

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

КОЛЦУН Юрій Володимирович

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ОЧИСТКОЮ
СТІЧНИХ ВОД/ SYSTEM OF AUTOMATED MANAGEMENT OF
WASTEWATER TREATMENT**

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

Випускна кваліфікаційна робота
здобувача першого (бакалаврського) рівня освіти

Виконав: студент групи АКІТ-41
Ю. В. Колцун

Науковий керівник:
к.т.н., доцент Н.Г. Яцків

Випускну кваліфікаційну роботу
допущено до захисту:
" ____ " _____ 2026 р.

Завідувач кафедри СКС
_____ А. І. Сегін

Тернопіль 2026

Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"
спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ:

зав. кафедри СКС

А. І. Сегін

" 01 " грудня 2025р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

КОЛЦУНУ Юрію Володимировичу

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Система автоматизованого управління очисткою стічних вод/ System of automated management of wastewater treatment

керівник роботи к.т.н., доцент Яцків Н.Г.

затверджено наказом по університету від « 1 » грудня 2025 р. № 894

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи

25 травня 2026р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Технічні характеристики систем очистки води.

2. Вимоги до системи автоматичного управління очисткою стічних вод.

3. Характеристики системи очистки води.

4. Основні питання, які потрібно розробити

1. Проаналізувати степінь забрудненості водних ресурсів країни, зокрема вод басейну річки Дністер та дослідити розподіл скидів зворотних вод серед секторів економіки, а також проаналізувати технологічний процес очищення води.

2. Розробити структурну та функціональну схеми автоматизації; створити програмне забезпечення системи управління та візуалізації процесу; провести аналіз роботи системи.

4. Здійснити вибір програмованого логічного контролера та обґрунтувати вибір технічних засобів автоматизації, зокрема датчиків рівня, витрати та рН.

6. Розрахувати передавальні функції автоматичного регулювання рівня води в баку нейтралізації системи попередньої очистки та автоматичного регулювання обертів приводу насосу при зміні навантаження та дослідити отримані системи регулювання на стійкість.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі

1. Структурна схема системи автоматизованого управління попереднього очищення води.

2. Технологічна блок-схема системи демінералізації води.

3. Структурна схема секції попередньої очистки води.

4. Структурна схема системи автоматичної стабілізації частоти обертання приводу насоса.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Яцків Н. Г.		
2	Яцків Н. Г.		
3	Яцків Н. Г.		

7. Дата видачі завдання 01 грудня 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз забрудненості поверхневих вод басейну Дністра та загальний опис систем очищення стічних вод	01.12.2025 р. – 15.01.2026 р.	виконано
2	Побудова структури та обґрунтування обрання технічних засобів автоматизованої системи очистки стічних вод	16.01. 2026 р.– 15.03.2026р.	виконано
3	Розрахунок передавальних функцій систем автоматичного регулювання частоти обертання приводу насоса та рівня водив в баку-нейтралізаторі	16.03.2026 р. – 30.04.2026 р.	виконано
4	Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату	1.05.2026 р. – 25.05.2026 р.	виконано

Студент

(підпис)

Колцун Ю. В.

Керівник роботи

(підпис)

к.т.н., доц. Яцків Н.Г.

АНОТАЦІЯ

Колцун Ю. В. Система автоматизованого управління очисткою стічних вод. – Рукопис.

Дослідження на здобуття першого (бакалаврського) рівня освіти за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2026 р.

У кваліфікаційній роботі розроблено систему автоматизованого управління очисткою стічних вод з використанням програмованого контролера, яка забезпечить покращення очистки (демінералізації) води, що скидаються промисловими підприємствами чи комунальними господарствами і дозволить покращити екологічну ситуацію регіону, зокрема вод басейну ріки Дністер.

ANNOTATION

Koltsun Y. V. System of automated management of wastewater treatment. – Manuscript.

Research for the first (bachelor's) level of education in the specialty 151 – Automation and computer-integrated technologies, educational and professional program – Automation and computer-integrated technologies – West Ukrainian National University, Ternopil, 2026.

In the qualification work, an automated wastewater treatment control system using a programmable controller was developed, which will ensure improved purification (demineralization) of water discharged by industrial enterprises or municipal utilities and will allow improving the ecological situation of the region, in particular the waters of the Dniester River basin.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ ЗАБРУДНЕНOSTІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД БАСЕЙНУ ДНІСТРА ТА ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД.....	
	11
1.1 Актуальність проблеми забруднення водних ресурсів країни.....	11
1.2 Аналіз та оцінка стічних вод басейну ріки Дністер.....	13
1.3 Загальний опис системи очищення (демінералізації) води.....	16
2. РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД.....	
	23
2.1 Розробка структурної схеми автоматизованої системи очистки стічних вод.....	23
2.2 Розробка схеми інформаційних потоків.....	25
2.3 Огляд, порівняльний аналіз та вибір контролера, засобів вимірювання і керування.....	26
2.4 Порівняльний аналіз та обґрунтування вибору датчиків, вимірювальних пристроїв і виконавчих механізмів.....	30
3. РОЗРАХУНОК ПЕРЕДАВАЛЬНИХ ФУНКЦІЙ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ПРИВОДУ НАСОСА ТА РІВНЯ ВОДИВ В БАКУ-НЕЙТРАЛІЗАТОРІ.....	
	36
3.1 Дослідження системи стабілізації частоти обертання приводу насоса	36
3.2 Дослідження стійкості системи стабілізації частоти привода насосу на стійкість	38

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	Система автоматизованого управління очисткою стічних вод			Літ.	Арк.	Акрушів		
Розроб.		Колцун Ю. В.								5	58	
Перевір.		Яцків Н. Г.						ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41				
Консульт.		Яцків Н. Г.										
Н. Контр.		Заставний О.М.										
Затверд.		Сегін А. І.										

3.3 Визначення параметрів стійкості системи автоматичного регулювання контролю рівня рідини в баку-нейтралізаторі.....	43
3.4 Визначення передавальних функцій елементів системи.....	47
ВИСНОВКИ.....	53
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55
ДОДАТОК А. АЛГОРИТМ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛЕННЯ НАСОСАМИ ПНС.....	59
ДОДАТОК Б. АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ	

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВСТУП

Актуальність теми. Значні обсяги води споживаються підприємствами хімічної, целюлозно-паперової промисловості, а також галузями чорної та кольорової металургії. Після використання велика частина водних ресурсів повертається у навколишнє середовище у вигляді стічних вод, які часто скидаються у природні водойми. У зв'язку з цим проблема ефективного очищення промислових стоків набуває особливої актуальності.

Вода відіграє визначальну роль у функціонуванні екосистем, оскільки забезпечує середовище існування для мікроорганізмів, рослинного та тваринного світу. Розширення міських територій, розвиток енергетичного сектору, тваринництва та зростання потреб населення спричиняють постійне збільшення споживання води.

Суттєву небезпеку становлять хімічні речовини, що широко використовуються у сучасних виробничих процесах. Удосконалення технологій призводить до ускладнення складу стічних вод, що, своєю чергою, загострює проблему їх очищення та вимагає розроблення нових або модернізації існуючих методів.

Одним із перспективних шляхів вирішення цієї проблеми є впровадження замкнених систем водокористування. Однак їх реалізація потребує створення спеціалізованих технологічних рішень, обладнання та значних фінансових ресурсів. Перспективним напрямом також є застосування деструктивних методів очищення, які базуються на глибокому перетворенні органічних сполук. Використання окисно-відновних процесів, активованих фізико-хімічними чинниками, дозволяє руйнувати стійкі органічні забруднювачі та переводити їх у простіші речовини, що легше піддаються подальшому окисненню.

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

У сфері очищення стічних вод можна виділити два основні напрями розвитку:

1. Розроблення нових високоефективних методів глибокого очищення з використанням фізико-хімічних процесів у поєднанні з біологічними.
2. Удосконалення існуючих технологій шляхом впровадження додаткових стадій доочищення для підвищення ефективності видалення забруднень.

Ключовим підходом до зменшення обсягів скидання стічних вод є створення замкнених систем водного господарства. Під такою системою розуміють організацію виробництва, за якої вода використовується багаторазово — без очищення або після відповідної обробки — без утворення відходів і без скидання у природні водойми. Запровадження оборотних і замкнених систем водопостачання є одним із найефективніших способів скорочення споживання свіжої води.

Для запобігання забрудненню водних ресурсів застосовують різні методи очищення як промислових, так і побутових стічних вод. Основні з них поділяються на п'ять груп: механічні, біохімічні, фізико-хімічні, хімічні та термічні.

У сучасних умовах стрімкого розвитку промисловості та зростання антропогенного навантаження на навколишнє середовище особливої актуальності набуває питання очищення стічних вод. Забруднення водних ресурсів призводить до погіршення екологічної ситуації, негативно впливає на здоров'я населення та функціонування екосистем. Ефективним шляхом вирішення цієї проблеми є впровадження сучасних автоматизованих систем управління, які дозволяють підвищити якість очищення води, знизити витрати ресурсів і забезпечити стабільність технологічних процесів. Саме тому тема розробки системи автоматизованого управління очисткою стічних вод є актуальною.

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи автоматизованого контролю та управління процесом попереднього очищення стічних вод із використанням сучасних технічних засобів і програмного забезпечення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати ступінь забрудненості водних ресурсів країни, зокрема вод басейну річки Дністер та дослідити розподіл скидів зворотних вод серед секторів економіки.

2. Проаналізувати технологічний процес очищення води.

3. Розробити структурну та функціональну схеми автоматизації; створити програмне забезпечення системи управління та візуалізації процесу; провести аналіз роботи системи.

4. Здійснити вибір програмованого логічного контролера та програмного забезпечення.

5. Обґрунтувати вибір технічних засобів автоматизації, зокрема датчиків рівня, витрати та рН.

6. Розрахувати передавальні функції автоматичного регулювання рівня води в баку нейтралізації системи попередньої очистки та автоматичного регулювання обертів приводу насоса при зміні навантаження.

7. Дослідити отримані системи регулювання на стійкість.

Об'єктом дослідження є процес попереднього очищення стічних вод, що включає стадії коагуляції, нейтралізації, флокуляції та відстоювання.

Предметом дослідження є методи та засоби автоматизації процесів очищення стічних вод, з використання програмованих логічних контролерів, датчиків технологічних параметрів і систем візуалізації.

Методи дослідження базуються на використанні теоретичних і практичних підходів до автоматизації технологічних процесів, аналізі технічної документації, порівняльному аналізі обладнання, моделюванні роботи системи в середовищі програмування та використанні сучасних програмних засобів, таких як TIA Portal.

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості впровадження розробленої системи для підвищення ефективності очищення стічних вод, забезпечення стабільності технологічних параметрів, зменшення впливу людського фактора та оптимізації роботи обладнання. Запропоновані рішення можуть бути використані на підприємствах водопідготовки та водоочищення.

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1. АНАЛІЗ ЗАБРУДНЕНOSTІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД БАСЕЙНУ ДНІСТРА ТА ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

1.1 Актуальність проблеми забруднення водних ресурсів країни

Промислові стічні води формуються з відпрацьованих розчинів, технологічних і промивних вод, рідин систем охолодження, вод після хімводоочищення, миття обладнання та виробничих приміщень, а також процесів транспортування й утилізації відходів. Через значне різноманіття домішок, що містяться в таких водах, важливим є їх класифікація та аналіз за групами. Це дозволяє обґрунтувати доцільність і ефективність застосування коагулянтів і флокулянтів.

Концентрація та склад забруднень суттєво відрізняються залежно від галузі виробництва, режиму роботи підприємства, обсягів водоспоживання, частоти аварійних або залпових скидів, виду сировини та методів утилізації відходів.

За характером забруднення стічні води умовно поділяють на такі групи:

- стоки підприємств важкої металургії та виробництва мінеральних добрив;
- стоки харчової, мікробіологічної та целюлозно-паперової промисловості;
- стоки нафтохімічної та фармацевтичної галузей.

За рівнем концентрації забруднювальних речовин виробничі стоки класифікують на слабо концентровані – до 500 мг/л; середньої концентрації – 500 – 5000 мг/л; концентровані – 5000 – 30000 мг/л; висококонцентровані – понад 30000 мг/л. На рисунку 1.1 подана карта якості води на Україні. Якість води в річках, озерах та інших водних об'єктах є ключовим показником екологічної безпеки. На цій карті відображається офіційна інформація

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Державного агентства водних ресурсів України (ДАВР), яка оновлюється відповідно до публікацій відомства [1].

Моніторинг охоплює основні показники, що характеризують стан води: температуру, рН, вміст розчиненого кисню, концентрацію азоту, фосфатів та інші речовини. Це дозволяє оцінювати чистоту води, виявляти джерела забруднення та відстежувати зміни в різних регіонах України.

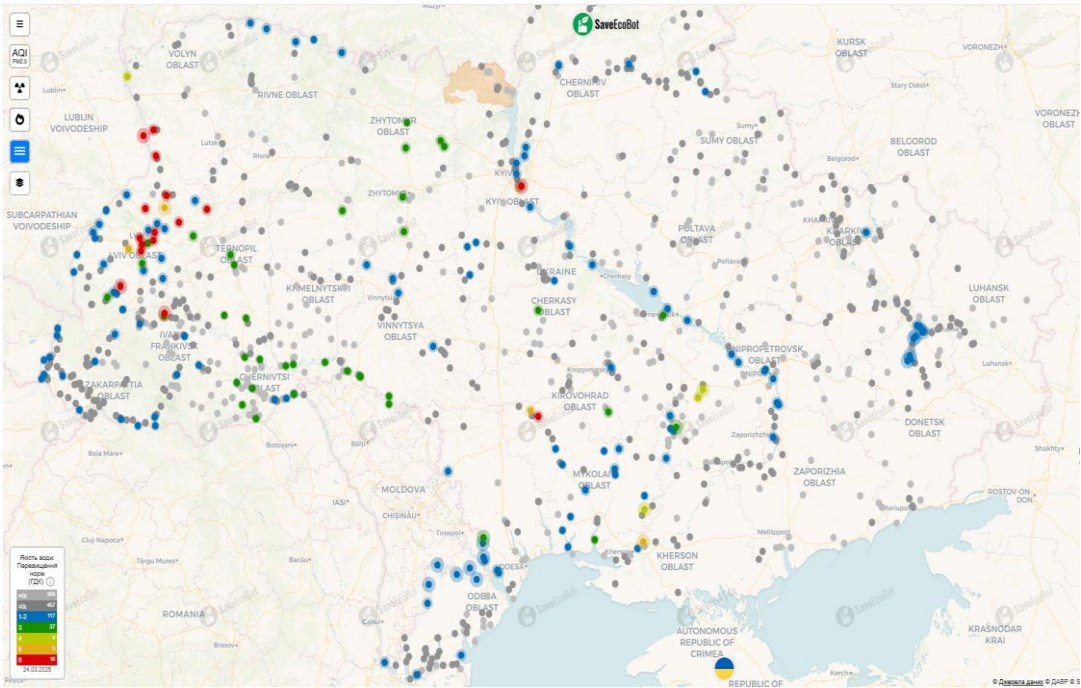


Рисунок 1.1 – Карта якості води на Україні, побудована на основі даних Державного агентства водних ресурсів України (ДАВР)

Одним із найбільш небезпечних факторів впливу на довкілля та здоров'я людини є забруднення водою промисловими й комунально-побутовими стоками. З кожним роком питання забезпечення належної якості очищення стічних вод набуває дедалі більшої актуальності.

1.2 Аналіз та оцінка стічних вод басейну ріки Дністер

За результатами «Звіту про стратегічну екологічну оцінку проекту Плану управління річковим басейном Дністра (2025-2030)» [2-3] поверхневих водних об'єктів, водокористувачами басейну скидається 158,1 млн. м³ зворотних (стічних) вод, що становить близько 3% від загального обсягу скиду стічних вод по Україні. Щодо структури водовідведення, то 56% обсягу стічних вод скидається у поверхневі водні об'єкти водокористувачами комунальних господарств, майже 20% – водокористувачами промисловості, 22% – сільським господарством та менше 1% припадає на транспорт та інші галузі (рисунок 1.2)



Рисунок 1.2 – Розподіл скидів зворотних вод серед секторів економіки

Найбільші обсяги скидання зворотних вод у поверхневі водойми спостерігаються в Івано-Франківській області, де їх частка становить близько 34%. Дещо менші показники характерні для Тернопільської області — приблизно 20%, Львівської — 19% та Одеської — 10%. Водночас найнижчий рівень скидів фіксується у Чернівецькій області, де він становить близько 8%, у Хмельницькій — 7%, а у Вінницькій — лише 3% [2-3].

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Переважна частина забруднених стічних вод формується у сфері житлово-комунального господарства [2-3], на яку припадає близько 89% усіх скидів. Значно меншу частку забезпечують промислові підприємства — близько 7%, тоді як аграрний сектор має мінімальний вплив і формує лише близько 0,2%. Інші галузі створюють приблизно 3% загального обсягу забруднених стоків (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Скиди зворотних вод у водні об’єкти басейну р. Дністра в розрізі категорій вод, що скидаються (2019 р.).

Найменування секторів економіки	Об’єм скинутої води, млн. м ³	в тому числі			Частка від загального скиду в межах басейну, %
		забрудненої	нормативно чистої без очистки	нормативно очищеної на спорудах	
Промисловість, в т.ч.:	32,05	0,759	13,65	17,63	20,3
енергетика	16,18	0,039	12,79	3,357	
хімічна та нафтохімічна	11,72	0,048	0,404	11,26	
машинобудування і мет. оброблення	0,132	0,095	-	0,036	
лісова деревообробна і целюлозно-паперова	2,206	0,171	0,286	1,750	
промисловість будматеріалів	0,432	0,240	0,149	0,043	
легка промисловість	0,131	-	-	0,131	
харчова промисловість	1,234	0,161	0,029	1,044	
Комунальне господарство	89,06	9,35	10,99	68,72	56,3
Сільське господарство, в т.ч.	35,46	0,017	35,36	0,080	22,4
рибне господарство	33,46	-	33,45	0,011	
Транспорт	0,898	0,008	0,003	0,886	0,6
Інші галузі	0,632	0,336	0,037	0,304	0,4
Всього по району басейну р. Дністра	158,1	10,47	60,04	87,62	100

У межах басейну Дністра у 2019 році підприємства комунальної сфери скинули у поверхневі водойми понад 89 млн м³ стічних вод. Серед них частина потрапляла у водойми без будь-якого очищення, певна кількість була недостатньо очищеною, ще частина відповідала нормативам без попередньої обробки, а найбільший обсяг проходив очищення на відповідних спорудах.

Проте навіть за наявності очисних систем, які здебільшого базуються на біологічних методах, досягти нормативної якості очищення вдається не завжди. Саме тому комунальний сектор залишається основним джерелом забруднення водних ресурсів у басейні. Загалом стоки комунальних підприємств формують понад 60% усіх забруднень, що надходять у поверхневі води.

Суттєву частку забруднень також створюють окремі підприємства водопостачання та водовідведення, які скидають значні обсяги недостатньо очищених або навіть неочищених стічних вод.

Промисловість також відіграє важливу роль у формуванні стоків, хоча її внесок у загальний обсяг менший. Близько п'ятої частини всіх стічних вод надходить від промислових водокористувачів, причому лише незначна їх частина є забрудненою. Найбільші обсяги забруднених промислових стоків припадають на Львівську, Івано-Франківську та Одеську області. Серед підприємств виділяються виробники будівельних матеріалів, деревообробної та целюлозно-паперової продукції, харчова промисловість, а також машинобудівна галузь.

Разом із промисловими стічними водами у водойми потрапляють небезпечні речовини, зокрема залізо, марганець, нафтопродукти, поверхнево-активні речовини, феноли, формальдегіди та фосфати. Особливо значний вплив мають підприємства хімічної та нафтохімічної галузей, які спричиняють надходження токсичних сполук, зокрема нафтопродуктів і формальдегідів. Також певний внесок роблять нафтопереробні підприємства та деревообробна промисловість.

Загалом упродовж року до водойм басейну Дністра потрапляють значні обсяги небезпечних речовин, серед яких марганець, нафтопродукти, поверхнево-активні сполуки та формальдегіди.

Сільське господарство формує помітну частину водовідведення, однак більшість цих вод є умовно чистими і не потребують очищення перед

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

скиданням. У транспортній сфері обсяги стічних вод є відносно незначними, причому переважна їх частина проходить очищення перед потраплянням у водойми.

Річковий транспорт у більшості областей басейну Дністра практично не розвинений, а використання водних шляхів носить переважно локальний характер і пов'язане з туристичною, науковою або рибальською діяльністю.

Інші види водокористування не створюють суттєвого навантаження на водні ресурси, оскільки обсяги забору та скидання вод у цих секторах залишаються незначними.

1.3 Загальний опис системи очищення (демінералізації) води

Першим етапом у повному процесі перетворення стічної води на демінералізовану [4-7] є вузол попереднього очищення. На цьому етапі відбувається видалення твердих домішок, які можуть випадати в осад завдяки фізико-хімічним методам.

Після цього освітлена вода спрямовується до попередніх фільтрів установки зворотного осмосу, де здійснюється багатошарове фільтрування для вилучення завислих частинок, що не були усунені на попередній стадії. Далі проводиться хімічна обробка шляхом дозування реагентів, після чого вода надходить до системи зворотного осмосу. Тут потік розділяється на концентрат (розсіл) і очищений фільтрат.

Отриманий фільтрат подається до декарбонізатора, де з нього видаляється вуглекислий газ. Потім за допомогою насосів вода транспортується до секції електродеіонізації (ЕДІ) [8-9], в якій відбувається остаточне доочищення (зменшення і без того низької концентрації іонів), або ж спрямовується на фільтри змішаної дії [10-11].

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таким чином, система демінералізації функціонує послідовно через такі стадії: попереднє очищення, фільтрація, зворотний осмос і завершальна де мінералізація (рисунок 1.3).

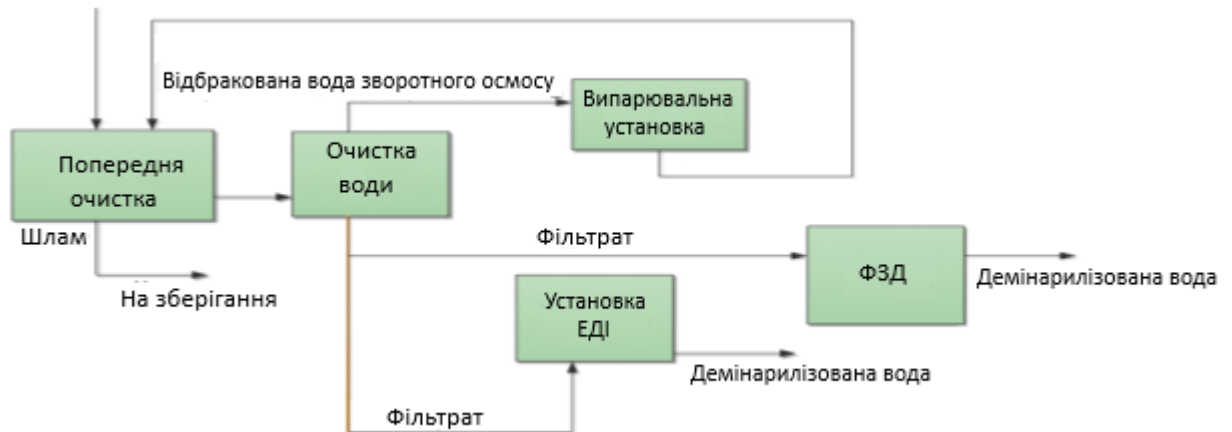


Рисунок 1.3 – Технологічна блок-схема системи демінералізації води

Далі більш докладно розглядається технологічний процес попереднього очищення води (рисунок 1.4), який реалізується за допомогою такого обладнання [12]:

- ємність коагуляції Т-9123;
- ємність нейтралізації Т-9124;
- ємність флокуляції Т-9125;
- розподільча ємність Т-9138;
- резервуари статичного відстою Т-9126 А–D;
- згущувач шлам F-9125;
- буферна ємність освітленої води Т-9127.

На стадії попереднього очищення виконується хімічна обробка потоків оборотної (утилізованої) води з метою отримання освітленої води. У ємності коагуляції Т-9123 здійснюється збір різних водних потоків і їх інтенсивне перемішування. Саме тут у воду вводиться коагулянт, який запускає процес укрупнення дрібнодисперсних частинок.

Коагуляція являє собою процес дестабілізації колоїдних систем шляхом нейтралізації електричних зарядів частинок, що перешкоджають їх злипанню. Використання катіонних коагулянтів, зокрема іонів Fe^{3+} (у складі розчину хлориду заліза), дозволяє зменшити негативний електрокінетичний потенціал колоїдів. У результаті цього частинки починають взаємодіяти між собою та формують більші агрегати — так звані пластівці.

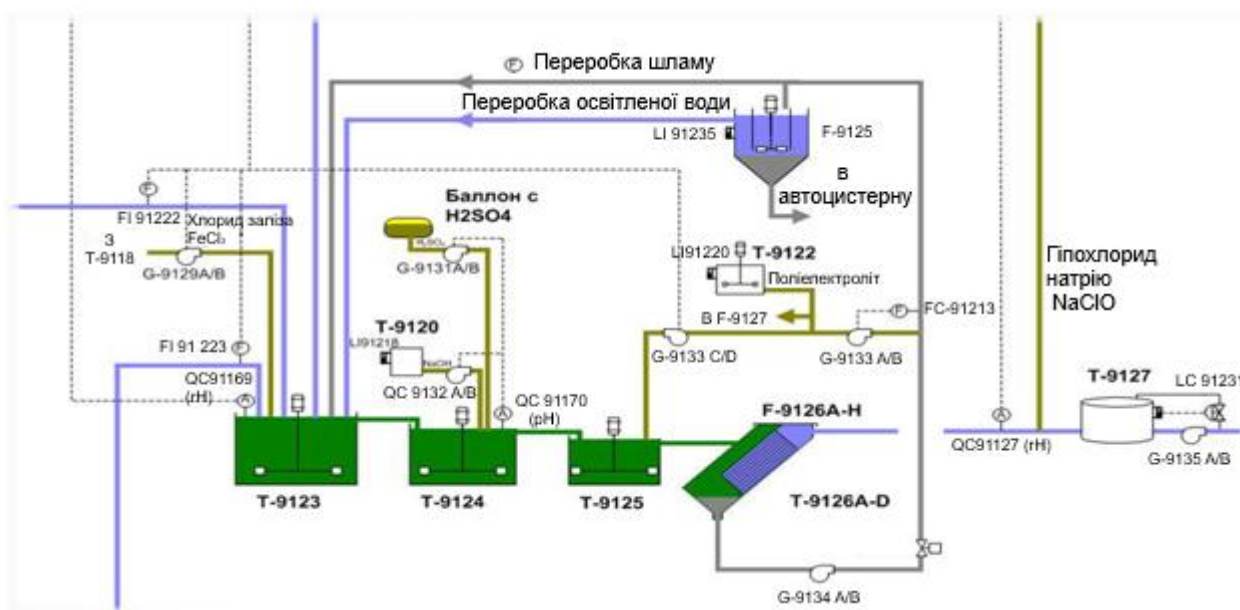


Рисунок 1.4 – Структурна схема секції попередньої очистки води

Для ефективного перебігу процесу необхідне швидке та рівномірне перемішування реагенту з водою [13-14]. Водночас важливо уникати передозування коагулянту, оскільки це може призвести до зміни знака заряду частинок і повторної стабілізації колоїдної системи. Одним із ключових параметрів є показник рН, оптимальне значення якого визначається складом води, типом коагулянту та його концентрацією.

У випадках, коли обсяг виробництва демінералізованої води є недостатнім, до системи додається сира вода. Її подача регулюється датчиком рівня для підтримання необхідного об'єму в буферній ємності T-9127. Також у T-9123 надходить частина освітленої води, що повертається зі згущувача

шламу F-9125. За потреби шлам, який зазвичай спрямовується на згущення, може бути повторно поданий у ємність коагуляції для додаткової обробки.

Після змішування вміст ємності T-9123 самопливом переходить до ємності нейтралізації T-9124.

Подача реагентів у T-9123 здійснюється шляхом додавання хлориду заліза (FeCl_3) як коагулянт, що забезпечує агрегацію дрібних частинок у мікропластівці. Концентрація розчину становить приблизно 40% (близько 195 г/л за вмістом Fe). Дозування здійснюється насосами G-9129 A/B і становить орієнтовно 10–15 ppm (за Fe). Максимальна продуктивність насосів — 22 л/год, при цьому рекомендовано працювати не нижче 15% їх ходу ($\approx 3,3$ л/год).

- Гіпохлорит натрію (NaOCl) вводиться для регулювання окисно-відновного потенціалу (rH) та знезараження води. Контроль здійснюється приладом QC91169, який підтримує концентрацію вільного хлору на рівні 2–4 ppm (≈ 300 –400 мВ). Даний реагент запобігає розвитку біологічних організмів у подальших елементах системи.

Ємність T-9124 призначена для збору води після коагуляції та коригування її кислотно-лужного балансу. Значення рН підтримується в межах 6,5–8,0 шляхом дозування сірчаної кислоти (H_2SO_4) або гідроксиду натрію (NaOH). Це необхідно для забезпечення відповідності технологічним вимогам до подальших процесів очищення.

Контроль і регулювання рН здійснюється автоматично за допомогою аналізатора QC91170, який керує подачею реагентів. Після стабілізації показника вода самопливом надходить до ємності флокуляції T-9125.

Окрему увагу приділяють температурному режиму: під час реакцій нейтралізації виділяється тепло. У нормальних умовах температура відповідає температурі навколишнього середовища. Її підвищення може свідчити про надмірну інтенсивність хімічних процесів.

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Ємність Т-9125 призначена для обробки води флокулянтom — поліелектролітом, який сприяє укрупненню частинок. У цьому процесі дрібні мікрочастинки об'єднуються у більші утворення, що значно покращує ефективність їх подальшого осадження.

Механізм флокуляції базується на утворенні полімерних «містків» між частинками: сегменти полімерного ланцюга адсорбуються на різних частинках, з'єднуючи їх у великі агрегати.

Поліелектроліт зберігається в ємності Т-9122 і подається в Т-9125 за допомогою дозуючих насосів G-9133 C/D, а його витрата регулюється системою FC91217. Після обробки вода самопливом надходить у резервуари відстою Т-9126 А–D.

Приготування розчину поліелектроліту здійснюється автоматично. Рівень у ємності контролюється поплавковим датчиком, який керує відкриттям і закриттям клапана подачі води:

- при зниженні рівня нижче мінімального клапан відкривається;
- при досягненні верхнього рівня — закривається.

Для запобігання злежуванню порошку використовується підігрівач Е-9122, оскільки поліелектроліт є гігроскопічним.

Орієнтовна доза поліелектроліту становить близько 0,5 ppm (при концентрації розчину 1 г/л). Для визначення оптимального дозування проводять експериментальні тести з різними концентраціями реагенту. Такі дослідження рекомендується повторювати регулярно (приблизно раз на тиждень), оскільки склад води може змінюватися залежно від сезонних факторів.

Резервуари Т-9126 А–D використовуються для механічного очищення води методом осадження завислих частинок. Усередині встановлені ламельні блоки F-9126 А–D — похилі пластини, що значно збільшують ефективну площу осадження.

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Вода надходить у вхідний канал і рухається вниз, після чого змінює напрямок і проходить між пластинами. Важчі частинки осідають на поверхнях пластин і поступово сповзають у нижню частину резервуара, утворюючи шлам. Очищена вода піднімається вгору та відводиться як освітлена.

Осад періодично видаляється через донні клапани, що працюють у заданому режимі. Далі шлам направляється до згущувача F-9125, де відбувається його ущільнення та відділення надлишкової води. Освітлена вода зі згущувача повертається в ємність коагуляції T-9123, утворюючи рециркуляційний контур.

Буферна ємність T-9127 призначена для накопичення освітленої води (рисунок 1.5), що надходить із резервуарів відстою T-9126 A–D, та забезпечення стабільної подачі на наступні стадії очищення.



Рисунок 1.5 – Відстійник (ємність T-9127 на схемі рисунку 1.4)

Перед надходженням у цю ємність у воду додатково вводиться гіпохлорит натрію для запобігання біологічному обростанню обладнання.

З ємності Т-9127 вода за допомогою насосів подається до ємності зберігання Т-9128 і далі — на установки глибокого очищення (зокрема, зворотного осмосу). Регулятор рівня в Т-9127 забезпечує баланс води в усій системі та стабільність роботи установки.

При використанні вищевикладеного отримано статичне зображення автоматизованого робочого місця оператора (рисунок 1.6).

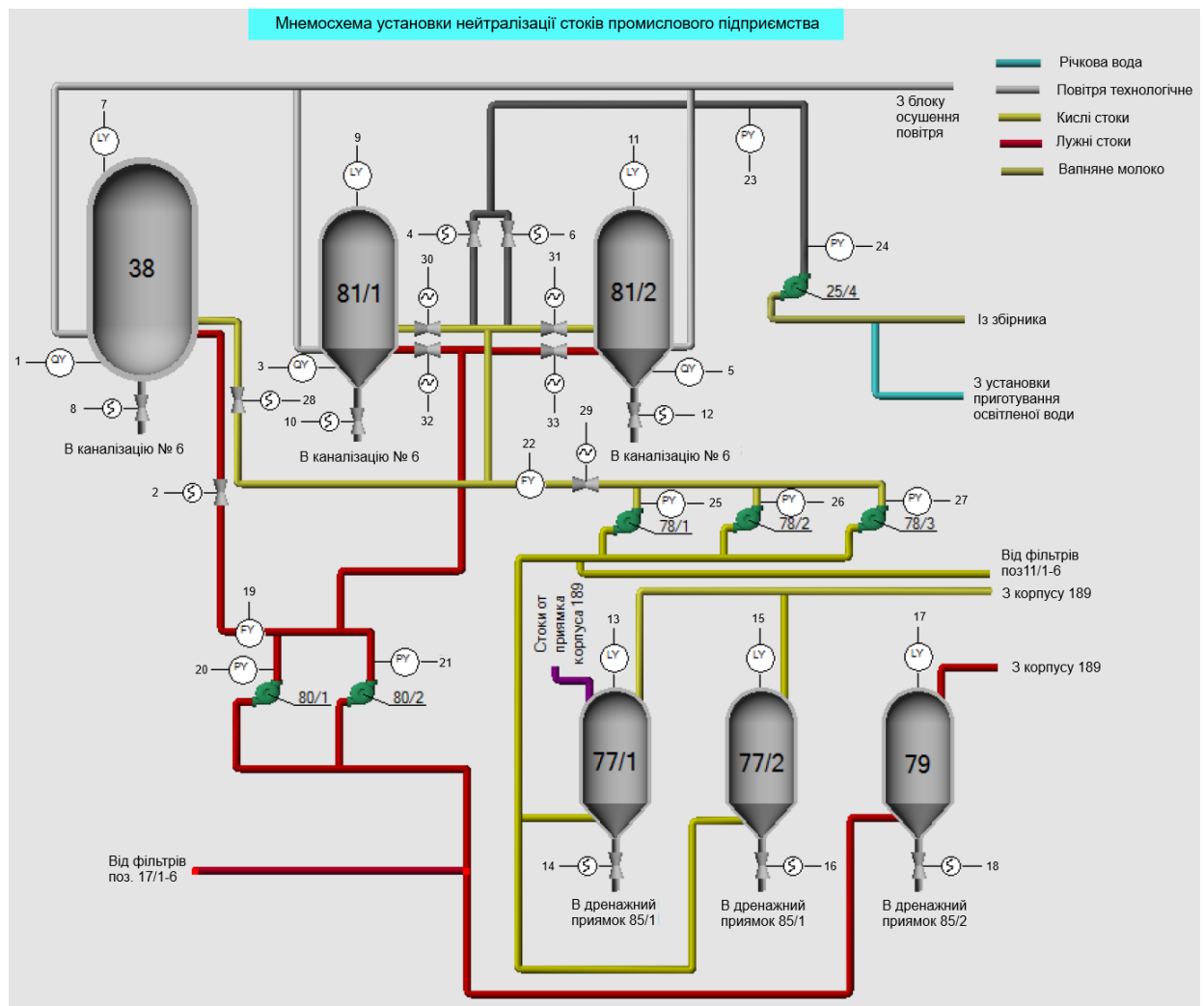


Рисунок 1.6 – Статичне зображення вікна АРМ оператора

2. РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД

2.1 Розробка структурної схеми автоматизованої системи очистки стічних вод.

Усі споруди системи об'єднані спільною метою — забезпечення підготовки води необхідної якості. Водночас важливо мінімізувати витрати на цей процес. Тому функціонування автоматизованих систем керування всіх елементів має бути узгодженим, скоординованим і спрямованим на досягнення єдиного результату.

Структурний аналіз водоочисної станції дає змогу поділити її на окремі взаємопов'язані об'єкти та пристрої, кожен із яких виконує власні завдання. Основою побудови системи попереднього очищення є ієрархічний принцип, що передбачає чітку підпорядкованість усіх її складових відповідно до умов їх роботи.

Відповідно, автоматизована система керування також будується за ієрархічною структурою і включає три рівні (рисунк 2.1):

Перший (нижній) рівень — це виконавчі механізми (насоси, засувки, клапани, затвори тощо), а також засоби збору інформації: датчики тиску, витрати, температури, рівня та якості води.

Другий рівень — локальні системи керування окремими об'єктами. На цьому рівні спостерігається значна різноманітність, оскільки технологічні процеси відрізняються між собою. Такі системи активно впроваджуються у виробництво, автоматизують роботу окремих елементів і забезпечують оптимальне протікання процесів. Для зв'язку програмованого логічного контролера (ПЛК) з автоматизованим робочим місцем оператора використовується протокол Ethernet із передачею даних по витій парі.

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Третій (верхній) рівень забезпечує відображення інформації для персоналу про роботу системи, збір і статистичну обробку даних, формування звітів, а також аварійну та попереджувальну сигналізацію. Крім того, передбачено інтеграцію з іншими автоматизованими системами.

Усі рівні пов'язані між собою інформаційними потоками відповідно до ієрархії: обмін даними між верхнім і нижнім рівнями відбувається через середній. Це забезпечує завершеність функцій кожного рівня та можливість їх автономної роботи.

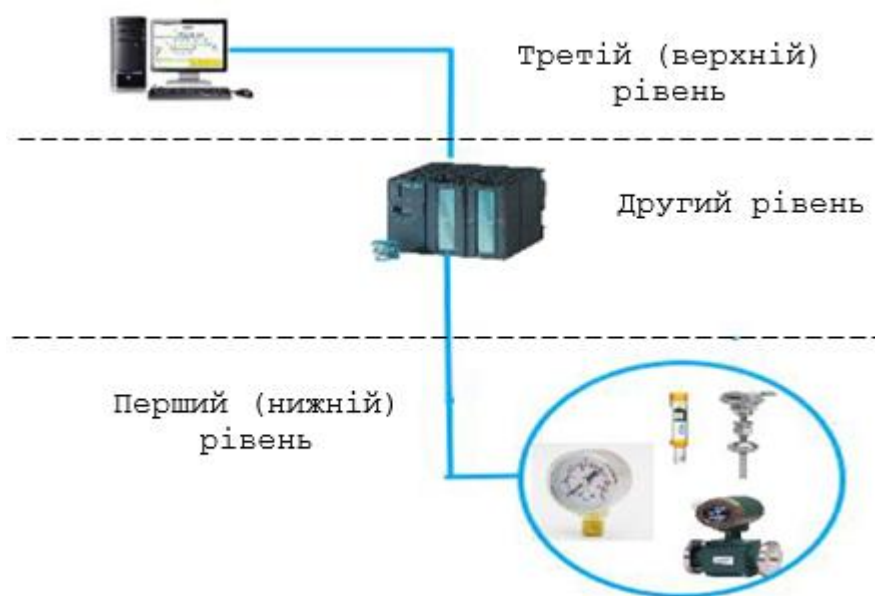


Рисунок 2.1 — Структурна схема системи автоматизованої системи попереднього очищення води

Інформація з польових датчиків надходить на середній (контролерний) рівень, де ПЛК виконує такі функції збору, первинної обробки та збереження даних про стан обладнання і параметри технологічного процесу; автоматичне керування та регулювання; виконання команд від пункту управління; обмін інформацією з пунктом управління.

Далі дані з локального ПЛК передаються до диспетчерського пункту керування через комунікаційний контролер верхнього рівня, який виконує: збір інформації з локальних ПЛК; обробку даних, зокрема масштабування;

забезпечення єдиного системного часу; синхронізацію роботи підсистем; формування архівів за заданими параметрами; обмін інформацією між рівнями системи.

2.2 Розробка схеми інформаційних потоків

Схема інформаційних потоків (рисунок 2.2) включає три рівні збору та зберігання даних:

- нижній (польовий) рівень збору й обробки;
- середній (контролерний) рівень оперативного зберігання;
- верхній (інформаційно-обчислювальний) рівень архівації.

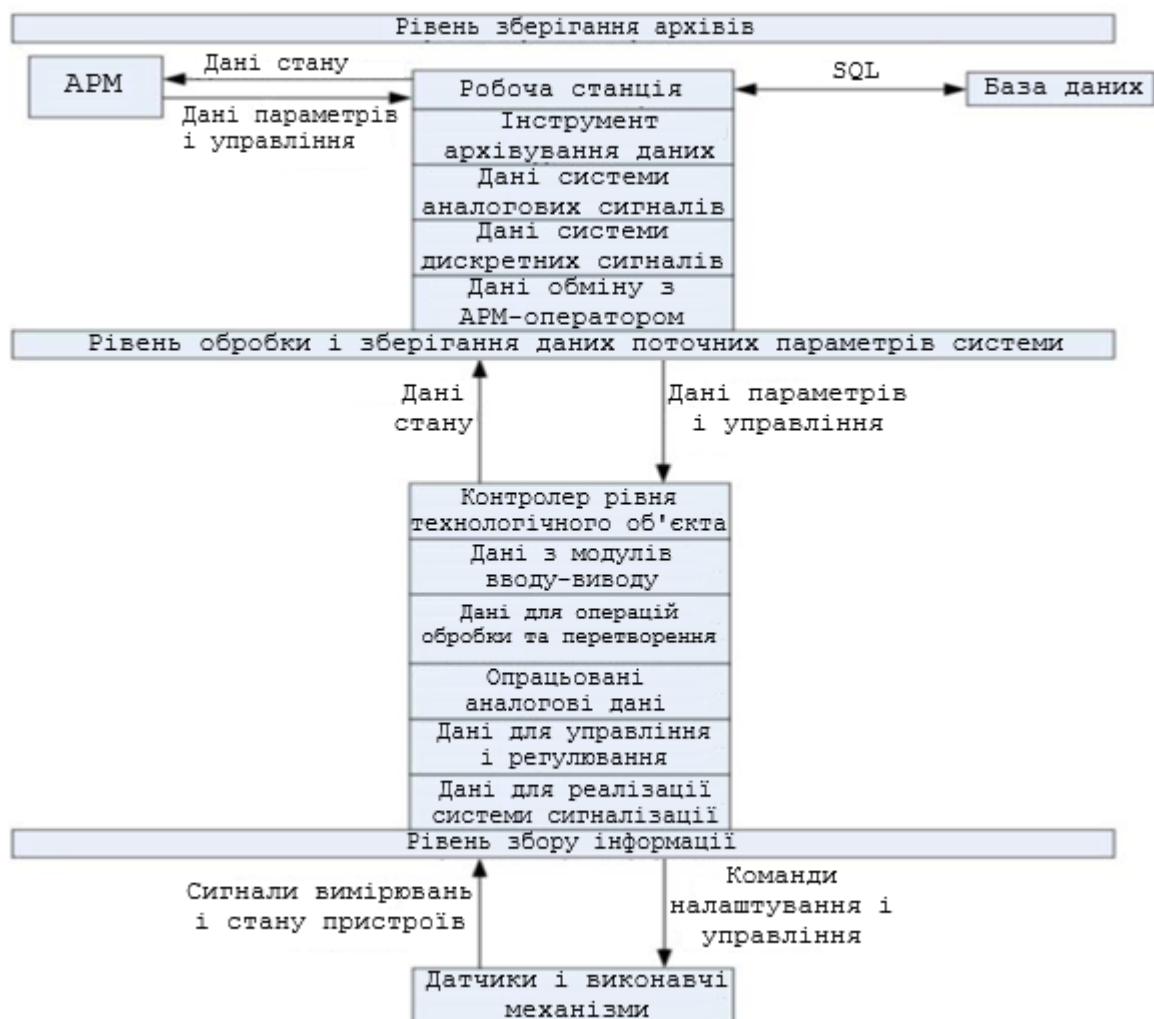


Рисунок 2.2 – Схема інформаційних потоків

На нижньому рівні формуються дані від фізичних пристроїв введення та виведення. Сюди належать сигнали стану процесу, отримані з аналогових і дискретних пристроїв, а також результати їх перетворення.

Середній рівень виконує роль буферної бази для обміну даними. Він одночасно є приймачем інформації від зовнішніх систем і джерелом даних для інших компонентів, тобто забезпечує розподіл інформаційних потоків між системою автоматизації та робочою станцією. На цьому рівні ПЛК формує пакетовані інформаційні потоки.

Верхній рівень представлений робочою станцією оператора та базою даних автоматизованої системи керування технологічними процесами (АСУ ТП). На екрані оператора відображаються як інформаційні, так і керуючі елементи системи.

2.3 Огляд, порівняльний аналіз та вибір контролера, засобів вимірювання і керування.

Основним призначенням автоматизованої системи є реалізація алгоритмів керування технологічними процесами, що включає приймання вимірювальних сигналів, обробку даних і формування керуючих впливів для виконавчих механізмів. Для виконання цих функцій застосовуються програмовані логічні контролери. Обладнання такого типу має відповідати ряду вимог, зокрема забезпечувати модульність побудови, достатній функціонал, сумісність із сучасними інтерфейсами зв'язку, такими як PROFIBUS і Ethernet, а також відзначатися високою надійністю, широкими можливостями підключення модулів введення-виведення та зручністю під час монтажу, налаштування й експлуатації.

Siemens SIMATIC S7-300 є модульним програмованим контролером, який застосовується для створення систем автоматизації невеликої та

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

середньої складності, як показано на рисунку 2.4. Значне поширення цієї серії дозволяє зменшити витрати на навчання персоналу та спрощує пошук необхідних компонентів протягом усього терміну використання.



Рисунок 2.4 – Загальний вигляд ПЛК Siemens SIMATIC S7-300

Передбачається використання даного контролера з двома комунікаційними процесорами, один із яких забезпечує зв'язок на локальному рівні, а інший відповідає за обмін даними з верхнім рівнем системи.

Завдяки модульній конструкції, природному охолодженню та можливості організації як локального, так і розподіленого введення-виведення, цей контролер демонструє високу ефективність у різних галузях промисловості. Розвинені комунікаційні можливості та підтримка численних функцій на рівні операційної системи забезпечують зручність у використанні та обслуговуванні. Використання різних типів центральних процесорів із різною продуктивністю, а також наявність широкого набору модулів дозволяє гнучко налаштовувати систему під конкретні задачі. До складу контролера входять центральний процесор, блоки живлення, сигнальні

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

модулі, комунікаційні процесори, функціональні та інтерфейсні модулі, які працюють із природним охолодженням.

Siemens SIMATIC S7-1200 є сучасною серією мікроконтролерів, призначених для вирішення широкого спектра задач автоматизації невеликої складності. Вони мають універсальне призначення та модульну структуру, що робить їх зручними для використання в різних умовах.

Ці контролери здатні працювати в режимі реального часу та застосовуються як у простих локальних системах, так і в складніших автоматизованих комплексах, де необхідний інтенсивний обмін даними через Industrial Ethernet або PROFINET, а також через з'єднання типу Point-to-Point, як показано на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд ПЛК Siemens SIMATIC S7-1200

Контролери цієї серії мають компактний корпус із рівнем захисту IP20 та можуть встановлюватися як на стандартну DIN-рейку, так і на монтажну панель. Вони функціонують у температурному діапазоні від 0 до +50 °C і підтримують значну кількість каналів введення-виведення. Порівняно з попередніми моделями, вони займають менше місця, що є важливою перевагою при монтажі.

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		28

До центрального процесора можуть підключатися різні модулі, зокрема комунікаційні, сигнальні та розширювальні плати. У системі також використовуються додаткові компоненти, такі як Ethernet-комутатор і блок живлення.

Серія S7-1200 включає кілька типів процесорів із різними варіантами живлення та широкий вибір модулів введення-виведення. Обмін даними може здійснюватися як через послідовні інтерфейси, так і через мережеві рішення, що дозволяє реалізовувати складні структури зв'язку. Крім того, система підтримує різні промислові протоколи та може комплектуватися додатковими елементами для розширення функціональності й тестування програм.

Взаємодія оператора з контролером реалізується через спеціальні панелі керування, які забезпечують зручне відображення та керування технологічними процесами.

Таблиця 2.2 – Порівняльний аналіз ПЛК

Параметр	Siemens SIMATIC S7-1200	Siemens SIMATIC S7-300
Виробник	Siemens	Siemens
Напруга живлення	5/24 В	520 В / 500 В
Кількість входів/виходів	256 / 512	256 / 512
Програмне забезпечення	TIA Portal V12	TIA Portal V12
Робоча температура	-40...+70 °C	-40...+70 °C
Ступінь захисту	IP20 (IEC 529)	IP20 (IEC 60529)
Орієнтовна ціна	543 000 тг	812 000 тг

2.4 Порівняльний аналіз та обґрунтування вибору датчиків, вимірювальних пристроїв і виконавчих механізмів

Поплавкові рівнеміри застосовуються для безперервного вимірювання рівня рідин або межі поділу середовищ, у тому числі агресивних. Вони забезпечують перетворення виміряного значення у стандартний вихідний сигнал струму, наприклад у діапазонах 0–5 мА, 0–20 мА або 4–20 мА.

Для даної системи було обрано УПП-3 – поплашковий рівнемір із пневматичним вихідним сигналом. Цей прилад призначений для контролю рівня рідини у великогабаритних резервуарах, де середовище може перебувати як під атмосферним, так і під підвищеним тиском. Вимірний параметр перетворюється у стандартизований пневматичний сигнал.

Пристрій належить до стаціонарних засобів загальнопромислового використання та може застосовуватися без обмежень у зонах із різним рівнем вибухонебезпеки. Конструктивно індикатор рівня розміщений над монтажним фланцем, що забезпечує зручність у спостереженні за показниками.



Рисунок 2.5 – Поплашковий рівнемір УПП-3

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 2.3 – Порівняльний аналіз датчиків рівня

Параметр	ДУУ10 датчик рівня	УППЗ поплавковий рівнемір	ПМП-118 рівнемір
Маркування	0ExiallBT4/T5X Ga/Gb Ex d IIB	0ExiallBT4/T5X Ga/Gb Ex d IIB	0ExiallBT4/T5X Ga/Gb Ex d IIB
Діапазон температури	-45...+75 °C	-40...+100 °C	-50...+100 °C
Густина середовища	430–1500 кг/м³	700–1800 кг/м³	500–1500 кг/м³
Основна допустима похибка	±5 мм	±0,6 %	±5 мм
Напруга живлення	15–36 В	12–24 В	4–32 В

Для визначення швидкості потоку води в системі розподілу доцільно використовувати електромагнітні витратоміри ПІТЕРФЛОУ-РС витратомір, зображені на рисунку 2.6. Ці прилади призначені для вимірювання об'ємної витрати та загального об'єму електропровідних рідин.



Рисунок 2.6 – Витратомір ПІТЕРФЛОУ-РС

Сфера використання таких витратомірів охоплює різні галузі, зокрема системи теплопостачання та кондиціонування, водопостачання і підготовки води, мережі розподілу питної води, сільське господарство та зрошення, установки пожежогасіння, а також системи циркуляції, очищення та відведення води.

Принцип роботи приладу базується на виникненні електрорушійної сили в рідині, яка рухається в магнітному полі. Величина цієї ЕРС прямо залежить від швидкості потоку, а відповідно і від витрати середовища. Отриманий сигнал сприймається електродами та передається до електронного блоку, де обробляється згідно із заданими алгоритмами.

Конструктивно витратомір складається з вимірювальної частини, електронного модуля та зовнішнього адаптера, що забезпечує його функціонування.

Таблиця 2.4 – Порівняльний аналіз витратомірів

Параметр	ПІТЕРФЛОУ-РС витратомір	H250 витратомір	F808 витратомір
Напруга живлення, В	$12 \pm 0,5$	16...30	20...32
Споживана потужність, В·А	5	4	8
Температура вимірюваного середовища, °С	0...150	-20...75	-30...60
Допустима відносна похибка, %	± 1	± 1	± 1
Середній термін служби, років	12	8	9

Аналізатор широко використовується у виробничих і технологічних процесах, оскільки контроль якості води є важливим у багатьох галузях. Вимірювання рівня рН відіграє ключову роль у визначенні характеристик води, зокрема її стабільності, схильності до утворення накипу або корозії, а також у прогнозуванні фізико-хімічних і біологічних процесів, що відбуваються у водному середовищі. Було розглянуто аналізатори, представлені на рисунках 2.7 – 2.9, та проведено їх порівняльний аналіз, який наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Порівняльний аналіз аналізаторів

Параметр	HM Digital COM-300	HM-500 Hydro Master	HM Digital PH-200
Виробник	США	США	США
Діапазон рН	0–14	0–14	0–14
Робочий температурний діапазон	0...+55 °С	0...+80 °С	0...+55 °С
Похибка	±2 %	±0,02 рН	±0,1 рН
Корпус	Водонепроникний, портативний	Портативний	Водонепроникний, портативний
Гарантійний термін	12 міс.	12 міс.	12 міс.
Ціна	89 400 тг	188 350 тг	59 700 тг

Для розроблюваної системи було обрано професійний водозахищений аналізатор HM Digital PH200, який призначений для точного визначення рівня рН, тобто концентрації іонів водню у воді. Цей прилад (рисунок 2.7) відзначається компактністю та зручністю у використанні й застосовується для дослідження електрохімічних властивостей водних розчинів.



Рисунок 2.7 – HM Digital PH200



Рисунок 2.8 – HM Digital COM-300



Рисунок 2.9 – HM-500 Hydro Master

Пристрій дозволяє визначати кислотність середовища, а також додатково вимірює температуру рідини. Завдяки цьому забезпечується більш повна оцінка стану води.

Серед основних характеристик приладу варто відзначити наявність водонепроникного корпусу зі ступенем захисту IP67, можливість автоматичного калібрування з точним налаштуванням, а також функцію температурної компенсації, що підвищує точність вимірювань. Прилад оснащений дисплеєм, на якому одночасно відображаються значення рН і температура. Додатково передбачені функції автоматичного вимкнення, утримання показів і сигналізації про низький заряд батареї. Конструкція дозволяє замінювати датчик, а сам прилад проходить заводське калібрування.

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Функціонування даної системи базується на підтриманні сталої частоти обертання насоса незалежно від зміни навантаження [18-23]. При зміні навантаження на валу відбувається відхилення фактичної кутової швидкості від заданого значення.

Для контролю цієї величини використовується тахогенератор, який перетворює реальну швидкість обертання у відповідний електричний сигнал. Цей сигнал надходить на порівнювальний елемент, роль якого виконує операційний підсилювач із двома входами.

Операційний підсилювач визначає різницю між заданим і фактичним значеннями, формуючи сигнал похибки U_{ε} . Отриманий сигнал надходить до електромашиного підсилювача, де відбувається його підсилення за потужністю.

Після цього підсилений сигнал подається на обмотку збудження генератора, яка розташована в статорі. Сам генератор приводиться в рух трифазним електродвигуном, що забезпечує стабільну частоту обертання ротора.

Для подальшого аналізу [18] необхідно побудувати структурну схему системи, яка наведена на рисунку 3.2.

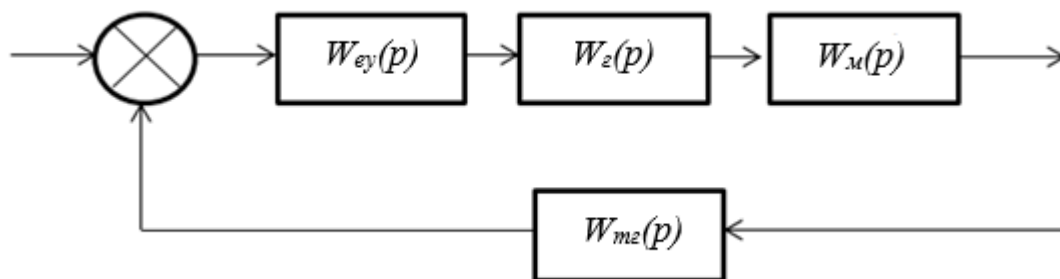


Рисунок 3.2 – Структурна схема системи автоматичної стабілізації частоти обертання приводу насоса.

$$W_{en}(p) = k_{en} = 60,$$

$$W_z(p) = \frac{K_1}{T_1 \cdot p + 1} = \frac{1,5}{1,01p + 1},$$

$$W_m(p) = \frac{K_\delta}{T_m T_\gamma \cdot p^2 + T_m \cdot p + 1} = \frac{0,91}{0,046 \cdot 0,555 \cdot p^2 + 0,404 \cdot p + 1} =$$

$$= \frac{0,91}{0,2553 \cdot p^2 + 0,555 \cdot p + 1},$$

$$W_{mz}(p) = K_{mz} = 1,1.$$

Передавальна функція розімкнутої системи буде визначатися як:

$$W_{роз}(p) = W_{en}(p) \cdot W_z(p) \cdot W_m(p) \cdot W_{mz}(p),$$

$$W_{роз}(p) = \frac{K_{en} \cdot K_1 \cdot K_\delta \cdot K_{mz}}{(T_1 \cdot p + 1) \cdot (T_m T_\gamma \cdot p^2 + T_m \cdot p + 1)} =$$

$$= \frac{90,09}{0,0257853 \cdot p^3 + 0,58608 \cdot p^2 + 1,565 \cdot p + 1}$$

3.2 Дослідження стійкості системи стабілізації частоти обертання привода насосу на стійкість

Суть критерію Гурвіца [24-25] полягає у формуванні спеціальної матриці, на основі якої обчислюється визначник Δ_1 . Система вважається стійкою лише за умови, що цей визначник є додатним.

Характеристичне рівняння системи має вигляд:

$$D(p) = 0,0257853 \cdot p^3 + 0,58608 \cdot p^2 + 1,565 \cdot p + 90,09$$

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Оскільки для застосування критерію використовується передавальна функція замкненої системи $W_{зам}$, спочатку визначаємо її:

$$W_{зам} = \frac{W_{роз}}{1 + W_{роз}} = \frac{\frac{90,09}{0,0257853 \cdot p^3 + 0,58608 \cdot p^2 + 1,565 \cdot p + 1}}{1 + \frac{90,09}{0,0257853 \cdot p^3 + 0,58608 \cdot p^2 + 1,565 \cdot p + 1}}$$

Після перетворень отримуємо:

$$W_{зам} = \frac{90,09}{0,0257853 \cdot p^3 + 0,58608 \cdot p^2 + 1,565 \cdot p + 91,09}$$

Відповідно характеристичне рівняння набуває вигляду:

$$D(p) = 0,0257853 \cdot p^3 + 0,58608 \cdot p^2 + 1,565 \cdot p + 91,09$$

Усі коефіцієнти цього рівняння є додатними, що задовольняє необхідну умову стійкості.

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} a1 & a3 & 0 \\ a0 & a2 & 0 \\ 0 & a1 & a3 \end{vmatrix}$$

```
a0 := 0.0257853      a1 := 0.58608      a2 := 1.565      a3 := 91.09
A :=  $\begin{pmatrix} a1 & a3 & 0 \\ a0 & a2 & 0 \\ 0 & a1 & a3 \end{pmatrix}$ 
|A| → -130.40150880693
```

Рисунок 3.3 – Коефіцієнти характеристичного рівняння, отримані в середовищі Matlab

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		39

Проте цього недостатньо для остаточного висновку. Після обчислення визначника Гурвіца встановлено, що $\Delta < 0$, тобто система є нестійкою.

Для застосування критерію Михайлова в характеристичному рівнянні змінну p замінюють на $j\omega$ та розділяють отриманий вираз на дійсну та уявну складові. Тоді з характеристичного рівняння:

$$D(p) = 0,0257853 \cdot p^3 + 0,58608 \cdot p^2 + 1,565 \cdot p + 91,09$$

після підстановки отримаємо годограф функції:

$$-j \cdot 0,0257853 \cdot \omega^3 + 0,58608 \cdot \omega^2 + j \cdot 1,565 \cdot \omega + 91,09 = 0.$$

Уявна частина описується виразом: $V(\omega) = j(1,565 \omega - 0,025785 \omega^3)$

а дійсна частина: $U(\omega) = 91,09 - 0,58608 \omega^2$.

Задавши зміну частоти ω від 0 до 12 з кроком 0,1 побудовано годограф Михайлова в середовищі Matlab (рисунок 3.4).

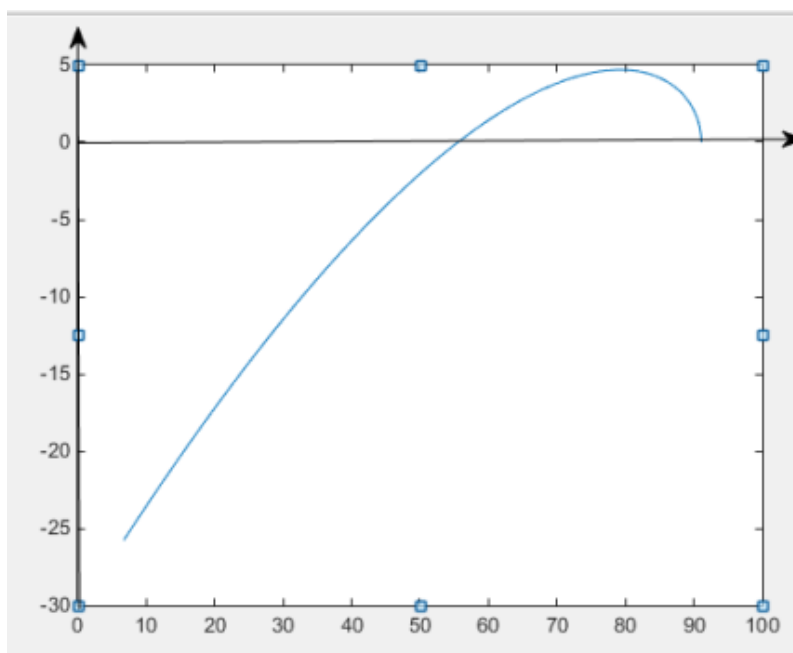


Рисунок 3.4 – Годограф Михайлова

Побудова годографа Михайлова показує, що траєкторія не проходить послідовно всі квадранти комплексної площини проти годинникової стрілки відповідно до порядку рівняння. Зокрема, крива переходить із першого квадранта одразу в четвертий, не охоплюючи другий і третій. Це свідчить про те, що система не відповідає умовам стійкості за даним критерієм.

Для аналізу стійкості за критерієм Найквіста використовується амплітудно-фазова характеристика розімкненої системи. Стійкість замкненої системи (рисунок 3.5) забезпечується у випадку, якщо ця характеристика не охоплює точку з координатами $(-1; j0)$.

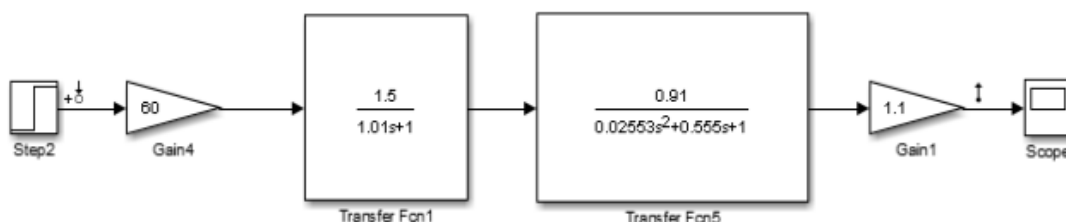


Рисунок 3.5 – Структурна схема передавальної функції замкнутої системи

У результаті побудови годографа Найквіста (рисунок 3.6) встановлено, що траєкторія охоплює зазначену критичну точку, що вказує на нестійкість системи.

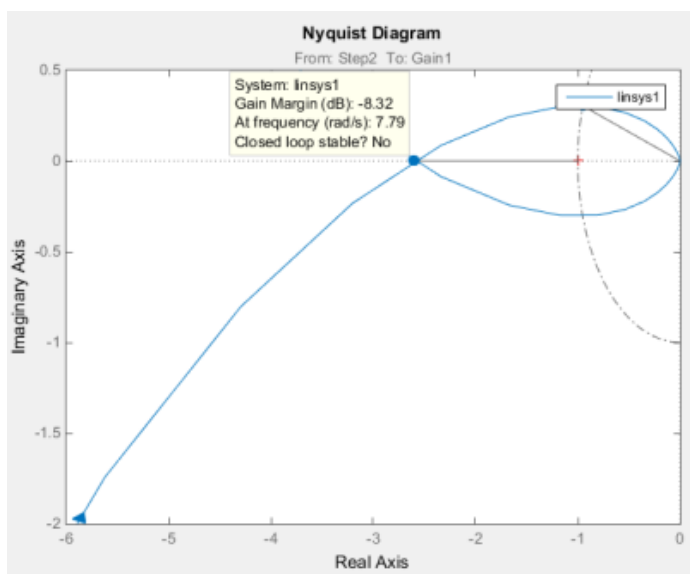


Рисунок 3.6 – Побудова годографа Найквіста в Matlab

Додатковий аналіз логарифмічних амплітудно- та фазочастотних характеристик (рисунок 3.7) підтверджує цей висновок.

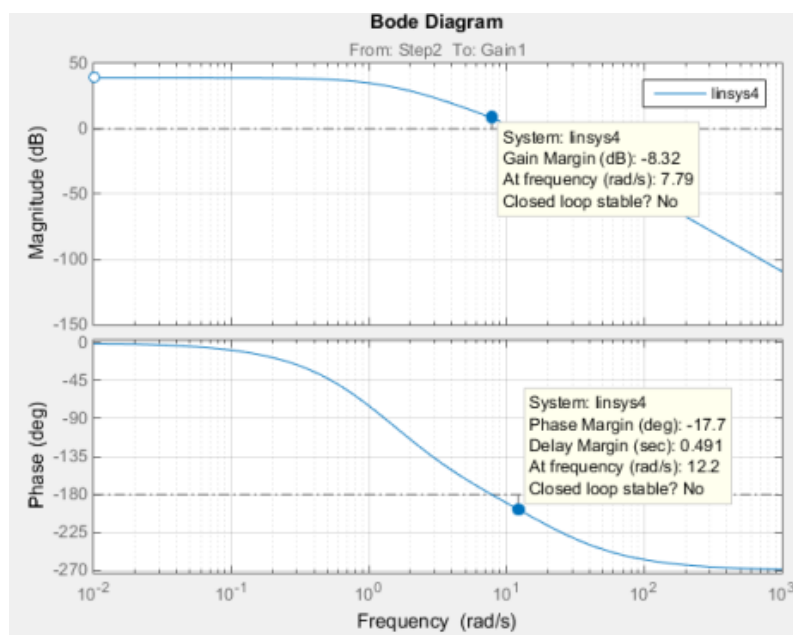


Рисунок 3.7 – ЛАЧХ і ЛФЧХ

Відсутність запасів стійкості за амплітудою і фазою, а також взаємне розташування характеристик свідчать про те, що система у замкненому стані є нестійкою.

Для перевірки отриманих аналітичних результатів було побудовано модель системи стабілізації частоти обертання насоса у програмному середовищі Simulink (рисунок 3.8).

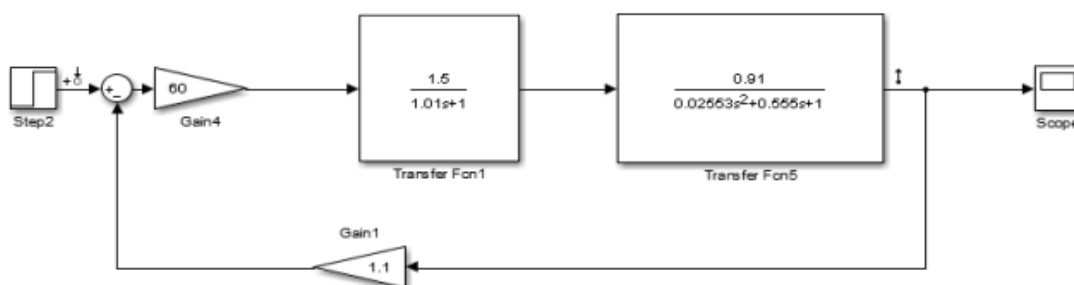


Рисунок 3.8 – Схема системи стабілізації частоти обертання валу насоса

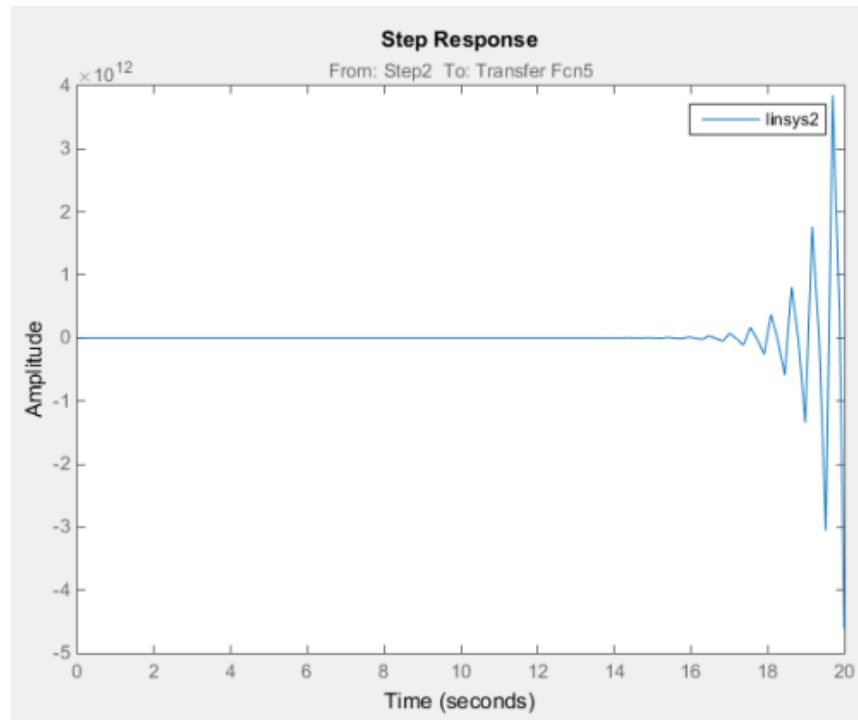


Рисунок 3.9 – Нестійкий перехідний процес

Результати моделювання показали, що перехідний процес має нестійкий характер, що підтверджує попередні висновки, отримані аналітичними методами.

3.3 Визначення параметрів стійкості системи автоматичного регулювання та контролю рівня рідини в баку-нейтралізаторі.

Було спроектовано систему автоматичного контролю рівня рідини в баку-нейтралізаторі. Структурну схему системи представлено на рисунок 3.10.

Для побудови сумарної характеристики необхідно зобразити статичні характеристики окремих елементів на одній координатній площині: перший блок відповідає характеристиці датчика; другий — регулятора; третій — виконавчого механізму.

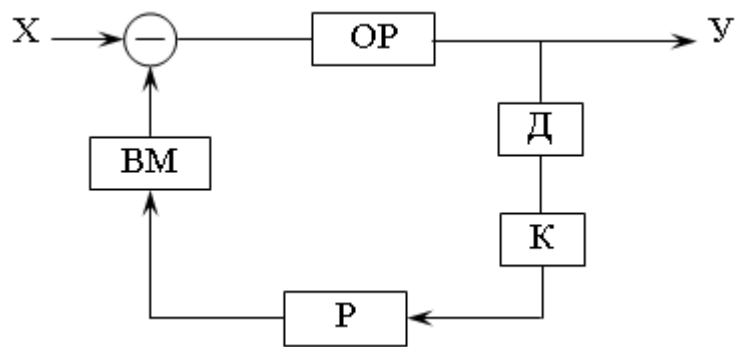


Рисунок 3.10 – Структурна схема автоматичного регулювання рівня води в баку-нейтралізаторі: Д – датчик; ОР – об’єкт регулювання; Р – регулятор; ВМ – виконавчий механізм; К – підсилювальний елемент

Після цього проводимо пряму через точки А, В і С, що дозволяє отримати узагальнену статичну характеристику ланцюга зворотного зв’язку ДРВМ (рисунок 3.11).

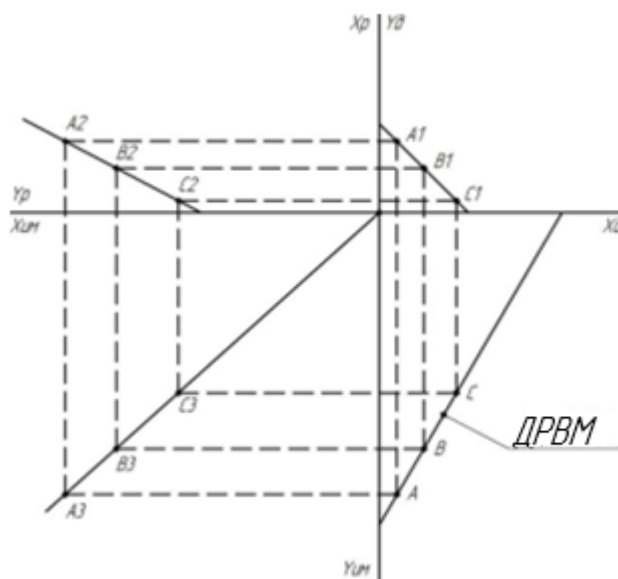


Рисунок 3.11 – Результуюча статична характеристика ланцюга зворотного зв’язку графічним методом.

Координати точок: А (0,3; 6); В (0,9; 5); С (1,6; 3,8).

Статичні характеристики системи та об'єкта перетинаються в точці А з координатами (3,5; 0,5), яка визначається як робоча точка. Кут перетину цих характеристик становить $67^{\circ}33'$.

Згідно з теорією автоматичного регулювання, якщо дві статичні характеристики проходять через одну точку під кутом у межах $60-90^{\circ}$, система вважається стійкою та має добрі експлуатаційні властивості (рисунок 3.12).

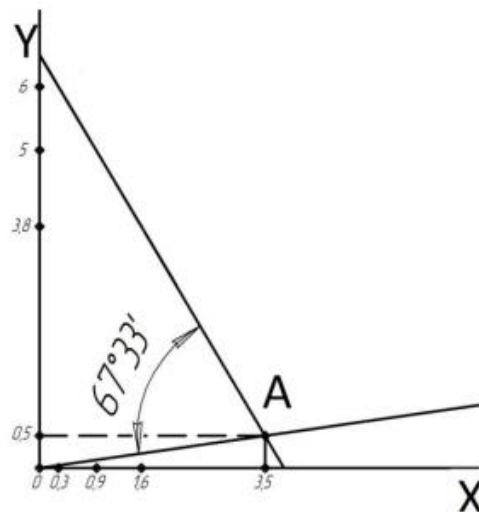


Рисунок 3.12 – Єдина система координат ДРВМ і статистичні характеристики об'єкта управління.

Розглянемо спільну статичну характеристику об'єкта разом із характеристикою ДРВМ для визначення динамічного коефіцієнта регулювання D.

Із характеристики ДРВМ видно, що можливий діапазон зміни вхідного сигналу становить від 0 до 3,2, тобто $\Delta X_{ex} = 3,2$.

Підставляючи ці значення в характеристику об'єкта, отримуємо: $\Delta'Y = 0,5$.

Тоді динамічний коефіцієнт визначається за формулою:

$$D = \Delta Y / \Delta X_{ex}$$

$$D = 0,5 / 3,2 = 0,16$$

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		45

Згідно з теорією автоматичного керування при $D=1$ система забезпечує оптимальну передачу сигналу в замкненому контурі; якщо $D>1$ — необхідно додати послаблювач сигналу у ланцюг зворотного зв'язку; якщо $D<1$ — слід використовувати підсилювальний елемент в ланці зворотного зв'язку.

Коефіцієнт підсилення визначається як:

$$K = 1/D = 1/0,16 = 6,3.$$

Отже, щоб привести динамічний коефіцієнт до одиниці, у ланку зворотного зв'язку потрібно включити підсилювач із коефіцієнтом $K = 6,3$.

Із структурної схеми керування випливає, що вихід датчика дорівнює входу регулятора $Y_D = X_P$; а вихід регулятора — входу виконавчого $Y_P = X_{BM}$.

Щоб отримати загальний аналітичний вираз системи, підставимо рівняння датчика в рівняння регулятора, а отриманий результат — у рівняння виконавчого механізму.

У підсумку отримуємо:

$$Y_{BM} = \frac{NY}{\sqrt{(N^2 + 8)}} = \frac{7}{\sqrt{57}} \cdot \sqrt{\frac{7}{2}} (X = 2) = 1,7X + 6,7.$$

Це рівняння описує статичну характеристику ланки зворотного зв'язку, отриману аналітичним методом. Воно також узгоджується з характеристикою, побудованою раніше графічно.

Для знаходження робочої точки сформуємо структурну модель системи (рисунок 3.13), яка містить два основні елементи. Це дозволяє встановити взаємозв'язок між керуючими параметрами.

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

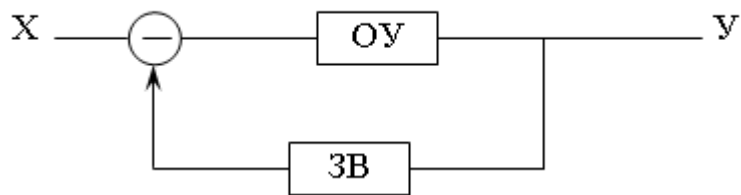


Рисунок 3.13 – Структурна схема отриманої системи

Точка перетину характеристик визначається системою рівнянь:

$$\begin{cases} Y_{BM} = 6,7 + 1,7 X_D, \\ Y_0 = X_0 / N \end{cases},$$

розв'язавши яку, отримуємо координати робочої точки: $X = 3,4$; $Y = 0,9$, тобто точку $A(3,4; 0,9)$.

Результати, отримані аналітичним методом, збігаються з графічними побудовами.

3.4 Визначення передавальних функцій елементів системи

Для аналізу динамічних властивостей системи необхідно визначити передатні функції її складових:

об'єкта регулювання: $W_{OP} = \frac{N^2 + 1}{(N^2 + 4)p} = \frac{7^2 + 1}{(7^2 + 4)p} = 0,9 / p$;

датчика: $W_D = \frac{4p + 3}{p + 5/N} = \frac{4p + 3}{p + 5/7} = \frac{4p + 3}{p + 0,7}$;

регулятора: $W_P = \frac{p + 6}{p + N/6} = \frac{p + 6}{p + 7/6} = \frac{p + 6}{p + 1,2}$;

виконавчого механізму:
$$W_{BM} = \frac{4 + N}{4Np} = \frac{4 + 7}{4 \cdot 7p} = \frac{0,4}{p}.$$

Загальна передавальна функція ланцюга зворотного зв'язку визначається як добуток передатних функцій усіх елементів:

$$W_{zag}(p) = W_D(p) \times W_P(p) \times W_{BM}(p) \times W_K(p).$$

Після підстановки та спрощення отримується відповідний аналітичний вираз передатної функції:

$$W_{zag}(p) = \frac{4p + 3}{p + 0,7} \times \frac{p + 6}{p + 1,2} \times \frac{0,4}{p} \times 6,3 = \frac{10,72p^2 + 72,36p + 48,24}{p^3 + 1,9p^2 + 0,1p}.$$

Передавальна функція замкненої системи визначається за формулою:

$$W_{3C}(p) = \frac{W_{OP}(p)}{1 + W_{OP}(p) \cdot W_{33}(p)}.$$

Після підстановки всіх складових і алгебраїчного спрощення отримуємо узагальнений вигляд передавальної функції системи.

$$W_{3C}(p) = \frac{0,9/p}{1 + 0,9/p \cdot \frac{10,72p^2 + 72,36p + 48,24}{p^3 + 1,9p^2 + 0,1p}} = \frac{0,9p^3 + 1,7p^2 + 0,8p}{p^4 + 1,9p^3 + 9,7p^2 + 65,2p + 43,4}.$$

Для подальшого аналізу перехідного процесу вираз спрощується, шляхом вилучення з чисельника виразу $0,9p^3 + 1,7p^2$ та $p^4 + 1,9p^3$ із знаменнику. В результаті отримується передавальна функція у вигляді:

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$W_{nep}(p) = \frac{0,8p}{9,7p^2 + 65,2p + 43,4} = \frac{0,08p}{p^2 + 6,7p + 4,5}.$$

Ця функція описує частотні властивості системи та її реакцію на гармонічний вхідний сигнал.

Стійкість системи визначається за розташуванням коренів p_1 і p_2 характеристичного рівняння на комплексній площині:

$$p^2 + 6,7p + 4,5 = 0.$$

Розв'язуючи квадратне рівняння, отримуємо:

$$p_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}.$$

$$D = \sqrt{b^2 - 4ac} = \sqrt{6,7^2 - 4 \cdot 4,5} = \pm 5,2i,$$

звідки

$$p_1 = -0,75, \quad p_2 = -5,95.$$

Згідно з критерієм Ляпунова, система є стійкою, якщо всі корені характеристичного рівняння мають від'ємні дійсні частини (тобто знаходяться в лівій півплощині відносно уявної осі, рисунок 3.14). Крім того, чим далі корені розташовані від уявної осі, тим вищий запас стійкості системи.

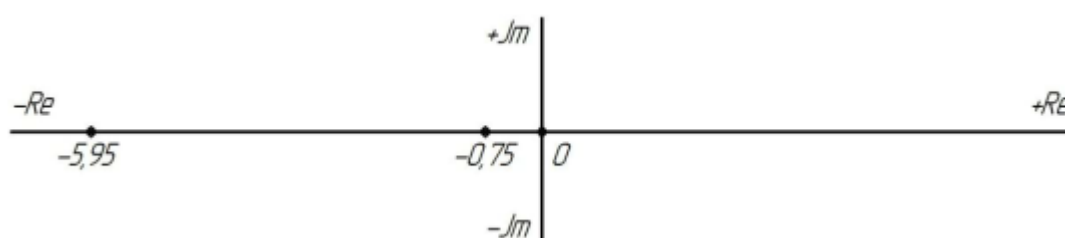


Рисунок 3.14 – Комплексна площина для аналізу стійкості САР

Передавальна функція всієї системи має вигляд:

$$W_C(p) = \frac{0,9p^3 + 1,7p^2 + 0,8p}{p^4 + 1,9p^3 + 9,7p^2 + 65,2p + 43,4}.$$

Для оцінки стійкості за критерієм Найквіста замінемо в передавальній функції оператор Лапласа p на $j\omega$ і отримаємо:

$$Y = (j\omega)^4 + 1,9(j\omega)^3 + 9,7(j\omega)^2 + 65,2(j\omega) + 43,4?$$

або

$$Y = \omega^4 - 1,9j\omega^3 - 9,7\omega^2 + 65,2j\omega + 43,4/$$

Виділимо з рівняння дійсну і уявну частини:

$$\operatorname{Re}(\omega) = \omega^4 - 9,7\omega^2 + 43,4,$$

$$\operatorname{Im}(\omega) = 65,2j\omega - 1,9j\omega^3.$$

Щоб знайти характерні (реперні) точки годографа, прирівнюємо уявну частину до нуля:

$$\operatorname{Im}(\omega) = 0. \Rightarrow 65,2j\omega - 1,9j\omega^3 = 0,$$

Розв'язуючи це рівняння, отримаємо корені – значення частоти ω :

$$\omega_1 = 5,9; \quad \omega_2 = -5,9; \quad \omega_3 = 0.$$

Отримані додатні значення підставляємо у вираз дійсної частини та обчислюємо відповідні значення $\operatorname{Re}(\omega)$.

Зокрема:

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

при $\omega = 0 \rightarrow \operatorname{Re}(0) = 0^4 - 9,7 \cdot 0^2 + 43,4 = 43,4$,

при $\omega = 5,9 \rightarrow \operatorname{Re}(5,9) = 5,9^4 - 9,7 \cdot 5,9^2 + 43,4 \approx 908,4$.

Далі визначаємо частоти, за яких дійсна частина дорівнює нулю:

$$\operatorname{Re}(\omega) = 0 \Rightarrow \omega^4 - 9,7\omega^2 + 43,4 = 0.$$

Для розв'язку рівняння вводимо заміну $\omega^2 = x$ і отримаємо:

$$x^2 - 9,7x + 43,4 = 0.$$

Для аналізу поведінки годографа на вищих частотах ($\omega > 5,9$) обираємо кілька значень, наприклад $\omega = 6$ та $\omega = 6,2$, і обчислюємо:

$$\operatorname{Re}(6) = 990,2$$

$$\operatorname{Im}(6) = -19,2$$

$$\operatorname{Re}(6,2) = 1148,1$$

$$\operatorname{Im}(6,2) = -48,6$$

Отримані точки наносяться на комплексну площину, після чого їх послідовно з'єднують у напрямку зростання частоти. У результаті формується крива годографа (рисунок 3.15).

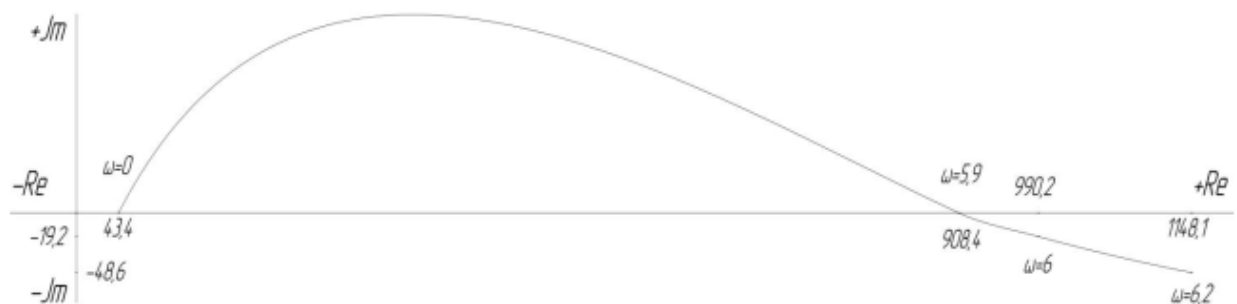


Рисунок 3.15 – Годограф системи

Відповідно до критерію Найквіста, дана система автоматичного регулювання є стійкою, оскільки побудована крива не перетинає дійсну вісь у від'ємній півплощині лівіше точки $(-1; j0)$.

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи підтверджено актуальність теми, що пов'язана зі значними обсягами використання водних ресурсів у промисловості та зростанням рівня їх забруднення. Повернення недостатньо очищених стічних вод у природні водойми негативно впливає на екологічний стан довкілля, що обумовлює необхідність удосконалення існуючих та розроблення нових ефективних методів очищення, зокрема із застосуванням автоматизованих систем управління.

У ході роботи було проаналізовано рівень забруднення водних ресурсів, зокрема басейну річки Дністер, а також досліджено розподіл скидів зворотних вод між різними галузями економіки. Це дозволило обґрунтувати необхідність впровадження сучасних технологій очищення та автоматизації процесів.

Проведено аналіз технологічного процесу очищення стічних вод, що включає стадії коагуляції, нейтралізації, флокуляції та відстоювання. На основі цього було розроблено структурну та функціональну схеми автоматизації, які відображають взаємозв'язки між елементами системи та принципи її роботи.

Здійснено вибір програмованого логічного контролера та програмного забезпечення, що забезпечують ефективне керування технологічним процесом. Зокрема, обґрунтовано використання сучасних засобів автоматизації та середовища розробки для реалізації системи управління та візуалізації.

Виконано обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації, включаючи датчики рівня, витрати та рН, що дозволяють забезпечити точний контроль основних параметрів технологічного процесу.

У роботі проведено розрахунок передавальних функцій систем автоматичного регулювання рівня води в резервуарі нейтралізації та системи

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

керування обертами насоса при зміні навантаження. Також здійснено дослідження отриманих систем на стійкість, що підтвердило їх працездатність і ефективність.

Таким чином, поставлена мета роботи досягнута, а всі визначені завдання виконані в повному обсязі.

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. SaveEcoBot. Єдина в Україні екологічна система <https://www.saveecobot.com/water-maps>.
2. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними мережі моніторингу гідрометеорологічних організацій у 2023 році/ ЦЕНТРАЛЬНА ГЕОФІЗИЧНА ОБСЕРВАТОРІЯ імені БОРИСА СРЕЗНЕВСЬКОГО. Київ. 2024. – 41 с. https://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/images/%D0%9E%D0%93%D0%9B%D0%AF%D0%94_2023.pdf
3. Звіт про стратегічну екологічну оцінку проєкту Плану управління річковим басейном Дністра (2025-2030). Товариство з обмеженою відповідальністю «Науково-виробниче підприємство «Укрекопроект» // Білоус Ян Станіславович, Вербова Альона Сергіївна, Созонтова Наталя Володимирівна, Булгак (Пашняк) Анастасія Володимирівна, Атаєв Сергій Вікторович, Білушенко Анатолій Анатолійович, Болбат Дмитро Володимирович. м. Київ. 2024 р. – 184 с. https://davr.gov.ua/fls18/pl24/Dnister_SEO.pdf
4. Петрук В. Г. Природоохоронні технології. Навчальний посібник. Ч.2: Методи очищення стічних вод / [Петрук В. Г., Северин Л. І., Васильківський І. В., Безвозюк І. І.] – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 258 с.
5. Khetan S.K., Collins T.J. Human pharmaceuticals in the aquatic environment: a challenge to green chemistry // 2007. Chem. Rev. №107, P.2319-2364.
6. Evgenidou E.N., Konstantinou I.K., Lambropoulou D.A. Occurrence and removal of transformation products of PPCPs and illicit drugs in wastewaters: a review // 2015. Sci. Total Environ. №505, P.905-926.
7. Loraine G.A., Pettigrove M.E. Seasonal variations in concentrations of pharmaceuticals and personal care products in drinking water and reclaimed

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		55

wastewater in Southern California // 2006. Environ. Sci. Technol. №40, P.687-695.

8. Benotti M. J., Trenholm R. A., Vanderford B. J., Holady J. C., Stanford B. D., Snyder S. A. Pharmaceuticals and endocrine disrupting compounds in U.S. Drinking Water // 2009. Environmental Science and Technology. V.43. №3. P.597–603.

9. Prieto-Rodríguez L., Oller I., Klammerth N., Aguera A., Rodríguez E.M., Malato S. Application of solar AOPs and ozonation for elimination of micropollutants in municipal wastewater treatment plant effluents// 2013. Water research. №47. P.15211528.

10. Oller I., Malato S., Sánchez-Pérez J.A. Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination—A review // 2011. Science of the total environment. №409. P. 4141-4166.

11. Tijani J.O., Fatoba O.O., Madzivire G., Petrik L.F. A review of combined Advanced Oxidation Technologies for the removal of organic pollutants from water // 2014. Water air soil pollut. №225 (2102). P. 1-30.

12. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод. Рівне: ВАТ «Рівенська друкарня». 2022. – 622с.

13. Wastewater Technology Fact Sheet : Sequencing Batch Reactors. – U. S. Environmental Protection Agency. – 2005. – 175 p.

14. Terry L. Hameed A Regulatory Guide to Sequencing Batch Reactors. – Kirschenman, Iowa, 2011. – 112 p.

15. Багатоцільова оптимізація усталених режимів роботи електроприводної нафтоперекачувальної станції / І.І. Яремак, В.С. Костишин // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. –2018. –Вип. 1. –С. 15-21. –Режим доступу: <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2018.1.15-21>.

16. Костишин В.С. Дослідження динамічних режимів роботи електроприводних відцентрових насосних агрегатів за допомогою їхніх комп'ютерно-орієнтованих Bond Graph моделей / В.С.Костишин, П.О.

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Курляк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. –2012. –No 2. –С. 148-153.

17. Яремак І.І. Керування режимами електрогідравлічного комплексу на підставі системного підходу / І.І. Яремак, В.С.Костишин // Науковий вісник НЛТУ України. –2020. –No30(3). –С. 83-88. –Режим доступу: <https://doi.org/10.36930/40300314>.

18. Mathematical Modeling and Simulation of Transients in Power Distribution Systems with Valve Devices and Dynamic Loading / P.Gogolyuk, T. Grechyn, A. Ravlyk, I. Grinberg // Proceedings of the IEEE Power Engineering Society General Meeting. –2003.–Pp. 1580-1585.

19. Lysiak V. Modeling of Hydraulic Load of Electric Drive in Electrical Complex of Pumping Sta-tion / V. Lysiak, M. Oliynyk, Yu. Shelekh// Energy Engineering and Control Systems. –2018. –Vol. 4, no. 1. –Pp. 31-36. –Mode of access: <https://doi.org/10.23939/jeecs2018.01.031>.

20. Костишин В.С. Аналіз показників ефективності та надійності роботи насосного агрегата на засадах системного підходу / В.С. Костишин, І.І. Яремак// Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. –2017. –No 1. –С. 50-60.

21. Kostyshyn V.S. Creation of object-oriented model of centrifugal pump on the basis of electro-hydrodynamic analogy method/ V.S. Kostyshyn, I.I. Yaremak, P.O. Kurlyak // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. –2019. –No 6. –Pp. 72-79. –Mode of access: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-6/11>.

22. Kostyshyn V.S. Simulation of performance characteristics of centrifugal pumps by the electro-hydrodynamic analogy method / V.S.Kostyshyn, P.O. Kurlyak // Journal of Hydrocarbon Power Engineering. – 2015. –Vol. 2, No 1. –Pp. 24-31.

23. Шелепетень Т. М. Обчислення інтегральних параметрів електромагнітних апаратів з допо-могою цифрових моделей / Т.М.

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Шелепетень // Технічна електродинаміка : спец. вип. за ма-тер. II Міжнародної наук.-техн. конф. «Математичне моделювання в електротехніці і електродинаміці». –К., 1998. –С. 169-172.

24. Системний аналіз складних систем управління. Практикум. [Текст]: навчальний посібник / А.П. Ладанюк, Я.В. Смітюх, Л.О. Власенко, Н.А. Заєць, І.В. Ельперін. – К.: НУХТ, 2014. – 157 с. (№37.49 - 02.07.2014)

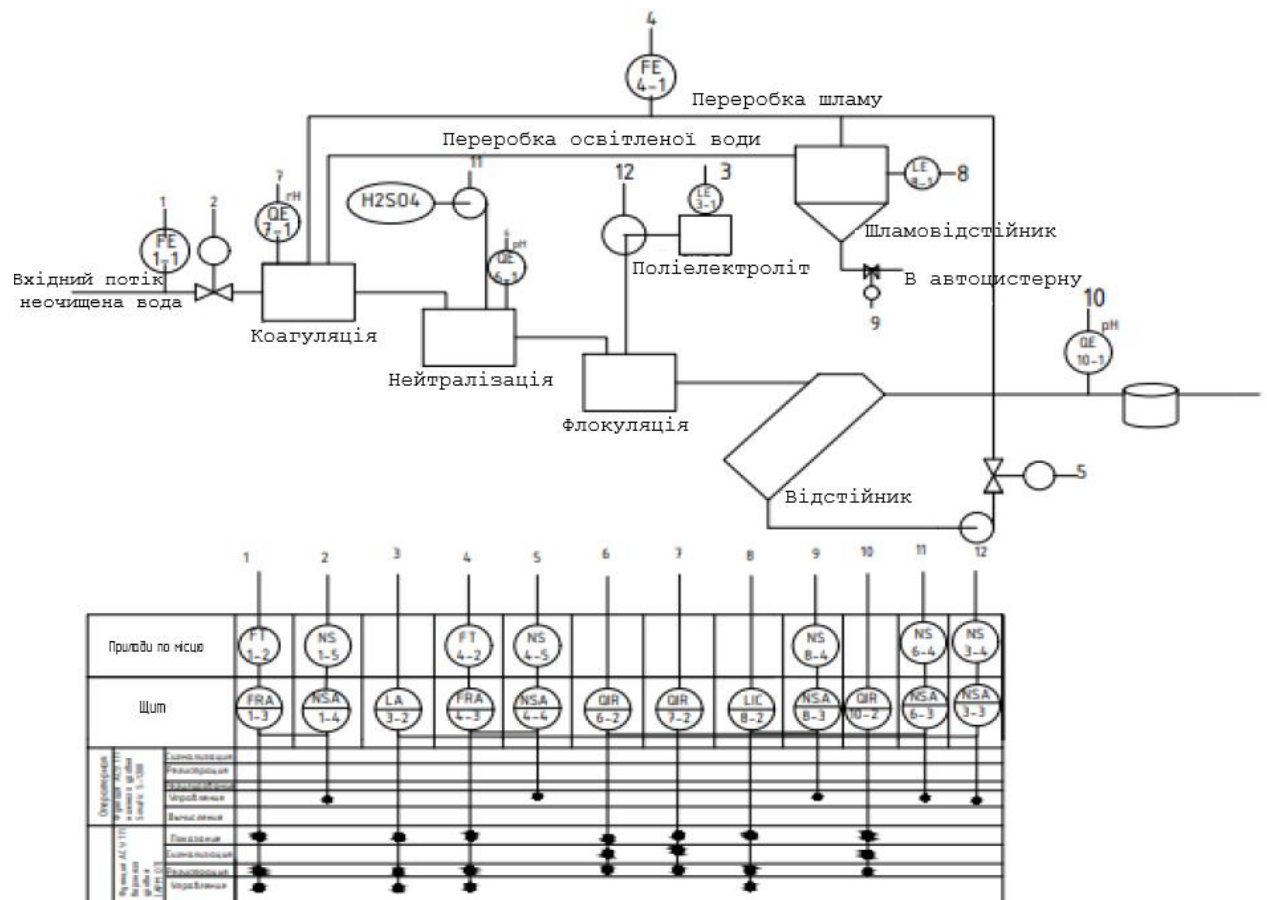
25. Методи сучасної теорії управління [Текст]: підручник / А.П. Ладанюк Н.М. Луцька, В.Д. Кишенько, Л.О. Власенко, В.В. Іващук. – К.: Видавництво ЛіраК, 2018. – 368 с.

26. Загальні методичні рекомендації з підготовки, оформлення, захисту та оцінювання кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти першого «бакалаврського» і другого «магістерського» рівнів. // Укладачі: В. М. Островерхов, Л. І. Біловус, К. З. Возьний, О. О. Луцишин, Г. Л. Монастирський, С. В. Питель, С. А. Надвиничний, С. К. Шандрук. Тернопіль: ЗУНУ, 2024. – 89 с/

27. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи за освітнім ступенем “бакалавр” спеціальності 151 – Автоматизація та комп’ютерноінтегровані технології / Під ред. А.І. Сегіна – Тернопіль: ЗУНУ, 2021. – 36 с.

					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ДОДАТОК А



					ДП.АКІТ.10658693.00.00.000.ПЗ							
					Схема функціональна системи автоматизованого управління очищенням стічних вод	Літ.			Маса		Масштаб	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Колцун Ю. В.										
Перевірив		Яцків Н.Г.										
Т. Контр.						Арк.	59		Аркушів		60	
Н. Контр.		Заставний О.М.										
Затверд.		Сегін А. І.										

ДОДАТОК Б

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ