

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри автоматизації
та комп'ютерно-інтегрованих
технологій

_____ Микола Сідєлев

«__» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА
СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ФІЛЬТРАЦІЄЮ
ВОДИ

Спеціальність 151 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології
Освітня програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології»

Здобувач _____

Аристарх СЕРБЕНКО

«__» _____ 20__ р.

Керівник роботи
к. т. н. , доцент
кафедри _____

Олег ЩЕСЮК

«__» _____ 20__ р.

Консультант
к. т. н. , доцент
кафедри _____

Анна АЛЕКСЄЄВА

«__» _____ 20__ р.

Миколаїв – 2025

Завдання на виконання кваліфікаційної роботи

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

Факультет	Комп'ютерних наук
Кафедра	Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Рівень вищої освіти	Бакалавратський
Освітній ступінь	Бакалаврат
Спеціальність	Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології
Освітня програма	Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

_____ Микола Сіделєв

«___» _____ 202_ р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну бакалаврську роботу здобувача

Сербенко Аристарх Володимирович

1. Тема кваліфікаційної роботи система автоматизованого керування фільтрацією води затверджена наказом ректора ЧНУ ім. Петра Могили № 299 від «30» жовтня 2024 р.

2. Строк представлення кваліфікаційної роботи «19» червня 2025 р.

3. Очікуваний результат роботи та початкові дані якщо такі потрібні.

Результатом роботи є створена модель автоматизованої системи фільтрації, яка аналізує ситуацію та приймає рішення без втручання оператора, окрім монтажних робіт. На основі математичної моделі

автоматизації.

4. Перелік питань, що підлягають розробці:

- 1) Аналіз способів фільтрації води
- 2) Аналіз автоматизованих систем
- 3) Створення математичної моделі автоматизації
- 4) Створення апаратної частини

5. Перелік графічних матеріалів:

- Таблиця якості води в різних регіонах України
- Структури автоматичного керування різних типів
- Складові апаратної частини
- Графік залежності втрати сигналу від довжини дроту
- Графік та модель математичної автоматизованої системи
- Електрична принципова схема
- Блок-схема алгоритму програми
- Креслення макету автоматичного фільтру

6. Завдання до спеціальної частини

У межах автоматизованих систем організація робочого процесу з дотриманням встановлених вимог з охорони праці та виробничої гігієни має безпосередній вплив не лише на рівень продуктивності, а й на загальний стан здоров'я фахівців, що працюють у даній сфері. Особливу увагу слід приділити застосуванню сучасних периферійних пристроїв, які сприяють зниженню фізичного навантаження, зменшенню ризиків професійних травм і попередженню надмірного стомлення працівників.

7. Консультанти:

Консультант	Кафедра (організація)	Частина роботи
Алексєєва А. О. доц., канд. наук	кафедра екології Медичного інституту ЧНУ імені Петра Могили	Спеціальна частина з охорони праці

Дата видачі завдання «30» жовтня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН
виконання кваліфікаційної роботи

Тема: **система автоматизованого керування фільтрацією води**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Обговорення пропозицій теми від керівника	23.09.2024	Виконано
2	Обговорення із студентом теми, яка вибрана	01.10.2024	Виконано
3	Формування завдання, затвердження теми	30.10.2024	Виконано
4	Визначення актуальності, об'єкту, предмету	01.11.2024	Виконано
5	Пошук літератури, патентний пошук, уточнення задач дослідження	15.11.2024	Виконано
6	Виконання першої частини	02.12.2024	Виконано
7	Аналіз керівником записки першої частини (ЕВ*), формування зауважень та пропозицій	27.12.2024	Виконано
8	Опрацювання другої частини	14.03.2025	Виконано
9	Робота над третьою частиною	18.04. 2025	Виконано
10	Робота над розділом з охорони праці	20.05. 2025	Виконано
11	Передзахисти	27.05. 2025	Виконано
12	Передача (ЕВ) кваліфікаційної роботи	19.06.2025	Виконано
13	Передача (ДВ) кваліфікаційної роботи	20.06. 2025	Виконано

*ЕВ – електронний варіант, ДВ – друкований варіант.

Здобувач

Аристарх Сербенко

«__» _____ 20__ р.

Керівник роботи

к. т. н. , доцент
кафедри

Олег Щесюк

«__» _____ 20__ р.

АНОТАЦІЯ

до кваліфікаційної роботи бакалавра

«Система автоматизованого керування фільтрацією води»

Здобувач 471 гр.: Сербенко Аристарх Володимирович

Керівник: кандидат технічних наук, доцент Щесюк О. В.

У кваліфікаційній бакалаврській роботі «Система автоматизованого керування фільтрацією води» досліджено та реалізовано комплексне рішення для моніторингу й автоматичного керування процесом очищення технічної води на основі аналізу перепаду тиску через самопромивний фільтр. Проведено огляд існуючих технологій очищення і автоматизації водоочисних процесів, обґрунтовано вибір архітектури розділеного часу АСК із застосуванням мікроконтролера Arduino Uno, інтерфейсу RS-485 (MAX485) та двох цифрових датчиків тиску. Розроблено електричну та програмну частини системи, що забезпечують циклічне зчитування показників, обчислення перепаду тиску, активацію реле-клапана для зворотного промивання та реалізацію захисту від надмірного частого промивання. Виконано розрахунок ключових параметрів: поріг перепаду (0,3 бар), час промивання (10 с), інтервал між циклами (1 год). Здійснено розрахунки математичної моделі автоматизованої системи, вхідних параметрів, розроблено комплекс заходів з охорони праці. Запропоноване рішення дозволяє підвищити якість очищення, знизити витрати на воду, енергію та обслуговування, а також скоротити втручання персоналу, забезпечуючи швидку окупність і відповідність нормативним вимогам. Дипломна робота має наступні характеристики:

Сторінок – 62. Рисуноків – 17. Таблиць – 7. Посилань – 16. Додатків – 2.

Ключові слова: автоматизована система, ПЛК, фільтрація води, система, архітектура управління, математична модель САК.

ABSTRACT

to the bachelor's qualification work

"Automated control system of water filtration"

Student 471 gr.: Serbenko Arystarkh Volodymyrovych

Supervisor: Candidate of Technical Sciences, Associate Professor O. V.

Shchesyuk.

In the bachelor's thesis "System of automated control of water filtration" a complex solution for monitoring and automatic control of the process of industrial water purification based on the analysis of the pressure drop across the self-flushing filter was investigated and implemented. A review of existing technologies for the purification and automation of water treatment processes was conducted, and the choice of the split-time architecture of the ACS using the Arduino Uno microcontroller, RS-485 (MAX485) interface, and two digital pressure sensors was substantiated. The electrical and software parts of the system have been developed to provide cyclic reading of indicators, calculation of the pressure drop, activation of the relay valve for backwashing, and implementation of protection against excessive frequent flushing. The key parameters were calculated: differential pressure threshold (0.3 bar), flushing time (10 s), interval between cycles (1 h). The mathematical model of the automated system and input parameters were calculated, and a set of labor protection measures was developed. The proposed solution allows to improve the quality of cleaning, reduce water, energy and maintenance costs, as well as reduce staff intervention, ensuring quick payback and compliance with regulatory requirements. The thesis has the following characteristics: Pages – 62. Figures – 17. Tables – 7. References – 16. Appendices – 2.

Keywords: automated system, PLC, water filtration, system, control architecture, mathematical model of the ACS

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	3
ВСТУП.....	4
1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ТА СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	6
1.1. Стан проблеми водоочищення в Україні та світі.....	6
1.2 Основні методи та обладнання для фільтрації води.....	8
1.3 Аналіз існуючих систем автоматизації очищення води.....	11
1.4 Переваги та недоліки застосування автоматизованих систем фільтрації.....	13
1.5 Постановка задач дослідження	14
Висновки до розділу 1.....	15
2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ФІЛЬТРАЦІЄЮ ВОДИ	17
2.1 Технічні вимоги та нормативні документи	17
2.2 Вибір архітектури системи управління.....	19
2.3 Програмно-апаратні засоби: датчики, виконавчі механізми, контролери	26
2.4 Алгоритми керування та логіка роботи системи	34
Висновки до розділу 2.....	38
3 ПРОЕКТУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ.....	40
3.1 Опис конструкції самопромивного фільтра.....	40
3.2 Розробка функціональної та структурної схем керування	43
3.3 Програмування та реалізація взаємодії сенсорів, виконавчих механізмів та контролера	46
Висновки до розділу 3.....	50
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ.....	51
4.1 Аналіз умов праці.....	51
4.2 Заходи безпеки під час експлуатації системи	52
4.3 Розрахунок освітленості, мікроклімату та шуму.....	54

ВИСНОВКИ	56
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	58
Додаток А Схема електрична принципова системи	60
Додаток Б Код програми для аналізу в MATLAB (рис. 2.9).....	61

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

UART – протокол для асинхронного обміну послідовними даними між електронними пристроями.

Modbus RTU (Remote Terminal Unit) – один із найпоширеніших варіантів протоколу Modbus, який використовується для серійного зв'язку через інтерфейси RS-485 або RS-232.

GSM – міжнародний стандарт мобільного цифрового стільникового зв'язку.

ПЛК – програмований логічний контролер.

ВСТУП

В сучасності стрімкого розвитку технологій та зростанням споживання водних ресурсів водночас погіршується екологічний стан навколишнього середовища, звідки з'являються проблеми забезпечення якісної фільтрації води для побутових, комунальних, промислових потреб. Сучасні умови потребують нового підходу до очищення води, особливо враховуючи забруднення джерел, застарілу інфраструктуру комунальних систем та нестачу автоматизованих рішень. Ця проблема є актуальною не лише для України, але й для багатьох країн світу, це впливає на екологічний стан, здоров'я населення та економічний розвиток.

Звичайні методи очищення води не мають можливість справлятися з нинішніми викликами забруднень, та обмеженими ресурсами. Тому потрібно більш активно впроваджувати автоматизовані системи фільтрації води, щоб забезпечувати стабільну якість очищення при мінімальному втручанні людини.

Метою даної роботи полягає в розробці та створенню ефективної системи автоматичного керування процесом фільтрації води, з використанням доступних технічних засобів: сенсорів тиску, контролера, електромагнітні клапани. Все завдяки зворотного способу промивання фільтра для забезпечення автономної та ефективної роботи.

Об'єкт дослідження – система фільтрації технічної води.

Предмет дослідження – автоматизована система керування фільтраційним процесом на основі показників тиску до та після фільтра.

Наукова новизна полягає у створенні адаптивної архітектури автоматичного керування, що поєднує недорогі, доступні компоненти (датчики з інтерфейсом RS485, Arduino Uno) з сучасними принципами автоматизації – моніторингом у реальному часі, логікою самопромивання та можливістю масштабування.

Практична значущість роботи полягає у можливості застосування розробленої системи в умовах малого та середнього бізнесу, на автомийках, у фермерських господарствах, а також у комунальному секторі, де важливо забезпечити стабільну якість води враховуючи економію ресурсів.

Структура роботи: дипломна робота складається з вступу, трьох основних розділів, висновків, переліку джерел та додатків. У першому розділі виконано аналітичний огляд існуючих технологій фільтрації. У другому – розроблено апаратно-програмну архітектуру системи керування. У третьому – створено креслення та принцип дії макету.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ТА СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1. Стан проблеми водоочищення в Україні та світі

Створення фільтраційних систем є актуальним для забезпечення нормальних житлово-побутових умов населення міст і населених пунктів для підтримки гарного стану навколишнього природного середовища.. Глобальні кліматичні зміни, індустріалізація, а також виснаження природних джерел прісної води змушують переглянути традиційні підходи до її очищення та використання. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, понад 2 мільярди людей не мають доступу до безпечної питної води, що спричиняє сотні тисяч смертей щороку через хвороби, пов'язані з її забрудненням .

В Україні проблема якості води має власну специфіку. На часі в деяких регіонах країни водопостачання є в поганому стані, потребуючи модернізації або повної реконструкції. Також впливом є нерівномірний розподіл водних ресурсів, дефіцит якісної питної води є в багатьох регіонах. В Україні, навіть, фіксуються спалахи вірусного гепатиту А, ротавірусної та ентеровірусної інфекцій, пов'язаних із вживанням неякісної води .[1]

З аналізу виявлено високий вміст нітратів, заліза, сульфатів і органічних сполук у багатьох зразках води (табл.1.1) – показники, які перевищують норми згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10 та ДСанПіН №638-22.

Сучасні європейські тенденції в галузі водопідготовки орієнтовані на цифровізацію та автоматизацію систем водоочищення. У розвинених країнах запроваджено концепцію інтелектуального очищення води, яка базується на сенсорному моніторингу параметрів (тиск, мутність, хімічний склад), використанні алгоритмів самоналаштування та віддаленого керування через SCADA або IoT-платформи [2].

Водночас в Україні подібні технології лише починають упроваджуватись і здебільшого представлені у вигляді локальних ініціатив на 2025 р.

підприємствах або у великих містах. Для вирішення необхідне впровадження сучасних технологій очищення, оновлення інфраструктури, суворий контроль за джерелами забруднення та підвищення обізнаності населення щодо важливості чистої води. З'являється необхідність розробки простих та надійних, енергоефективних автоматизованих систем фільтрації води, які можуть бути реалізовані навіть у малих господарствах, комунальних об'єктах та приватних мережах [2].

Отже, створення системи автоматизація фільтрації води виявляються не лише екологічними факторами, а й економічною доцільністю, зменшенням людського фактору, підвищенням безпеки та забезпеченням стабільної якості води відповідно до нормативних вимог [3].

Таблиця 1.1 – Середні значення індикаторних показників якості водопровідної води

Область	Період	Запах, бали	Мутність, мг/дм ³	Перманганатна окислюваність, мг O ₂ /дм ³	Кольоровість, град	Твердість, мг-екв/дм ³	Сухий залишок, мг/дм ³	Залізо загальне, мг/дм ³	Марганець, мг/дм ³	Фториди, мг/дм ³	Нітрати, мг/дм ³
Норматив ДСанПін 2.2.4-171-10		2	0,58	5	20	7	1000	0,2	0,05	1,5	50
Норматив ДСанПін № 683-22		2	2,03	5	35	10	1500	1	0,5	1,5	50
Волинська область	Q1, 2023	0,0	1,0	2,1	14	8,2	578	0,34	0,02	0,7	18
	Q2, 2023	0,8	0,4	1,6	14	7,7	461	0,18	0,01	0,7	17
Закарпатська область	Q1, 2023	0,0	3,5	0,9	10	4,9	346	1,24	0,40	0,3	12
	Q2, 2023	0	0,10	0,4	5	2,6	167	0,01	0,01	0,2	3
Івано-Франківська область	Q1, 2023	0,7	0,7	1,3	15	5,7	405	0,09	0,01	0,4	7
	Q2, 2023	1,0	0,9	1,5	15	5,5	375	0,09	0,01	0,4	9
Львівська область	Q1, 2023	0,9	0,3	0,7	7	4,5	387	0,07	0,01	0,6	10
	Q2, 2023	0,0	0,9	0,6	6	6,1	418	0,26	0,01	0,7	8
Рівненська область	Q1, 2023	0,4	1,5	1,7	21	3,8	424	0,60	0,02	0,5	13
	Q2, 2023	0,0	0,8	2,7	29	3,9	343	0,35	0,01	0,8	18
Тернопільська область	Q1, 2023	0,4	0,5	0,6	8	7,0	527	0,17	0,03	0,6	10
	Q2, 2023	0,0	3,0	1,1	9	8,8	539	0,70	0,08	0,6	22
Хмельницька область	Q1, 2023	0,0	0,3	1,6	8	6,1	435	0,04	0,03	0,4	11
	Q2, 2023	0	0,4	1,2	10	6,5	452	0,06	0,08	0,3	4
Чернівецька область	Q1, 2023	2	0,6	1,8	9	5,1	357	0,18	0,01	0,7	4
	Q2, 2023	3	0,9	2,2	11	4,7	344	0,22	0,01	0,6	6

Враховуючи вищевикладене, стає очевидною необхідність розробки ефективних, доступних і надійних автоматизованих систем фільтрації, які поєднують сучасні сенсорні технології, інтелектуальне програмне управління та економічно доцільну архітектуру. Зокрема, перспективними напрямками є використання автоматичних самопромивних фільтрів, що працюють на основі аналізу перепаду тиску, а також мікроконтролерних систем із цифровим

зчитуванням параметрів через протоколи типу RS485 або Modbus RTU. Це дозволяє суттєво знизити людський фактор у контролі стану фільтрів і забезпечити стабільну якість води у широкому спектрі застосувань — від індивідуального побутового до великомасштабного промислового.

Норматив ДСанПіН 2.2.4-171-10 є критерієм для визначення питної води, а Норматив ДСанПіН № 638-22 – технічної води. Вони є суто українськими стандартами якості води

1.2 Основні методи та обладнання для фільтрації води

Проблема забезпечення якісною водою є актуальною у світі, де забруднення водних ресурсів та зростання промислових потреб створюють виклики для муніципальних і виробничих систем водопостачання. Невідповідність води гігієнічним нормативам загрожує здоров'ю населення та може призвести до значних економічних втрат через простой технологічних процесів, бо через не дотриманням води нормам, не можливо створювати якісну продукцію. В новітніх умовах системи фільтрації, які перетворились від простих механічних фільтрів до складних автоматизованих комплексів, здатні забезпечувати високу якість очищення води за будь-яких умов експлуатації.

Традиційні методи фільтрації – це прості, історично сформовані способи очищення, які часто застосовувалися до появи сучасних технологій. Тому саме піщані або вугільні фільтри, залишаються не від'ємною складовою сучасних систем водоочищення. Вони базуються на принципі механічного затримання забруднень за допомогою пористих матеріалів і ефективно видаляють нерозчинені домішки, а також частково знижують концентрацію органічних сполук. Для відповідності сучасним нормам, особливо в промислових умовах, де необхідно проводити якісну очистку від різних забруднень, включаючи розчинені хімічні речовини, тому використовують комбіновані методи очистки.

Так зараз в системах фільтрації використовують фільтри різних типів для етапної очистки. Такі системи використовують механічне очищення з адсорбційними та фізико-хімічними методами, що дозволяє ефективно боротися як із фізичними, біологічними, так і з хімічними забрудненнями. Наприклад, комбіновані фільтри можуть поєднувати механічне відділення частинок із застосуванням активованого вугілля для адсорбції органіки або іонного обміну для видалення важких металів.

Проте справжнім проривом у галузі водоочищення стало впровадження автоматизованих систем управління на основі програмованих логічних контролерів (ПЛК), або ж використання повноцінних мікроконтролерів(наприклад Arduino, Raspberry Pi). Ці системи можуть забезпечувати безперервний моніторинг ключових параметрів процесу фільтрації, а також аналізувати тиск у системі, швидкість потоку води та ступінь забруднення фільтрувального матеріалу. Базуючись на даних з датчиків автоматика приймає рішення про необхідність промивання фільтра, зміни режиму роботи або підключення додаткових ступенів очищення.

Архітектура сучасних АСК водоочищення з трирівневою схемою будуються за ієрархічною трирівневою структурою, що забезпечує ефективний розподіл функцій, надійність та гнучкість системи. Таким чином отримується розподіл де в нижньому рівні (польовому) виконується збір даних про параметри технологічного процесу та стан обладнання, а також реалізація безпосереднього управлінського впливу. Основними елементами 1 рівня є датчики (тиску, температури, рівня, якості води), виконавчі механізми (насоси, клапани, задвижки), станції або Хаби для розподіленого вводу/виводу. В загалом цей рівень забезпечує безперервний моніторинг та передачу інформації до середнього рівня, виконання команд керування. [4,5]

Середній рівень (локальні системи управління) призначений для автоматичного управління та регулювання технологічних процесів, також він виконує логіко-командне управління та аварійні відключення та захисти

2025 р. Сербенко Аристарх

системи. В елементах даної системи знаходяться ПЛК, модулі введення/виведення, локальні операторські панелі. Таким чином функція середини це збір і попередня обробка даних з нижнього рівня з реалізацією алгоритмів керування і передачею даних, які надходять з/на вищий рівень.[4,5]

Верхній рівень (супервізорний, SCADA/АСУ ТП) виконує диспетчеризацію, оптимізацію режимів роботи її візуалізацію та архівування, підрахунок техніко-економічних показників і діагностику всієї системи. Складається дана ланка з серверів, SCADA-системи, операторської та інженерної станції.

В загалом інформаційні зв'язки між рівнями забезпечують передачу даних і команд згідно з ієрархічною структурою: верхній рівень отримує інформацію від нижнього через середній, а керуючі дії передаються у зворотному напрямку. Дана архітектура дозволяє кожному рівню працювати автономно в межах своїх завдань. Дає можливість масштабувати дану систему та модернізувати її, без повної зміни архітектури, тому вона вважається надійною та гнучкою.[4,5]

Така система може автоматично визначати оптимальний час промивання фільтра, запобігаючи зменшенню ефективності або виходу з ладу фільтрувального матеріалу.

Таким чином, сучасні технології фільтрації води представляють собою гармонійне поєднання перевірених фізичних методів очищення з передовими цифровими рішеннями. Автоматизовані системи управління забезпечують високу якість очищеної води, що відповідає санітарним нормам, та економічну ефективність і її надійність. Впровадження таких систем стає основною умовою для забезпечення стабільного водопостачання як у міських комунальних мережах, так і на промислових підприємствах. Майбутнє водоочищення пов'язане з подальшим вдосконаленням цих технологій, з можливістю інтеграцією штучного інтелекту для прогнозування режимів роботи та машинного навчання для оптимізації всіх етапів фільтрації.

1.3 Аналіз існуючих систем автоматизації очищення води

Автоматизація дозволяє здійснювати комплексний моніторинг і управління процесами очищення води, що особливо важливо в умовах зростаючого споживання та посилених екологічних вимог. Ці системи стають обов'язковим елементом для багатьох галузей: харчової промисловості, фармацевтики, теплоенергетики і комунального господарства.

Найчастіше в три рівневій системі АСК використовують відомі програмовані логічні контролери (ПЛК) таких виробників, як Siemens (S7-1200, S7-1500), Schneider Electric (Modicon M221, M241), Allen-Bradley (MicroLogix, CompactLogix) та подібні. Ці контролери забезпечують обробку інформації з сенсорів і реалізацію алгоритмів керування, наприклад включення або відключення режиму промивання, регулювання швидкості потоку води або дозування реагентів.

Серед популярних SCADA-платформ існують Wonderware InTouch, WinCC (Siemens), Ignition (Inductive Automation) та TRACE MODE. Такі програмні комплекси надають оператору повну картину процесів фільтрації, відображаючи роботу фільтрів у режимі реального часу.

Водночас для лабораторних стендів або малих водо-очисних модулів часто застосовують бюджетні рішення на основі мікроконтролерів Arduino Uno. Наприклад, для демонстраційного прототипу фільтраційної системи Arduino Uno підключають:

- Ультразвуковий датчик рівня HC-SR04, який вимірює висоту води у фільтрувальній камері.
- Пресостатний датчик тиску (модуль MPX5010), що контролює перепад тиску по обох боках фільтру.
- Драйвер реле для управління соленоїдними клапанами промивної лінії.
- LCD-дисплей 16×2 для індикації реального часу параметрів (рівень, перепад тиску, статус промивання).

Програма написана для такої системи виконує просту циклічну логіку:

1. Якщо рівень води нижче за мінімальний, відкривається клапан підживлення;
2. При різниці тиску між вхідним та вихідним більше ніж 0,3 атм. Запускається цикл промивання, який включає комплекс команд.

Важливо підкреслити роль модульної структури автоматизованих систем. Модульне виконання введення/виведення дає змогу легко адаптувати систему під конкретні вимоги замовника, розширювати або модифікувати її без необхідності повної заміни обладнання. Це особливо актуально для промислових підприємств, де умови експлуатації можуть змінюватися.

Крім того, автоматизація дозволяє здійснювати точний облік споживання води, контроль якості та виявлення аварійних ситуацій. Це підвищує безпеку процесу та зменшує вплив людського фактора. На практиці доведено, що у великих системах водопідготовки оператор виконує переважно функції контролю — усі інші процеси відбуваються автоматично.

Значну роль у підвищенні ефективності таких систем надає впровадження сучасних датчиків. Наприклад, у розвинених промислових системах використовуються ультразвукові рівнеміри Prosonic FMU41 (Endress+Hauser), магнітострикційні рівнеміри NMT (Kobold) або рефлекс-радарні рівнеміри OPTIFLEX 1300 (KROHNE). Ці пристрої забезпечують точність і стабільність вимірювань у складних умовах експлуатації.

Ефективність визначається здатністю забезпечити безперервний контроль за всіма параметрами технологічного процесу та здатністю швидко реагувати на будь-які зміни.

Вибір оптимального типу фільтра

Після аналізу переваг та недоліків можна зробити висновок, що оптимальним рішенням для реалізації автоматизованої фільтраційної системи попереднього та тонкого очищення є використання сітчастих самопромивних фільтрів типу. Вони дозволяють обслуговувати водні потоки до 3 м³/год, легко

інтегруються з датчиками тиску (RS485 або аналогові), працюють з перепадом до 16 бар і не потребують повної заміни фільтрувального елемента, лише очищення.

Для попереднього очищення доцільно також залишити гравійний фільтр як перший етап, а після HYDRA M встановити додатковий фільтр з меншою сіткою (наприклад, 25 мкм) або навіть вугільний блок (якщо потрібно видалити запахи та органіку).

1.4 Переваги та недоліки застосування автоматизованих систем фільтрації

АСК фільтрацією води значно підвищують якість очищення знижуючи людський фактор і оптимізувавши витрати. Проте такі системи потребують вкладень, доволі високих, тому потрібне комбінування кількох технологій очищення. Розглянемо всі переваги.

Автоматизовані системи забезпечують стабільну та високу якість очищеної води завдяки точному контролю параметрів процесу й автоматичному коригуванню дозування реагентів залежно від змін якості вихідної води.

Системи оптимізують витрати енергії, води та реагентів, оскільки насоси й обладнання працюють лише за необхідності, а регенерація фільтрів здійснюється автоматично за реальними показниками забруднення.

Зменшується потреба у контролі з боку персоналу, що оптимізує витрати на обслуговування та ризик людських помилок.

Системи з автоматичним або самопромивним очищенням фільтрів працюють безперебійно, що особливо важливо для промисловості та об'єктів з безперервним циклом водоспоживання.

Такі системи легко інтегруються у загальні АСК підприємства та адаптуються до змін рівня забруднення води.

Оптимізовані цикли очищення та регенерації зменшують зношування фільтруючих елементів і продовжують термін служби системи.

Недоліки АСК фільтрації води:

Початкові інвестиції в обладнання, монтаж і налаштування автоматизованих систем набагато вищі порівняно з традиційними рішеннями.

Щоб підтримати ефективність системи потрібна регулярна заміна фільтруючих елементів також обслуговування датчиків і контролерів.

Система може бути чутливою до перебоїв електропостачання чи відмови окремих компонентів, що потребує оперативного реагування для усунення аварій.

У разі високого навантаження або сильно забрудненої води витрати на заміну фільтрів, реагентів і енергію можуть бути зависокими.

Елементи (наприклад, важкі метали, певні органічні сполуки) можуть не повністю видалятися навіть сучасними системами, тому потрібне комбінування технологій очищення.

1.5 Постановка задач дослідження

1. Аналіз сучасних фільтраційних технологій і принципів автоматизації;
2. розробка структурної та функціональної схем системи;
3. вибір апаратної платформи (на основі Arduino Uno);
4. створення програмного забезпечення з реалізацією алгоритму самопромиванням;
5. побудова електричної схеми з урахуванням використання датчиків тиску з інтерфейсом RS485, електромагнітного клапана та реле керування;
6. Розробити заходи з охорони праці при експлуатації системи.

Висновки до розділу 1

У процесі аналізу сучасних технологій системи очищення води та автоматизації було виявлено, що глобальні проблеми - такі як зміни клімату, індустріалізація та зменшення прісної води - викликають проблему доступу до якісної питної води. Україна стикається з необхідністю модернізації мереж водопостачання та очисних споруд, оскільки у багатьох районах забруднення не відповідає санітарним нормам. У той же час, Українські проекти в цій галузі в основному обмежені місцевими підрозділами, впровадженими в наукових чи промислових умовах.

Дослідження основних методів фільтрації показали, що традиційні фільтри піщано-вугільні широко використовуються для очищення технічної води, що вимагає доповнювати систему адсорбцією, фізико-хімічними й іонообмінними технологіями для комплексного видалення як нерозчинених, так і розчинених домішок. Система автоматичного управління побудована на основі запрограмованих логічних контролерів або мікроконтролерів, таких як Arduino або Raspberry Pi. Забезпечують постійний моніторинг перепаду тиску, рівня забрудненості та інших параметрів, а також своєчасне переключення у режим промивання чи дозування реагентів.

Ієрархічна трирівнева архітектура АСК (польовий рівень, локальні модулі середнього рівня та супервізорна верхнього рівня) виявляється оптимальною для реалізації гнучких і масштабних рішень. Завдяки модульній структурі введення-виведення системи легко адаптуються до різних обсягів і якості води, що особливо важливо для малих комунальних господарств і приватних мереж. Окрім того, впровадження автоматизованих самопромивних фільтрів із цифровим контролем через промислові протоколи (RS-485, Modbus RTU) дозволяє знизити частку людського фактора, підвищити безпеку експлуатації й забезпечити стабільну відповідність очищеної води нормативам ДСанПіН.

Тому було проаналізовано, що комбінація фізичних методів очищення води за допомогою сучасних інструментів автоматизації. Подальший розвиток у цьому напрямі передбачає не лише оновлення технічної інфраструктури та впровадження інтелектуальних понять, але й посилення контролю за джерелами забруднення, підвищення екологічної освіти населення та створення нормативно-правової бази, яка б стимулювала масове застосування енергоефективних автоматизованих рішень у сфері водокористування.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ФІЛЬТРАЦІЄЮ ВОДИ

2.1 Технічні вимоги та нормативні документи

Основні технічні вимоги до системи автоматизованого керування фільтрацією води та перелік нормативних документів, які регламентують якість води, матеріали й методи контролю наведено в даному розділі.

АСК фільтрацією води повинна забезпечувати подачу очищеної води, що відповідає вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10:2010 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» — з допустимим вмістом забруднень, не вище встановлених гранично допустимих концентрацій (нітрити, нітрати, важкі метали тощо). Для технічної води, що використовується в промислових процесах і системах регенерації, застосовується ДСанПіН № 638-22, який регламентує допустимі показники мутності та зважених частинок.

Відповідно до вимог ДСТУ EN 12915-1:2004, усі матеріали, що контактують із питною водою (фільтруючі завантаження, ущільнення, корпуси), мають бути сертифікованими та не виділяти шкідливих речовин у воду. Методи оцінки матеріалів приведені у ДСТУ EN 12901:2004 і ДСТУ EN 12902:2004, які визначають терміни, поняття й випробування полімерів, металів і композитів, що використовуються у фільтраційних установках.

Для контролю ефективності видалення завислих твердих частинок система повинна підтримувати методику фільтрування згідно з ДСТУ EN 872:2013, що встановлює протокол відбору проб і визначення масової концентрації зважених речовин у мг/л.

Захист довкілля та моніторинг технічних параметрів системи здійснюється відповідно до ДСТУ 7884:2015 «Захист довкілля. Система моніторингу водних ресурсів. Основні положення», який регламентує

побудову інформаційних каналів, віддалене зчитування показників і інтеграцію в загальноукраїнську мережу моніторингу.

ДСТУ 8606-1:2015 «Вода природних джерел. Захист від забруднювання. Частина 1. Основні положення» покладає обов'язок на проектувальників систем забезпечити захист первинного джерельного водозабору від проникнення сторонніх забруднювачів на всіх етапах фільтрації та обробки.

Нарешті, для організації первинного відстоювання стічних та промивних вод у складі системи регенерації фільтрації використовуються положення ДСТУ EN 12255-4:2008, що визначає конструктивні та технологічні вимоги до первинних відстійників на станціях очищення стічних вод.

Дотримання цих нормативних документів забезпечує законодавчу та технічну основу для проектування, виготовлення й експлуатації високоефективної системи автоматизованого керування фільтрацією води.

До технічних вимог АСК фільтрації води можна віднести, що:

- Система повинна забезпечувати високоточне регулювання основних технологічних параметрів (витрата, тиск, рівень, рН, електропровідність) та оперативне реагування на зміни якості води.
- Повинна працювати автономно, забезпечуючи безперервний контроль і керування процесом фільтрації, а також оперативно виявляти й попереджати аварійні ситуації.
- Архітектура системи повинна дозволяти розширення функцій без зміни структури програмного забезпечення, інтеграцію в локальні мережі й багаторівневі системи управління.
- здійснювати автоматичний моніторинг та коригування параметрів якості води згідно з нормативами.
- має забезпечувати економічну роботу обладнання, оптимізувати витрати реагентів, енергії та води

– Передбачено використання уніфікованих сигналів (наприклад, 4–20 мА, RS485) для зв'язку між обладнанням і контролерами. [6]

Аналіз починається з мінімального допустимого тиску в системі. Робочий діапазон тиску обраного фільтра Atlas Filtri HYDRA M: від 2 бар до 8 бар. З цього можна визначити, що Мінімально допустимий тиск у системі становить 2 бар, що відповідає технічним вимогам сітчастого фільтра HYDRA M.

Проведемо аналіз перепаду тиску при засміченні його можна виявити шляхом порівняння вхідного та вихідного тиску. Номінальний перепад тиску при чистому фільтрі: ~0,1–0,2 бар. Тоді критичний перепад тиску (триггер для зворотного промивання): 0,3–1,0 бар – залежно від конфігурації системи. Запуск промивання відбувається за розрахунком:

$$\Delta P_z = P_{\text{вхід}} - P_{\text{вихід}} > 0.3 \text{ бар} \quad (2.1)$$

Обсяг води для зворотного промивання можна розрахувати при вхідних даних, час промивання – 10-15 секунд, при пропускну здатності фільтра 2-3 м³/год. Отже обсяг води що витрачається:

$$V = Q \cdot t = \frac{2 \text{ м}^3}{3600 \text{ сек}} \cdot 15 = 0.0083 \text{ м}^3 \approx 8.3 \text{ л}$$

Орієнтовний обсяг води, витраченої на зворотне промивання фільтра, становить 8–10 літрів за цикл тривалістю 10–15 секунд.

Пропускна здатність системи при нормальному побутовому тиску (~ 3 бар) приблизно 2.5 м³/год. Для розрахунку об'єму за годину/день:

$$Q = \frac{2.5 \text{ м}^3}{24 \text{ год}} = 60 \text{ м}^3/\text{день}$$

2.2 Вибір архітектури системи управління

Архітектури систем автоматичного управління (САУ) включають різні структурні підходи, які забезпечують обробку моніторингових, керувальних,

діалогових та інформаційних даних у розподілених кіберфізичних системах.

Основні типи архітектур САУ, які досліджуються, це:

- Монопольна архітектура – централізоване управління з одним контролером.
- Класична трирівнева мережна архітектура САУ (рис. 2.1).
- Автоматичного регулювання – системи з автоматичним коригуванням параметрів.
- Моноканальна система моніторингу – обробка даних через один канал.
- Архітектура з розділеним часом – послідовна обробка даних у визначені інтервали.
- Мультипроцесорна обробка даних – паралельне опрацювання інформації кількома процесорами.[7]

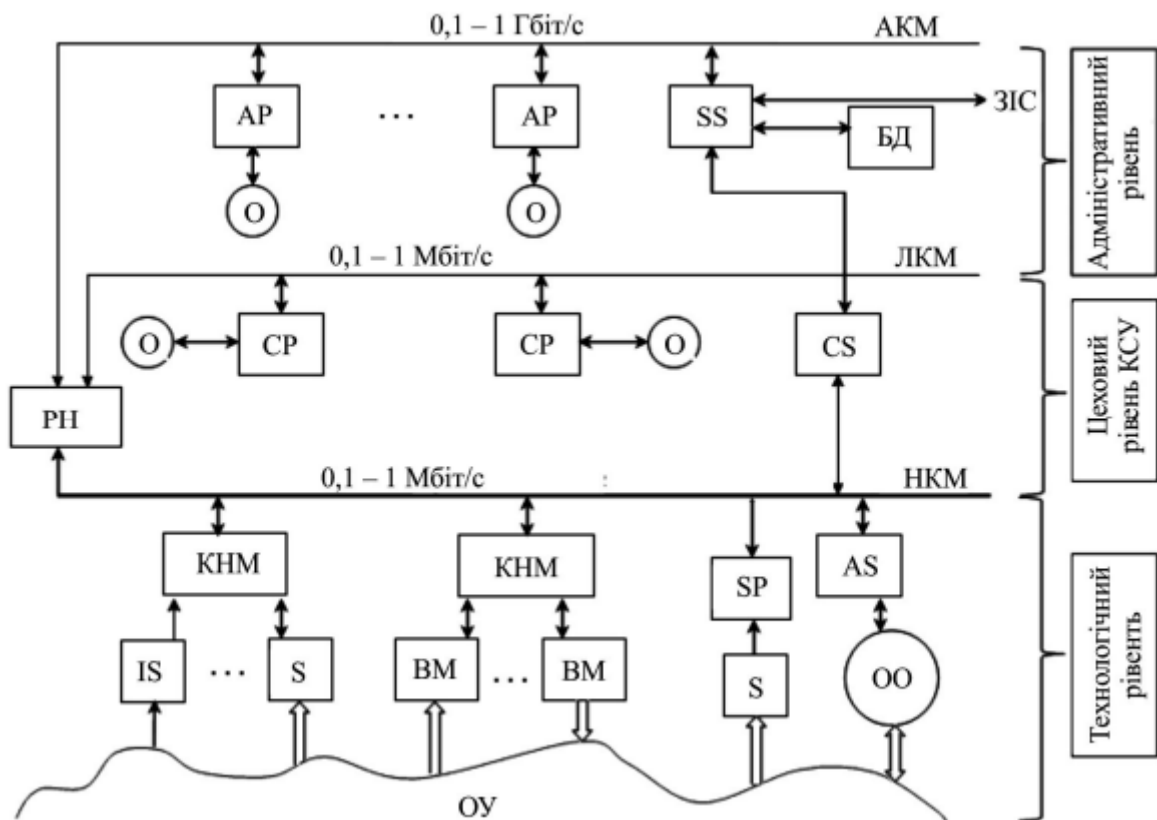


Рисунок 2.1 – структура трирівневою мережевої СК

Трирівнева система керування (СК) складається з низки взаємопов'язаних елементів, кожен з яких виконує специфічні функції у межах загального

процесу управління об'єктом. Центральним елементом є об'єкт управління (ОУ) — сукупність інформаційних та матеріально-технологічних установок, що забезпечують виробництво конкретної продукції. Його обслуговування відбувається через інформаційно-вимірювальні системи, системи автоматичного регулювання, а також за участі операторів трьох рівнів — технологічного, цехового та адміністративного. Кожен рівень оснащений автономними процесорами, що забезпечують програмну обробку даних.

Фізичні параметри технологічного процесу вимірюються сенсорами (S), які перетворюють отримані значення у стандартизовані електричні сигнали. Поряд із ними застосовуються інтелектуальні сенсори (IS), що виконують розширене опрацювання даних. Для безпосереднього фізичного впливу на процес використовуються виконавчі механізми (BM), оснащені інтерфейсами дистанційного зв'язку. Створення математичних моделей об'єкта управління здійснюється спецпроцесорами (SP), які реалізують статистичний, спектральний, кластерний та інші види аналізу сигналів.

Функції моніторингу та ручного управління процесами покладені на групу операторів (ОО), які працюють через абонентські станції (AS), оснащені промисловими комп'ютерами з модемами для зв'язку з низовою комп'ютерною мережею (НКМ). Контролери цієї мережі (КНМ) відповідають за перетворення аналогових сигналів у цифрові, обробку, кодування інформації та передачу її на вищі рівні. Для маршрутизації та погодження швидкостей передавання використовується процесор-шлюз (РН), що забезпечує комутацію даних між мережевими рівнями.

Низова комп'ютерна мережа (НКМ) організовує інформаційний обмін між контролерами та процесором-шлюзом. На рівні цехів оператори працюють з персональними комп'ютерами (СР — цехові процесори), які збирають дані та обробляють їх згідно з моделлю ОУ. Оператори (О) цього рівня здійснюють спостереження за окремими установками чи групами параметрів, зокрема споживанням енергії, води, газу тощо.

Комутаційний сервер (CS) забезпечує обмін даними між технологічним та адміністративним рівнями. На цьому рівні діє локальна комп'ютерна мережа (ЛКМ), яка має вищу швидкість порівняно з НКМ і служить для зв'язку між процесорами та операторами цехів. Адміністративні оператори (AP), такі як головний інженер, енергетик, технолог, метролог та працівники бухгалтерії, використовують персональні комп'ютери для контролю та аналізу даних.

Уся система координується через системний сервер (SS), який підтримує інтеграцію між усіма трьома рівнями управління та забезпечує зв'язок з вищими ланками керування. Основу інформаційної структури становить база даних (БД), що інтегрована у високошвидкісну адміністративну комп'ютерну мережу (АКМ), захищену від зовнішніх впливів. Для обміну інформацією з глобальними системами використовується зовнішнє інформаційне середовище (ЗІС), включно з інтернетом і хмарними платформами. Уся інфраструктура об'єднана корпоративною комп'ютерною мережею (ККМ), що формує єдине інформаційне середовище для створення й обміну потоками даних між джерелами інформації та об'єктами управління.

У цій структурі джерелами інформації формують такі пари потоків даних:

НКМ-РН,	Оператор-СР,	сенсор-КНМ,
РН-ЛКМ,	КНМ-виконавчий механізм,	AP-ККМ,
ЛКМ-СП,	ОУ-опертор,	ККМ- SS,
AS –НКМ,	КНМ-НКМ,	SS –ККМ,
СР-оператор,	СР-ЛКМ,	SS-ЗІС.

Більш детально про кожну з них розглянемо далі, починаючи з монопольної архітектури – це тип архітектури системи управління, в якій управління здійснюється централізовано одним контролером або вузлом, що має виключне право на прийняття рішень і керування всією системою. Така архітектура характеризується єдиним джерелом команд і контролю, що спрощує координацію, але може створювати вузьке місце в разі відмови цього центрального елемента.

У монопольній архітектурі всі функції управління зосереджені в одному пункті, що забезпечує простоту реалізації і зрозумілість структури, але знижує стійкість системи до збоїв, оскільки відмова монопольного контролера призводить до зупинки всієї системи.

Цей тип архітектури часто застосовується у простих або невеликих системах, де немає потреби у розподіленому управлінні але потребує високу стійкість. Для більш великих технічних систем перевага віддається розподіленим або багаторівневим архітектурам, які забезпечують повний контроль та моніторинг.[8]

Взагалом монопольна архітектура це централізована структура управління з одним контролером, який має головний характер управління, що підходить для простих систем, але має обмеження щодо надійності та масштабованості.

Автоматичне регулювання – це процес управління, при якому система самостійно підтримує задані параметри або оптимізує роботу об'єкта без безпосереднього втручання людини, використовуючи зворотний зв'язок і спеціальні алгоритми. У таких системах датчики постійно відслідковують стан об'єкта, а керуючі пристрої автоматично коригують параметри для досягнення бажаного результату (рис 2.2).



Рисунок 2.2 – Структура системи автоматичного регулювання

Прикладом є сучасні автоматизовані системи управління сільськогосподарською технікою, де застосовують електронні та гідравлічні системи з GPS-навігацією, датчиками зворотного зв'язку та інтелектуальними

алгоритмами. Це дозволяє точно регулювати роботу ходових частин (колісних чи гусеничних), оптимізувати рух техніки, для точного позиціонування і підвищувати продуктивність роботи на складних ділянках поля. Також автоматичне регулювання забезпечує комфорт і безпеку водія через адаптивні підвіски, контроль тягових зусиль і автоматичне коригування швидкості.[9]

Моноканальна система моніторингу(рис. 2.3) здійснює збір і обробку інформації через один канал передачі даних або один потік сигналів. Такий підхід використовується для спрощення структури системи моніторингу, коли інформація надходить послідовно від одного джерела або через один канал, що дозволяє ефективно та швидко контролювати параметри об'єкта або процесу.

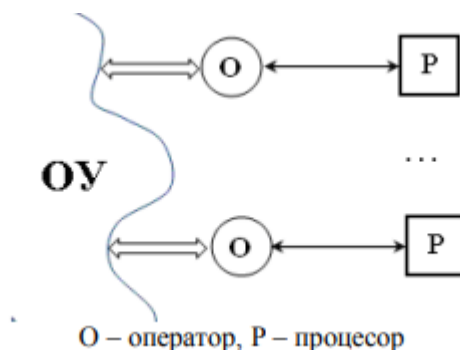


Рисунок 2.3 – Структура моноканальної системи моніторингу

У таких системах застосовуються спеціалізовані детектори і фільтри, наприклад, стискальні детектори на основі дисперсійних фільтрів, які дозволяють підвищити співвідношення сигнал/шум і розділяти сигнали за частотою, що важливо для якісного моніторингу широкосмугових модульованих сигналів.

Архітектура з розділенням часом (рис. 2.4) — це тип архітектури системи автоматичного управління, в якій обробка даних і виконання керуючих дій відбуваються послідовно у визначені часові інтервали. Такий підхід передбачає, що різні функції системи (наприклад, збір інформації, обробка, прийняття рішень, передача команд) виконуються у строго розподілені

моменти часу, що дозволяє ефективно управляти ресурсами системи і уникати конфліктів при одночасному доступі до спільних компонентів.

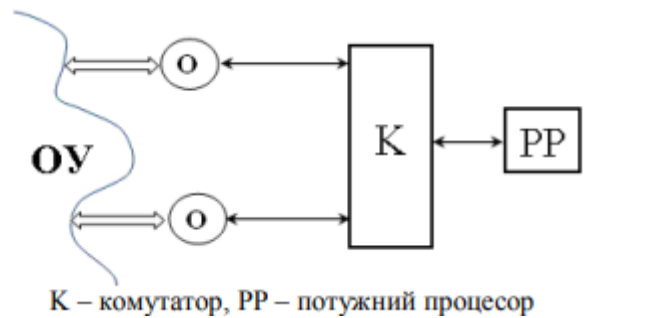


Рисунок 2.4 – структура комп'ютерної системи управління розділеного часу

Ця архітектура часто використовується в системах, де необхідно координувати роботу кількох процесів або пристроїв, але при цьому обмежені ресурси, наприклад, пропускна здатність каналу зв'язку або обчислювальна потужність контролера. Розділення часу дозволяє уникнути одночасної роботи кількох процесів, що може призвести до помилок, черг або застарілих даних.

Мультипроцесорна обробка даних (рис. 2.5) це архітектурний підхід, при якому обробка інформації здійснюється одночасно кількома процесорами або обчислювальними вузлами. Це дозволяє паралельно та цілодобово виконувати різні обчислювальні задачі отримуючи високу продуктивність і швидкість обробки.

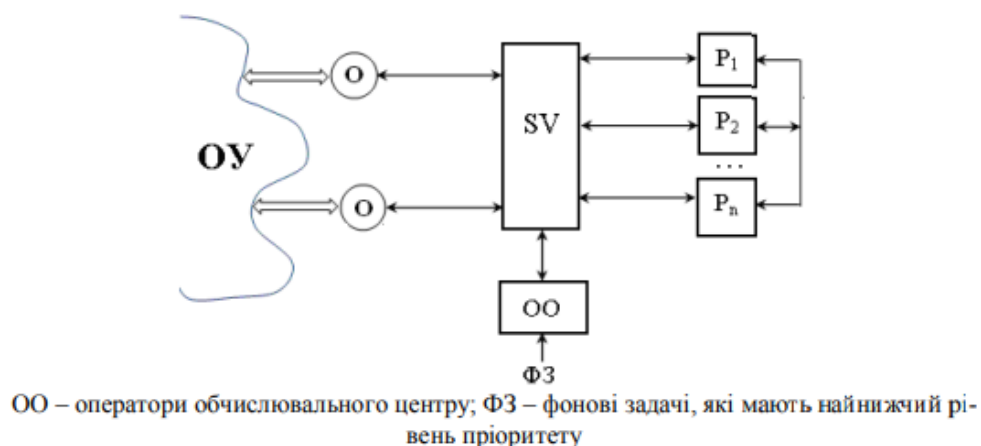


Рисунок 2.5 – Структура мультипроцесорного опрацювання даних

В випадку з системою яка розглянута та створена в рамках дипломної роботи підходить архітектура розділеного часу (див. рис. 2.4). Через невелику кількість виконавчих механізмів та датчиків така система буде, максимально економити ресурси та отримувати найкращий результат. І така система легко увійде до трирівневої архітектури управління.

2.3 Програмно-апаратні засоби: датчики, виконавчі механізми, контролери

Система автоматичного фільтрування води повинна забезпечувати ефективне очищення в режимі реального часу з мінімальним втручанням людини. Основними критеріями при проєктуванні архітектури такої системи є: надійність роботи, енергоефективність, простота обслуговування та доступність елементної бази. Крім того, необхідно забезпечити можливість точного контролю стану фільтра і реалізації логіки автоматичного зворотного промивання, що й стало основою для вибору відповідної апаратної структури.

Основу системи становить мікроконтролер Arduino Uno – доступна й популярна платформа, яка забезпечує достатню кількість цифрових та аналогових входів/виходів, підтримку протоколів зв'язку (UART, I2C, SPI) та широкий спектр програмної підтримки через середовище програмування Arduino IDE. Arduino Uno базується на мікроконтролері ATmega328P і є достатньо продуктивним для задач, пов'язаних із збором, обробкою і передачею показників тиску та керування реле [10].

Репліка оригінальної плати Arduino UNO. CH340 – перехідник для USB-UART, даний елемент має високу стабільність, а також швидкість передачі даних, одним з мінусів даного елемента є встановлення додаткових драйверів, що ускладнює встановлення даної плати. В ній також є можливість підключатись до джерела опрної напруги для АЦП контролера через вихід AREF, додатково має контакти SDA і SCL, що мають можливість отримувати дані в I2C інтерфейс. Наявність виводу IOREF, який забезпечує подачу

напруги живлення на порти введення-виведення та дозволяє автоматично перемикати рівні логічної напруги периферійних пристроїв залежно від того, чи використовується контролер із живленням 5В чи 3.3В. Це дає змогу без додаткових адаптерів узгоджувати логічні рівні при підключенні різнорівневої периферії, зберігаючи при цьому повну функціональність стандартної платформи Arduino UNO. Технічні характеристики представлені в таблиці 2.1.

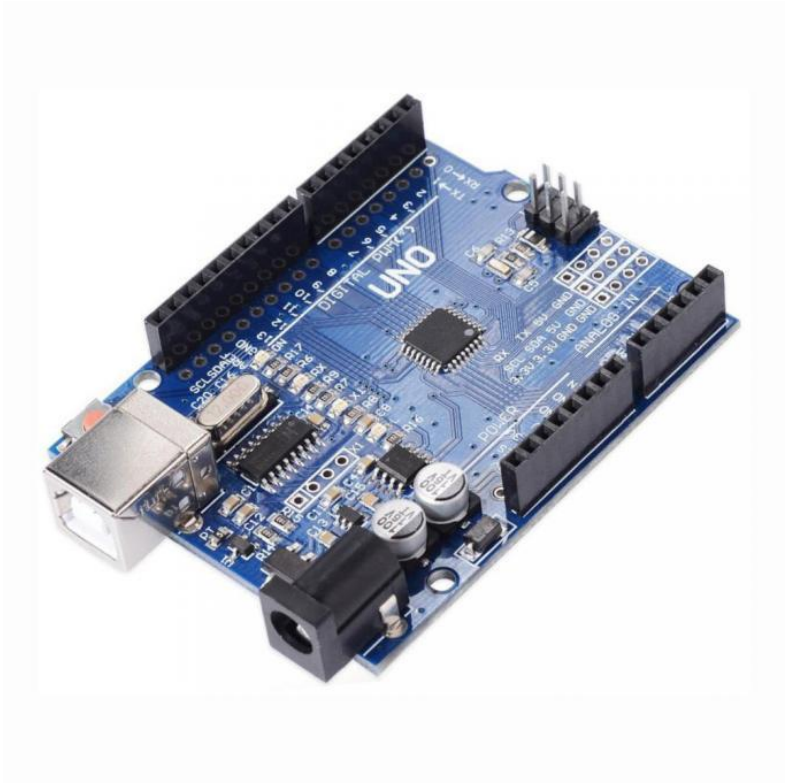


Рисунок 2.7 – Плата Arduino UNO R3

Таблиця 2.1 – технічні характеристики плати Arduino UNO R3

Характеристика	Значення
Мікроконтролер	ATmega328P
Напруга живлення	7–12 В
Робоча напруга	5 В
Кількість цифрових входів/виходів	14 (6 з них — ПД)
Аналогові входи	6
Частота тактування	16 МГц
Пам'ять Flash	32 кБ
SRAM	2 кБ

Продовження таблиці 2.1

EEPROM	1 кБ
Інтерфейси	UART, SPI, I ² C
Розмір	68.6 мм × 53.4 мм
Сумісність з платформою	Arduino IDE
Орієнтовна ціна	10–12 USD

Альтернативно можна використовувати, у разі потреби промислового масштабу, використовувати Modicon M221 або Siemens S7-1200. Такі ПЛК мають достатньо велику кількість модулів введення/виведення, та завжди мають можливість підключити додаткові модулі. Швидкість даної системи дуже висока, менше 10 мс реагування. А також ПЛК підтримує різні протоколи передачі даних, таких як Modbus TCP/RTU, Profinet тощо.

Вимірювання тиску здійснюється за допомогою двох цифрових датчиків тиску з інтерфейсом RS485 (Pressure Transmitter 16 bar) його характеристики наведені в таблиці 2.2. Використання інтерфейсу RS485 пояснюється його високою перешкодостійкістю та здатністю передавати дані на великі відстані. В умовах вологого або зашумленого електромагнітного середовища, типового для промислових об'єктів і станцій водоочищення дає перевагу.



Рисунок 2.8 – Датчик тиску з передачею даних через RS485 (Китай)

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики датчика тиску

Характеристика	Значення
Тип	Датчик тиску (Pressure Transmitter)
Діапазон вимірювання	0–16 бар
Інтерфейс	RS485 (Modbus RTU)
Вихідний сигнал	Цифровий, 16-біт
Роз'єм	G1/4"
Живлення	5 В або 12–24 В
Матеріал корпусу	Нержавіюча сталь
Захист	IP65 або IP67
Температурний діапазон	-20...+85 °C
Точність	±0.5% F.S.
Орієнтовна ціна	20–25 USD (за один)

В порівняльному аналізі з аналоговим вольтовим передаванням сигналу (0 – 10 В або 4 – 20 мА) розглянуто всі переваги цифрового передавання через RS485. Принцип роботи розібрано в таблиці 2.3.

Розрахунок втрат сигналу проведено на основі закону Ома, а аналіз проведено на рис. 2.9, для цього припустимо наступні значення нашої системи: довжина кабелю – 20 м, питомий опір мідного кабелю $0,5 \text{ мм}^2 - 0,034 \text{ Ом/м}$, Струм навантаження 20 мА. Тоді:

$$U_{\text{втрат}} = I \cdot R,$$

де:

I – струм у лінії, зазвичай; R – повний опір лінії.

А повний опір лінії визначається як:

$$R = 2 \cdot L \cdot r,$$

де:

L – Довжина кабелю в метрах (у двох напрямках);

r – питомий опір провідника.

$$U_{\text{втрат}} = 0,02 \cdot (2 \cdot 20 \cdot 0,034) = 0,0272 \text{ В}$$

При 10 В це $\approx 0,27\%$ – це не критично, але при 50 м це вже:

$$U_{\text{втрат}} = 0,02 \cdot (2 \cdot 50 \cdot 0,034) = 0,068 \text{ В} = 0,68\%$$

А якщо вхідний опір пристрою низький — похибка збільшується.

Таблиця 2.3 – Принцип роботи передачі сигналу

Параметр	Аналоговий сигнал (0–10 В / 4–20 мА)	Цифровий сигнал (RS485)
Тип передавання	Неперервний	Дискретний (Modbus RTU, ASCII тощо)
Протокол	Відсутній	Є (Modbus, PROFIBUS, BACnet тощо)
Чутливість до завад	Висока (особливо 0–10 В)	Низька (диференційний сигнал)
Максимальна відстань	1–10 м при 0–10 В, до 300 м при 4–20 мА	До 1200 м

Продовження таблиці 2.3

Кількість пристроїв на лінії	1:1	До 32 (і більше з повторювачами)
Швидкість	Миттєво	~9600–115200 біт/с

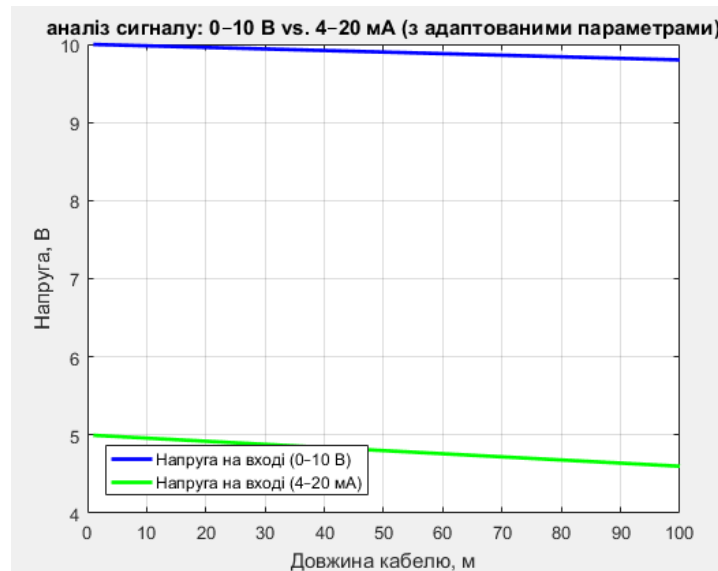


Рисунок 2.9 – Аналіз втрати вхідного сигналу аналоговими датчика

Графік на аналізу було створено в середовищі MATLAB кодом який наведено в додатку Б.

Оскільки система передбачає моніторинг тиску та керування клапаном, RS485 — оптимальний вибір: дозволяє забезпечити точність, гнучкість розгортання, довгі лінії та надійність у вологому/промисловому середовищі.

Для інтеграції датчиків із Arduino Uno використовується **преобразувач рівнів**, який забезпечує перехід від RS485 до TTL-рівнів, необхідних для UART Arduino [11].

Модуль конвертера UART-RS485 побудований на мікросхемі MAX485 і призначений для підключення пристроїв з поширеним інтерфейсом RS485, що є промисловим стандартом підключення периферійних пристроїв. Малі розміри модуля дозволяють створювати компактні пристрої. Характеристики модулю представлені в таблиці 2.4.

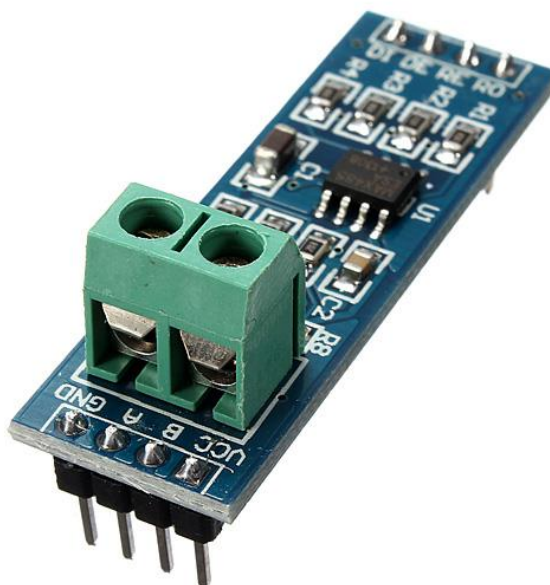


Рисунок 2.10 – Інтерфейсний модуль MAX485 UART-RS485

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики модуля MAX485

Характеристика	Значення
Напруга живлення	5 В
Тип інтерфейсу	RS-485 до UART
Швидкість передачі	до 2.5 Мбіт/с
Дальність передавання	до 1200 метрів
Режим	Half-duplex
Захист	Є резистори підтягування
Розміри	44 мм × 14 мм
Робоча температура	-40 °C до +85 °C
Орієнтовна ціна	1–2 USD

Ще одним важливим елементом системи є **електромагнітний клапан Hunter PGV**, який керує зворотною промивкою фільтра. Цей клапан активується через **релейний модуль**, який з'єднаний із цифровим виходом Arduino та живиться окремо від основного кола для безпеки. Реле дозволяє комутувати напругу 24 В AC, необхідну для живлення клапана.

Пристрій ефективно функціонує навіть в умовах підвищених навантажень, характерних для комерційних об'єктів. Конструкція клапана передбачає використання високоякісних зносостійких матеріалів, що забезпечують його надійність і довговічність. Особливої уваги заслуговує посилена діафрагма, доповнена ущільнювальним кільцем, яка значно знижує ризик виходу з ладу під час гідравлічних ударів, тим самим підвищуючи загальну стійкість системи до екстремальних експлуатаційних режимів. Технічні характеристики наведені в таблиці 2.5.



Рисунок 2.11 – Електромагнітний клапан

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики електромагнітного клапану Hunter PGV 100 GB

Характеристика	Значення
Тип	Нормально закритий
Напруга живлення	24 В АС
Діаметр підключення	1 дюйм (25 мм)
Матеріал корпусу	Пластик (армований)
Робочий тиск	1.4–10.3 бар
Температура	до 60 °С
Споживання струму	0.3 А при запуску, 0.2 А утримання
Час відкриття/закриття	1–2 секунди
Орієнтовна ціна	20–25 USD

2.4 Алгоритми керування та логіка роботи системи

Алгоритми керування автоматизованими системами — це формалізовані процедури, які забезпечують автоматичне прийняття рішень та виконання дій у складних технічних, робототехнічних чи інформаційних системах.

Відповідно до обраної архітектури (див. рис. 2.4) розділеного часу математичну модель системи автоматичного керування фільтрацією води можна подати як перехідну функцію із двома режимами (фільтрація $\leftrightarrow$ промивання) і блоком затримки/обробки сигналу. Комутатор в даному випадку це програмний блок який прописаний в програмуванні процесора. Тоді

$W_{\phi}(p) = \frac{K_{\phi}}{\tau_{\phi}p+1}$ – модель системи у режимі звичайної фільтрації,

$W_{\pi}(p) = \frac{K_{\pi}}{\tau_{\pi}p+1}$ – модель системи у режимі зворотного промивання,

$\sigma(t) \in \{0,1\}$ – дискретна функція перемикання комутатора пояснення умов в формулі 2.2,

T_d – затримка, яку вносить процесор при обробці сигналів і прийнятті рішення,

$u(t)$ – команда запуску процесу (постійна падача або команда «промивка»),

$\Delta P(t)$ – виміряний перепад тиску.

Тоді в комплексній моделі маємо

$$\sigma(t) = \begin{cases} 0, & \Delta P(t) \leq \Delta P_3, \\ 1, & \Delta P(t) > \Delta P_3, \end{cases} \quad (2.2)$$

Вибір між двома динамічними режимами реалізується через комутатор:

$$W_k(p) = (1 - \sigma(t))W_\phi(p) + \sigma(t)W_\pi(p).$$

Блок процесора (в даному випадку обчислення та затримка) можна описати як ланку затримки першого порядку:

$$W_\pi(p) = e^{-T_d(p)} \quad \text{або} \quad \frac{1}{\tau_d(p)},$$

Де τ_d налаштовується так, щоб симулювати затримку обробки.

Повна модель «вхід-вихід» АСК має вигляд

$$X(p) = W_\pi(p)[(1 - \sigma(t))W_\phi(p) + \sigma(t)W_\pi(p)]U(p). \quad (2.3)$$

У цій формулі $U(p)$ позначає перетворення Лапласа вхідного впливу на систему — тобто спектральне уявлення вхідного сигналу $u(t)$. У нашому випадку це: сигнал керування, який формує Arduino (наприклад, $u(t)=1$ для нормального фільтрування і $u(t)=0$ для промивання), перетворений у частотну область.

По суті, $U(p)$ — це «стимул», що йде на вхід усієї системи (через комутатор і процесор), і завдяки цьому визначається, якою мірою вихідна величина $X(p)$ реагує на зміну цього стимулу.

У часовій області, з урахуванням перемикання це дається:

$$y(t) = \begin{cases} \int_0^t \frac{K_\phi}{\tau_\phi} e^{-\frac{t-\tau}{\tau_\phi}} u(\tau) d\tau, & \text{якщо } \Delta P(t - T_d) \leq \Delta P_3, \\ \int_0^t \frac{K_\pi}{\tau_\pi} e^{-\frac{t-\tau}{\tau_\pi}} u(\tau) d\tau, & \text{якщо } \Delta P(t - T_d) > \Delta P_3. \end{cases}$$

Дану математичну модель було вирішено про симулювати в Simulink середовища MATLAB, для оцінки якості реакції в також правильності логіки роботи. На основі формули 2.3 було створено схему роботи автоматизованої системи фільтрації. Для наочності суму ланок було змінено на їх різницю, зо

показує наочність їх зміни в симуляції. Отриманий результат показний на рисунку 2.12.

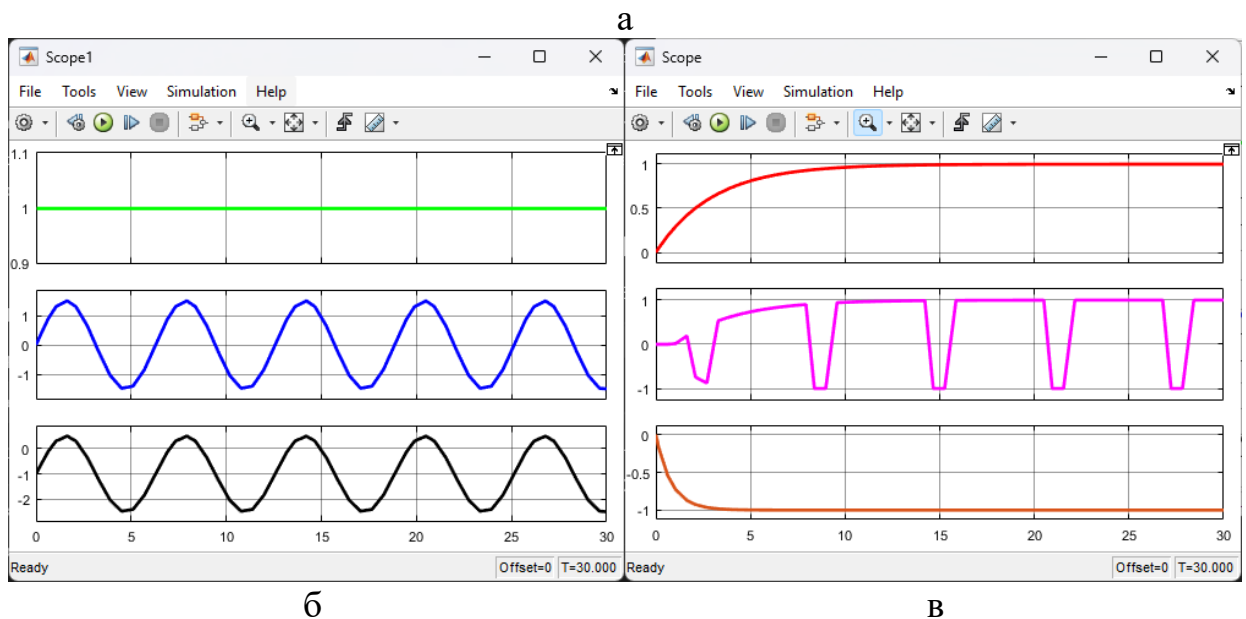
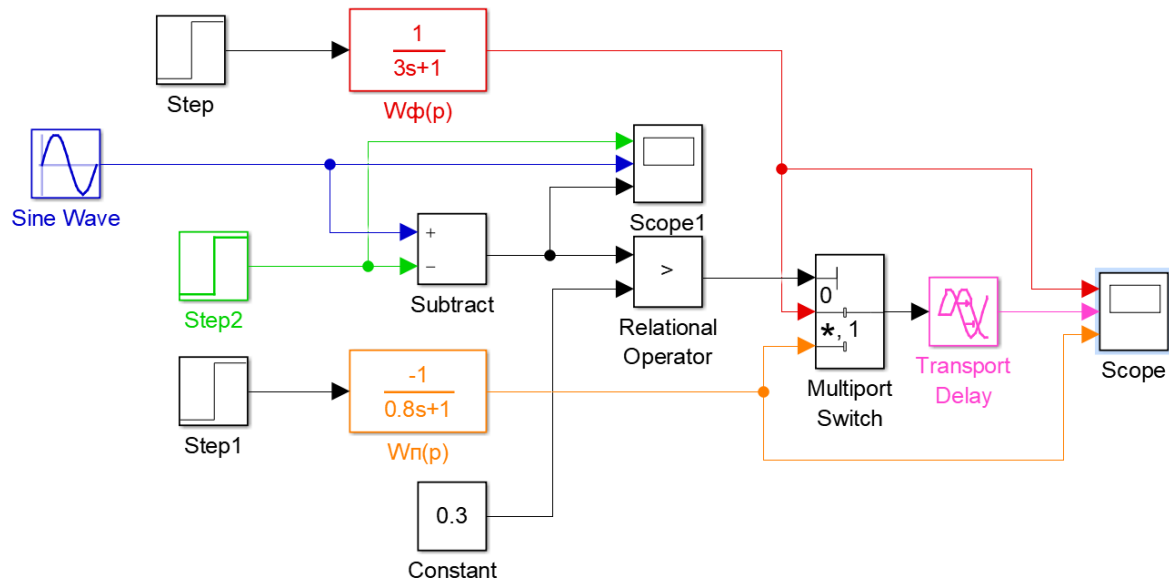


Рисунок 2.12 – а) Схема АСК фільтрації води основана на математичній моделі, б) аналіз вхідних сигналів графіків на графіках, в) сигнал «фільтрації» та «промивання»

На основі математичній моделі та її симуляції можна перейти до апаратної частини, де потрібно зрозуміти логіку роботи всіх виконавчих пристроїв на основі блок-схеми алгоритму програми саме такий зображено на 2025 р.

рисунку 2.13 який реалізується у вигляді циклічного контролю перепаду тиску. На кожному циклі здійснюється зчитування показників з двох датчиків тиску та обчислюється різниця між вхідним і вихідним тиском.

Якщо виявляється, що різниця перевищує 0,3 бар (або атм.), система автоматично активує зворотне промивання фільтра. Для цього контролер подає сигнал на реле керування електромагнітним клапаном Hunter PGV, відкриваючи його на 10 секунд, після чого знову закриває. Це забезпечує механічне очищення сітчастого фільтра потоком води в обох напрямках.

Після завершення циклу промивки контролер переходить у стан затримки на годину або ж більше, щоб запобігти надмірному використанню ресурсів. Через те що в системах такого плану забруднення накопичується за тиждень, але це варіюється в межах умов використання. Якщо в системі є гравітаційні фільтри або гравійні колони. Але в ситуації де таких систем немає автоматизований фільтр з самопромивним клапаном вирішить питання надійності.

Такий алгоритм дозволяє реалізувати очищення фільтра при цьому мінімізуючи витрати води на промивку та запобігаючи передчасному зносу фільтруючих елементів.

Завдяки використанню плати Arduino Uno та доступного програмного середовища, цей алгоритм легко адаптується та модифікується під потреби конкретного користувача або об'єкта.

Перший блок після старту закрити клапан, виконує страхуючу роль в разі перебоїв під час виконання циклу. Наступні дії є звичайним отриманням даних з датчиків та їх обчислення. Після чого порівнюється з максимально допустимим відхиленням тиску, якщо умови перевищено виконується цикл промивання. Після закінчення програма іде в спокій на паузу, для економії ресурсів.

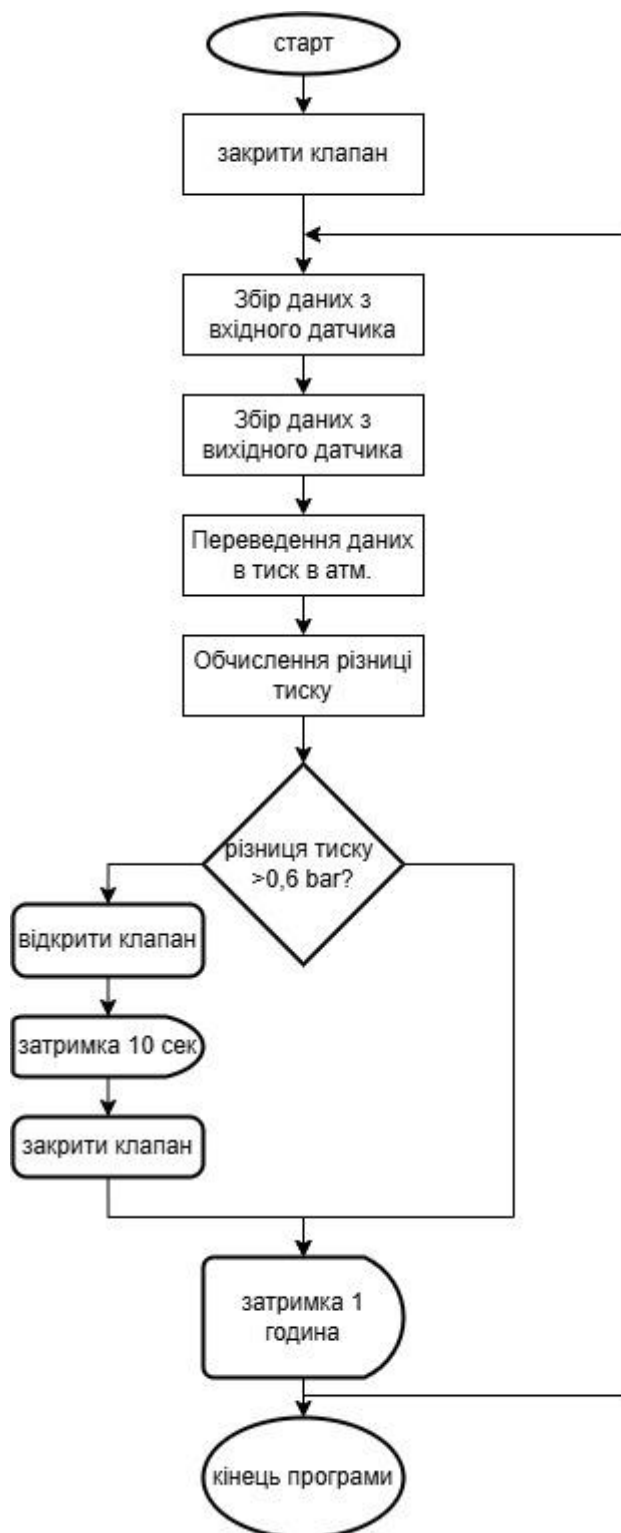


Рисунок 2.13 – Блок схема алгоритму програми

Висновки до розділу 2

У другому розділі було проведено технічне обґрунтування створення автоматизованої системи керування процесом фільтрації води, що охоплює

2025 р. Сербенко Аристарх

визначення нормативних вимог, вибір відповідної архітектури системи управління та добір апаратних і програмних засобів.

Встановлено, що проектування АСК має базуватись на вимогах національних і міжнародних стандартів, зокрема ДСанПіН 2.2.4-171-10 та ДСТУ EN 12915-1:2004, які регламентують якість води та допустимі характеристики матеріалів системи.

Підтверджено, що оптимальним рішенням для розробки автоматизованої фільтраційної системи є архітектура з розділеним часом у межах трирівневої ієрархічної структури, яка дозволяє ефективно координувати роботу сенсорів, виконавчих механізмів і контролерів при обмежених ресурсах. Вибір апаратної бази, зокрема Arduino Uno, цифрових датчиків тиску з інтерфейсом RS485, перетворювачів рівнів (MAX485) і електромагнітного клапана, обумовлений доступністю, стабільністю роботи та відповідністю вимогам до побудови компактної, енергоефективної та надійної системи.

Було обґрунтовано перевагу цифрових інтерфейсів порівняно з аналоговими за рахунок їхньої вищої завадостійкості, дальності передавання та можливості мережевої адресації пристроїв. Розрахунки втрат сигналу, тиску, обсягу води на промивання та характеристик обладнання підтверджують доцільність запропонованої конфігурації.

Таким чином, на основі проведеного аналізу сформовано технічно обґрунтовану модель АСК, яка відповідає чинним нормативам, забезпечує автономність функціонування, точність регулювання параметрів і адаптивність до умов експлуатації.

3 ПРОЕКТУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ

3.1 Опис конструкції самопромивного фільтра

У цьому розділі розглянуто практичну реалізацію АСК фільтрації води на основі самопромивного фільтра. Основна мета полягає у забезпеченні стабільної якості води при мінімальному втручанні оператора, шляхом автоматизації ключових процесів — контролю тиску, виявлення засмічення фільтра та запуску циклу зворотного промивання. Фільтр Atlas Filtri HYDRA M — це магістральний сітчастий фільтр з латунним підключенням, призначений для очищення холодної води. Характеристики наведені в таблиці 3.1.



Рисунок 3.1 – Сітчастий фільтр води

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики фільтру Atlas Filtri HYDRA M

Характеристика	Значення
Тип	Механічний, самопромивний
Призначення	Очищення від піску, мулу, механічних домішок
Робочий тиск	до 8 бар
Пропускна здатність	до 3 м³/год
Розмір підключення	1", 1/2", 3/4"
Матеріал корпусу	Пластик (стійкий до УФ)
Тип картриджа	Сітчастий, не змінний
Ступінь фільтрації	90, 50 або 25 мкм
Особливість	Має кран для ручного або автоматичного промивання
Орієнтовна ціна	70–90 USD

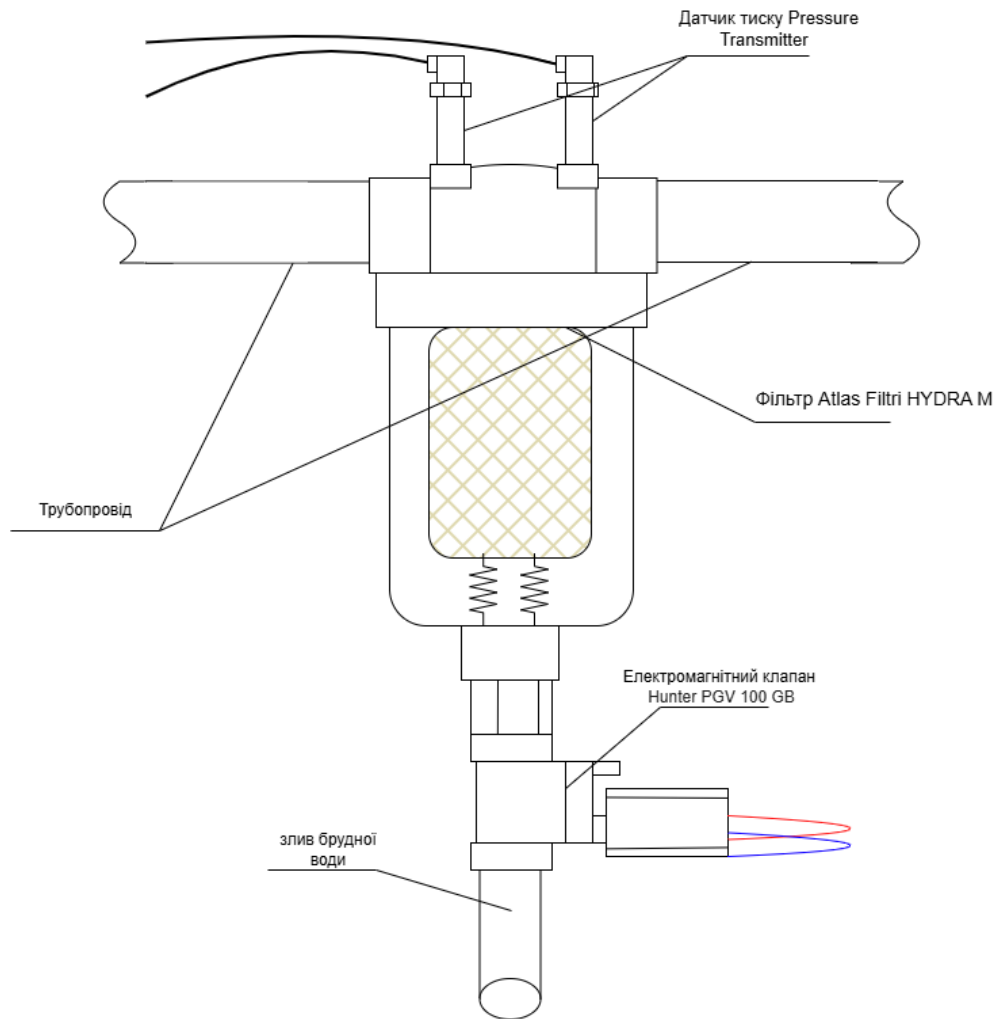


Рисунок 3.2 – Умовний вигляд інсталюваної системи

На рисунку вище представлено креслення зібраного пристрою де:

- Трубопровід — подає воду до і після фільтра. Саме в цих ділянках встановлюються датчики тиску. Через нього здійснюється подача та відбір води до і після фільтра.
- Датчики тиску Pressure Transmitter RS485 — вимірюють тиск на вході та виході фільтра та передають значення на контролер. На основі різниці між вхідним і вихідним тиском система визначає ступінь забрудненості фільтра.
- Фільтр Atlas Filtri HYDRA M — Всередині корпусу розташована сітчаста фільтрувальна вставка, яка затримує механічні домішки (пісок, мул, іржа). Цей фільтр оснащений можливістю зворотного промивання, що реалізується без розбирання пристрою.

- Електромагнітний клапан Hunter PGV 100 GB — виконує роль автоматичного зливного пристрою. Активується коли контролер фіксує перепад тиску вищий за критичний.
- Злив брудної води — відводить накопичені частинки з фільтра під час зворотного промивання.

Така конструкція дає можливість бути підключена як до автономного керуючого органа так і до повноцінної SCADA- системи.

3.2 Розробка функціональної та структурної схем керування

При розробці керуючої частини системи фільтрації води було обрано модульний підхід, що чітко розмежовує зони очищення та зони управління. На структурній схемі (рис. 3.3) виділено дві основні підсистеми: фільтр і блок керування.

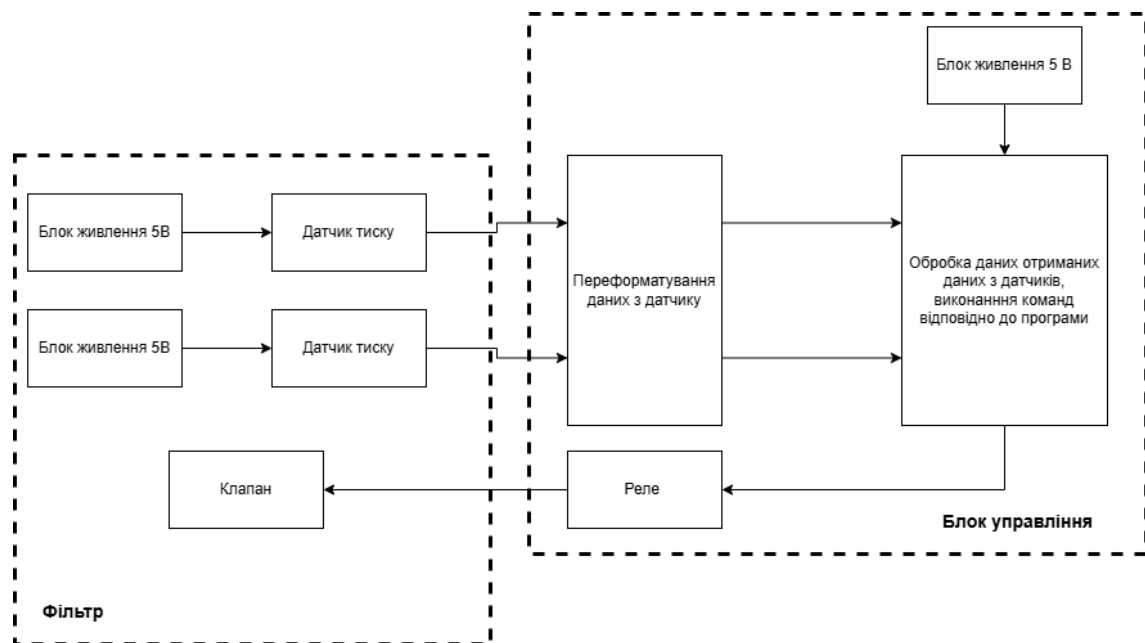


Рисунок 3.3 – Функціональна схема автоматизованої системи керування фільтрацією води

Підсистема фільтра складається з самопромивного фільтра, оснащеного двома тисковими датчиками і керованим клапаном. Кожен датчик отримує живлення +5 В від плати Ардуіно і вимірює тиск на вході та виході фільтра

відповідно. Розміщення двох сенсорів дозволяє вираховувати перепад тиску ΔP , який є критерієм забрудненості фільтрувального елемента.

В блоці управління переформатування даних із датчиків – це інтерфейсний модуль на базі чіпа MAX485, що реалізує пакетну передачу даних, після чого реалізує дані в зручні одиниці для мікроконтролера. Реле це виконавчий модуль який отримує цифровий сигнал з мікроконтролера щоб ввімкнути/вимкнути клапан

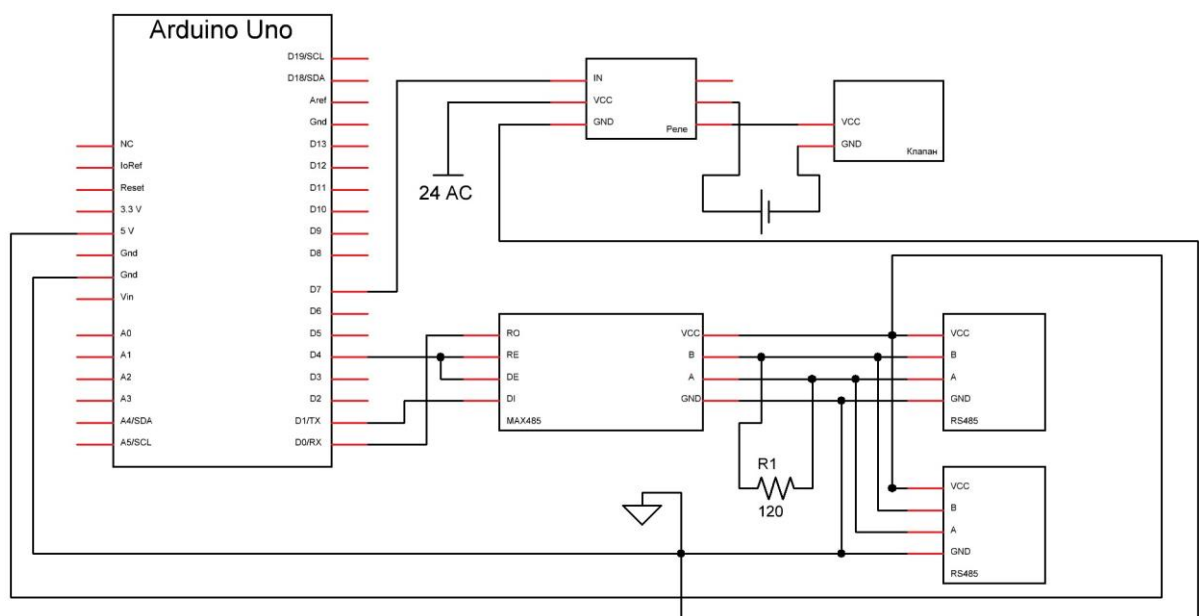


Рисунок 3.4 – Електрична принципова схема системи

На рисунку 3.4 визначено три взаємопов'язані підсистеми: промислову силову частину з приводом клапана, ділянку комунікації з датчиками тиску по шині RS-485 та власне обчислювально-керуючий блок на базі Arduino Uno. Силова частина формує 24 VAC, необхідну для живлення котушки електричного реле, яке, у свою чергу, замыкає живлення електромагнітного клапана фільтра. Реле гальванічно ізольоване від логічної частини, що виключає можливість поширення високовольтних імпульсів на контролер.

Комунікаційний інтерфейс організовано за допомогою трансивера MAX485, під'єднаного до цифрових портів Arduino (DE/RE – D2, DI – D3, RO

– D4). Він реалізує напівдуплексну передачу даних по диференційній парі «А–В», використовуючи стандарт RS-485. На шині встановлено термінуючий резистор $120\ \Omega$ за стандартною топологією, що забезпечує узгодження імпедансів та мінімізує відбиття сигналів. До шини підключені два тискові сенсори Modbus-RTU з адресами 1 і 2, які вимірюють тиск на вході та виході фільтра. Кожен сенсор живиться від стабілізованого джерела $+5\text{ V}$, узгодженого з Arduino.

У головному блоці керування Arduino Uno виконує такі функціональні завдання: ініціалізація ланцюга керування клапаном (встановлення виходу D7 у «LOW» для закриття клапана), періодичне опитування датчиків через ModbusMaster API, перерахунок одержаних регістрів у бари, розрахунок перепаду тиску ΔP і порівняння з заданим порогом 0,3 бар. У разі перевищення порогу Arduino активує вихід D7 («HIGH») на 10 с, що через реле відкриває клапан для циклу зворотного промивання, після чого повертає вихід у «LOW» і закриває клапан. Далі контролер затримує виконання на одну годину, щоб уникнути занадто частих промивань, і виводить систему в стан очікування.

Усі підсистеми об'єднані єдиною «землею» (GND), що забезпечує коректну роботу цифрових інтерфейсів і виключає потенційні різниці напруг. Шлюз RS-485 із MAX485 застосовує методи керування напрямом передачі та прийому через програмовані колбеки preTransmission і postTransmission, що дозволяє ефективно реалізувати Modbus-RTU без апаратних переривань. Така архітектура гарантує надійність зв'язку на відстанях до кількох сотень метрів у промислових умовах, достатню швидкодію Arduino для підтримки циклу опитування в реальному часі, а також безпечне керування силовою частиною у гальванічно відокремленому режимі. Завдяки модульному та стандартному підходам система легко масштабована: можна додавати нові сенсори або розширювати програмну логіку без зміни апаратної основи.

3.3 Програмування та реалізація взаємодії сенсорів, виконавчих механізмів та контролера

Робота автоматизованої системи керування фільтрацією води базується на оцінці перепаду тиску між двома точками фільтра — до входу та після виходу з фільтра. Для цього застосовуються два **датчики тиску типу Pressure Transmitter з інтерфейсом RS485**, що підключені до плати **Arduino Uno** через **перетворювач MAX485**, який дозволяє інтерпретувати цифровий сигнал за протоколом Modbus RTU. Для початку роботи програми потрібно провести налаштування всіх пінів, ввести всі параметри та виконати запобіжні заходи.

Два тискоміри Pressure Transmitter RS485 підключаються через перетворювач. Для зчитування інформації використовується бібліотека ModbusMaster.

Лістинг коду:

```
#include <ModbusMaster.h>

// _____
//
//                               ПІНИ ARDUINO
// _____

// Клапан (реле) – цифровий вихід D7
const uint8_t VALVE_PIN = 7;
// MAX485 – інтерфейс RS-485
const uint8_t MAX_RE_DE = 2; // RE/DE у сполученні: LOW
= прийом, HIGH = передача
const uint8_t MAX_DI      = 3; // DI → D3
const uint8_t MAX_RO      = 4; // RO → D4
// _____
//
//                               ПАРАМЕТРИ СКЕТЧА
// _____

const float DELTA_P_THRESHOLD = 0.6; // бар
2025 р.
```

```
const uint32_t FLUSH_TIME_MS    = 10000; // 10 сек
const uint32_t WAIT_TIME_MS     = 3600000; // 1 година
// Створюємо два екземпляри ModbusMaster
ModbusMaster sensorIn;          // адреса 1 на шині RS-485
                                  (вхідний датчик)
ModbusMaster sensorOut;         // адреса 2 на шині RS-485
                                  (вихідний датчик)
void preTransmission() {
    digitalWrite(MAX_RE_DE, HIGH); // увімкнути передачу
на MAX485
}
void postTransmission() {
    digitalWrite(MAX_RE_DE, LOW);  // повернути прийом
}
void setup() {
    // Налаштовуємо піни
    pinMode(VALVE_PIN, OUTPUT);
    pinMode(MAX_RE_DE, OUTPUT);
    digitalWrite(VALVE_PIN, LOW); // клапан закрито
    digitalWrite(MAX_RE_DE, LOW); // MAX485 у режимі
прийому
    // Старт послідовного інтерфейсу для Modbus
    Serial.begin(9600);
    // Ініціалізуємо Modbus-об'єкти
    sensorIn.begin(1, Serial);    // slave ID 1
    sensorOut.begin(2, Serial);   // slave ID 2
    // Прив'язуємо колбеки для керування напрямком даних
MAX485
    sensorIn.preTransmission(preTransmission);
```

```
sensorIn.postTransmission(postTransmission);  
sensorOut.preTransmission(preTransmission);  
sensorOut.postTransmission(postTransmission);  
}
```

Обчислення різниці тиску та запуск зворотного промивання основна логіка полягає в періодичному зчитуванні тиску, розрахунку перепаду та, при перевищенні порогового значення, запуску зворотного промивання.

Лістинг коду:

```
void loop() {  
    // - 1) Зчитуємо вхідний тиск  
    uint8_t status = sensorIn.readInputRegisters(0x0000,  
1);  
    float pressureIn = 0.0;  
    if (status == sensorIn.ku8MBSuccess) {  
        pressureIn = sensorIn.getResponseBuffer(0) / 100.0;  
    }  
    // - 2) Зчитуємо вихідний тиск  
    status = sensorOut.readInputRegisters(0x0000, 1);  
    float pressureOut = 0.0;  
    if (status == sensorOut.ku8MBSuccess) {  
        pressureOut = sensorOut.getResponseBuffer(0) /  
100.0;  
    }  
    // - 3) Різниця тиску  
    float deltaP = pressureIn - pressureOut;  
    // - 4) Якщо > порога - цикл промивання  
    if (deltaP > DELTA_P_THRESHOLD) {  
        digitalWrite(VALUE_PIN, HIGH);    // Відкрити клапан  
        delay(FLUSH_TIME_MS);             // Чекати 10 с  
    }  
}
```

```
digitalWrite (VALVE_PIN, LOW);      // Закрити клапан
}
// – 5) Очікування 1 година
delay (WAIT_TIME_MS);
// – 6) Кінець програми
while (true) {
    // Бездіяльність
}
}
```

У програмі використовується цифровий вихід D7 для керування релейним модулем, який комутує електромагнітний клапан. Подача високого рівня відкриває клапан на 10 секунд, після чого він автоматично закривається.

Програма розрахована на **циклічну роботу** без необхідності перезапуску чи додаткової підтримки з боку оператора. Зчитування параметрів та прийняття рішень відбувається в режимі реального часу.

Ключові елементи забезпечення стабільності:

- пауза після зворотного промивання дозволяє уникнути надмірних включень клапана;
- використання серійного інтерфейсу дозволяє легко розширити систему діагностикою;
- програмне розділення датчиків за адресами дозволяє розширення до багатьох вузлів фільтрації.

Для реалізації автоматизованої системи фільтрації води розроблено електричну принципову схему, яка відображає основні апаратні з'єднання між функціональними модулями: контролером Arduino Uno, датчиками тиску з інтерфейсом RS485 (через перетворювачі MAX485), електромагнітним клапаном Hunter PGV, а також блоком живлення.

Ця схема дозволяє візуалізувати процес збору даних із сенсорів, обробку отриманої інформації мікроконтролером та подальше керування виконавчими

механізмами. Підключення виконано з урахуванням технічних характеристик пристроїв, захисту входів та стабільного живлення системи. Застосування протоколу RS485 забезпечує надійний зв'язок із сенсорами навіть на великій відстані, а використання аналогових або цифрових входів дозволяє адаптувати систему до різних типів датчиків.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі було здійснено безпосереднє проектування та реалізацію автоматизованої системи керування фільтрацією води на основі розробленої архітектури.

Проведено детальний опис конструкції самопромивного фільтра, визначено принцип його роботи та взаємодію із виконавчими елементами.

Розроблено функціональну та структурну схеми керування, що дозволяють реалізувати автоматичне керування зворотною промивкою за показниками перепаду тиску.

Здійснено програмування логіки роботи контролера Arduino Uno, з урахуванням циклічного зчитування даних з датчиків, обчислення перепаду тиску, активації електромагнітного клапана через релейний модуль і введення захисту від надмірного промивання.

Налагоджено взаємодію між всіма компонентами апаратної частини, зокрема датчиками тиску з інтерфейсом RS485, конвертерами UART–RS485 та виконавчим механізмом.

Розроблена система забезпечує автономне функціонування без постійного втручання оператора, демонструє стабільність роботи при змінних навантаженнях і забезпечує відповідність експлуатаційним вимогам.

Отримані результати підтверджують працездатність створеної моделі, її адаптивність до умов застосування в побутовому та комунальному секторах, а також доцільність використання обраної архітектури та програмно-апаратного комплексу для впровадження у практичні системи очищення технічної води.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ

4.1 Аналіз умов праці

У процесі експлуатації системи автоматизованого керування фільтрацією води враховано вплив умов праці на безпеку обслуговуючого персоналу. Система функціонує у виробничому середовищі, що передбачає наявність фізичних, хімічних та ергономічних чинників, здатних впливати на здоров'я працівників. Враховуючи, що обладнання може бути встановлено у виробничих приміщеннях з підвищеною вологістю, температурами, шумом та вібрацією, проведено аналіз таких факторів.

Основним джерелом потенційної небезпеки є обладнання з високим тиском води, електричні приводи та програмно-апаратні засоби. Можливий витік води з фільтраційної системи або руйнування трубопроводів створює ризик виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних з розливом води чи травмуванням електричним струмом у разі несанкціонованого доступу до обладнання.

При розрахунковому режимі роботи системи температура повітря в приміщенні не перевищує допустимих норм, встановлених ДСанПіН. Вологість повітря може бути підвищеною, однак конструкція електричного обладнання (ступінь захисту IP65 або вище) передбачає достатній рівень захисту від впливу вологи. Рівень шуму, що утворюється при роботі насосного та фільтраційного обладнання, не повинен перевищувати 80 дБ, що відповідає гранично допустимим рівням шуму для виробничих приміщень.

Згідно з вимогами ДСТУ 7884:2015, у системі передбачено безперервний моніторинг стану обладнання, що дає змогу вчасно виявляти відхилення та уникати аварій. Використання контролера Arduino Uno із цифровими сенсорами тиску (через інтерфейс RS-485) дозволяє зменшити

кількість ручних операцій і знизити ризик помилок оператора. Це покращує ергономіку робочого місця і мінімізує фізичне навантаження.

Завдяки автоматизації та інтеграції програмно-апаратних засобів кількість обслуговуючого персоналу зведена до мінімуму.

4.2 Заходи безпеки під час експлуатації системи

Експлуатація системи автоматизованого керування фільтрацією води потребує суворого дотримання заходів безпеки, що мінімізують ризики травмування персоналу та запобігають аваріям. Відповідно до чинних стандартів та вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10, а також рекомендацій ДСТУ EN 12915-1:2004 і ДСТУ 7884:2015, під час експлуатації слід забезпечити такі основні заходи.

По-перше, усі роботи з підключення і обслуговування електрообладнання мають виконуватися тільки кваліфікованим персоналом, який пройшов відповідний інструктаж і володіє навичками роботи з електричними установками. Забороняється доступ неуповноважених осіб до шаф керування та електротехнічних елементів системи.

По-друге, усі електричні з'єднання й вузли системи повинні відповідати ступеню захисту не нижче IP65, що гарантує їхню працездатність навіть у середовищах з підвищеною вологістю. Необхідно регулярно проводити огляди герметичності з'єднань та стану кабелів, аби запобігти витіканню струму чи коротким замиканням.

По-третє, під час виконання технічного обслуговування обов'язково знеструмлюють установку, вимикаючи живлення системи і закриваючи вхідні та вихідні водні лінії. Роботи у водонасиченому середовищі повинні проводитися лише у гумових рукавицях та чоботах, а також із використанням електроінструментів із подвійною ізоляцією.

Щоб уникнути гідроударів і поривів трубопроводів, усі маніпуляції з регулювання тиску та режиму промивання мають виконуватись у

2025 р. Сербенко Аристарх

відповідності до встановленої алгоритмічної програми, яку контролює Arduino Uno через RS-485-інтерфейс. Оператор лише дистанційно спостерігає за роботою системи.

Додатково необхідно регулярно проводити планові перевірки справності датчиків тиску й виконавчих клапанів. Всі аварійні сигнали мають бути налаштовані так, щоб при перевищенні допустимих значень тиску чи витоку води система миттєво переходила у безпечний режим і подавала сигнал тривоги.

Особливу увагу слід приділити захисту від випадкових або аварійних витоків води. У приміщенні, де встановлено обладнання, доцільно облаштувати аварійну систему відведення (лотки або трапи), що дозволить оперативно відвести воду та запобігти затопленню. У разі значних витоків система має автоматично відключати подачу живлення на виконавчі механізми.

Щодо безпеки обслуговуючого персоналу важливо дотримуватися належних ергономічних умов праці. Зокрема, робочі місця мають бути обладнані достатнім освітленням і зручним доступом до приладів керування. Всі органи керування системою — кнопки аварійної зупинки, елементи ручного керування — повинні бути чітко промарковані та розташовані на оптимальній висоті, щоб уникнути зайвого фізичного навантаження або вимушених поз.

Для підвищення загальної безпеки та стабільності роботи системи рекомендовано організувати періодичне навчання персоналу діям у разі виникнення аварійних ситуацій, зокрема відпрацювання сценаріїв ліквідації витоків, відключення електроживлення, а також користування засобами індивідуального захисту. Крім того, слід вести облік та технічну документацію на всі виконані роботи з обслуговування та ремонту системи.

Додатковим аспектом є забезпечення контролю за якістю води у відповідності до ДСанПіН 2.2.4-171-10: регулярні відбори проб для

лабораторного аналізу дають змогу своєчасно реагувати на зміни складу води, що може впливати на режим промивання та роботу фільтрів.

У разі встановлення системи в приміщеннях із підвищеною температурою (наприклад, у виробничих цехах) слід передбачити наявність засобів індивідуального захисту від перегріву та вентиляційних систем для зниження температурного навантаження на персонал. Відповідно до ДСТУ 8606-1:2015, суцільне покриття підлоги з антиковзною поверхнею запобігає травматизму при можливому проливі води.

4.3 Розрахунок освітленості, мікроклімату та шуму

При проектуванні робочого місця оператора системи автоматизованого керування фільтрацією води необхідно забезпечити належні показники освітленості, мікроклімату та рівня шуму відповідно до чинних санітарних норм. Згідно з ДСанПіН 3.3.2-007-98, у приміщеннях із моніторинговими панелями та органом управління достатній рівень світла становить 300–500 люкс. Розрахунок штучного освітлення виконується за формулою.

$$E = \frac{N \cdot \Phi \cdot \eta}{S \cdot k}$$

де: E — освітленість, лк; N — кількість світильників; Φ — світловий потік одного світильника, лм; η — коефіцієнт використання світлового потоку (0,5–0,7 для офісних приміщень); S — площа операційної зони, м²; k — коефіцієнт запасу на зниження світлового потоку (1,2–1,5).

При площі приміщення $S=20\text{ м}^2$, світловому потоці лампи $\Phi = 3200$ лм, $\eta=0,6$ та $k=1,3$, достатньо встановити чотири люмінесцентні світильники по 3200 лм, щоб досягти $E \approx 400$ лк.

Умови мікроклімату для виробничого приміщення з електронним і гідравлічним обладнанням має підтримувати комфортні умови: температура повітря повина бути в межах від 18 °С до 24 °С, також відносна вологість в межах від 40% до 60%, рух повітря не повинен перевищувати 0,1 м/с. Ці

параметри відповідають вимогам ДСанПіН 3.3.2-007-98. для контрольованих приміщень і гарантують мінімальні теплові навантаження на оператора.

Рівень шуму від роботи насосів, клапанів та електроприводів не повинен перевищувати 80 дБ (А), що є граничним показником для виробничих приміщень за ДСанПіН. Захист від шуму забезпечується встановленням шумоглушників на вихлопних патрубках насосів, а також використанням антивібраційних опор і прокладок під обладнанням. За потреби можна використовувати шумопоглинальні плити на стінах та стелі.

Регулярні заміри рівня шуму проводяться переносним шумоміром згідно з ДСТУ ISO 9612, а у разі перевищень — виконуються додаткові роботи з шумоізоляції або переносу джерел шуму до технічних зон.

У результаті аналізу та розрахунків, встановлено, що для забезпечення безпечних і комфортних умов праці оператора автоматизованої системи керування фільтрацією води необхідно дотримуватись санітарно-гігієнічних вимог щодо освітленості, мікроклімату та рівня шуму. Розрахунок штучного освітлення показав, що достатньо чотирьох люмінесцентних світильників потужністю 3200 лм кожен для досягнення рівня освітленості близько 400 лк, що відповідає нормативам ДСанПіН. Параметри мікроклімату – температура в межах 18–24 °С, вологість 40–60% та швидкість повітряного потоку не більше 0,1 м/с — також відповідають стандартам і забезпечують мінімальне теплове навантаження на персонал.

Регулярний моніторинг шумових параметрів рекомендовано здійснювати із застосуванням сертифікованих шумомірів згідно з вимогами ДСТУ ISO 9612. Таким чином, дотримання розрахованих параметрів і впровадження заходів з охорони праці дозволяє експлуатувати систему без ризику перевищення допустимих санітарних навантажень, що сприяє підвищенню ергономічності робочого місця, зниженню рівня професійних ризиків і підтриманню довготривалої працездатності обслуговуючого персоналу.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи «Система автоматизованого керування фільтрацією води» було розроблено, обґрунтовано концепцію системи, що забезпечує автономний моніторинг та регулювання процесу очищення технічної води на основі аналізу перепаду тиску до та після фільтра.

Проведено аналітичний огляд сучасних методів очищення води і існуючих автоматизованих рішень, що дозволило виокремити пріоритетні технології: механічну фільтрацію із самопромивними елементами та застосування цифрових протоколів (RS-485/Modbus RTU).

Розроблено архітектуру розділеного часу системи керування із застосуванням мікроконтролера Arduino Uno на середньому рівні та інтерфейсу MAX485 для збирання даних із двох цифрових датчиків тиску. Обґрунтовано вибір робочих параметрів: поріг перепаду тиску 0,3 бар для запуску циклу зворотного промивання, час промивання 10 с і інтервал очікування 1 год, що забезпечує збалансовану частоту обслуговування фільтра і мінімальні витрати води.

Реалізовано електричну схему із гальванічним розділенням силової ланки (24 VAC → реле → клапан) та логічної частини (5 V DC → Arduino, MAX485), що гарантує безпеку і надійність роботи. Програмний модуль контролера успішно синхронізує зчитування показників, обчислення перепаду тиску, активацію виконавчого клапана та реалізує захист від занадто частих циклів промивання.

Наукова новизна роботи полягає в інтеграції доступних цифрових компонентів із принципами адаптивного керування та реалізації алгоритму самопромивання в умовах обмеженого ресурсного середовища. Практична значущість — у можливості тиражування розробленого рішення у різних

галузях: від аграрного сектору і автотранспорту до житлово-комунального господарства.

Проведено розрахунок освітленості, параметрів мікроклімату та рівня шуму операторської станції відповідно до ДСанПіН і ДСТУ, а також розроблено комплекс заходів з охорони праці та промислової безпеки. Це дозволяє експлуатувати систему у комерційних і комунальних об'єктах без шкоди для здоров'я персоналу.

У подальших дослідженнях рекомендовано розширити функціонал системи за рахунок додавання датчиків якості води (рН, мутність), інтеграції із SCADA-платформою для віддаленого моніторингу або ж підключення дисплею та ручне управління. Включити виведення помилок під час роботи, для швидкої діагностики. Оптимізувати алгоритми керування за допомогою методів машинного навчання для прогнозування забруднення фільтрувальних елементів.

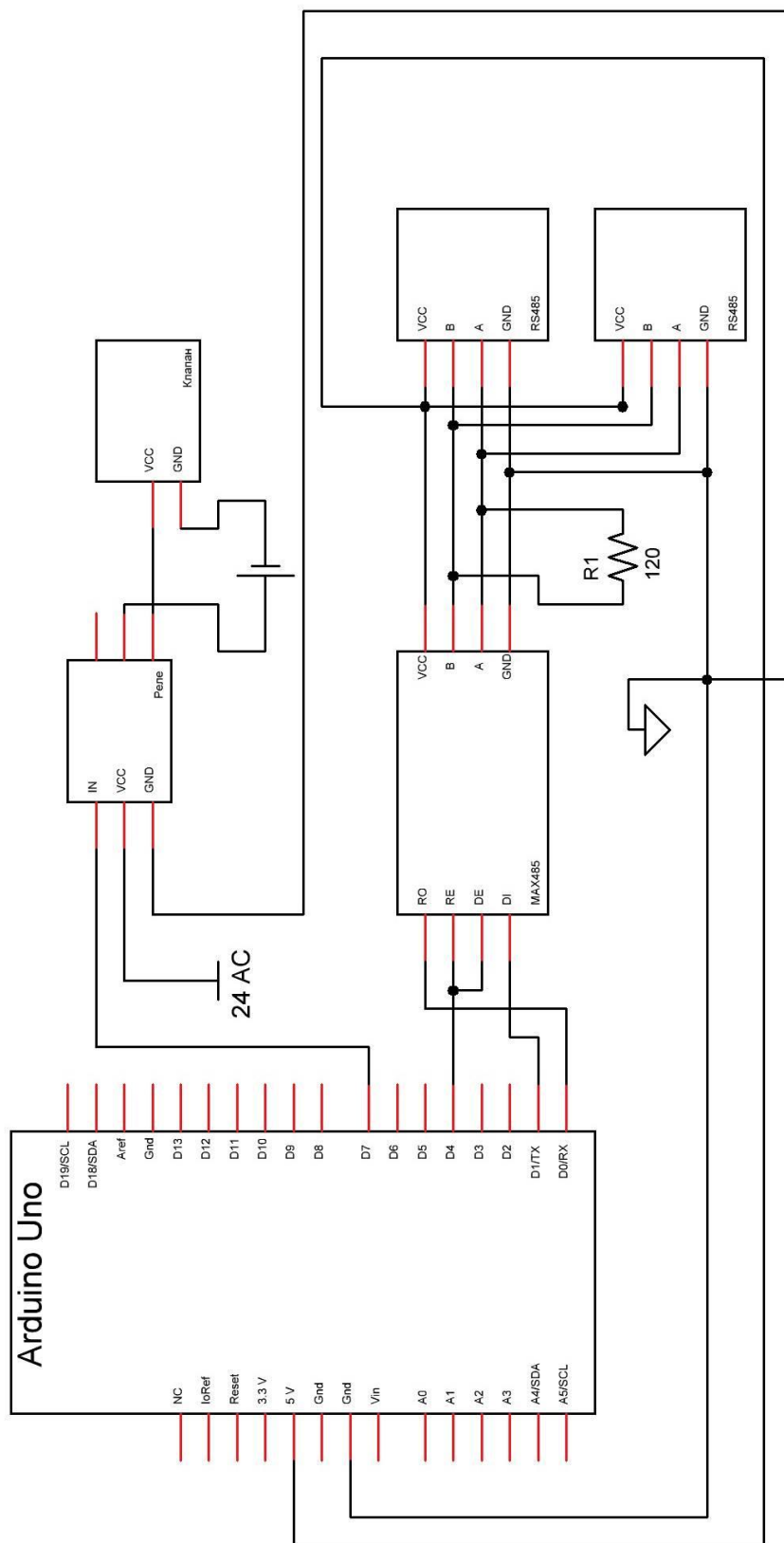
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Електронний ресурс. Лекція: екологічні проблеми та аналіз питної води в Україні. <http://hydrogeology.univer.kharkov.ua/wp-content/uploads/2019/03/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86.%D0%95%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%93%D0%93.pdf> (дата звернення 06.06.2025)
2. Кузнецова, Л.І. Методи очищення води: Підручник. Київ: Ліра-К. 2021. 302 с.
3. Інструкція користувача Atlas Filtri HYDRA M. URL: <https://akvo.com.ua/ua/1605-atlas-filtri-hydra-m-1quot-rlh-90-mcr-ot-filtr-samopromyivnoy-ra6000112> (Дата звернення 14.05.2025)
4. Промислові засоби автоматизації / за ред. Бабіченко, А. К. Харків: Навч. Посібник НТУ «ХПІ» 2001. 470 с.
5. Горбенко, І. А. Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи управління пивоварним виробництвом із підсистемою управління варочним відділенням. Харків. 2024. 101 с.
6. ДСанПіН 2.2.4-171-10: 2010. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. [Чиний від 12.05.2010]. Київ, 2010. 57 с. (Інформація та документація).
7. Пітух, І. Р., & Возна, Н. Я. (2021). Способи організації руху моніторингових, інтерактивних і діалогових даних у структурах розподілених комп'ютерних систем. *Scientific Bulletin of UNFU*, 31(3), 101-108. <https://doi.org/10.36930/40310316> (дата звернення 03.05.2025)
8. Бандурка, о., Романів, р., & Свинчук, о. (2025). Архітектура розподіленої функціонально стійкої системи моніторингу транспортних засобів на базі блокчейн-технології. *Measuring and computing devices in technological processes*, (1), 86–96. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2025-81-11> (дата звернення 23.04.2025)

9. Hrushetskyi S., Oleksiyko, S., & Tykhy, M. (2024). Modern running system of management of agricultural machinery. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 3(6), 61–74.
<https://doi.org/10.46299/j.isjea.20240306.06> (дата звернення 27.04.2025)
10. Держстат України. Звіт щодо технічного стану об'єктів водопостачання. Київ. 2023. 21 с.
11. Промислові засоби автоматизації / за ред. Бабіченко, А. К. Харків: Навч. Посібник НТУ «ХПІ» 2001. 470 с.
12. Державні стандарти. *Інститут водних проблем і меліорації НААН* : вебсайт. URL: <https://igim.org.ua> (дата звернення 12.05.2025)
13. Шнурков М. В., Доброжанський О. О. Система автоматизованого управління технологічним процесом комплексного очищення води. Конф. Житомир, ЗТУ. 2018. 3 с.
14. Акімов, О. І., Сушко, Д. Л. Методичні вказівки до виконання практичних завдань та самостійної роботи з дисципліни «Електроматеріалознавство та техніка високих напруг». УкрДУЗТ. 2021. 87 с.
15. Босюк, А. С., & Шестопапов, О. В. Дослідження фізико-хімічних методів очищення стічних вод машинобудівного підприємства, які містять змащувально-охолоджуючі рідини. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2023. 143 с.
16. Існюк, С., & Трус, І. Мембранні технології водопідготовки та водоочищення. НУХТ. 2020 р. 28 с.

Додаток А

Схема електрична принципова системи



Додаток Б**Код програми для аналізу в MATLAB (рис. 2.9)**

```
% Вихідна напруга джерела (0-10 В)
U_source = 10;
% Питомий опір дроту - збільшений для наочності (тонкий або довгий кабель)
r = 0.1; % Ом/м
% Зменшений опір навантаження (підвищення струму навантаження)
R_load_volt = 1000; % Ом (1 кОм)
I_load_volt = U_source / R_load_volt; % A = 0.01 A
% Струм для 4-20 мА (максимум)
I_current = 0.020; % 20 мА
R_shunt = 250; % стандартний резистор (Ом)
% Довжина кабелю (1 до 100 м)
L = 1:1:100;
R_cable = 2 * L * r; % Туди-назад
% Вольтова передача
U_loss_volt = I_load_volt .* R_cable;
U_received_volt = U_source - U_loss_volt;
% Струмова передача
U_loss_current = I_current .* R_cable;
V_received_current = (I_current .* R_shunt) - U_loss_current;
% Побудова графіка
figure; plot(L, U_loss_volt, 'r', 'LineWidth', 2); hold on;
grid on; xlabel('Довжина кабелю, м'); ylabel('Напруга, В');
title('Втрати сигналу: 0-10 В (з адаптованими параметрами)');
legend('Втрати (0-10 В)');
figure;
plot(L, U_loss_volt, 'r', 'LineWidth', 2); hold on;
grid on;
xlabel('Довжина кабелю, м');
ylabel('Напруга, В');
title('Втрати сигналу: 0-10 В (з адаптованими параметрами)');
legend('Втрати (0-10 В)');
```

```
figure;  
plot(L, U_received_volt, 'b', 'LineWidth', 2); hold on;  
plot(L, V_received_current, 'g', 'LineWidth', 2);  
grid on;  
xlabel('Довжина кабелю, м');  
ylabel('Напруга, В');  
title('аналіз сигналу: 0-10 В vs. 4-20 мА (з адаптованими  
параметрами)');  
legend('Напруга на вході (0-10 В)', ...  
      'Напруга на вході (4-20 мА)', ...  
      'Location', 'southwest');
```