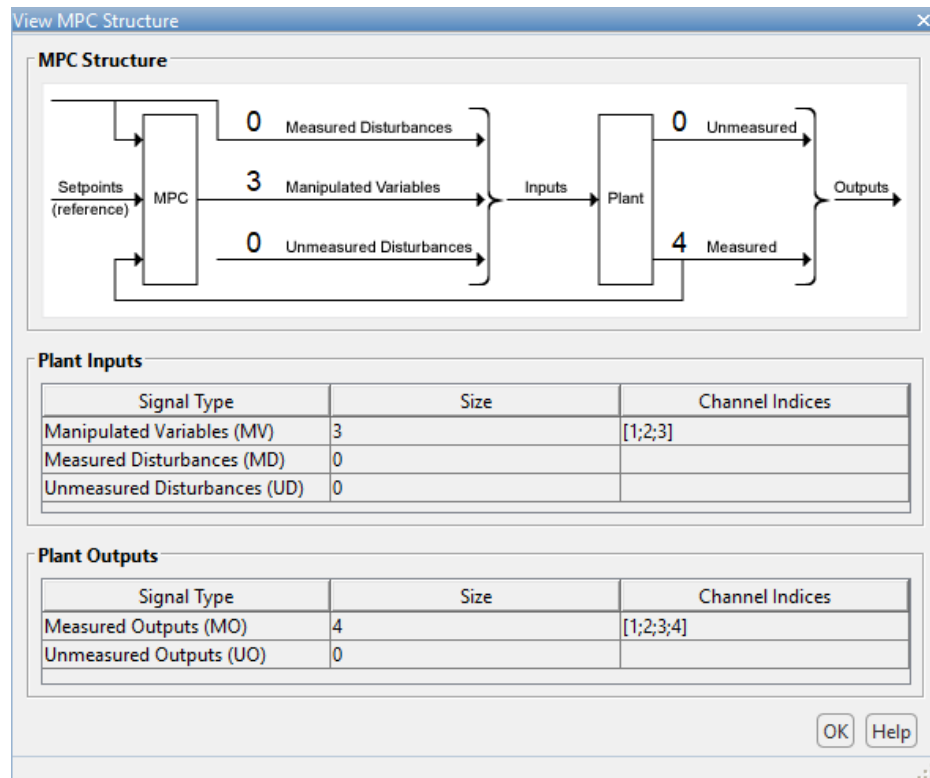
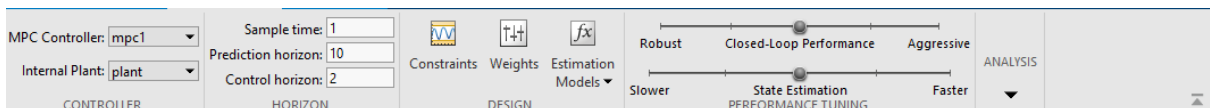


Рисунок 3.38 – Налаштування внутрішньої структурної схеми MPC регулятора

Автоматичні параметри налаштування регулятора:



Часові характеристики керуючої дії і вихідних величин, зображені нижче. Здається, що в симуляції час плине не так швидко, як у справжньому годиннику. Кожен часовий крок становить стільки, скільки потрібно для обчислення значень для цього часового кроку, незалежно від того, чи становить цей часовий крок частки секунди чи кілька років. [51-55]

Часто ефект введення компонента від його виходу є негайним. Наприклад, перемикач нагрівача не призводить до миттєвого підвищення температури. Натомість ця дія створює необхідні вхідні дані для диференціального рівняння.

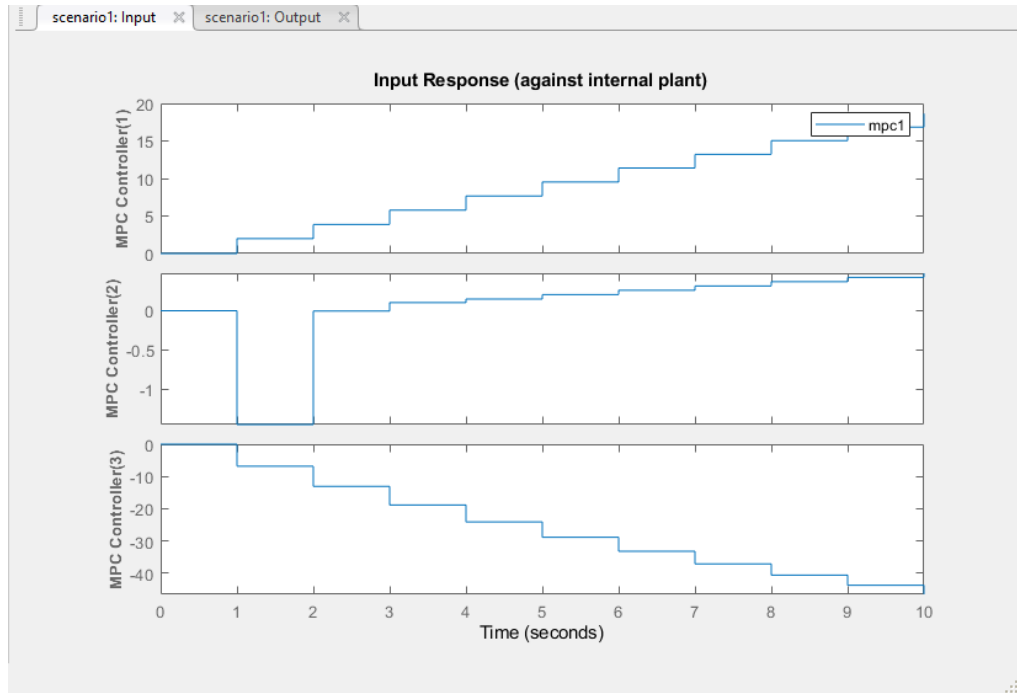


Рисунок 3.43 - Часова характеристика керування

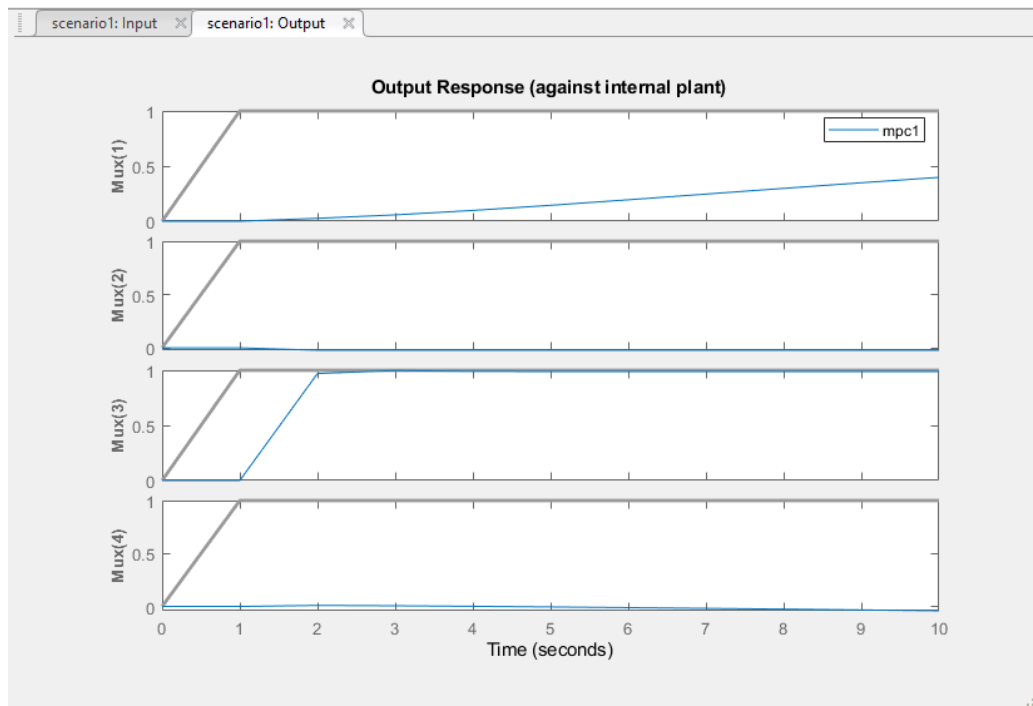
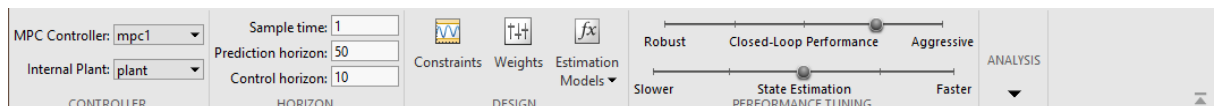


Рисунок 3.44 - Часова характеристика вихідна

Оптимальні параметри настройки регулятора:



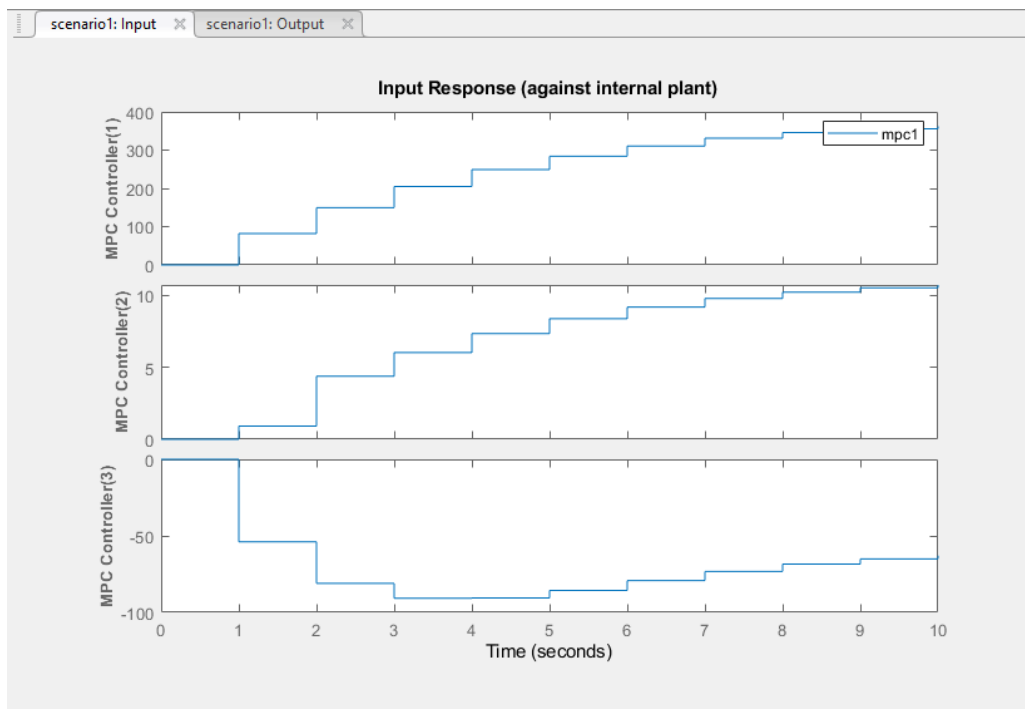


Рисунок 3.45 - Часова характеристика керування

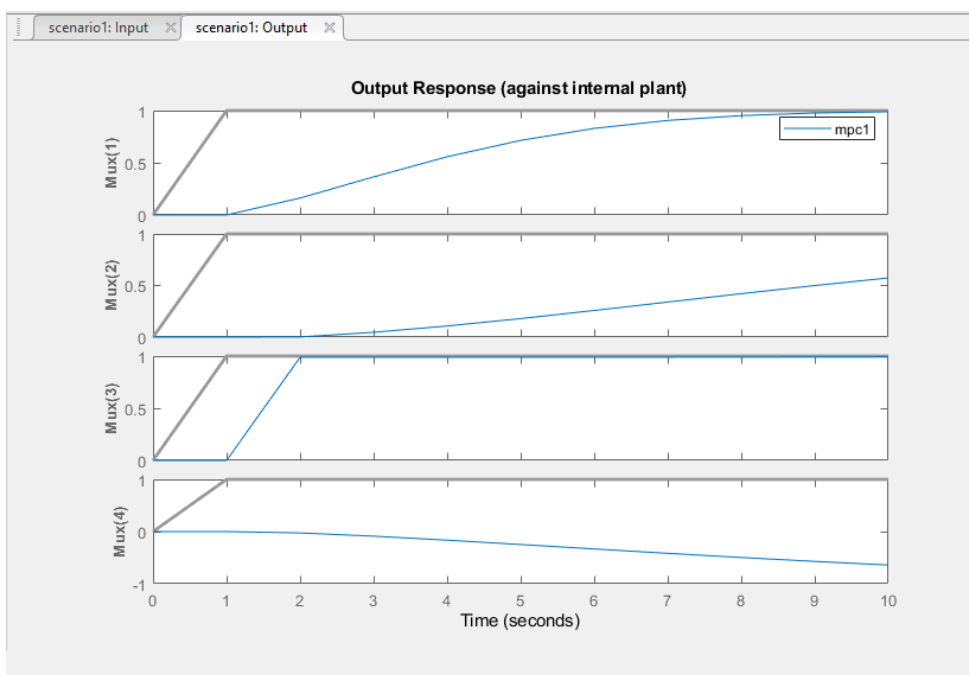


Рисунок 3.46 – Вихідна часова характеристика вихідних величин

3.6 Висновки до третього розділу

Для контролера були розроблені PI та PID контролери для основної платформи керування пристроєм. Однак цей тип системи не враховує вплив перехресних з'єднань, які мають значний вплив на функціональність системи.

Менеджер MPC був створений для роботи з усіма переходами. Всі регулятори були вивчені та обрані найбільш ефективні варіанти.

4 СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ

Окрім оптимізації, надзвичайно важливо відстежувати якість продукту в режимі реального часу та спостерігати за змінами показників. При контролі якості ви повинні розуміти частоту та причини відхилень. Багато проблем викликані помилками людини, тому швидка реакція пункту контролю якості може запобігти значній аварії та випуску великої кількості продукції не нижче стандартів за показниками якості.

4.1. Структура системи контролю якості

При розробці системи було зроблено припущення, що всі показники можна отримати через будь-який запит інформації через http (get, post тощо).

Після цього вся децентралізована система складається з частин:

- бази даних MySQL, RabbitMQ
- програма написана на Python, ця мова контролює весь процес.

Перевагами цієї архітектури є її стабільність, висока пропускна здатність і масштабованість, атомарність. Крім того, така конструкція може сприяти довгостроковому плануванню збору даних із певною періодичністю, певним способом зберігання та додаткової обробки.

Всі модулі можна розмістити на обох машинах або на окремих серверах. Робота з контейнерами Docker доступна для зручності їх розгортання та використання, але ця опція є дискреційною. [56-61]

База даних MySQL

MySQL — це недорога система керування базами даних із відкритим кодом. Ця спроба демонструє основу системи. За потреби замовник або користувач може покращити його. Через це використовуються такі бібліотеки, як alembic (для написання точних атомарних міграцій) і

SQLAlchemy (для створення запитів із використанням моделей замість необробленого SQL).

RabbitMQ

RabbitMQ — це система, яка реалізує протокол обміну повідомленнями між кількома компонентами програмного забезпечення на основі протоколу AMQP (Advanced Message Queuing Protocol).

AMQP (також відомий як Advanced Message Queuing Protocol) — це загальнодоступний протокол, призначений для використання з проміжним програмним забезпеченням, орієнтованим на повідомлення. Синтаксис обміну повідомленнями спеціалізується відповідно до вимог конкретного проекту. «Посередник повідомлень», який відповідає за маршрутизацію, зазвичай забезпечує доставку повідомлення, гарантований розподіл даних, а передплатники бажаних типів повідомлень перебувають у режимі очікування.

Додаток Python

Він отриманий з кількох виняткових бібліотек:

1. poetry — це форма керування залежностями та пакування в Python (замість pip). Це полегшує оголошення бібліотек, необхідних для вашого проекту, а потім керуватиме (встановлюватиме або оновлюватиме) ними за вас. poetry надає файл, який можна повторити та вбудувати у ваш проект, він також має канал розповсюдження.

- a. poetry – це простий і сучасний метод, який сприяє покращенню читабельності та структурованості проектів.

2. Scrapy — це безкоштовна веб-платформа для збирання даних із відкритим кодом, написана на Python. Він призначений для використання мовою Cambuslang. Спочатку призначений для збору даних у мережі, його також можна використовувати для вилучення даних через API або як веб-конструктор загального призначення.

Twisted — це структура мережевого програмування, яка керується подіями та написана на Python. Він ліцензований згідно з ліцензією MIT.

Проекти Twisted по-різному схвалювали TCP, UDP, SSL/TLS, багатоадресну IP-адресу, сокети на базі Unix і численні протоколи (включаючи HTTP, XMPP, NNTP, IMAP, SSH, IRC, FTP та інші), а також численні функції. Twisted походить від парадигми керованого подіями програмування, ця парадигма означає, що користувачі Twisted пишуть короткі оператори, які викликає система. [56-61]

Alembic — це легкий програмний інструмент для міграції бази даних, який сумісний із SQLAlchemy Toolkit для Python. Цифрова версія процесу, але із залученням бази даних. Він гарантує безпеку міграцій між версіями та попереджає людей про небажані або помилкові зміни.

SQLAlchemy — це інструмент для програмування SQL і об'єктно-реляційного відображення, який випускається за ліцензією MIT. Зрештою, це дає змогу створювати запити, які захищені від шкідливого коду, без необхідності використання SQL у повному обсязі. Що значно полегшує швидкість і точність процесу.

Щоб уточнити, необхідно додати кілька ідей:

- Scrapy.Spider — цей тип павука називається «павук». Це клас, який описує метод збору певної області (або кластера областей) з особливою увагою до методу сканування (див. наступні посилання) та методи отримання структурованих даних зі своїх сторінок (наприклад, збір компонентів). Іншими словами, павуки — це місце, де ви вказуєте поведінку, яку ви бажаєте застосувати під час сканування та аналізу сторінок для певного веб-сайту (або, у деяких випадках, колективу веб-сайтів);

- ScrapyCommand.Producer - команда, яка виконує завдання для обробки scrapy.Spider. Зазвичай він використовується як постачальник завдань, який повідомляє користувача про призначені завдання;

- ScrapyCommand.Consumer - команда, яка агрегує результати scrapy. Павук. Зазвичай він поєднується з ScrapyCommand.Producer та іншим ScrapyCommand.Consumer. [56-61]

Оскільки кожен Споживач має інший процес для досягнення результатів і кожен Споживач має інший процес для розпізнавання помилок.

Тоді типове розташування виглядає так:

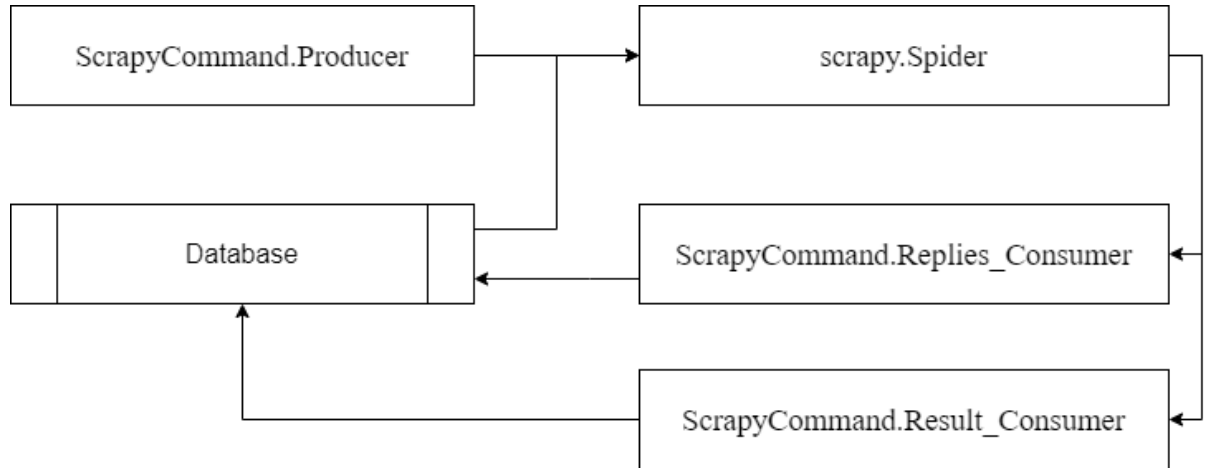


Рисунок 4.1 - Типова схема роботи за допомогою об'єктів scrapy

Однак ця схема не повністю представляє верхній рівень цього модуля, давайте доповнимо схему за замовчуванням брокера повідомлень RabbitMQ чергою.

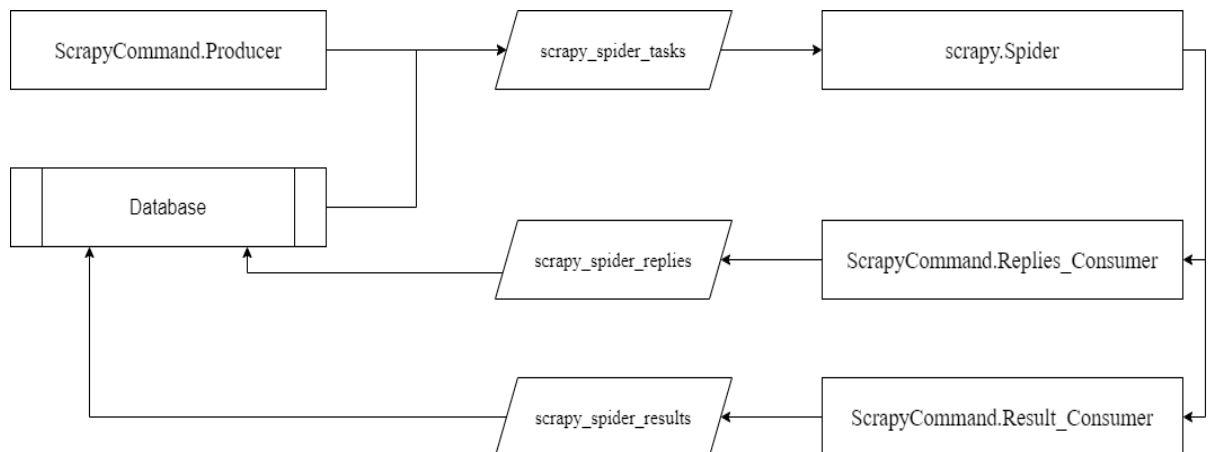


Рисунок 4.2 - Типова схема роботи за допомогою об'єктів scrapy та черг брокера повідомлень RabbitMQ

Подібний підхід – обробляє повідомлення в одному напрямку, якщо воно не доповнене додатковим вмістом у павуках.

Масштабування подібних завдань: для іншого підходу чи методології просто додайте подібний план. Крім того, можна збільшити швидкість публікації повідомлень, збільшивши кількість процесів, які надсилають повідомлення в чергу, або збільшивши швидкість обробки повідомлення, збільшивши кількість процесів, які отримують результат. Для цього у використовується менеджер процесів під назвою pm2 і конфігурація, яка його запускає. [62-70]

Крім того, scrapy швидше відповідає на запити або веб-сторінки, ніж людина. Це іноді проблематично, коли ресурси, які вам потрібні для збору інформації, не надають інформацію у відповідь на кілька запитів з однієї IP-адреси. У результаті можна використовувати проксі-сервер, щоб полегшувати запити, які надходять з різних джерел, і збирати дані без будь-якого впливу.

4.2 Огляд структури бази даних для запропонованого рішення

Пропонований дизайн, показаний на рисунку 4.2, складається з 5 загальних таблиць, які служать основою для так званої архітектури сеансу.

Існують таблиці для зберігання інформації про обладнання (`__tablename__ = "indicators"`), інформації про весь технічний персонал (`__tablename__ = "team_members"`), інформації про склад і лідерство команд (`__tablename__ = "work_teams"`), інформації про весь запланований збір даних сесії (`__tablename__ = "sessions"`) і таблицю з усією інформацією (`__tablename__ = "indicator_information"`). Крім того, автоматично створюються алембічні таблиці, які містять поточну версію БД.

Усі таблиці мають первинні ключі, індекси та не мають пов'язаних зовнішніх ключів, це тому, що асоціація зовнішніх ключів із таблицею призведе до великих накладних витрат у системі. Замість цього використовуються поля, які явно визначені як необхідні для доступу до даних через логічні асоціації. [62-70]

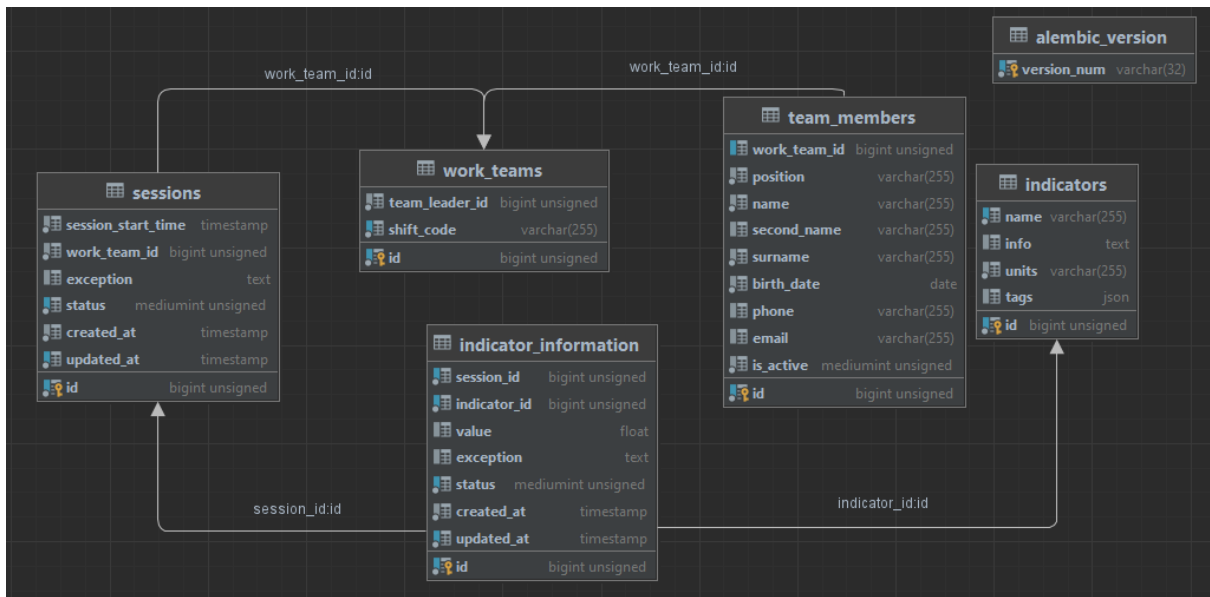


Рисунок 4.3 - Діаграма запропонованої бази даних.

4.3 Лістинг типових моделей та міграції

Процедура моделі та міграції таблиці обладнання, тобто включає список усіх можливих датчиків, які можна використовувати для збору метрик.

- Модель

```
# -*- coding: utf-8 -*-
```

```
from sqlalchemy import Column
```

```
from sqlalchemy.dialects.mysql import BIGINT, VARCHAR, TEXT, JSON
```

```
from .base import Base
```

```
class Indicator(Base):
```

```
    __tablename__ = "indicators"
```

```
    id = Column("id", BIGINT(unsigned=True), primary_key=True, nullable=False)
```

```

name = Column("name", VARCHAR(255), nullable=False)
info = Column("info", TEXT(), nullable=True)
units = Column("units", VARCHAR(255), nullable=False)
tags = Column("tags", JSON(), nullable=True)

```

- Міграція

```

"""create_indicator_table

```

```

Revision ID: a26220779aee

```

```

Revises: 050d3388f671

```

```

"""

```

```

import sqlalchemy as sa
from alembic import op
from sqlalchemy.dialects import mysql

```

```

# revision identifiers, used by Alembic.

```

```

revision = 'a26220779aee'

```

```

down_revision = '050d3388f671'

```

```

branch_labels = None

```

```

depends_on = None

```

```

def upgrade():

```

```

    op.create_table(

```

```

        "indicators",

```

```

        sa.Column("id", mysql.BIGINT(unsigned=True), autoincrement=True,

```

```

        nullable=False),

```

```

        sa.Column("name", mysql.VARCHAR(255), nullable=False),

```

```

        sa.Column("info", mysql.TEXT(), nullable=True),

```

```

        sa.Column("units", mysql.VARCHAR(255), nullable=False),

```

```

        sa.Column("tags", mysql.JSON(), nullable=True),

```

```

        sa.PrimaryKeyConstraint("id"),

```

```

    )

```

4.4 Опис процесу роботи

Вся схема описана в п. 4.1. Конкретний екземпляр має двох павуків, кожен з яких бере участь в обробці показників під час певного сеансу, тоді як інший обробляє значення апаратного забезпечення під час процесу.

В результаті клієнту або менеджеру залишається лише вказати, коли брати дані з індикаторів і заповнити таблицю сеансів відповідною інформацією. Команда `aqcs_session_tasks_producer.py` визначає тривалість сеансу та його готовність до обробки (поле статусу має бути 0). Коли всі передумови виконано, повідомлення про сеанс і відповідальну команду додається до черги.

Павук, який створює цю послідовність, слідуватиме за джерелом початкового посилання (зазвичай існує тупикова URL-адреса, яка повертає адресу клієнта, оскільки початкове посилання невідоме). Він отримає список усіх необхідних показників для збору. [62-70]

Команди `aqcs_session_results_consumer.py` і `aqcs_session_replies_consumer.py` використовуватимуть отримані дані та заповнять список усіх відомих індикаторів і таблицю `indicator_information`, включаючи їхні статуси, якщо це необхідно.

Далі команда `aqcs_indicator_tasks_producer.py`, подібно до попереднього виробника, бере індикатори, які слід зібрати далі. Другий павук буде слідувати тим самим шляхом, що й джерело, і отримуватиме дані, а команди `aqcs_indicator_results_consumer.py` і `aqcs_indicator_replies_consumer.py` оброблятимуть результати його дій. Також заповнить поля статусу та помилки, якщо вони є.

Нижче наведено типові приклади кожного типу команд і павуків.

```

from sqlalchemy import select, update, and_
from sqlalchemy.dialects import mysql
from sqlalchemy.sql.base import Executable as SQLAlchemyExecutable
from scrapy.utils.project import get_project_settings

from database.models import Session
from rmq.commands import Producer
from rmq.utils import TaskStatusCodes
from datetime import datetime

class AqcsSessionTasksProducer(Producer):

    def __init__(self):
        super().__init__()
        settings = get_project_settings()
        self.task_queue_name = settings.get("AQCS_SESSION_TASKS")
        self.consumer_queue_name = settings.get("AQCS_SESSION_RESULTS")
        self.reply_to_queue_name = settings.get("AQCS_SESSION_REPLIES")

    def get_tasks_interaction(self, transaction, chunk_size=None):
        started_session = self._get_started_session(transaction)
        if not started_session:
            self.logger.info("There is no ready session")
            return
        current_time = datetime.utcnow().isoformat()
        self.logger.info(f"current_time: {current_time}")
        stmt = (
            select(
                [
                    Session.id, Session.work_team_id
                ]
            )

```

```

    )
    .where(
        and_(
            Session.status == TaskStatusCodes.NOT_PROCESSED.value,
            Session.session_start_time <= current_time,
            Session.id == started_session["id"],
        )
    )
    .order_by(Session.id.asc())
)

active_session = self._execute_transaction(
    transaction, stmt, return_result="many"
)

```

Запропонована база даних є актуальною та має гнучкий розклад, достатній для запитів клієнтів, а також програму, яка є масштабованою та має окремий контейнер, останній із яких здатний працювати в кількох процесах.

4.4 Схемотехнічна частина

Однією з найважливіших функцій автоматизації є автоматичне регулювання та керування технологічними процесами, обладнанням насосної станції та очисних споруд, створення автоматизованих робочих місць, спеціалізованих у певних галузях і різноманітних робіт.

Основним призначенням водовідвідних систем і пристроїв є підвищення надійності пристроїв шляхом моніторингу стану обладнання та автоматичної перевірки стабільності інформації та надійності пристроїв. Все це сприяє автоматичному регулюванню параметрів технологічних процесів і показників якості очищення води у стічних водах, швидкому реагуванню на негативні впливи (збільшення об'єму очищеної води або зміна якості води).

Кінцевою метою автоматизації є підвищення ефективності управлінських зусиль.

Сучасні дренажні системи та насосні станції, якщо це можливо, слід будувати за допомогою управління без постійної присутності персоналу, призначеного для обслуговування. [62-70]

Структурна схема системи автоматичного контролю представлена рисунку 4.4:



Рисунок 4.4 – Структурна схема

PLC-150 розташований у правій частині структурного графіка. Праворуч є інтерфейс, який можна підключити до локальної мережі (Ethernet) для віддаленого доступу до контролера. Сигнал передається через цифрову систему. Координація персонального комп'ютера здійснюється за допомогою протоколу RS-232. Оскільки контролер не потребує технічних знань щодо технічних компонентів комп'ютера, навіть простої «машини», як от Pentium 4 або подібного пристрою, буде достатньо для належного

функціонування всієї системи. Зв'язок між PLC-150 і персональним комп'ютером здійснюється за допомогою цифрових засобів.

Функціональна схема системи автоматичного контролю рівня води наведена на рисунку 4.5:

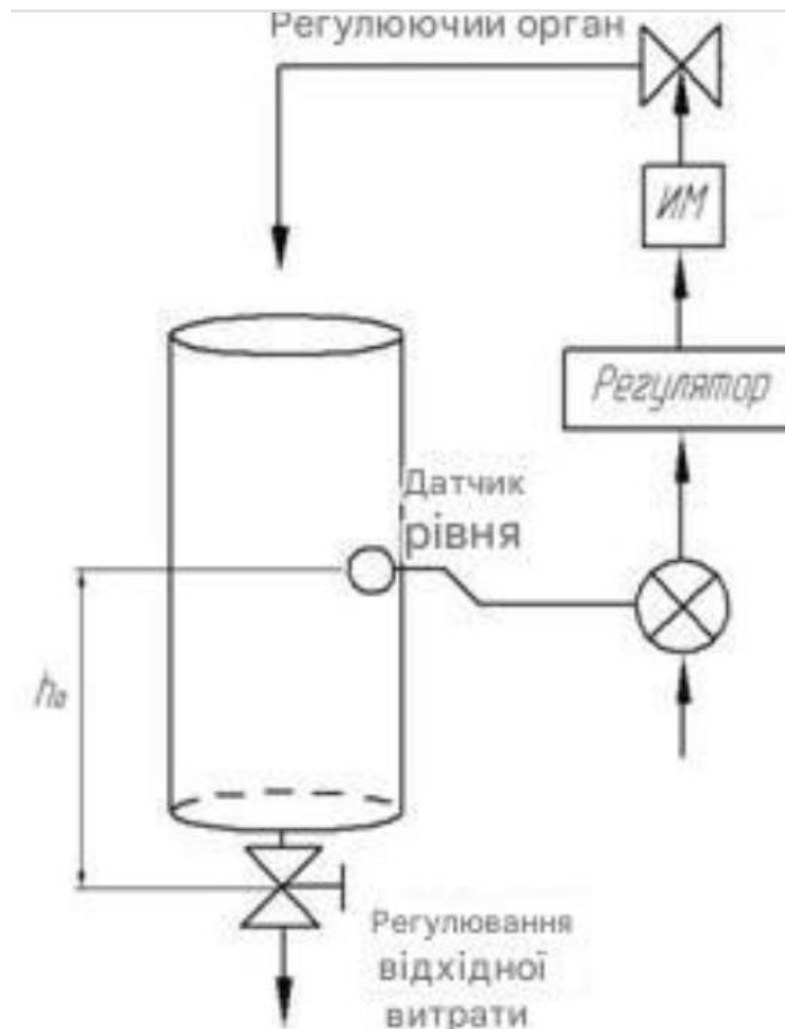


Рисунок 4.5 - Функціональна схема

Параметри передавальної функції схеми регулювання та керування

Відповідно до тех. завдання:

$H = 3$ [м] – висота труби.

$h_0 = 1,0$ [м] - заданий рівень.

$Q_{п0} = 12000$ [л / год]-номінальна витрата.

$d = 1,4$ [м]-діаметр труби.

Передатна функція ОУ:

$$W(p) = \frac{K}{Tp+1}$$

Розрахуємо чисельні значення передаточної функції.

Площа перерізу бака:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,4^2}{4} = 1,54 \text{ [м}^2\text{]}$$

Номінальна витрата води:

$$Q_{n_0} = 1,2 \cdot \frac{1}{3600} = 3,33 \cdot 10^{-3} \left[\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right]$$

Коефіцієнт передачі K:

$$K = \frac{2h_0}{Q_{n_0}} = \frac{2 \cdot 1,0}{3,056 \cdot 10^{-4}} = 1,801 \cdot 10^3 \left[\frac{\text{м}}{\text{м}^3/\text{с}} \right]$$

Постійна часу T:

$$T = A \cdot \frac{2h_0}{Q_{n_0}} = 1,54 \cdot 1,801 \cdot 10^3 = 2997 \text{ [с]}$$

Тож, передаточна функція для схеми регулювання та управління набуде вигляду:

$$W(p) = \frac{h(p)}{Q_n(p)} = \frac{K}{Tp+1} = \frac{1,801 \cdot 10^3}{2997p+1}$$

Структура САУ представлена рис.4.6.

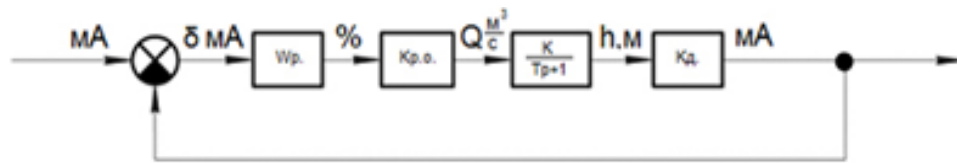


Рисунок 4.6 – Структурна схема САУ

У цій схемі:

- Кр.о. - коефіцієнт передачі органу регулювання (РО);
- Кд - коефіцієнт передачі давача рівня h;
- Wp – передаточна функція схеми автоматичного регулювання.

Розрахунок коефіцієнта підсилення органу регулювання $K_{p.o.}$:

$$K_{p.o.} = \frac{\Delta Q}{\Delta \%},$$

де ΔQ - зміна потоку;

$\Delta\%$ – зміна ступеню відкриття клапана регулювання (у відсотках).

Функція потоку, який приходить від ступеню відкриття клапану показано на рисунку 4.7:

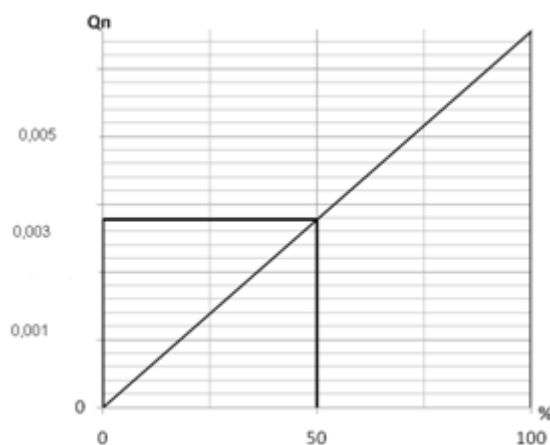


Рисунок 4.7 - Функція потоку, який приходить від ступеню відкриття клапану

Оцінка коефіцієнта передачі датчика рівня

Коефіцієнт передачі давача рівня знаходиться як ділення збільшення вихідного параметра давача рівня Δi [мА] на вхідний параметр Δh [м].

Максимальна висота рівня води, що повинен міряти давач рівня, дорівнює 1.5 метрам, а зміна уніфікованого вихідного сигналу струму давача рівня при зміні рівня у діапазоні 0-1.5 метра дорівнює 4-20 [мА].

$$K_D = \frac{\Delta i \text{ [мА]}}{\Delta h \text{ [м]}} = \frac{16}{1,5} = 10,67 \left[\frac{\text{мА}}{\text{м}} \right]$$

Загальнопромислові давачі рівня мають задану функцію згладжування вихідного сигналу інерційною ланкою фільтром першого порядку із постійною часу, яка встановлюється T_f у діапазоні від одиниць до декількох десятків секунд. Обираємо постійну часу фільтра $T_f = 10$ с [2].

Тоді передаточна функція датчика рівня дорівнює:

$$W_\Phi(p) = \frac{i(p)}{h(p)} = \frac{K_D}{T_\Phi p + 1} = \frac{10,67}{10p + 1} \left[\frac{\text{мА}}{\text{м}} \right]$$

Структура системи управління набуде вигляду:

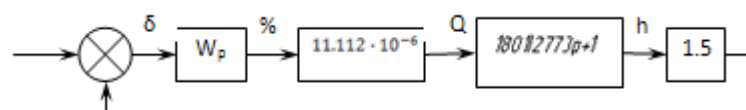


Рисунок 4.8 – Структура системи управління

Наближена структурна схема системи керування із чисельними значеннями на рис.4.9.

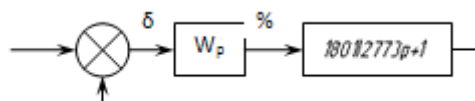


Рисунок 4.9 – Узагальнена структура системи управління

Логарифмічні амплітудно-фазові частотні характеристики незмінної частини системи

ЛАФЧХ незмінної частини САУ будуються приближеним методом, який базується на тому, що для ланки із передаточною функцією:

$$W_{нч} = \frac{K}{(T_p + 1)(T_\phi + 1)}$$

у логарифмічній системі координат до частоти $1/T$, де $T=56$ с – постійна часу, ЛАЧХ отримує вигляд прямої, що паралельна частотній вісі на рівні $20 \lg K = 20 \lg 0.44 = -7,34$ дб, а для частот більших $1/T$, ЛАЧХ отримує вигляд прямої лінії із нахилом -22 дб/дек до близької частоти $1/T_\phi$, де нахил змінюється ще більше на -20 дб/дек і рівний -40 дб/груд. [2]

Сполучні частоти:

$$\omega_{c1} = 0.0178 \left[\frac{1}{c} \right]$$

$$\omega_{c2} = 0.01 \left[\frac{1}{c} \right]$$

Таким чином, отримуємо:

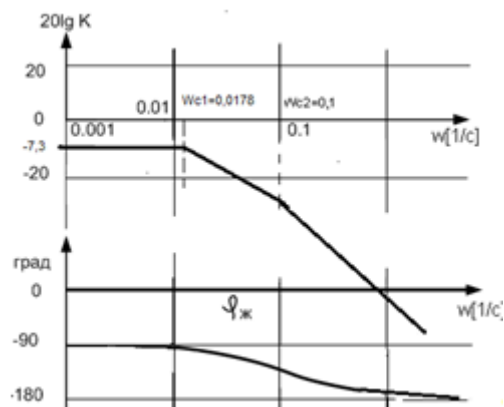


Рисунок 4.9 - ЛАФЧХ вихідної незамкненої системи

Розрахуємо параметри органу регулювання для вихідних та вхідних витрат.

Зробимо обрання органу регулювання виходячи за умовної пропускної спроможності C_v .

Обрахунок величини C_v робимо за міжнародним стандартом DIN EN 60534 відповідно формули:

$$C_v = Q \sqrt{\frac{\rho}{1000 \cdot \Delta p}}$$

де Q – витрата [$\text{м}^3/\text{год}$],

ρ – щільність рідин [$\text{кг}/\text{м}^3$],

Δp – різниця тиску [бар] перед клапаном (P_1 [bar]) та після клапану (P_2 [bar]) у напрямку потоку .

Тоді для органу регулювання витрати $Q_{п0}$ відповідно із вихідними даними:

$$C_v = 1,1 \sqrt{\frac{1000}{1000 \cdot 0,845}} = 1,2$$

Для можливих змін розходу Q_p у процесі автоматичного керування від його номінального значення $Q_{п0}$ максимальне значення Q_p приймемо удвічі більше за номінального, тобто $C_v=2,4$.

Діаметр прохідного перерізу для витрат, що надходить, обчислюється наступним чином:

$$\varnothing = 7,6 \cdot \sqrt{C_v} = 7,6 \cdot \sqrt{2,4} = 12 \text{ мм}$$

Аналогічно для розходу, на виході, маємо:

$$C_v = 1,1 \sqrt{\frac{1000}{1000 \cdot 0,147}} = 2,87$$

$$\varnothing = 7,6 \cdot \sqrt{C_v} = 7,6 \cdot \sqrt{5,74} = 18 \text{ мм}$$

Побудова ЛАФЧХ незамкненої САУ виходить із положень теорії лінійних систем і полягає в тому, що при ЛАЧХ незамкненої системи (яка складається з мінімальної кількості фазових ланок) знаходиться в області суттєвих частот (секторі, що обмежується лініями ± 20 дБ нахил -20 дБ/дек,

- замкнена САУ є стійкою;
- перехідна функція замкненої САУ подібна до монотонної;
- час регулювання:

$$t_p = \frac{3}{\omega_{cp}}$$

Структура незамкненої вихідної системи із схемою ПІ-регулятора:

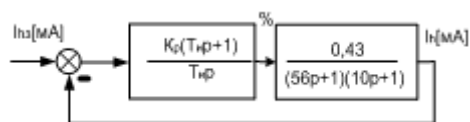


Рисунок 4.10 - Структура вихідної системи з схемою ПІ-регулятором

Потрібна ЛАЧХ ($L_{ж}$) спрощеного виду незамкненої САУ, яка б у замкненому виді задовольняла заданим показникам якості, має мати в околиці верхніх частот нахил ЛАЧХ що рівний -20 дБ/дек і перетинатись із віссю частот при :

$$\omega_{cp} = \frac{3}{t_p} = \frac{3}{56} = 0,0536 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

В області низькочастотних асимптот, щоб отримати нульову (відповідну ТК) статичну похибку нуля, частотні властивості відкритої системи повинні бути ідентичними властивостям інтегратора принаймні першого порядку. Далі зазвичай створюють бажаний ЛАС у цьому полі як пряму лінію з нахилом -20 дБ/пк. як продовження L_{zh} з області високих частот. Щоб спростити реалізацію АС, межа високої частоти повинна відповідати межі високої частоти фіксованої частини системи. У результаті передбачуваний ЛАСН відкритої системи зображено на рисунку 4.11:

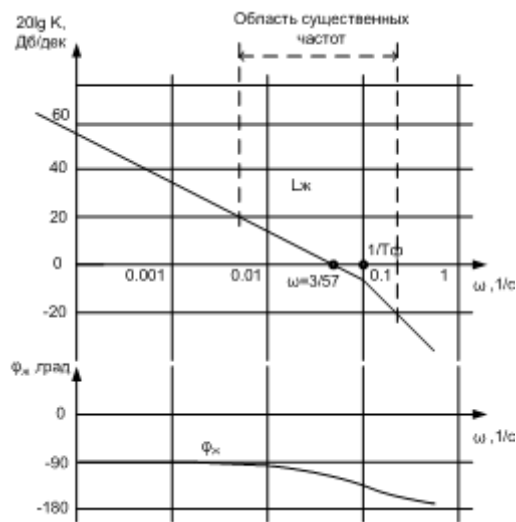


Рисунок 4.11 - ЛАФЧХ незамкненої системи

Згідно з прийнятою структурною схемою промислової САУ, єдиним засобом приведення ЛАФЧХ до незмінної частини $L_{нч}$ до $L_{ж}$ є схема П-регулятора з передаточною функцією ЛАФЧХ (при $K_p=1$)

$$T_u = 56 (с); \frac{1}{T_u} = 0,0179 \left(\frac{1}{с}\right).$$

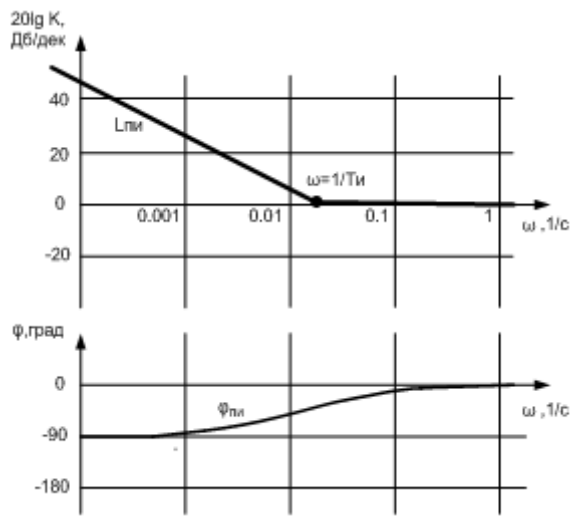


Рисунок 4.12 – ЛАФЧХ із схемою ПІ-регулятора

На рисунку 4.12 видно, що для $\omega < 1/T_u$ області низьких частот ЛАЧХ ПІ-регулятора відповідають інтегруючому ланці з негативним фазовим зсувом -90 град, а для $\omega > 1/T_u$ частотні характеристики регулятора відповідають підсилювальному ланці з нульовим фазовим зсувом в області істотних частот проектованої системи при належному виборі.

Прийmemo постійну інтеграцію регулятора рівної постійної часу T об'єкта управління, тобто $T_i = 56$, при $K_p = 1$. Тоді ЛАЧХ розімкнутої САУ набуде вигляду $L_1 = L_{нч} + L_{пн}$, якісно відповідного виду $L_ж$ рисунку, але з меншим коефіцієнтом посилення. Для збігу ЛАЧХ проектованої системи з $L_ж$ необхідно збільшити коефіцієнт посилення розімкнутої системи на 16 дБ, тобто у 7 разів. Отже, налаштування регулятора визначено.

Такі ж параметри налаштування регулятора виходять, якщо з $L_ж$ графічно відняти $L_{нч}$ і по виду ЛАЧХ послідовного коректора (ПІ регулятора), що вийшов, відновити його передатну функцію.

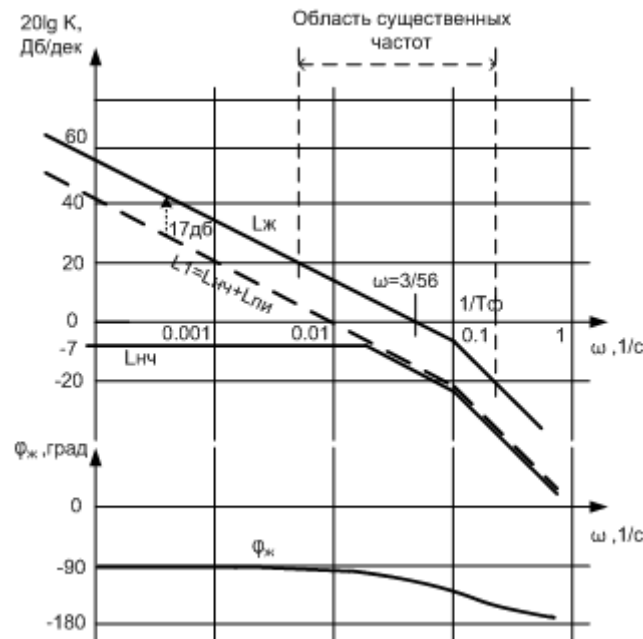


Рисунок 4.13 – Синтез САУ

Як видно з рисунка 4.13 при $T_i = T = 56$ с, передатна функція розімкнутої системи має вигляд

$$W_p = \frac{i_h(p)}{i_z(p)} = K_p \frac{0,43}{56p(10p+1)},$$

у складі якої має місце інтегруюча ланка. При побудові ЛАЧХ, що відповідає $W_p(p)$ коефіцієнт передачі $K_p^{0,32} / 7850$ повинен чисельно відповідати частоті

перетину ЛАЧХ з віссю на частоті $\omega_{cp} = \frac{3}{56} \approx 0,054$ з⁻¹, звідки $K_p \frac{0,43}{56} = 0,054$ з⁻¹ або $K_p = 6,98$.

При розрахункових налаштуваннях регулятора САУ стійка, має перехідну функцію, близьку до монотонної, час регулювання $t_p = 56$ с, статична помилка $\delta_{ст} = 0$.

Професійна розробка систем промислової автоматизації пов'язана з CoDeSys (Controller Development System). Основним призначенням комплексу CoDeSys є розробка прикладних програм мовами згідно стандарту MEK 61131-3.

Система складається з двох основних частин: середовища програмування CoDeSys і системи виконання CoDeSys. CoDeSys — комп'ютерна програма, яка дозволяє створювати програми. Програми

пишуться у швидкому машинному коді, який потім вставляється в контролер. CoDeSys SP є частиною контролера і полегшує завантаження кодів, налагодження та інші функції.

У створенні пристроїв CoDeSys беруть участь понад 250 компаній з визнаними іменами. Багато людей, які спеціалізуються на професії автоматизації, щодня віддані своїй роботі. [62-70]

Створення програмних додатків для PLC-150 аналогічно розробці інших контролерів. Проводиться на персональному комп'ютері в CoDeSys під Microsoft Windows у середовищі CoDeSys. Генератор коду безпосередньо перетворює програму користувача в машинний код, що сприяє швидкому прогресу контролера. Система, яка виконує та налагоджує код, генератор, який створює код, і функціональні блоки, які є специфічними для серії ПЛК, розроблені, щоб доповнити архітектуру цих контролерів.

Інструменти налагодження включають можливість перегляду та редагування входів, виходів і змінних, циклічного проходження програми, моніторингу виконання алгоритму програми у візуальному представленні, візуалізації подій і моделювання технологічного обладнання.

Головне вікно системи CoDeSys складається з наступних компонентів (у вікні ці компоненти розташовані зверху вниз).

- 1) Меню.
- 2) Панель інструментів.
- 3) Організатор об'єктів, що має вкладки POU, Типи даних (Data types), Візуалізації (Visualizations) та Ресурси (Resources).
- 4) Розділювач Організатора об'єктів та робочої області CoDeSys.
- 5) Робоча область, де знаходиться редактор.
- 6) Вікно повідомлень.
- 7) Рядок статусу, що містить інформацію про поточний стан проекту.

Панель інструментів, вікно повідомлень і рядок стану є додатковими компонентами основного вікна.

Меню розташоване у верхній частині головного вікна. Він охоплює всі функції CoDeSys. Вигляд вікна зображено на рисунку 4.14.



Рисунок 4.14 - Зовнішній вигляд вікна

Кнопки панелі інструментів забезпечують швидкий доступ до команд меню.

За допомогою кнопки на панелі інструментів команда автоматично реалізується в активному вікні.

Замовлення буде виконано, як тільки буде відпущена кнопка на панелі інструментів.

Кнопки на панелі інструментів відрізняються для кожного редактора CoDeSys.

Панель інструментів можна вимкнути, як показано на рисунку 4.15.

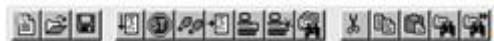


Рисунок 4.15 - Панель інструментів

Загальний вид вікна програми CoDeSys показано на рисунку 4.16.

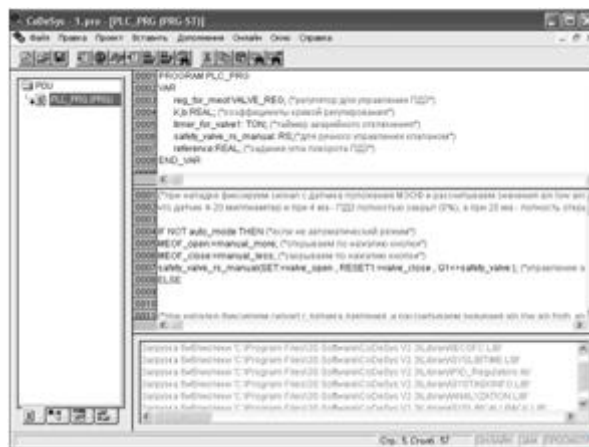


Рисунок 4.16 – Вигляд вікна програми CoDeSys

З блок-схеми видно, що після ініціювання мікроконтролера в нього завантажується програма, ініціалізуються змінні, приймаються вхідні дані та перевіряються модулі. Крім того, користувач може вибрати роботу машини в автоматичному або ручному режимі. У ручному режимі ви можете регулювати потік води та вибрати спосіб активації МЕОФ. Пізніше виконується запис вихідних даних і створення посилки на кількох інтерфейсах. Після цього алгоритм повторно прочитає вхідні дані або завдання буде завершено.

Для створення візуального інтерфейсу для розробки була обрана програма Trace Mode 6. Ця програма має всі необхідні функції та властивості:

- має відносно широкий спектр можливостей для моделювання технологічних процесів на комп'ютері.

Доступні всі поширені мови програмування для систем і контролерів SCADA.

- зручний інтерфейс;
- просте підключення до програмованого логічного контролера;
- повна версія цієї системи доступна на сайті виробника.

Trace Mode 6 призначений для використання в автоматизації виробничих підприємств, енергетичних об'єктів, інтелектуальних будівель, транспортних засобів, енергетичних систем та інших додатків.

Спектр автоматизованих систем, створюваних в режимі Trace, будь-який - від повністю автономних контролерів і робочих місць операторів до розподілених систем управління, що включають численні контролери, які обмінюються інформацією за допомогою різних способів зв'язку, включаючи місцеві, внутрішні та виділені телефонні лінії, радіо, і мережі GSM.

Інтегроване середовище розробки проектів у програмі Trace Mode зображено на рисунку 4.17.

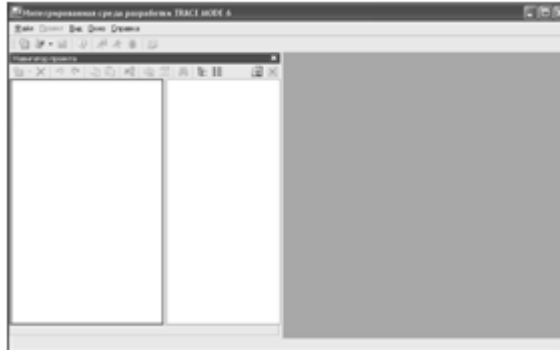


Рисунок 4.17 – Середовище Trace Mode 6

Навігатор проектів дозволяє швидко перемикатися між підпроектами вашого проекту. Якщо навести курсор на один із цих елементів, з'явиться примітка, яка дозволить вам зрозуміти вміст.

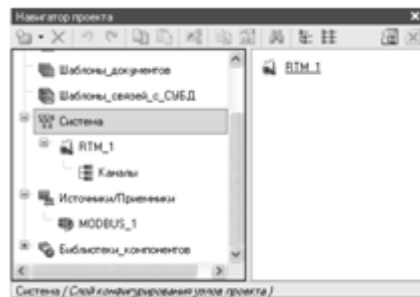


Рисунок 4.18 – Навігатор проекту

Мнемонічна схема цього проекту, резервуар для зберігання першої черги очищення стічних вод показана на рисунку 4.19, включаючи:

- пульт управління (може вибрати режим управління, регулювати жалюзі);
- відображення кута повороту автомобіля;
- індикація рівня води в баку для води;
- аварійне скидання (при переповненні води в резервуарі);
- графіки для відстеження інформації про вимірювання (стан рівня води та положення клапанів показано на графіку).

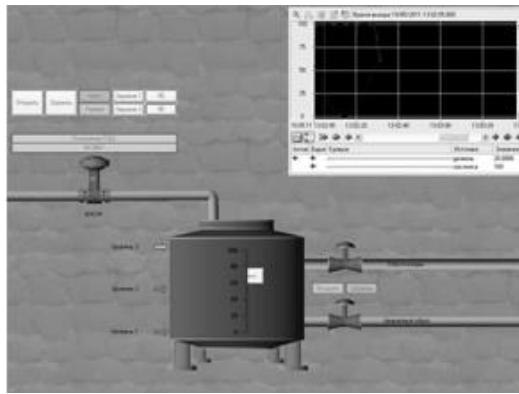


Рисунок 4.19 – Мнемосхема бака накопичення

Під полем "Положення ПДЗ" показано фактичний кут повороту заслонки (0-100%), це дозволяє точно стежити за вимірювальною інформацією.



Риснок 4.20 – Положення ПДЗ

При спрацьовуванні кроку ПЛК (сигнал від СКУД) колір стрілки на лівій стороні резервуара змінюється з сірого на зелений, тобто якщо стрілка зелена, рівень води вище датчика.

Повзунок на шкалі є індикатором рівня рідини (через датчик манометричного тиску) (0-100%).



Рисунок 4.21 – Індикатор рівня

Управління може здійснюватися в двох режимах:

- 1) Інструкція.
- 2) Автоматично.

Після вибору режиму колір відповідної кнопки змінюється з сірого на зелений, і режим стає доступним.

Для управління клапаном в ручному режимі служать кнопки «Відкрити» і «Закрити».

В автоматичному режимі можна встановлювати завдання залежно від кута повороту автомобіля.

Праворуч від поля «Завдання 1» введіть рівень води водойми, при якому кут повороту автомобіля почне зменшуватися.

Праворуч від поля «Завдання 2» ввести рівень води водойми, при якому ПЗ повністю закриється.

Крім того, аварійний клапан працює в автоматичному режимі для запобігання переливу води. Якщо рівень перевищує «Завдання 2» і датчик верхнього рівня (SAU) спрацює протягом 10 секунд, відкривається аварійний клапан.



Рисунок 4.22 – Аварійне скидання

Щоб полегшити відстеження вимірювальної інформації, стан рівня води та положення заслінки відображаються на графіку. Синя лінія показує рівень води в резервуарі, а червона лінія показує положення клапана.

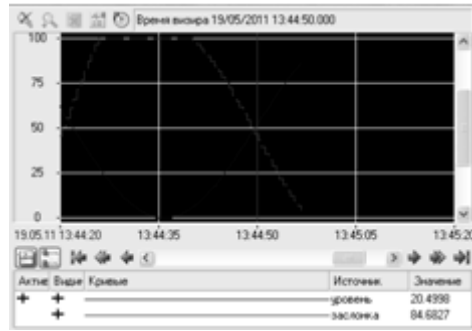


Рисунок 4.23 – Графік рівня та положення заслінки

4.5 Висновки до четвертого розділу

Розроблене програмне забезпечення є функціональним, інноваційним та сучасним, воно володіє всіма можливостями для автоматичного контролю якості продукції, має велику різноманітність підходів для збільшення та розвитку. Це також може стати частиною стартапу, який, за належного фінансування, може виробляти розвинений і якісний продукт, який можна буде продавати.

ВИСНОВКИ

У даній роботі розглянуто процедуру математичного моделювання декарбонізатора та процедуру очищення води у відходах. Було вирішено наступні питання:

1. Проведено дослідження існуючих методів і процесів очищення стічних вод.
2. Досліджено математичні та аналітичні моделі існуючих технологічних підходів до декарбонізації в контексті водопідготовки.
4. Запропонований математичний опис декарбонізатора.
5. Запропонований склад системи керування декарбонізатором з різноманітною конфігурацією.

Розроблене програмне забезпечення є функціональним, інноваційним та сучасним, воно володіє всіма можливостями для автоматичного контролю якості продукції, має велику різноманітність підходів для збільшення та розвитку. Це також може стати частиною стартапу, який, за належного фінансування, може виробляти розвинений і якісний продукт, який можна буде продавати.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Айрапетян Т. С. Конспект лекцій з дисциплін «Очистка побутових стічних вод» та «Споруди та обладнання водовідведення» (Модуль 2. Очистка стічних вод) (для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання напрямів підготовки 6.060101 «Будівництво» (спеціальність «Водопостачання та водовідведення») та 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)»)/ Т. С. Айрапетян; Харк. нац. ун–т міськ. госп–ва ім. О. М. Бекетова. – Х.: ХНУМГ, 2014. – 121 с.
2. About the results of experimental study performed on a “decarbonizer – vacuum deaerator” system. IOPscience. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/288/1/012020/pdf>
3. Концевой, А.Л. Алгоритмізація і програмування розрахунків процесу водопідготовки. Навчальний посібник [Текст]: На правах рукопису / А.Л. Концевой, Н.М.Толстопалова. – К.: 2003. – 44 с.
4. Mitchell M. J., Sc B., Sc M. Mathematical modelling of carbon dioxide dissolution and reaction processes. <http://eprints.nottingham.ac.uk/14502/1/576160.pdf>. URL: <http://eprints.nottingham.ac.uk/14502/1/576160.pdf>.
5. Основи виробничого підприємництва: Навчальний посібник / під ред. Підлісної О.А., Янкового В.В. –К.: ІВЦ «Видавництво Політехніка», НТУУ «КПІ», 2010. –287 с
6. Myers T., Font F., Hennessy M. G. Mathematical modelling of carbon capture in a packed column by adsorption. <https://arxiv.org/pdf/2009.04513.pdf>. URL: <https://arxiv.org/pdf/2009.04513.pdf>.
7. Колонтаєвський Ю. П. Промислова електроніка і мікросхемотехніка / Ю. П. Колонтаєвський, А. Г. Сосков. під ред. А. Г. Соскова. – Вид. 2-ге, виправл. і доповн. – Харків : ХДАМГ, 2003. – 281 с.

8. Теорія електропривода : Підручник / [М. Г. Попович, М.Г. Борисик, В.А. Гаврилюк та ін.] ; за ред. М. Г. Поповича. – Київ : Вища шк., 1993. – 454 с.
9. Руденко В. С. Промислова електроніка / В. С. Руденко, В. Я. Ромашко, В. В. Трифонюк. – Київ : Либідь, 1993. – 432 с.
10. Костін М. О. Теоретичні основи електротехніки [Текст]: підручник у 3 т. / М. О. Костін, О. Г. Шейкіна. – Дніпро: Вид-во ДНУЗТ, 2006. – Т. 1. – 336 с; 2007.- Т.2.- 276 с; 2011. – Т.3, Ч.1. – 224 с; 2012.– Т.3, Ч.2. – 352 с.
11. Качан Ю. Г. Лінійна електротехніка (теоретичні основи) [Текст]: навч. посібник / Ю. Г. Качан.– Запоріжжя: Вида-во Запорізької держ. інж. академії, 1995. – 206 с.
12. Гуржій А. М. Електротехніка та основи електроніки : підручник для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти / А. М. Гуржій, С. К. Мещанінов, А. Т. Нельга, В. М. Співак. - Київ : Літера ЛТД, 2020. - 288 с.
13. Електрика та магнетизм : підручник / Л. Д. Дідух. - Тернопіль : Підручники і посібники, 2020. - 464 с. - Режим доступу : <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/31412..>
14. Автоматика та електропривод техніки реєстрації інформації [Електронний ресурс] : навч. посіб. / Г. Г. Власюк, В. М. Співак, К. О. Трапезон, В. Б. Швайченко. - Київ : Освіта України, 2010. - 159 с. - Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/19129>.
15. Колонтаєвський Ю. П. Електроніка і мікросхемотехніка : підручник / Ю. П. Колонтаєвський. - Київ : Каравела, 2006. - 384 с.
16. Макаренко В. В. Цифрова та імпульсна схемотехніка. Моделювання та аналіз : навч. посіб. для студентів, які навчаються за напрямом підготовки «Акустотехніка» [Електронний ресурс] / В. В. Макаренко, В. М. Співак ; НТУУ «КПІ». -Київ : НТУУ «КПІ», 2015. - 314 с. - Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/19099>.

17. Панчевний Б. І. Загальна електротехніка: теорія і практика / Б. І. Панчевний, Ю. Ф. Свергун. - 2-ге вид. - Київ : Каравела, 2004. - 440 с.
18. Воробйова О. М. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / О. М. Воробйова, Ю. В. Флейта. - Одеса : ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2018. - 208 с.
19. Бойко В. І. Мікрокомп'ютерна техніка / В. І. Бойко, А. Т. Нельга. - 2-ге вид. - Київ : Науково-методичний центр вищої освіти, 2008. - 254 с.
20. Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, Д.Г. Войтюк; За ред. Є.Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.: іл.
21. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник /Барало О.В., Самойленко П.Г.,Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.
22. Експлуатація машин і обладнання: Навчальний посібник / Ружицький М.А., Рябець В.І., Кіяшко В.М. та ін. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 617 с.
23. Матвійчук А. Я. Електротехніка: навчально-методичний посібник/ Матвійчук А. Я., В. Л. Стінянський; Вінницький державний педагогічний університет ім. М.Коцюбинського.– Вінниця, 2017. -270 с.
24. Загальна електротехніка з основами автоматики: Навчальний посібник / Т.В.Левченко. – К., 2010. – 358 с.
25. Технічний сервіс в агропромисловому комплексі: навчальний посібник / Коновалюк О.В., Кіяшко В.М., Колісник М.В. – К.: Аграрна освіта, 2013. – 404 с.
26. Електричні машини і апарати: навчальний посібник / Ю.М. Куценко,В.Ф. Яковлев та ін. – К.: Аграрна освіта, 2011. – 449 с.
27. Електроніка та мікросхемотехніка: Навчальний посібник / За ред. проф. В.Ф. Яковлева. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 329 с.
28. Паначевний Б.І., Свергун Ю.Ф. Загальна електротехніка: теорія і практикум. - К.: Каравела, 2003. – 440 с.

29. Монтаж електрообладнання і систем керування / За заг. ред. проф. Яковлєва В.Ф. – К.: Аграрна освіта, 2009. – 348 с.
30. Довідникова книга з електроенергетики: навчальний посібник/ П.В. Волох, М.П. Цоколенко, Л.В. Ревенко, В.А. Грічаненко та ін. –К. : Аграрна освіта, 2014. – 506 с.
31. Електроніка і мікропроцесорна техніка / Сенько В.І., Лисенко В.П., Юрченко О.М., Лукін В.Є., Руденський А.А. — К. : «Агроосвіта», 2015. — 676 с.
32. Електропостачання агропромислового комплексу : підруч. / Козирський В.В., Каплун В.В., Волошин С.М. – К. : Аграрна освіта, 2011. – 448 с.
33. Ремонт машин та обладнання : підручник / [Сідашенко О.І. та ін.]; за ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. – К. : Агроосвіта, 2014. – 665 с.
34. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва : підруч. у 2 т : Т 1 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін. ; за ред. А.В. Рудя. – К. : Агроосвіта, 2012. – 584 с.; іл.
35. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва : підруч. у 2 т : Т 2 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін. ; за ред. А.В. Рудя. – К. : Агроосвіта, 2012. – 434 с.; іл.
36. Комп'ютери та комп'ютерні технології : навч. посіб. Ч. 1. Програмування в математичному пакеті MathCAD / В.П. Лисенко. І.М. Болбот. – К. : Аграрна освіта, 2010. – 229 с.
37. Костинюк Л.Д. Моделювання електроприводів/ Л.Д. Костинюк, В.І. Мороз, Я.С. Паранчук. - Львів: НУ “Львівська політехніка”, 2004. - 404 с.
38. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування/ М.Г. Попович, О.В. Ковальчук. -Київ, “Либідь”, 2004.-504 с.

39. Ткачук В.І. Електромеханотроніка. Підручник/ В.І. Ткачук. - Львів: НУ "Львівська політехніка", 2006. - 440 с.
40. Півняк Г.Г. Сучасні частотно-регульовані електроприводи зі широтно- імпульсною модуляцією: Монографія/ Г.Г. Півняк, О.В Волков.. - Дніпропетровськ, НГУ, 2006. - 470 с.
41. Ісікова, Н. П. Проектування інформаційних систем [Текст] : навч. посіб. / Н. П. Ісікова, Т. В. Решетняк. — Краматорськ : ДДМА, 2020. — 111 с.
42. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Мікропроцесорні пристрої» для студентів спеціальності 092206 «Електричні машини та апарати» / Уклад.: Ю. С. Грищук, Т. П. Павленко. – Харків : ХДПУ, 1999. – 32 с.
43. Мікропроцесорна техніка : підручник / Ю. І. Якименко, Т. О. Терещенко, Є. І. Сокол та ін. / за ред. Т. О. Терещенко. – Київ : Політехнік, 2003. – 440 с.
44. Щерба А.А., Поворознюк Н.І. Електротехніка. Частина І. Електричні кола.: Посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Київ: ТОВ "Лазурит-Поліграф", 2011. – 384 с.
45. Бойко В. С., Бойко В. В., Видолоб Ю. Ф. та ін. Теоретичні основи електротехніки. Підручник: У 3 т.; Т. 1: Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. – К.: ІВЦ "Видавництво «Політехніка»", 2004. – 272 с.
46. Бойко В. С., Бойко В. В., Видолоб Ю. Ф. та ін. Теоретичні основи електротехніки. Підручник: У 3 т.; Т. 2: Перехідні процеси у лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. – К.: ІВЦ "Видавництво «Політехніка»", 2008. – 224 с.
47. Петренко І.А. Основи електротехніки та електроніки: Навч. посібник для дистанційного навчання: у 2 ч. – Ч.1: Основи електротехніки. – К.: Університет «Україна», 2006. – 411с. Ч.2: Основи електроніки. – К.: Університет «Україна», 2006. – 307 с.

48. Малинівський С.М. Загальна електротехніка. – Львів: Видавництво Національного ун-ту “Львівська політехніка”, 2001. – 594 с.
49. Мілих В.І. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка : підручник / В.І. Мілих, О.О. Шавьолкін; за ред. В.І.Мілих. – Київ : Каравела, 2012. – 688 с.
50. Мілих В.І. Електротехніка та електромеханіка / В.І. Мілих. – Київ : "Каравела", 2006. – 376 с.
51. Андрієнко В.М. Електричні машини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навч. за напрямом підгот. «Електротехніка та електротехнології» / В.М. Андрієнко, В.П. Куєвда. – К. : НУХТ, 2010. – 366 с.
52. Загірняк М.В. Електричні машини : підручник / М. В. Загірняк, Б. І. Невзлін. – Київ : Знання, 2009. – 399 с.
53. Електричні машини : підручник / Б.Т. Кононов, Г.І. Лагутін, О.Б. Котов та ін.; за заг. ред. Б.Т. Кононова. – Харків : ХУПС, 2015. – 493 с.
54. Яцун М.А. Електричні машини : навч. посіб. для студ. базового напрямку «Електромеханіка» / М.А. Яцун – 2-ге вид., стер. – Львів : Видво Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2004. – 440 с.
55. Вольдек А.И. Электрические машины / А.И. Вольдек – Л. : Энергия, 1974. – 840 с. 11. Кацман М.М. Электрические машины : учеб. для студентов сред. проф. учебных заведений / М.М. Кацман - 3-е изд., испр. – М. : Высшая школа, 2001. – 463 с.
56. Щерба А.А., Поворознюк Н.І. Електротехніка. Частина І. Електричні кола.: Посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Київ: ТОВ "Лазурит-Поліграф", 2011. – 384 с.
57. Бойко В. С., Бойко В. В., Видолоб Ю. Ф. та ін. Теоретичні основи електротехніки. Підручник: У 3 т.; Т. 1: Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. – К.: ІВЦ "Видавництво «Політехніка»", 2004. – 272 с.
58. Бойко В. С., Бойко В. В., Видолоб Ю. Ф. та ін. Теоретичні основи електротехніки. Підручник: У 3 т.; Т. 2: Перехідні процеси у лінійних

електричних кіл із зосередженими параметрами. – К.: ІВЦ "Видавництво «Політехніка»", 2008. – 224 с.

59. Петренко І.А. Основи електротехніки та електроніки: Навч. посібник для дистанційного навчання: у 2 ч. – Ч.1: Основи електротехніки. – К.: Університет «Україна», 2006. – 411с. Ч.2: Основи електроніки. – К.: Університет «Україна», 2006. – 307 с.

60. Малинівський С.М. Загальна електротехніка. – Львів: Видавництво Національного ун-ту “Львівська політехніка”, 2001. – 594 с.

61. Електротехніка та електроніка. Теоретичні відомості, розрахунки та дослідження за підтримкою комп'ютерних технологій: Навчальний посібник. / А.А. Щерба, В.М. Рябенський, М.Є. Кучеренко, К.К. Побєдаш. В.І. Чибеліс, А.Т. Кінаш, Л.В. Солобуто: За заг. ред. А.А. Щерби та В.М. Рябенського. – К.: «Корнійчук», 2007. – 488 с.

62. Васильєва Л.Д., Медведенко Б.І., Якименко Ю.І. Напівпровідникові прилади: Підручник. – К.: ІВЦ, “Видавництво «Політехніка»”, 2003. – 388 с.

63. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник для студентів вищ. закл. освіти у 4-х т. Під ред. В. І. Сенька. – Т.1: Елементна база електронних пристроїв. – К.: ТОВ “Видавництво Обереги”, 2000.– 300 с.

64. Навчально-методичний посібник з курсу “Електротехніка”. Розділ “Розрахунок лінійних кіл постійного струму” / укл. Щерба А. А., Грудська В. П., Спінул Л.Ю - К.: ІВЦ «Політехніка».- 2004.

65. Навчально-методичний посібник з курсу “Електротехніка”. Розділ “Розрахунок лінійних кіл однофазного синусоїдного струму” / укл. Щерба А.А.,Грудська В. П., Спінул Л.Ю. - К.: ІВЦ «Політехніка».- 2004.

66. Навчально-методичний посібник “Взаємна індукція у колах змінного струму ”. / укл. Щерба А.А., Грудська В. П., Чибеліс В.І., Спінул Л.Ю. - К.: ВПЦ «Політехніка».- 2006.

67. Розрахунок електричних кіл постійного струму. Навчальне видання. / Уклад.: І.А. Курило, І.Н. Намацалюк, А.А. Щерба. – К.: НТУУ “КПІ”, ФЕА, 2006. – 51 с.

68. Розрахунок електричних кіл синусоїдного однофазного струму. Методичні вказівки до виконання розрахункових робіт. / Уклад.: І.А. Курило, І.Н. Намацалюк, А.А. Щерба. – К.: НТУУ “КПІ”, 2004. – 82 с.

69. Методичні вказівки до лабораторних робіт з теоретичних основ електротехніки: цикл 1./ Укл. А.А. Щерба, В.С. Бойко, В.І. Чибеліс, І.А. Курило.– К., НТУУ "КПІ", 2008. – 28 с.

70. Методичні вказівки до лабораторних робіт з теоретичних основ електротехніки: цикл 2./ Укл. А.А. Щерба, В.С. Бойко, В.І. Чибеліс та інші. – К., НТУУ "КПІ", 2008. – 36 с.

Додаток А

Стаття у фаховому журналі (подана до редакції журналу «Вісник Хмельницького національного університету: технічні науки»)

УДК 338.242

DOI:

МОРКУН Наталія

Хмельницький національний університет
<https://orcid.org/0000-0002-1261-1170>

МАКАРИШКІН Денис

Хмельницький національний університет
<https://orcid.org/0000-0003-3447-811X>
makaryshkinde@khmnu.edu.ua

ЗАГУРОВСЬКИЙ М.С.

Хмельницький національний університет

МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ДЕКАРБОНІЗАТОРОМ ПРИ ОЧИЩЕННІ СТІЧНИХ ВОД

Проведено інформаційний аналіз існуючих методів і способів очищення стічних вод. Проаналізовано математичні і аналітичні моделі існуючих технологічних схем декабонізаторів у процесі очистки стічних вод. Запропонована математична модель декабонізатора.

Ключові слова: процес очищення стічних вод, декабонізатор, математична модель, система керування, автоматична система контролю якості.

MORKUN Natalia, MAKARYSHKIN Denys, ZAGUROVSKYY M.S.
 Khmelnytsky National University

METHOD OF AUTOMATED CONTROL OF DECARBONIZER IN WASTEWATER TREATMENT

An information analysis of existing methods and methods of wastewater treatment was carried out. Mathematical and analytical models of existing technological schemes of decarbonizers in the process of wastewater treatment were analyzed. A mathematical model of the decarbonizer was proposed.

A review of the literature and existing installations has shown that all water treatment systems, piping and devices have significantly reduced service life due to high carbon dioxide concentrations. As a result, the aim of this study is to review and investigate known methods of controlling the decarbonator to maximize its efficiency and extend its service life.

The mathematical representation of the decarbonator function was obtained in transfer functions from a previously known analytical model. Adaptive transfer functions were found for all primary channels, and the characteristics of each channel were studied as transients.

Keywords: wastewater treatment process, decarbonizer, mathematical model, control system, automatic quality control system.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Вода життєво важлива для Землі, і вона ніколи не перестає бути актуальною. Цей ресурс щодня використовується в різних сферах, як охолоджувач, як хімічна речовина, сировина тощо. Зрештою люди створюють нові технологічні системи, які є досконалішими, екологічно чистішими та ефективнішими.

Незважаючи на досягнутий прогрес, ці системи не є непорушними, оскільки вода також є руйнівним компонентом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Слово «стічна вода» включає в себе різні речовини з різним походженням, складом, фізико-хімічними властивостями тощо. Ця вода використовується у фінансово-технічному пристрої, який є як економічним, так і технічним, вона забруднюється, і її фізико-хімічні властивості також змінюються. Стічні води різноманітні за своїм складом і властивостями, і їх можна розділити на три основні типи:

- господарсько-побутові;
- виробничі;
- атмосферні.

Побутові стічні води утворюються в житлових, комунальних та адміністративних будівлях, а також у побутовій інфраструктурі промислових підприємств. Як правило, ця стічна вода походить із дренажних систем для санітарних пристроїв, містить виділення людей, а також побутові відходи: пісок, миючі засоби, залишки їжі, папір, тканину тощо. Побутовими стічними водами вважається суміш сечі та фекалій, яка є розрідженою, подібно до стічних вод кухні та ванної кімнати. Послідовний склад їхніх відходів є однією з відмінних рис господарських і побутових стічних вод, це пояснюється подібністю між фізіологією людини та її господарською діяльністю.

Промислові стічні води утворюються під час виробництва товарів, продуктів, матеріалів тощо. Це сміття різноманітне за кількістю та складом, залежно від виробничого процесу, використовуваної сировини та технології. Загальні типи забруднення промислових стічних вод поділяються на п'ять класів:

- біологічно нестійкі органічні сполуки;
- малотоксичні органічні солі;
- нафтопродукти;
- біогенні сполуки;
- речовини зі специфічними токсичними властивостями, у тому числі важкі метали, біологічно жорсткі органічні синтетичні сполуки, що не розкладаються.

Промислові стічні води, які містять органічні речовини та токсичні речовини, які перешкоджають хімічному перетворенню цих органічних речовин, спеціально фільтруються, метою є видалення токсичних речовин, а потім вода скидається в міську каналізацію.

Етап скидання суворо обмежений правилами прийому промислових стічних вод у каналізацію населених пунктів. Надходження промислових стічних вод у міську каналізацію буває рівномірним або нерівномірним, безперервним або проривним, сезонним або цілорічним.

Атмосферні стічні води утворюються в результаті природних явищ, таких як дощі, танення снігу, промислові, сільськогосподарські та природні газові станції, серед іншого. До цього класу можна віднести воду, яка пом'якшилася, а також воду, якою поливали вулиці. До складу атмосферних стічних вод сучасних міст входять пісок, сміття з бруківки, органічні речовини та ін. Внаслідок цього за складом даного виду води можна віднести до малозабруднених побутових стічних вод.

Забруднення промислової території призводить до утворення домішок у зливових водах, що є унікальним для промисловості. Характерною ознакою зливого стоку є виникнення епідемій, значна нерівномірність стоку і концентрації забруднюючих речовин.

Залежно від системи каналізації, господарсько-побутові та промислові, або господарсько-побутові, промислові та атмосферні стічні води є частиною каналізаційної системи, яка, у свою чергу, є частиною міської каналізаційної системи.

Залежно від гідрогеологічних умов місцевості, типу виробничих процесів у тому чи іншому регіоні, обсягу води, що споживається господарством і виробничими процесами, вибирається система водовідведення і, як наслідок, схема дренажної мережі.

Усі перераховані вище види стічних вод потребують очищення при потраплянні у відкриті водойми, оскільки містять різноманітні забруднюючі речовини, які значно перевищують допустиму норму. [1]

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття

Важливо розуміти специфіку роботи, пов'язаної з водою, адже неетичне та неправильне використання води може призвести до швидкого виходу з ладу Вашого технологічного обладнання чи пристроїв. Вода не зовсім чиста, але містить різні домішки. Це те, що потрібно враховувати.

Однією з основних проблем у системах такого типу є газ, вуглекислий газ (CO₂). Ця суміш істотно впливає на термін служби всіх трубопроводів і обладнання. Щоб уникнути цих проблем і підвищити ефективність технологічних систем, використовується процес, який називається декарбонізація води.

Ідея декарбонізації води полягає у видаленні CO₂ з води, щоб уникнути корозії вуглекислим газом. Існують певні правила щодо рівня вуглекислого газу, якщо він перевищений, застосовується декарбонізація.

Формулювання цілей статті

Метою статті є дослідити та запропонувати систему керування процесом декарбонізації при очищенні води, що оптимізує термін служби системи та підвищить її ефективність.

Виклад основного матеріалу

Різні рівні забруднення стічних вод і різні типи забруднень, які вони викликають, вимагають різного підходу до видалення та очищення конкретних типів стічних вод при проектуванні.

Основними ознаками стічних вод є: об'єм стічних вод, який вимірюється в л/с або м³/с, м³/год, м³/змину, м³/добу тощо; види забруднюючих речовин та їх концентрації у стічних водах, що характеризується об'ємом забруднюючих речовин, що вимірюється в мг/л або г/м³.

Ступінь рівномірності або різноманітності формування та надходження в дренажні системи має вирішальне значення для характеристики стічних вод. Це вирішується нерівномірністю стоку води через добові години бездіяльності в році. Цю особливість слід враховувати при проектуванні дренажних систем. [1]

Технологія очищення стічних вод повинна забезпечувати достатній ступінь очищення при мінімальних витратах. Залежно від ступеня очищення стічних вод і подальшого використання очищеної води можуть бути розглянуті різні технологічні ідеї. Для очищення побутової води зазвичай використовується двоетапна процедура, включаючи механічну та біологічну обробку. Необхідність охорони навколишнього середовища та створення умов для утилізації забрудненої води в сільському господарстві та промисловості зумовили необхідність розвитку технологічних систем, які були глибоко в природі. Ці системи мали високий ступінь очищення біологічно очищеної води. Побутові стоки видаляють механічним і біологічним методами, знищують бактерії шляхом дезактивації (дезінфекції). Механічні методи очищення не здатні видалити більше 60% зважених частинок. Підвищення ефективності седиментації досягається різними методами, серед яких: попередня аерація, біокоагуляція, освітлення в плаваючому або тонкому шарі, які спрямовані на підвищення ефективності седиментації. Механічне очищення передбачає видалення зважених, а також частково колоїдних частинок. Для цього використовується кілька різних конструкцій:

- решітки - для видалення великих частинок (ганчір'я, ганчір'я, папір тощо);
- пісковловлювач – для збору великих мінеральних домішок (пісок, шлак тощо);
- відстійник — для видалення завислих речовин, мулу.

Механічне очищення застосовується в будівлях, які мають технологічну послідовність, що сприяє видаленню найбільших частинок забруднення (сітки, екрани), потім мінеральних речовин, якими є переважно пісок (пісковловлювачі, гідроциклони), і, нарешті, більшість більш дрібних часток (відстійники), різні види). Плаваючі речовини (жири, олії, мінеральні масла, смоли та ін.) Також видаляється шлам з резервуарів, які осідають. Для очищення (зазвичай промислових) стічних вод, які містять багато цих речовин, використовуються окремі установки, які містять жиро-, мастило-уловлювачі та маслоуловлювачі.

Механічне очищення при очищенні міських стічних вод є необхідною умовою біологічного очищення. Біохімічні методи очищення використовують властивості життєдіяльності мікроорганізмів, які окислюють

органічні речовини в стічних водах у вигляді рідкої суспензії, колоїду або розчину. Біохімічний процес здатний практично повністю знищити органічні забруднювачі, які залишаються в стічних водах після механічного очищення, а також зменшити кількість патогенних мікроорганізмів у воді.

Біохімічне очищення - це перетворення хімічних речовин у воді, що залишилися після механічної очистки, в мінералізоване сміття. Для цього використовують природні споруди (поля зрошення, фільтри, біологічні озера) і штучні (біофільтри, аеротенки). Для низької продуктивності доречна схема, яка передбачає механічне очищення поверхонь через решітки, піскоуловлювачі, двоступеневі накопичувачі, а біологічне очищення використовується на полях зрошення, фільтрації та біологічних ставків. [1]

Запропонована конструкція установки знехлорування стічних вод продуктивністю за розробленою схемою включає три технологічні лінії продуктивністю 150 м³/год кожна, з'єднані за структурною схемою. Окремою лінією є механічний (зернистий) фільтр, який з'єднується з низкою інших механічних (гранулятих) фільтрів, Н-іонообмінний фільтр, фільтр, що затримує вуглекислий газ, резервуар для дегазованої води, О-іонообмінний фільтр. Дві з трьох ліній стабільно успішні, одна завжди в резерві. Фільтри в резервній лінії не заповнені іонами (можливе перевантаження гідроіонів з робочого фільтра в резервній). Технологічний опис процесу видалення солі з дренажної води первинного водопостачання зображено на рисунку 1.

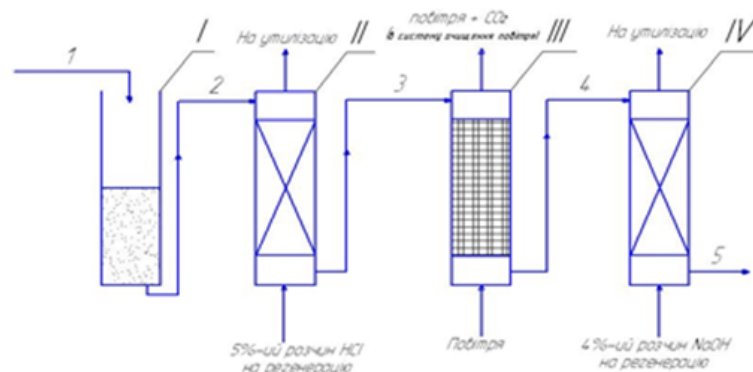


Рис. 1 – Техпроцес опріснення стічних вод зворотного водопостачання: I – механічний зернистий фільтр; II – Н- катіонітний обмінний фільтр; III – декарбонізатор; IV – ОН-аніонітний фільтр; 1 – стічні води; 2 – вода на Н-катіонування; 4 – вода до декарбонізатора; 5 – вода на ОН-аніонування; 6 – знесолена стічна вода.

Опріснення стічних вод ведеться на двох безперервних лініях роботи, на даний момент третя лінія доповнюється. Щоденний графік роботи станції наведено на рисунку 1.2.



Рис. 2 — Діаграма добової роботи станції знесолення стічних вод

Вивчення літератури та існуючих установок показало, що всі системи очищення води, трубопроводи та пристрої мають значно менший термін служби через високу концентрацію вуглекислого газу. Як наслідок, метою цього дослідження є перегляд і дослідження відомих методів керування декарбонізатором, щоб максимізувати його ефективність і продовжити термін служби.

Побудова математичної моделі. За основу взята математична модель протиточного декарбонізатора [2]:

$$Y1(t)+4,33667 \frac{dY1(t)}{dt} = + 0,00122*x1(t)-0,017*x2(t)+ 0,00137*x3(t)- 0,00113*x2(t)*x3(t);$$

$$Y2(t)+7,75839 \frac{dY2(t)}{dt} = - 0,00015*x1(t)+0,13x2(t)+ 0,0017x3(t);$$

$$Y_3(t)+18,417122 \frac{dY_3}{dt}= + 0,36415x_1(t)- 12,3x_2(t);$$

$$Y_4(t)+7,78058 \frac{dY_4}{dt}= - 0,00032x_1(t)+ 0,04172x_2(t)+0,0013x_3(t)-0,00007x_1(t)*x_2(t);$$

де x_1 - вхідна витрата води, x_2 - вхідна температура води, x_3 - потужність штатного вентилятора у %, Y_1 - вміст CO_2 у декарбонізованій воді, Y_2 - вміст рН у декарбонізованій воді, Y_3 - залишок вмісту кисню у декарбонізованій воді, Y_4 - залишок рН у декарбонізованій воді.

Представимо її в диференціалах:

$$Y_1(t)+4,33658 \frac{dY_1}{dt}= + 0,00122*x_1(t)-0,017*x_2(t)+ 0,00137*x_3- 0,00112*x_2(t)*x_3(0)- 0,00122*x_2(0)*x_3(t);$$

$$Y_2+7,75839 \frac{dY_2}{dt}= - 0,00024*x_1+0,12x_2+ 0,0116x_3;$$

$$Y_3+18,417221 \frac{dY_3}{dt}= + 0,36424x_1- 12,2x_2;$$

$$Y_4+7,78157 \frac{dY_4}{dt}= - 0,00131x_1+ 0,04172x_2+0,0012x_3-0,00016x_1(t)*x_2(0)-0,00016x_1(0)*x_2(t);$$

Зробимо перетворення за Лапласом:

$$Y_1(s)+4,33658Y_1(s)*s= + 0,00221*x_1(s)-0,026*x_2(s)+ 0,00146*x_3(s)- 0,00122*x_2(s)*x_3(0)- 0,00122*x_2(0)*x_3(s);$$

$$Y_2(s)+7,75839 Y_2(s)*s= - 0,00024*x_1+0,12x_2+ 0,0036x_3;$$

$$Y_3(s)+18,417123Y_3(s)*s= + 0,36424x_1- 12,3x_2;$$

$$Y_4(s)+7,78056 Y_4(s)*s= - 0,00032x_1+ 0,04161x_2+0,0012x_3-0,00005x_1(s)*x_2(0)-0,00006x_1(0)*x_2(s);$$

Отримані з останньої системи рівнянь передавальні функції записані до таблиці 2.1.

Таблиця 1 Передавальні функції відповідних каналів за всіма входами та виходами

Канал	Передатна функція
$W_{x1} \rightarrow Y_1$	$0,001224-33757*s+1$
$W_{x1} \rightarrow Y_2$	$-0,000147-75839*s+1$
$W_{x1} \rightarrow Y_3$	$0,3642418-417131*s+1$
$W_{x1} \rightarrow Y_4$	$-0,0003-0,00016*x_2(0)7,78157*s+1$
$W_{x2} \rightarrow Y_1$	$-0,018-0,00112*x_3(0)4,33657*s+1$
$W_{x2} \rightarrow Y_2$	$0,138-75839*s+1$
$W_{x2} \rightarrow Y_3$	$-0,417221*s+1$
$W_{x2} \rightarrow Y_4$	$0,04171-0,00116*x_1(0)7,78157*s+1$
$W_{x3} \rightarrow Y_1$	$0,00156-0,00412*x_2(0)4,353657*s+1$
$W_{x3} \rightarrow Y_2$	$0,00175-75839*s+1$
$W_{x3} \rightarrow Y_3$	$8,418221*s+1$
$W_{x3} \rightarrow Y_4$	$0,00128-78058*s+1$

За допомогою Simulink буде побудована діаграма об'єкта, яка дозволить досліджувати динаміку перехідних процесів, ці процеси представлені на рисунку 2.

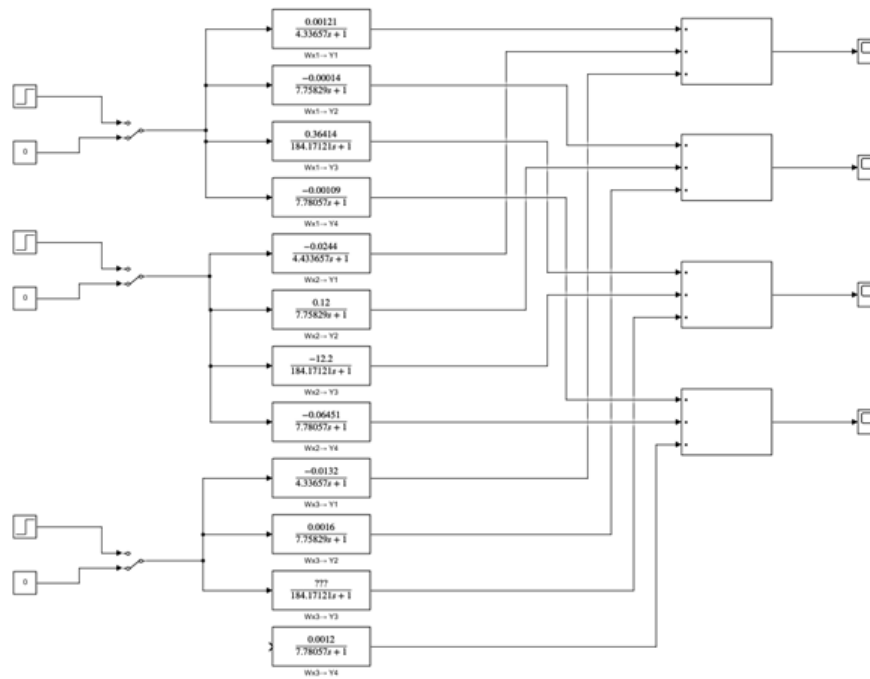


Рис. 2 – Базова схема об'єкта у Simulink.

Далі розглянемо динаміку об'єкта: малюнки 3-5 показують часову поведінку всіх входів і виходів.

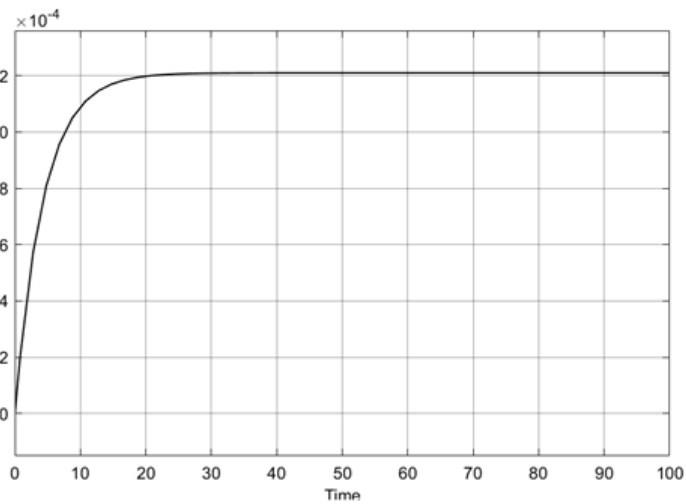


Рис. 3 - Перехідна характеристика пристрою декарбонізації за каналом: зміна витрати води - зміна вмісту вуглецю у воді, що декарбонізована ($Wx1 \rightarrow Y1$)

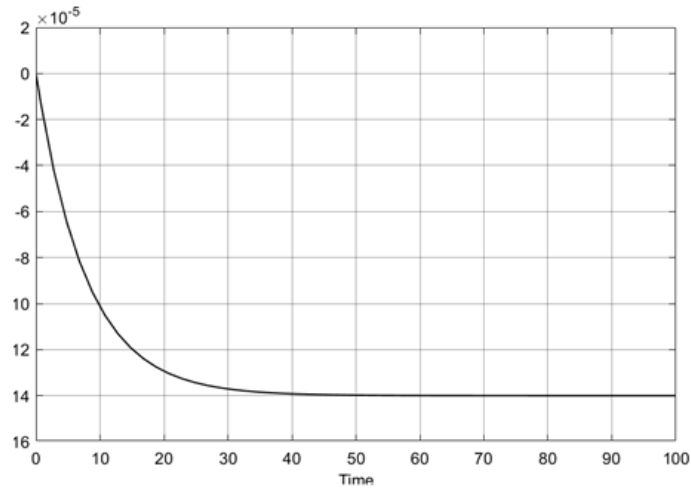


Рис 4 - Перехідна характеристика пристрою декарбонізації за каналом: зміна витрати води - зміна вмісту рН у воді, що декарбонізована ($Wx1 \rightarrow Y2$)

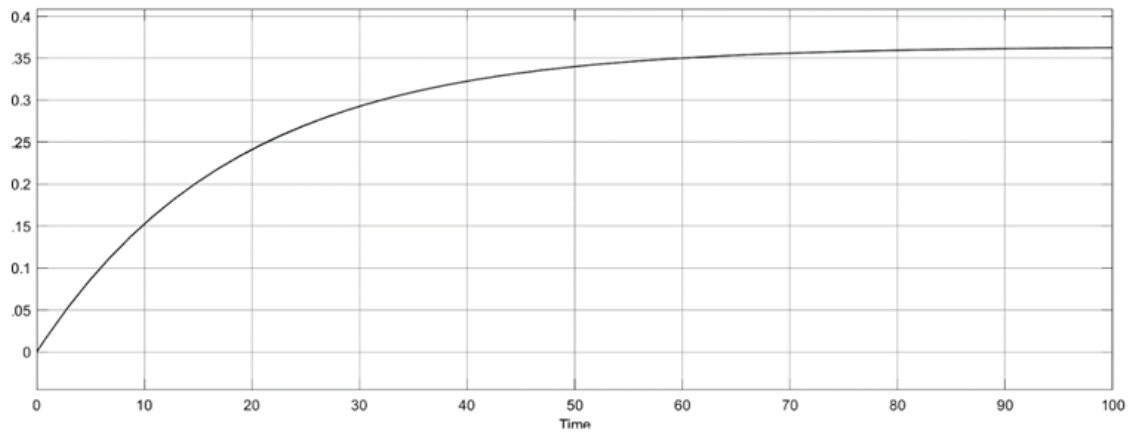


Рис. 5 - Перехідна характеристика пристрою декарбонізації за каналом: зміна витрати води - зміна залишку кисню у декарбонізованій воді, що декарбонізована ($Wx1 \rightarrow Y3$)

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Проведено інформаційний аналіз існуючих методів і способів очищення стічних вод. Проаналізовано математичні і аналітичні моделі існуючих технологічних схем декабонізаторів у процесі очистки стічних вод. Запропонована математична модель декарбонізатора. Проведено математичне моделювання розробленої математичної моделі.

Література

1. Айрапетян Т. С. Конспект лекцій з дисциплін «Очистка побутових стічних вод» та «Споруди та обладнання водовідведення» (Модуль 2. Очистка стічних вод) (для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання напрямів підготовки 6.060101 «Будівництво» (спеціальність «Водопостачання та водовідведення») та 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)»/ Т. С. Айрапетян; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Х.: ХНУМГ, 2014. – 121 с.
2. About the results of experimental study performed on a “decarbonizer – vacuum deaerator” system. IOPscience. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/288/1/012020/pdf> (дата звернення: 01.10.2024)

3. Концевой, А.Л. Алгоритмізація і програмування розрахунків процесу водопідготовки. Навчальний посібник [Текст]: На правах рукопису / А.Л. Концевой, Н.М.Толстопалова. – К.: 2003. – 44 с.
4. Mitchell M. J., Sc B., Sc M. Mathematical modelling of carbon dioxide dissolution and reaction processes. <http://eprints.nottingham.ac.uk/14502/1/576160.pdf>. URL: <http://eprints.nottingham.ac.uk/14502/1/576160.pdf>. (дата звернення: 01.10.2024)
5. Основи виробничого підприємництва: Навчальний посібник / під ред. Підлісної О.А., Янкового В.В. –К.: ІВЦ «Видавництво Політехніка», НТУУ «КПІ», 2010. –287 с
6. Myers T., Font F., Hennessy M. G. Mathematical modelling of carbon capture in a packed column by adsorption. <https://arxiv.org/pdf/2009.04513.pdf>. URL: <https://arxiv.org/pdf/2009.04513.pdf>. (дата звернення: 01.10.2024)

References

1. Airapetian T. S. Konspekt leksii z dystsyplin «Ochystka pobutovykh stichnykh vod» ta «Sporudy ta obladnannia vodovidvedennia» (Modul 2. Ochystka stichnykh vod) (dlia studentiv 4 kursu dennoi i 5 kursu zaochnoi form navchannia napriamiv pidhotovky 6.060101 «Budivnytstvo» (spetsialnist «Vodopostachannia ta vodovidvedennia») ta 6.060103 «Hidrotekhnika (Vodni resursy)»)/ T. S. Airapetian; Khark. nats. un–t misk. hosp–va im. O. M. Beketova. – Kh.: KhNUMH, 2014. – 121 s.
2. About the results of experimental study performed on a “decarbonizer – vacuum deaerator” system. IOPscience. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/288/1/012020/pdf> (data zvernennia: 01.10.2024)
3. Kontsevoi, A.L. Alhorytmizatsiia i prohramuvannia rozrakhunkiv protsesu vodopidhotovky. Navchalnyi posibnyk [Tekst]: Na pravakh rukopysu / A.L. Kontsevoi, N.M.Tolstopalova. – К.: 2003. – 44 s.
4. Mitchell M. J., Sc B., Sc M. Mathematical modelling of carbon dioxide dissolution and reaction processes. <http://eprints.nottingham.ac.uk/14502/1/576160.pdf>. URL: <http://eprints.nottingham.ac.uk/14502/1/576160.pdf>. (data zvernennia: 01.10.2024)
5. Osnovy vyrobnychoho pidpriemnytstva: Navchalnyi posibnyk / pid red. Pidlisnoi O.A., Yankovoho V.V. –К.: IVTs «Vydavnytstvo Politekhnik», NTUU «KPI», 2010. –287 s
6. Myers T., Font F., Hennessy M. G. Mathematical modelling of carbon capture in a packed column by adsorption. <https://arxiv.org/pdf/2009.04513.pdf>. URL: <https://arxiv.org/pdf/2009.04513.pdf>. (data zvernennia: 01.10.2024)

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Загуровський Максим Сергійович

Тема: Метод автоматизованого управління декарбонізатором при очищенні стічних вод

Спеціальність: 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 93

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є дослідити та запропонувати метод автоматизованого управління декарбонізатором при очищенні стічних вод.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі вивчення літератури та існуючих установок показало, що всі системи очищення води, трубопроводи та пристрої мають значно менший термін служби через високу концентрацію вуглекислого газу. Як наслідок, метою цього дослідження є перегляд і дослідження відомих методів керування декарбонізатором, щоб максимізувати його ефективність і продовжити термін служби. У другому розділі математичне представлення функції декарбонізатора було отримано у функціях перенесення з раніше відомої аналітичної моделі. Адаптивні функції передачі були виявлені для всіх первинних каналів, і характеристики кожного каналу були вивчені як перехідні. У третьому розділі для контролера були розроблені PI та PID контролери для основної платформи керування пристроєм. Однак цей тип системи не враховує вплив перехресних з'єднань, які мають значний вплив на функціональність системи. Менеджер MPC був створений для роботи з усіма переходами. Всі регулятори були вивчені та обрані найбільш ефективні варіанти. У четвертому розділі розроблене програмне забезпечення є функціональним, інноваційним та сучасним, воно володіє всіма можливостями для автоматичного контролю якості продукції, має велику різноманітність підходів для збільшення та розвитку.
4. Позитивні сторони роботи: досліджено та запропоновано метод автоматизованого управління декарбонізатором при очищенні стічних вод

5. Негативні сторони роботи: у роботі наявні деякі граматичні та стилістичні помилки

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

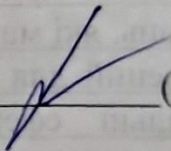
8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: задовільно (3.50/D)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) К. М. Н.

доцент кафедри кібербезпеки Тітова Тіра
Кізілова

"19" 12 2024 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри АКІТтаР
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Загуровський Максим Сергійович

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курс, групи АКІТРм-23-1

ЗАЯВА

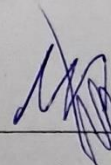
З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

02.12.24

дата



підпис

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Максим Загуровський

Співавтор:

Назва: МКР Загуровський

Науковий керівник: Наталія МОРКУН

Підрозділ: Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Коефіцієнт подібності 1: 15.6%

Коефіцієнт подібності 2: 7%

Мікропробіли: 8

Заміна букв: 6

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2024-12-19 10:10:13.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

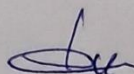
Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2024-12-19

Дата



експерт

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 7.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. **Помилки в документах: 11%**

ID: 161264 Назва: МКР Метод автоматизованого управління декарбонізатором при очищенні стічних вод Додано в БД: 2024-12-19 Автора: Максим Загуровський Керівники: Наталія МОРКУН Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	65496	583	5240 (8%)	46 (8%)

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Метод автоматизованого управління декарбонізатором при очищенні стічних вод

Автор: Загуровський Максим Сергійович

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

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Науковий керівник: Моркун Наталія Володимирівна, доктор технічних наук, професор

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

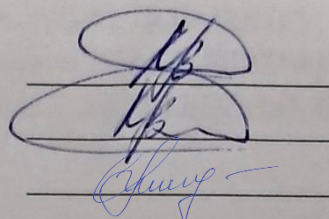
3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 15,6% і адресується до 26 джерела, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи



Валерій МАРТИНЮК

Валерій МАРТИНЮК

Наталія МОРКУН