

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри автоматики та
телекомунікацій

Лактіонов І.С.
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2021 р.

Випускна кваліфікаційна робота

магістра

(освітній ступінь)

на тему «Розробка та дослідження комп'ютерно-інтегрованої технології
автоматичного контролю рівня води в технологічних резервуарах»

Виконав: студент 2 курсу, групи СУАм-20
(шифр групи)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

Новодворський Даніїл Віталійович

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник зав. каф. АТ, д.т.н., доц. _____ І.С. Лактіонов
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

*Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.*

Студент _____
(підпис)

Покровськ – 2021 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій
(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____

(дата)

з оцінкою _____

Секретар ДЕК _____

(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота

_____ магістра

(освітній ступінь)

Тема: «Розробка та дослідження комп'ютерно-інтегрованої технології
автоматичного контролю рівня води в технологічних резервуарах»

Виконавець, студент

гр. СУАм-20

Новодворський Д.В.

(підпис, дата, П.І.Б.)

Керівник

Д.Т.Н., доц. Лактіонов І.С.

(підпис, дата, П.І.Б.)

Консультанти:

к.т.н., доц. Поцєпаєв В.В.

(підпис, дата, П.І.Б.)

к.т.н., доц. Воропаєва А.О.

(підпис, дата, П.І.Б.)

к.т.н., доц. Негрій Т.О.

(підпис, дата, П.І.Б.)

Нормоконтроль _____ ас. Жуковська Д.О.

(підпис, дата, П.І.Б.)

Покровськ – 2021 р.

Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"

Інститут, факультет Комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації

Кафедра Електронна техніка

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування

(шифр і назва)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматики та телекомунікацій

Лактіонов І.С.

«___» _____ 2021 року

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Новодворський Даніїл Віталійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Розробка та дослідження комп'ютерно-інтегрованої технології автоматичного контролю рівня води в технологічних резервуарах» керівник проекту (роботи) Лактіонов Іван Сергійович, д.т.н., доц.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 22.09.2021 року № 570

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

Технічна документація та матеріали з переддипломної практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) оглядова частина та аналіз характеристик об'єкту та процесу автоматичного керування; ґрунтовний вибір аналогових, цифрових і мікропроцесорних засобів; синтез алгоритмів функціонування та керування; обґрунтування функціональної і структурної схем САК; реалізація імітаційної моделі САК.

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2	д.т.н., доц., зав. каф. АТ Лактіонов І.С.		
3	к.т.н., доц., доц. каф. АТ Поцєпаєв В.В.		
4	к.т.н., доц., доц. каф. АТ Воропаєва А.О.		
А	к.т.н., доц., доц. каф. УГВіОП Нєгрій Т.О.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз відомих результатів наукових досліджень і інженерно-практичних рішень із реалізації систем автоматичного керування рівнем води	23.09.2021 р.	
2	Ґрунтовний вибір аналогових та цифрових засобів комп'ютерно-інтегрованої системи автоматичного контролю рівня	19.10.2021 р.	
3	Дослідження комп'ютерно-інтегрованої системи автоматичного контролю рівня рідини методами комп'ютерного моделювання	08.11.2021 р.	
4	Розробка функціоналу бездротового обміну інформації системи автоматичного контролю рівня рідини методами комп'ютерного моделювання	30.11.2021 р.	
5	Охорона праці та безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві	11.12.2021 р.	

Студент _____ Новодворський Д.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Лактіонов І.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада П.І.Б.	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Новодворський, Д.В. Розробка та дослідження комп'ютерно-інтегрованої технології автоматичного контролю рівня води в технологічних резервуарах/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття СО «Магістр» за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – ДВНЗ «ДонНТУ», Покровськ, 2021 р.

Обсяг пояснювальної записки: 86 стор. машинописного тексту, зокрема 73 стор. основного тексту, 39 рис. та перелік використаних літературних джерел із 23 наймен.

Основною метою представленої магістерської кваліфікаційної роботи є обґрунтування теоретичних підходів і практична реалізація комп'ютерно-інтегрованої технології автоматичного контролю рівня води в технологічних резервуарах промислових підприємств задля підвищення ефективності протікання виробничого процесу в цілому.

Об'єктом дослідження є комп'ютерно-інтегрована технологія автоматичного контролю рівня води в технологічних резервуарах промислових підприємств.

Предметом дослідження є методи та структурно-алгоритмічні організації побудови комп'ютерно-інтегрованих систем автоматичного контролю рівня води в технологічних резервуарах промислових підприємств.

Наукова новизна отриманих результатів у кваліфікаційній магістерській роботі: розроблено структурно-алгоритмічну організацію комп'ютерно-інтегрованої технології автоматичного контролю рівня води в технологічних резервуарах з урахуванням інформативних параметрів і дестабілізуючих впливів; обґрунтовано метод автоматичного керування рівнем води в технологічних резервуарах на базі алгоритмів нечіткої логіки, що дозволяє зменшити показник перерегулювання.

Практична значущість результатів кваліфікаційної роботи магістра: обґрунтовано типи апаратних пристроїв та розроблено й протестовано

програмні компоненти автоматичного регулювання рівня води в технологічних резервуарах з урахуванням сучасних тенденцій нечіткої логіки та Інтернету речей.

У випускній кваліфікаційній роботі магістра було досягнуто основну мету за рахунок проведення комплексних досліджень із обґрунтування структурно-алгоритмічного забезпечення комп'ютерно-інтегрованої технології контролю рівня води в технологічних резервуарах промислових підприємств.

Ключові слова: рівень, вода, контроль, технологія, система, нечіткий алгоритм.

ABSTRACT

Novodvorkyi, D.V. Development and research of the computer-integrated technology of the water level automatical monitoring in technological tanks / Graduation qualification thesis for obtaining an educational degree 'Master' in specialty 151 'Automation and Computer-Integrated Technologies'. – SHEE 'DonNTU', Pokrovsk, 2021.

Explanatory note: 86 p., 39 figs., 23 references.

The main goal of the presented master's qualification work is the substantiation of theoretical approaches and practical implementation of the computer-integrated technology on automatic control of water level in industrial enterprises technological tanks for efficiency increasing on production process as a whole.

The object of research is computer-integrated technology of automatic water level control in technological tanks of industrial enterprises.

The subject of the research are methods and structural and algorithmic organizations of the computer-integrated systems construction of water level automatic control in technological tanks of industrial enterprises.

Scientific novelty of the obtained results of the qualification master's work are: the structural-algorithmic organization of the computer-integrated technology of water level automatic control in technological tanks taking into account informative

parameters and destabilizing influences has been developed; the method of automatic control of the water level in technological tanks on the fuzzy logic algorithms basis has been substantiated, which allows to reduce the overregulation indicator.

Practical significance of the master's qualification work results: the types of hardware devices have been substantiated and software components of automatic regulation of water level in technological tanks have been developed and tested taking into account modern tendencies of fuzzy logic and the Internet of Things.

The main goal has been achieved by conducting comprehensive research on substantiating of the structural and algorithmic support of computer-integrated technology for water level control in the technological tanks of industrial enterprises.

Keywords: level, water, control, technology, system, fuzzy algorithm.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	11
1 РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВІДОМИХ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ІНЖЕНЕРНО-ПРАКТИЧНИХ РІШЕНЬ ІЗ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РІВНЕМ ВОДИ	14
1.1 Поточний стан питання розробки комп'ютерно-інтегрованих САК рівнем води.....	14
1.2 Аналіз існуючих алгоритмів нечіткого керування рівнем води в технологічних резервуарах.....	19
1.3 Аналіз відомих результатів наукових досліджень із розробки комп'ютерно-інтегрованих САК рівня води.....	22
1.4 Критичний аналіз прототипу комп'ютерно-інтегрованої САК рівня води в технологічних резервуарах.....	24
1.5 Висновки.....	34
2 РОЗДІЛ 2. ҐРУНТОВНИЙ ВИБІР АНАЛОГОВИХ ТА ЦИФРОВИХ ЗАСОБІВ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ РІВНЯ.....	36
2.1 Узагальнена архітектура апаратних засобів автоматичного контролю рівня рідини.....	36
2.2 Аналогові компоненти САК рівня рідини в технологічних резервуарах промислових підприємств.....	48
2.3 Мікропроцесорний блок збору, обробки та інтерпретації результатів контролю рівня води в технологічних резервуарах.....	47
2.4 Висновки.....	51
3 РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ РІВНЯ РІДИНИ	

МЕТОДАМИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....	52
3.1 Загальні підходи до моделювання САК рівня води в технологічних резервуарах.....	52
3.2 Алгоритм дослідження САК рівня води методами імітаційного комп'ютерного моделювання.....	55
3.3 Розробка та дослідження імітаційної комп'ютерної моделі САК рівня води.....	57
3.4 Висновки.....	62
4 РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛУ БЕЗДРОТОВОГО ОБМІНУ ІНФОРМАЦІЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ РІВНЯ РІДИНИ МЕТОДАМИ КОМП'ЮТЕРНОГО ТЕСТУВАННЯ.....	63
4.1 Загальна модель бездротового обміну інформації САК контролю рівня рідини.....	63
4.2 Реалізація підсистеми бездротового обміну інформації САК контролю рівня рідини.....	66
4.3 Висновки.....	68
ЗАГАЛЬНИЙВИСНОВОК.....	69
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	71
Додаток А – Охорона праці та безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві.....	74

ВСТУП

Актуальність дослідницького завдання. Безперервний вимірювальний моніторинг і неруйнівний контроль рівня води в промислових резервуарах є актуальною задачею з точки зору ефективного протікання багатьох технологічних процесів на великій кількості промислових підприємств. Так, наприклад, у відповідності до актуальних статистичних даних понад 25 % аварійних зупинок на стратегічних об'єктах пов'язані з незадовільним автоматичним управлінням генераторами пари рівня води. Таким чином, аналогічні зупинки, що виникають в умовах важливих стратегічних підприємств, необхідно звести до мінімуму, адже вони зменшують безвідмовне функціонування всього виробничого процесу в певній галузі промисловості. У зв'язку з наявністю великої кількості складових невизначеності вимірювального контролю і значною нелінійністю система комп'ютерно-інтегрованого автоматичного контролю рівня води є дуже складною системою.

Таким чином, із метою реалізації комп'ютеризованого контролю рівня води в технологічних резервуарах на даний момент активно використовується класичні ПІ-регулятори з постійним підсиленням. З іншого боку, потреба в модернізації таких типів регуляторів заключається в тому, що необхідною умовою є збільшення продуктивності існуючих підходів і технологій до регулювання рівня води.

Мета і задачі магістерського досліджень. Основною метою представленої магістерської кваліфікаційної роботи є обґрунтування теоретичних підходів і практична реалізація комп'ютерно-інтегрованої технології автоматичного контролю рівня води в технологічних резервуарах промислових підприємств задля підвищення ефективності протікання виробничого процесу в цілому.

Об'єктом дослідження є комп'ютерно-інтегрована технологія автоматичного контролю рівня води в технологічних резервуарах промислових підприємств.

Предметом дослідження є методи та структурно-алгоритмічні організації побудови комп'ютерно-інтегрованих систем автоматичного контролю рівня води в технологічних резервуарах промислових підприємств.

Базові методи дослідження: огляд і аналіз відомих бібліографічних джерел, комп'ютерне імітаційне моделювання, синтез комп'ютерно-інтегрованих систем, Інтернет речей, нечітка логіка, теорія автоматичного керування.

Задля вирішення поставленого дослідницького завдання були поставлені й розв'язані наступні задачі:

1. Аналіз відомих результатів наукових досліджень і інженерно-практичних рішень із реалізації систем автоматичного керування рівнем води.
2. Ґрунтовний вибір аналогових та цифрових засобів комп'ютерно-інтегрованої системи автоматичного контролю рівня.
3. Дослідження комп'ютерно-інтегрованої системи автоматичного контролю рівня рідини методами комп'ютерного моделювання.
4. Розробка функціоналу бездротового обміну інформації системи автоматичного контролю рівня рідини методами комп'ютерного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів у кваліфікаційній магістерській роботі:

1. Розроблено структурно-алгоритмічну організацію комп'ютерно-інтегрованої технології автоматичного контролю рівня води в технологічних резервуарах з урахуванням інформативних параметрів і дестабілізуючих впливів.
2. Обґрунтовано метод автоматичного керування рівнем води в технологічних резервуарах на базі алгоритмів нечіткої логіки, що дозволяє зменшити показник перерегулювання.

Практична значущість результатів кваліфікаційної роботи магістра: обґрунтовано типи апаратних пристроїв та розроблено й протестовано програмні компоненти автоматичного регулювання рівня води в

технологічних резервуарах з урахуванням сучасних тенденцій нечіткої логіки та Інтернету речей.

Особистий внесок здобувача. Автором даної магістерської роботи особисто було виконано комплексні дослідження з розробки й тестування структурно-алгоритмічного забезпечення комп'ютерно-інтегрованої технології автоматичного контролю рівня води, а також проведено повний цикл моделювання системи.

Обсяг і структура магістерської кваліфікаційної роботи. Загальна структура магістерської роботи визначена загальнонауковими підходами до комплексних досліджень у галузі технічних наук. Наведена пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи містить 4 розділи, вступ, загальні висновки, перелік посилань та 1 додаток. Обсяг роботи становить 86 стор., зокрема 73 стор. основного тексту, 39 рис., перелік посилань із 23 найменувань.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ВІДОМИХ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І
ІНЖЕНЕРНО-ПРАКТИЧНИХ РІШЕНЬ ІЗ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМ
АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РІВНЕМ ВОДИ1.1 Поточний стан питання розробки комп'ютерно-інтегрованих САК
рівнем води

У загальному випадку технологічний процес циркуляції води в промислових резервуарах полягає в тому, що подача води за допомогою насосу, який підключено до накопичувального бака, при цьому витрата води регулюються за допомогою електричного привода. На рисунку 1.1 наведено узагальнену функціональну схему такої промислової системи циркуляції води з сукупністю резервуарів.

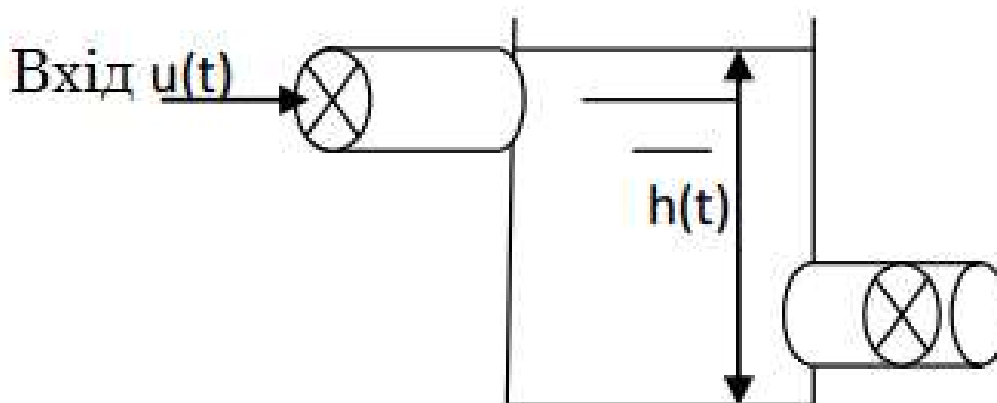


Рисунок 1.1 – Функціональна схема циркуляції води в
технологічному резервуарі

У таких системах за допомогою сенсорів тиску виконується безперервний вимірювальний моніторинг рівня рідини та отримані дані щодо поточного значення тиску передаються до підсистеми обробки даних. Ці дані є базисом

для генерування сигналів керування насосом такої системи, яку наведено в загальному вигляді на рисунку 1.1. Математична модель такої системи має вигляд диференційного рівняння першого порядку:

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{1}{A} \cdot u(t) - c \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot h(t)}}{A},$$

де $u(t)$ – вхідний потік (контрольована вхідна змінна), яка становить позитивне або негативне значення, що відповідає процесам як закачування та видачування води; $h(t)$ – рівень рідини (вихідна змінна системи); $A = \sqrt{ah^2(t) + b}$ – параметр, що дорівнює площі поперечного перерізу цистерни; c – параметр, що відповідає площі поперечного перерізу вихідної труби; $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – це прискорення, що обумовлене за рахунок силою тяжіння.

У теперішній час найбільшого розповсюдження набули декілька підходів до розробки та проєктування контролерів рівня води. На основі пропорційно-інтегрально-диференціальних регуляторів (ПІД-регулятори) здійснюється контроль за рівнем у технологічних резервуарах. Поряд із класичними ПІД-регуляторами використовуються також розширені адаптивні методи автоматичного керування як, наприклад, лінійний квадратичний контролер на базі конструкції Гаусса.

Головним недоліком підходів до управління рівнем рідини в технологічних резервуарах на базі класичних законів автоматичного керування є те, що вони потребують складної апаратної реалізації. Саме тому, в теперішній час значної популярності отримали нейромережі та алгоритми на базі нечіткої логіки. Вони стали одним із найактивніших напрямків досліджень через можливість програмної реалізації адаптивних алгоритмів керування на базі мікропроцесорної техніки.

Реалізація алгоритмів керування на базі нечіткої логіки з усіх методів набула найбільшої популярності через свою простоту програмної реалізації. Це

явище простежується, якщо проаналізувати роботи, які присвячені питанню контролю рівня води[1, 2]. В, свою чергу, нечітка логіка – це своєрідна форма ймовірнісної логіки. Вона характеризується тим, що має справу з оціночними міркуваннями, а не з фіксованими та точними даними. У протилежність її традиційні двійкові множини можуть приймати лише хибні або істинні значення, а змінні у нечіткій логіці приймають істинне значення, що можуть змінюватись у межах від 0 до 1. Істинне значення може коливатися між абсолютно істинним і абсолютно хибним значеннями. Отже, нечітка логіка включає поняття часткової істини. Нечітка логіка являє собою частину машинного навчання або штучного інтелекту, що інтерпретує дії людини. Комп'ютерам властиво інтерпретувати тільки справжні або хибні значення, у свою чергу, людина будує свої міркування щодо ступеня неправди чи істини.

Поняття нечіткої множини являє собою продовження чіткої множини. Чіткі набори дозволяють оперувати лише з повним членством, що надається тільки чіткими наборами даних, тоді як часткове членство дозволяється нечіткими логічним множинам.

Членство чи нечленство елемента X у певній множині значень A у чіткому наборі описується характерною функцією I . Нечіткий набір розширює це поняття, а отже, надається можливість часткового членства. Нечітка множина A у діапазоні U характеризується певною ймовірнісною функцією належності, що приймає значення в інтервалі від 0 до 1. Нечіткі множини надають можливість використання таких понять, як: високий, низький, середній, повільний, швидкий та ін. Тобто подібний елемент може бути членом кількох нечітких множин одночасно. Функція членства має вигляд кривої та характеризує, яким чином кожна точка зі вхідного простору відображається на множені значень ступенів членства від 0 до 1. Це надає міру ступеня подібності елементів у нечіткій множині. Функції членства можуть мати різну форму, найрозповсюдженішими серед таких функцій є наступні: трапецієподібна, трикутна, поліноміальні криві, сигмоїдоподібні функції, криві на базі розподілу Гаусса.

Система нечіткого виведення (СНВ) визначає нелінійне відображення вектора вхідних даних у вигляді скалярного виходу, при цьому використовуючи заздалегідь визначені нечіткі правила. Процес відображення включає в себе членство функцій введення/виведення, операторів нечіткої логіки, нечітких правил ЯКЩО – ТО, способів агрегації наборів виводу та дефазифікації. Система нечіткого виведення, що має декілька виходів, розглядається у якості сукупності незалежних систем із декількома входами та одним виходом. На рисунку 1.2 представлена узагальнена модель нечіткої системи виведень. На підставі аналізу схеми, яку наведено на рисунку 1.2, СНВ має у своєму складі чотири компоненти: нечіткий фактор, механізм виведення, база правил та дефазифікатор.

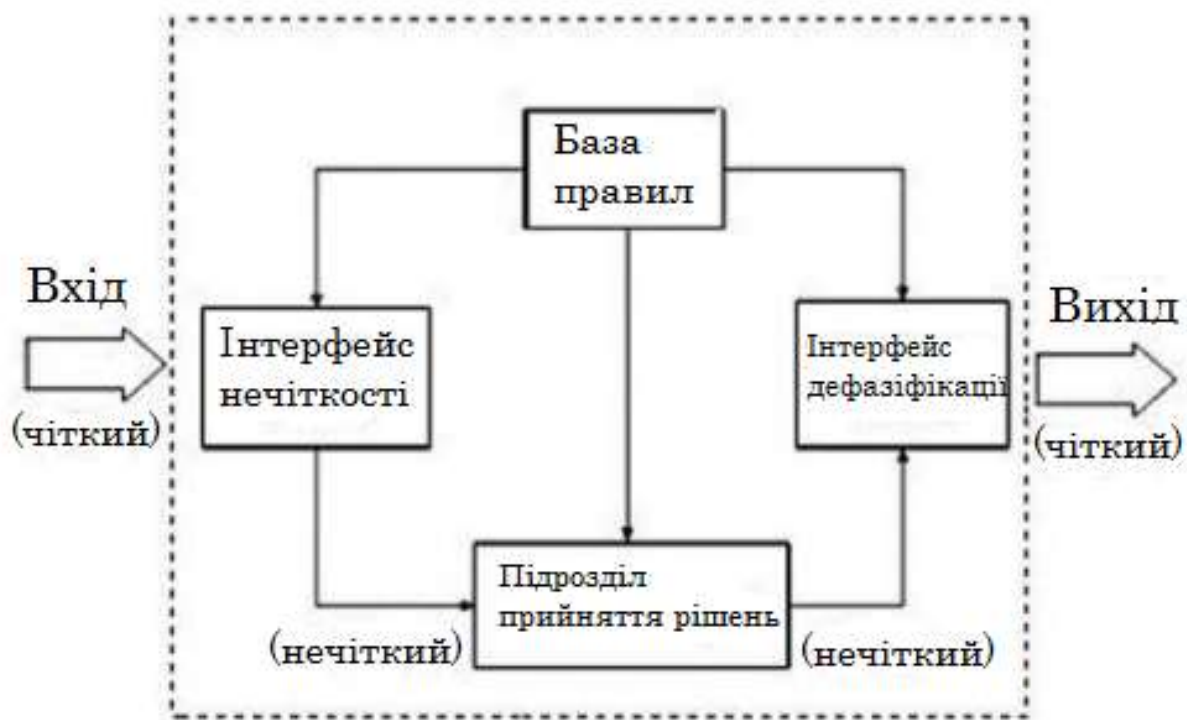


Рисунок 1.2 – Загальна структурна схема типової системи на базі нечіткої логіки

База правил включає лінгвістичні правила, що будуються на базі експертних оцінок. Також можливим підходом є генерування правил із числових даних. Після створення правил СНВ розглядають як тільки правила

будуть створено, модель нечіткої системи виведень розглядають як систему, що відображає вхідний вектор у вихідний вектор. Фазифікатор відображає вхідні числа у відповідні нечіткі членства. Це здійснюється задля активації правил з точки зору лінгвістичних змінних. Фазифікатор приймає вхідні значення та за допомогою функцій належності визначає ступінь їх належності кожному зі заздалегідь встановлених наборів нечітких множин системи.

Перетворення інформації з вхідних нечітких множин у вихідні нечіткі набори визначається закладеним механізмом виведення. Таким чином, визначається ступінь, в якому попередній рівень задовольняється для кожного правила. У випадку, коли попередник даного правила має більше одного перетину, нечіткі оператори застосовуються для отримання одного числа, що представляє результат попередника цього правила.

Можлива ситуація, коли одне або кілька правил можуть діяти одночасно. У такому випадку виходи для усіх правил узагальнюються. Під час агрегування нечіткі множини, що є вихідними даними кожного з правил, об'єднуються в один нечіткий набір.

Важливим аспектом таких систем є те, що нечіткі правила активуються паралельно, а порядок активації правил не впливає на результат.

Перетворення нечітких наборів на чіткі числові значення здійснює дефазифікатор. Тобто така нечітка множина, яка охоплює діапазон вихідних значень, а дефазифікатор повертає одне число, тим самим переходячи від нечіткого набору до чіткого числа.

У сучасній науковій та інженерній діяльності використовується декілька методів дефазифікації, а саме: центроїд, середнє значення максимумів та модифікований дефазатор висоти.

Методом дефазифікації, що найчастіше використовується, є центроїд, який обчислює та повертає центр ваги сукупного нечіткого набору. Системи, у яких використовується нечітка логіка, називаються нечіткими системами. У, свою чергу, нечіткі системи можуть одночасно обробляти лінгвістичні знання та числові дані.

1.2 Аналіз існуючих алгоритмів нечіткого керування рівнем води в технологічних резервуарах

У сучасних комп'ютерно-інтегрованих системах нечіткого автоматичного керування розрізняють два основних види алгоритмів нечіткого керування, а саме:

- алгоритм Мамдані, який використовують для агрегації та збору експертних знань, що дозволяє виконати опис експертних даних більш інтуїтивно та максимально схоже на дії людини, проте цей метод вимагає значних обчислень;

- алгоритм Такагі-Сугено, який вважається найбільш оптимальним та ефективним під час керування динамічними нелінійними системами, так як з ним задовільно функціонують методи оптимізації та адаптації. Ці адаптивні методи можна використовувати під час первинного налаштування функцій членства таким чином, щоб нечітка система найкраще виконувала операції моделювання та налаштування.

Між системами типу Мамдані та Такагі-Сугено існує значна принципова відмінність, яка полягає в тому, що в останньому способі чітке виведення генерується з нечітких входів. У той час у системах типу Мамдані використовується техніка дефазифікації нечіткого виведення. Також, системи нечіткого виведення типу Такагі-Сугено використовують середньозважене значення для обчислення чіткого виведення [1]. Проте нечіткі алгоритми Такагі-Сугено характеризуються більш оптимальним часом обробки та інтерпретації даних. Проте цей тип алгоритму замінює трудомісткий процес дефазифікації. Системи типу Мамдані набули широкого використання та впровадження через інтуїтивно зрозумілий характер синтезу бази правил, наприклад, під час підтримки прийняття рішень у мобільних застосунках і SCADA-системах. Іншими відмінностями між даними алгоритмами є те, що система Мамдані має функції членства під час формування виведень, у свою чергу, в системі типу Такагі-Сугено функції членства під час реалізації операції

виведення відстуні. САК на базі алгоритму Мамдані є менш гнучкими і адаптивними в порівнянні з аналогічними підходами Такагі-Сугено, в якій є можливість інтегрування з інструментом адаптивних ANFIS-засобів, що використовується під час оптимізації результатів.

Графічну інтерпретацію базового функціоналу алгоритму Мамдані наведено на рисунку 1.3. Графічну інтерпретацію базового функціоналу алгоритму Такагі-Сугено наведено на рисунку 1.4.

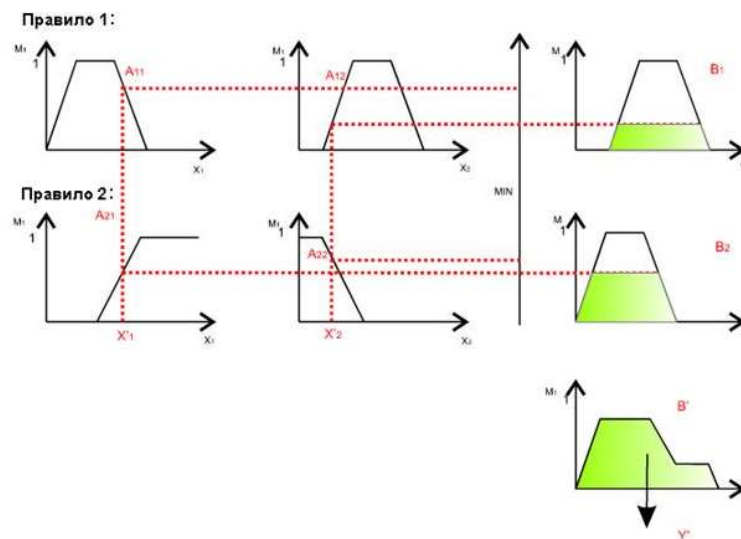


Рисунок 1.3 – Графічна інтерпретація базового функціоналу алгоритму Мамадані

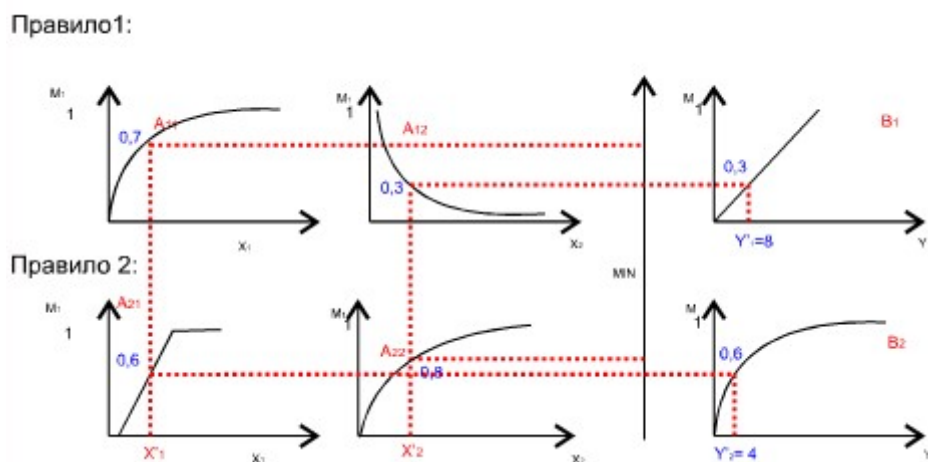


Рисунок 1.4 – Графічна інтерпретація базового функціоналу алгоритму Такагі-Сугено

Підходи на базі нечіткої логіки перед іншими методами мають ряд наступних переваг [1, 2]:

- нечіткі алгоритми здатні моделювати нелінійні функції довільної складності з бажаним ступенем точності;
- нечіткі алгоритми імітують людський розум для ефективного використання режимів наближених міркувань;
- нечіткі алгоритми є ергономічним способом відображення вхідного простору у вихідній множині;
- нечітка логіка – це один із інструментів, що використовується під час математичного та імітаційного комп'ютерного моделювання САК із декількома входами, виходами та контурами керування;
- показники ефективності функціонування значно краще, ніж у звичайних класичних ПД -регуляторів за рахунок програмної реалізації більшості базових функцій;
- значна простота під час етапів проектування та реалізації комп'ютерно-інтегрованих САК.

На рисунку 1.5 наведено типову структуру САК із контролером нечіткої логіки, алгоритми роботи якого представлено в формі простору можливих станів.

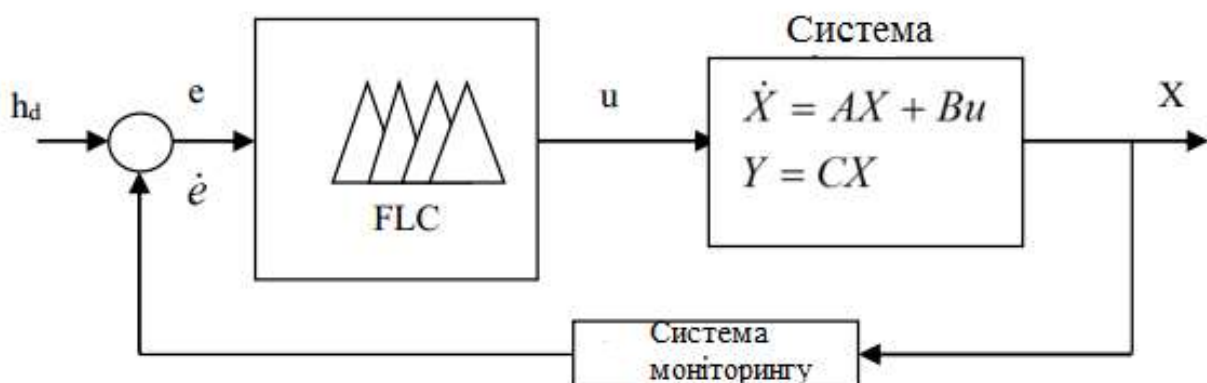


Рисунок 1.5 – Типова структура САК із контролером на базі нечітких алгоритмів контролю й керування

Під час керування за допомогою мікропроцесорної техніки на базі контролерів нечіткої логіки, вони діють як функціональна частина автоматизованих комплексів керування технологічних процесів промислових підприємств.

1.3 Аналіз відомих результатів наукових досліджень із розробки комп'ютерно-інтегрованих САК рівня води

У наведеному підрозділі 1.3 «Аналіз відомих результатів наукових досліджень із розробки комп'ютерно-інтегрованих САК рівня води» представлено огляд робіт, які мають актуальне відношення до існуючих та апробованих комп'ютерно-інтегрованих систем автоматичного контролю рівня рідких фізичних середовищ та використовують різні інтелектуальні алгоритми адаптивного регулювання.

Під час аналізу режимів функціонування різних систем автоматичного регулювання рівня рідини промислового та побутового призначення було встановлено той факт, що на глобальному рівні така задача може бути розв'язана за допомогою двох способів: електричного або механічного.

Електричні способи автоматичного керування реалізуються із використанням мікроконтролерної техніки, яка автоматично детектує рівень рідини і генерує впливні сигнали на привідні та силові елементи комплексу автоматизації.

Механічний спосіб контролю рівня рідини типу здебільшого базується на засобах поплавкового типу та є досить популярним методом управління, який до теперішнього часу використовується на практиці для типових схем автоматизації.

Під час аналізу актуальних джерел інформації було встановлено, що в роботі [1] авторами було запропоновано та реалізовано комп'ютерно-інтегровану систему автоматичного керування рівнем води для умов атомної електроенергетики. Ця система керування містить у своєму складі два логічних

контролери контролери. У зазначеній системі доказано, що регулятор підсилення помилки, структурно-алгоритмічне забезпечення якого запропоновано авторами, може досягти значних показників продуктивності за різних номіналів потужності.

У науковому джерелі [2] авторами представлено автоматичну систему контролю рівня води для систем горизонтальних парогенераторів, яка в теоретичному аспекті заснована на базі кількісної теорії зворотних зв'язків багатоконтурного керування.

У науковій праці [3] відображено стратегію автоматичного управління для досягнення бажаного відстеження рівня води в барабані. У цій системі використано схеми регулювання за принципом ковзання. Передавальну функцію системи реалізовано на базі інформації про рівень води в барабані(вихід) та подачею води з обліком дестабілізуючого впливу фазових перетворень води.

У наукових джерелах інформації [4 – 8] встановлено та досліджено основні динамічні явища, що визначають структурування систем керування котлом-турбіною з обліком істотних функціональних зв'язків між вимірюваними параметрами, а також запропоновано САК рівня води на основі ПІ-закону автоматичного керування із використанням мікропроцесорної техніки. Додатково в зазначених наукових працях описано адаптивний алгоритм роботи, який засновано на динамічному режимі ковзання.

У літературних джерелах [9 – 14] було встановлено, що штучні нейронні мережі також здатні інтерпретувати вимірювальну інформацію з отриманих наборів даних. Такі інтелектуальні методи автоматичного керування як і нейронні мережі, нечітка логіка, ANFIS та генетичні алгоритми здобули значного впровадження і використання для автоматичного управління рівня рідини в останні два десятиліття.

Автори цих робіт побудували прототип комп'ютерно-інтегрованої системи автоматичного контролю рівня води на основі нейронної мережі, алгоритмів нечіткої логіки та мікроконтролерної техніки на основі DSP із їх

подальшим порівняльним аналізом на предмет ефективності. У системі нечіткого виведення було використано алгоритм Сугено, а у нейронній мережі було застосовано принцип адаптивного управління на основі алгоритму зворотного розповсюдження помилки. У роботі [12] нечітка логіка була використана в якості програмного інструменту задля автоматичного регулювання рівня води в барабані котла та безперервного вимірювального контролю якості згоряння. Системи нечітких правил керування базувалися на експертних знаннях операторів на основі відносних критеріїв для існуючої котельні.

Подібні промислові системи адаптивного автоматичного керування дозволяють ефективно зменшити невизначені, які періодично виникають під час функціонування систем в реальному середовищі. Інтелектуальний логічний контролер, який базується на правилах нечіткої логіки з метою компенсації нелінійності функцій перетворення системи задля точного автоматичного регулювання температури пари котла та рівня води було досить детально досліджено в роботі [14].

1.4 Критичний аналіз прототипу комп'ютерно-інтегрованої САК рівня води в технологічних резервуарах

У заявленому підрозділі магістерської роботи надано детальний опис методології та технічних рішень САК рівня води, яке було отримано автором роботи [15]. Ця розробка розглядається в даній кваліфікаційній роботі в якості прототипу, а отже їй надано значну увагу.

В цій науковій роботі [15] розрізняють декілька типів індикаторів рівня води в якості придатних до використання в сучасних САК. Одним із них є кондуктометричний сенсор, який є досить надійним первинним елементом, який також є зручним із точки зору монтажу. Для вторинних функціональних перетворень інформації використано мікроконтролер, який визначає рівень

води та реалізує дротовий і бездротовий обмін вимірюваними даними в мережі підприємства.

Реалізована електронна схема з використанням гірлянди кондуктометричних індикаторних сенсорів рівня води представлена на рисунку 1.6 [15].

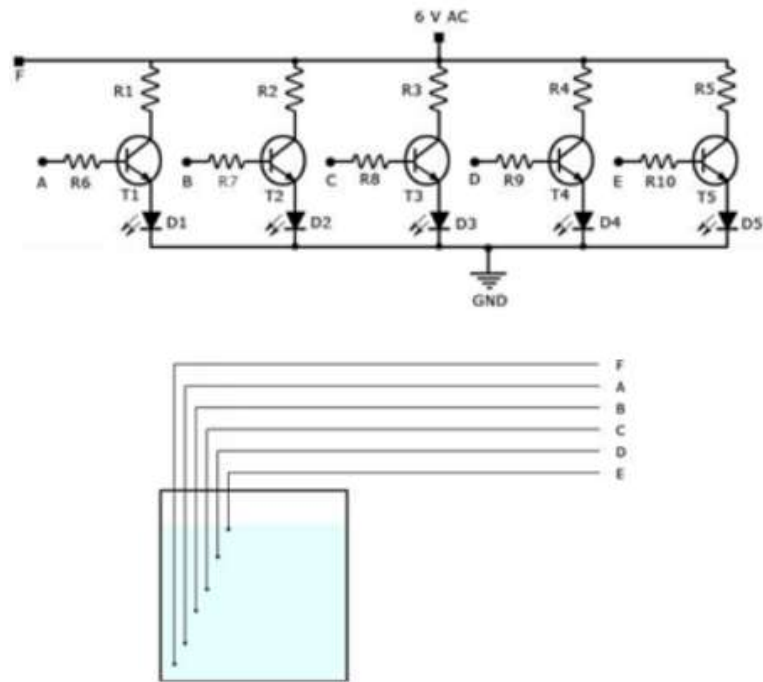


Рисунок 1.6 – Схема САК рівня води індикаторного типу

Із використанням такої схеми можна виконувати неруйнівні вимірювання рівня будь-яких некорозійних рідин, що проводять електричний струм. Наведена на рисунку 1.6 схема складається з п'яти транзисторних перемикачів. Кожен транзисторний ключ вмикається для управління відповідним світлодіодом у той момент, коли на його базу надходить струм через рідину та зонди електродів.

Найнижчий електродний зонд (див. рис. 1.6 – F) має потенціал 6 В змінного струму та розміщується на дні резервуара. Наступні за ним зонди розміщуються сходинково вгору. Під час підвищення рівня води, база кожного транзистора характеризується напругою 6 В змінного струму, який протікає через воду та відповідний зонд, що, в свою чергу, призводить до вмикання

відповідних світлодіодів та індикації про певний рівень води. Кінці щупів підключено до відповідних точок схеми, як показано на рисунку 1.6. Напруга саме змінного струму використовується для запобігання виникнення ефектів електролізу й поляризації зондів.

Алгоритмічне забезпечення авторів наукової праці [15] було розроблено на базі нечіткого алгоритму Мамдані та інтегровано до логічного мікроконтролера. Він використовує лінгвістичну базу правил.

У цьому алгоритмі наявні дві вхідні змінні (відхилення рівня рідини від норми $e(t) = h(t) - h_d$ та швидкість зміни рівня рідини $\dot{e}(t) = \dot{h}(t)$) та один вихідний параметр – кут повороту впускного клапану $u(t)$.

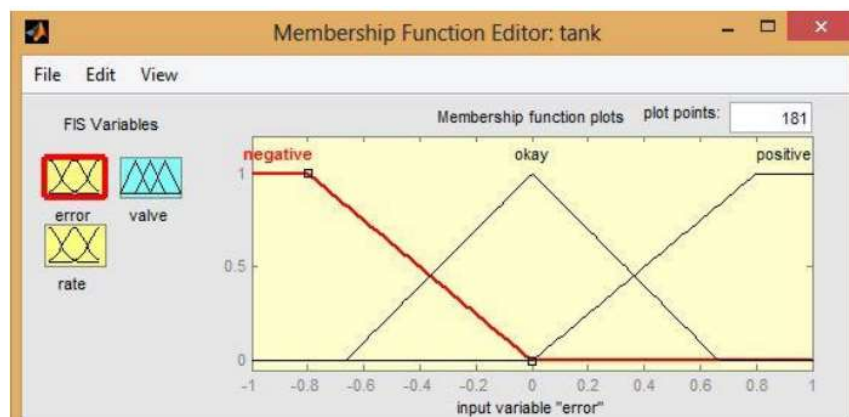
Задля нечіткого визначення вхідних та вихідних змінних обрано функції трикутного членства. Прийняті дані нечітких множин (N , O і P) для кожного з двох входів і п'ять можливих нечітких множин для змінної u . Діапазони зміни вхідних параметрів визначено шляхом аналізу експертних даних:

$$e(t) \in [-1; 1];$$

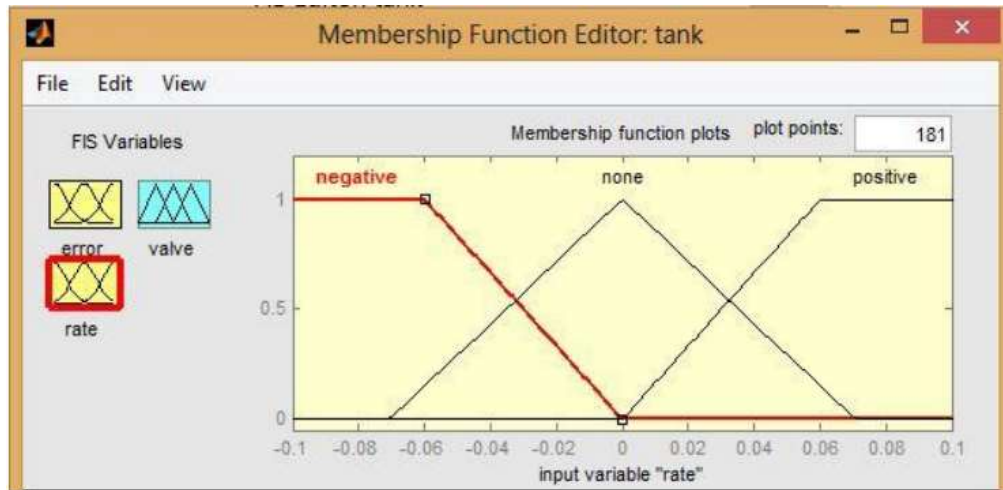
$$h(t) \in [-0,1; 0,1];$$

$$u(t) \in [-1; 1].$$

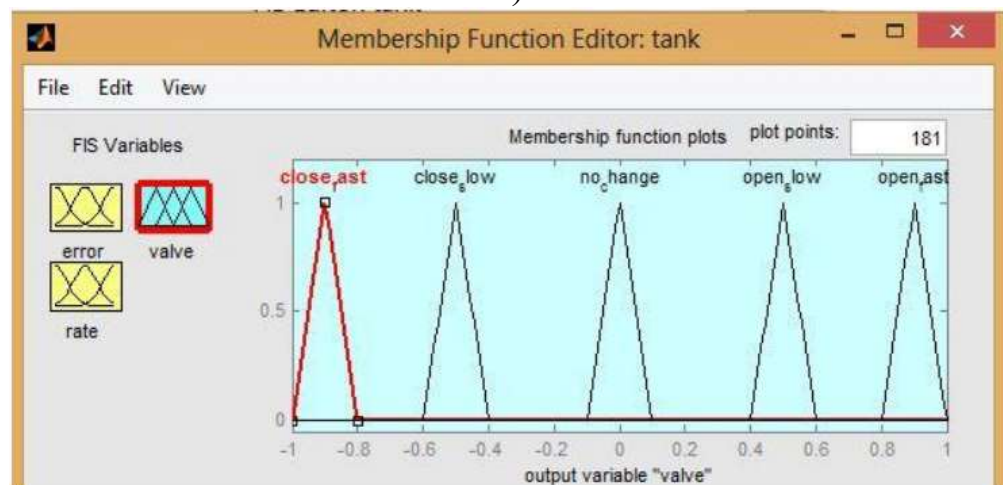
На рисунку 1.7 наведено процес фазифікації вхідних і вихідної змінних програмної компоненти САК.



а)



б)



в)

Рисунок 1.6 – Процес фазифікації параметрів САК (а – відхилення рівня води; б – швидкість зміни рівня води; в – кут повороту впускного клапану)

Наступною після фазифікації дією в реалізації САК [15] був синтез бази правил. До сукупності правил, що описують основні режими функціонування САК, було внесено п'ять основних правил:

Правило #1: ЯКЩО значення відхилення рівня має задовільне значення, ТО положення клапана є незмінним.

Правило #2: ЯКЩО значення відхилення рівня має позитивне значення, ТО подати сигнал на швидке відкривання клапана.

Правило #3: ЯКЩО значення відхилення рівня має негативне значення, ТО подати сигнал на швидке закривання клапана.

Правило #4: ЯКЩО значення відхилення рівня має задовільне значення та показник швидкості зміни рівня має позитивне значення, ТО подати сигнал на повільне закривання клапана.

Правило #5: ЯКЩО значення відхилення рівня має задовільне значення та показник швидкості зміни рівня має негативне значення, ТО подати сигнал на швидке закривання клапана.

На рисунку 1.8 наведено відповідне вікно редактора бази правил у наборі інструментів нечіткої логіки Matlab[15].

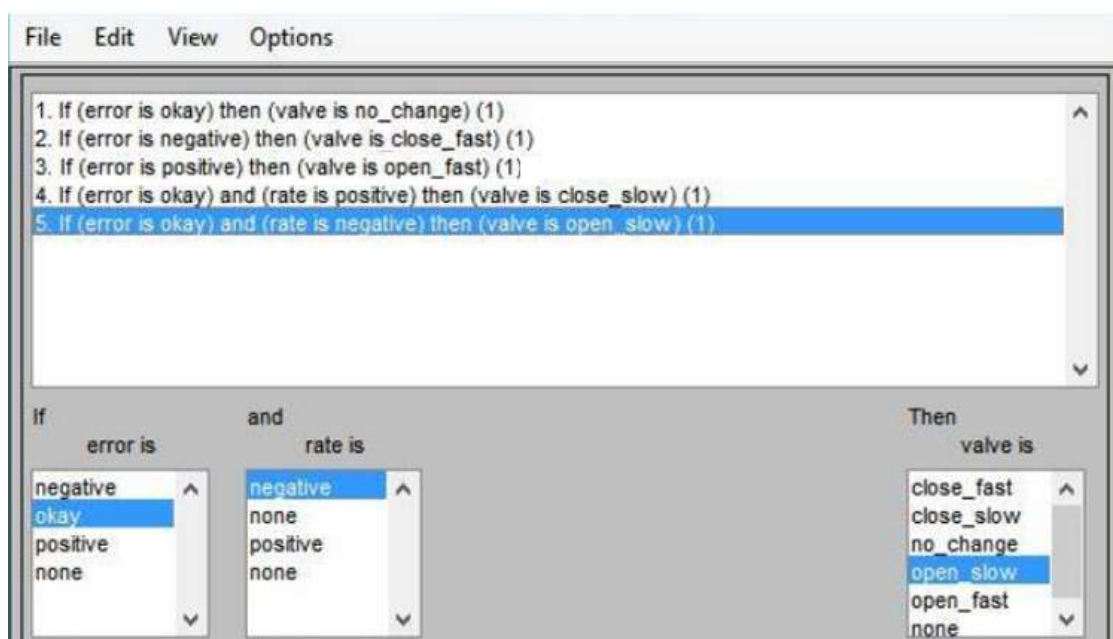


Рисунок 1.8 – Синтезована база правил у пакеті прикладних програм Matlab Fuzzy LogicToolbox [15]

Після реалізації програмної компоненти для мікроконтролера на базі нечіткої логіки, а саме алгоритму Мамдані, було виконано його тестування та перевірку на декількох імітаційних моделях. Для дефазифікації було використано центроїдну функцію. На рисунку 1.9 представлена функціональна схема імітаційної моделі в ППП Simulink нечіткого контролера та відповідного ПД-регулятора [15]. У цьому нечіткому контролері було реалізовано систему нечіткого виведення та змодельовано реакцію системи на задані параметри.

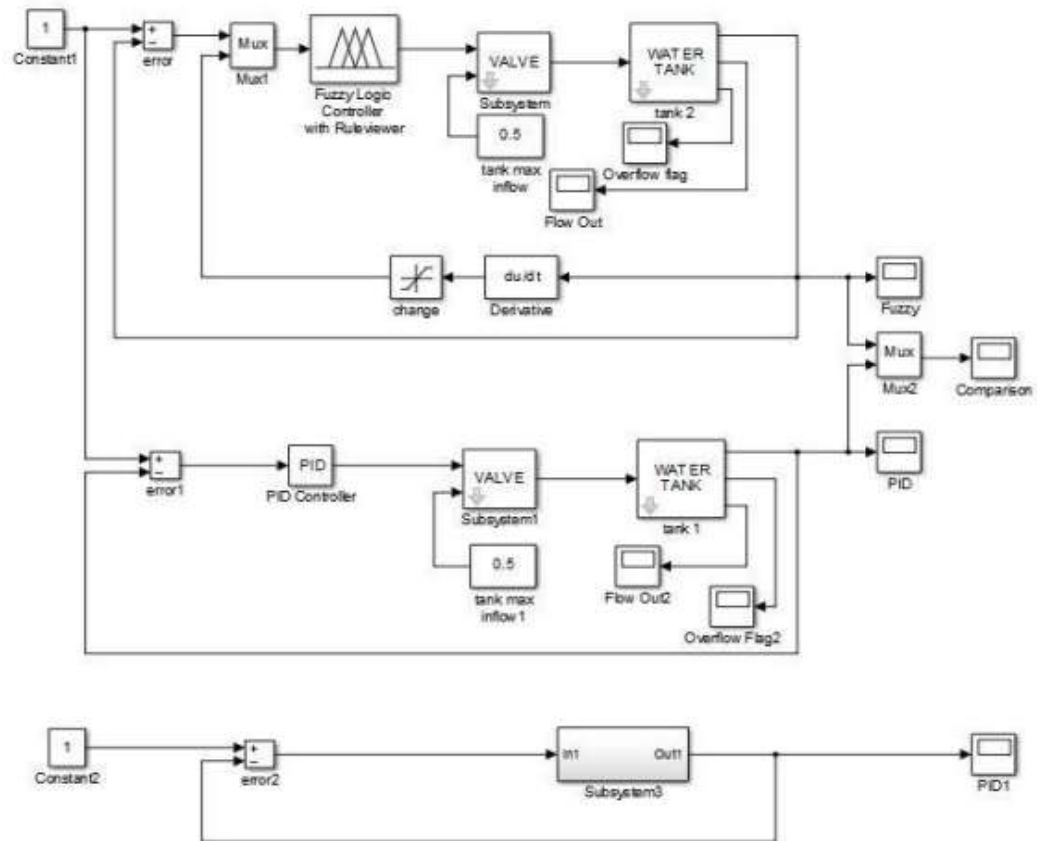


Рисунок 1.9 – Функціональна схема імітаційної моделі САК рівня води на базі нечіткого контролера та ПД-регулятора

На рисунку 1.10 зображено функціональну схему підсистеми резервуарів для води, що створена в ППП Simulink [15].

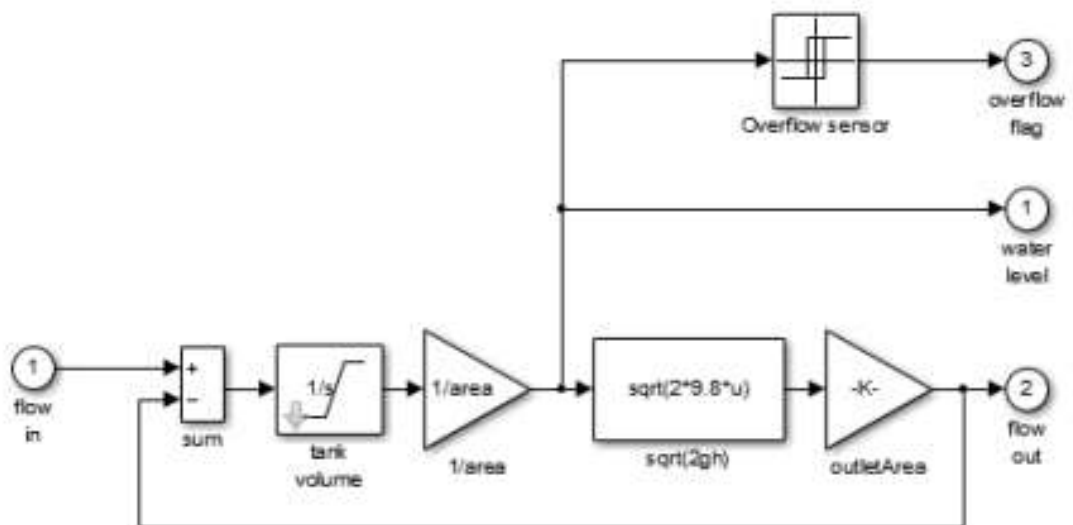


Рисунок 1.10 – Імітаційна модель підсистеми резервуарів для води

У аналізованому прототипі САК рівня води дві підсистеми введення та один вихідний блок імітуються за рахунок використання набору інструментів нечіткої логіки в середовищі Matlab. У даній системі виділено по три нечіткі рівні для кожного з двох входів і п'ять рівнів для вихідної функції САК. Під час реалізації імітаційного моделювання було також додатково активовано базу правил, яка складається з п'яти правил, що дозволяє відстежувати бажаний рівень рідини. Оператор бази правил використовується для отримання чітких значень відповідності до нечітких входних даних. Він демонструє процес перетворення. Результат відображається червоною лінією, тобто вихідне значення, як показано на рисунку 1.11. Також на рисунку 1.12 представлено графічну інтерпретацію бази нечітких правил у вигляді 3D-поверхні.

Реакцію нечіткого алгоритму функціонування мікроконтролерного блоку під час моделювання САК рівня води в технологічних резервуарах наведено на рисунку 1.13. На підставі аналізу реакції нечіткого контролера на вхідний вплив можна зробити висновок, що контролер стабілізується на бажаному рівні води приблизно за 5 секунд та не спостерігається негативного явища перерегулювання.

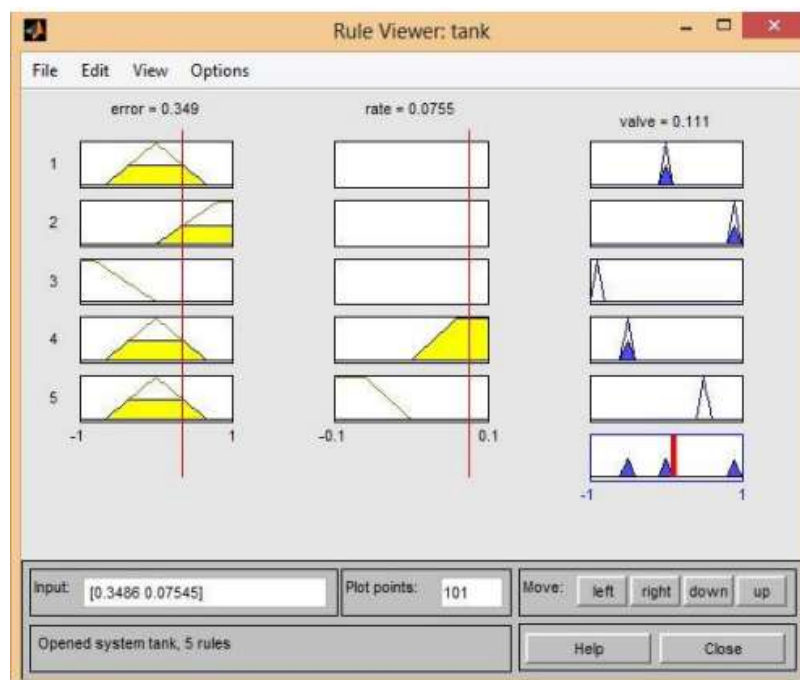


Рисунок 1.11 – Вікно переглядача правил [15]

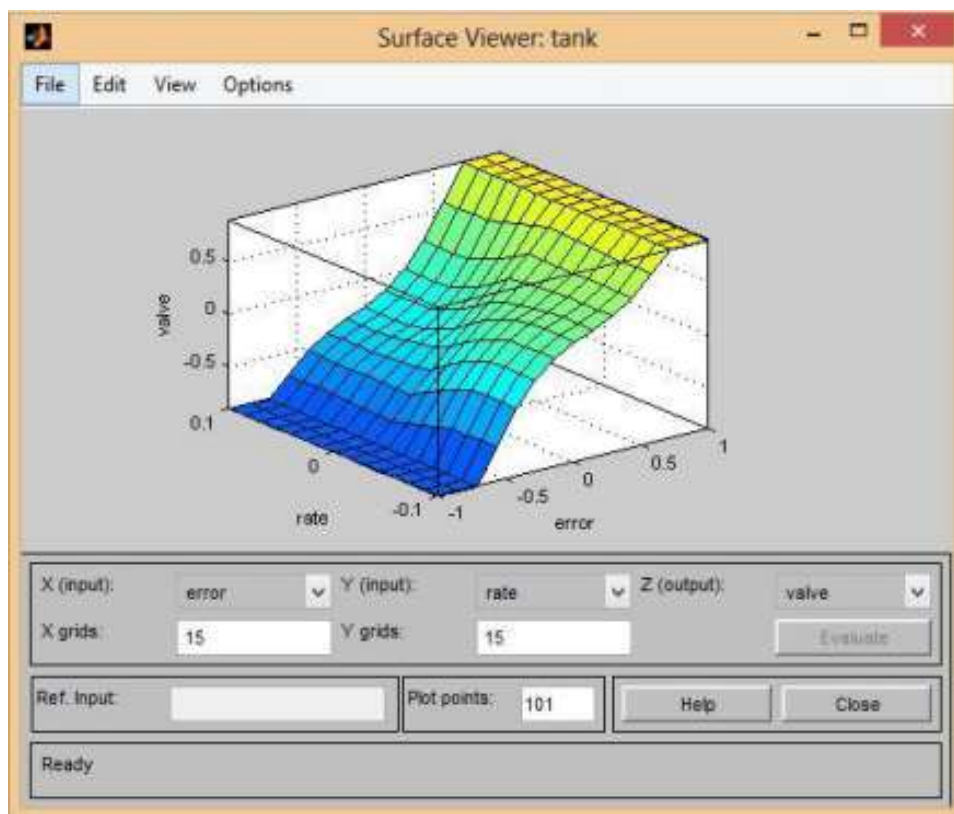


Рисунок 1.12 – Вікно переглядача поверхонь [15]

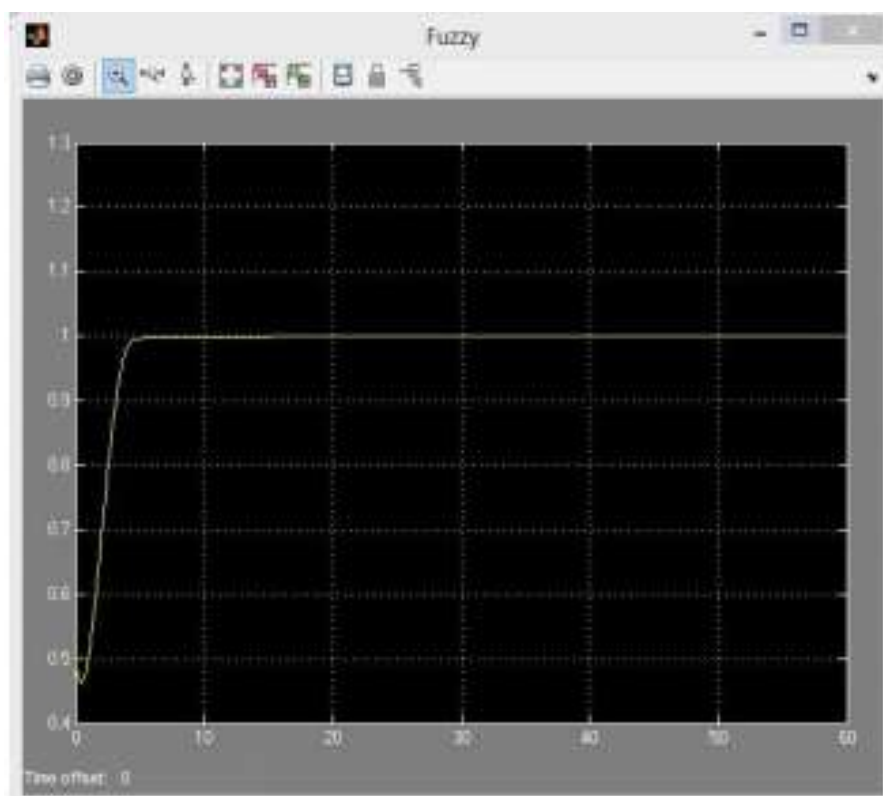
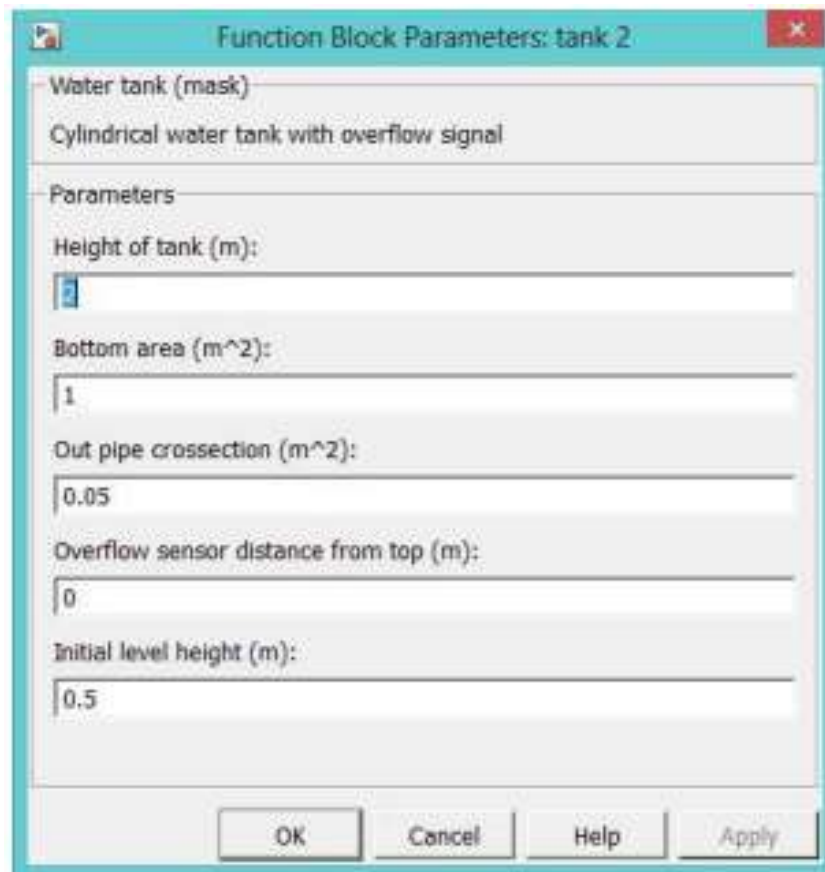


Рисунок 1.13 – Графік перехідного процесу нечіткого контролера [15]

Проте, як було встановлено шляхом імітаційного моделювання, нечіткому контролеру потрібен певний час для генерування сигналів керування протягом декількох секунд для того, щоб рівень води впав. На рисунку 1.14 представлено вхідні дані, що встановлюються для підсистеми резервування води.



Function Block Parameters: tank 2

Water tank (mask)
Cylindrical water tank with overflow signal

Parameters

Height of tank (m):
2

Bottom area (m²):
1

Out pipe crosssection (m²):
0.05

Overflow sensor distance from top (m):
0

Initial level height (m):
0.5

OK Cancel Help Apply

Рисунок 1.14 – Вхідні параметри підсистеми резервування води [15]

Відповідну реакцію апаратно-програмної реалізації ПД-регулятора під час його моделювання з заданими параметрами наведено на рисунку 1.15.

Із аналізу цього графіку видно, що перехідний процес під час мікропроцесорних операцій характеризується перерегулюванням та відповідно більш тривалим проміжком часу перехідного процесу, тобто мікроконтролерному пристрою потрібно більше часу для стабілізації до потрібного значення – 1,1 м.

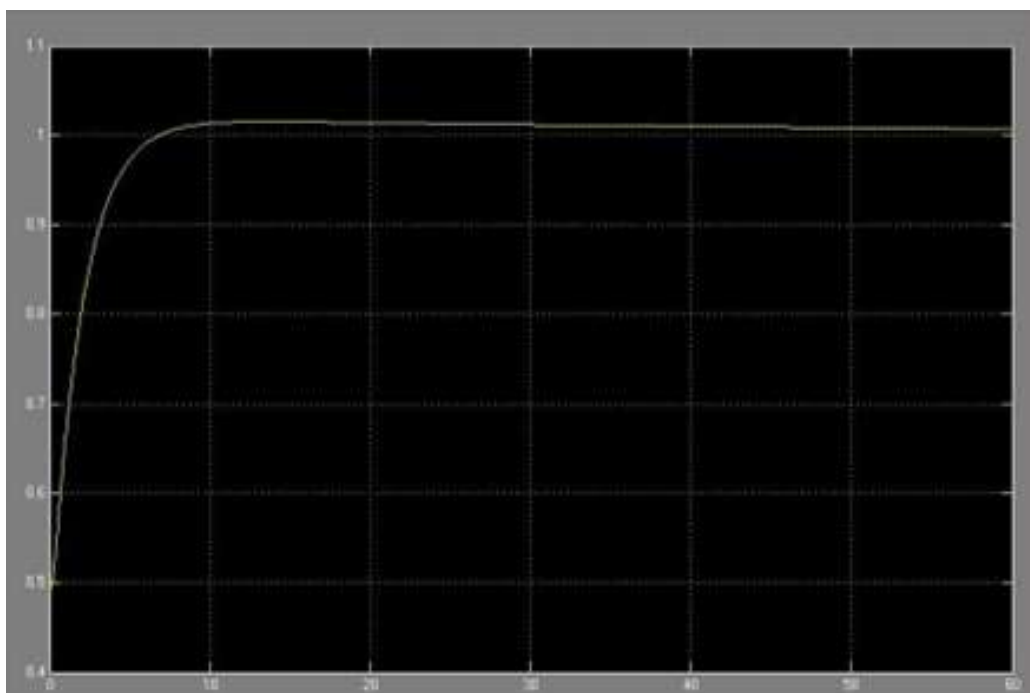


Рисунок 1.15 – Графічна залежність перехідного процесу, що протікає в блоці ПІД-регулятора[15]

Останнім кроком моделювання у методиці авторів наукової роботи [15] був порівняльний аналіз перехідних процесів нечіткого та класичного ПІД-регулятора для бажаного рівня води в технологічному резервуарі, як показано на рисунку 1.15, де рожева лінія показує результат відпрацювання ПІД-регулятора, а жовта – результат відпрацювання нечіткого регулятора. З цього графіку(див. рис. 1.16) видно, що ПІД-регулятор відносно нечіткого контролера вимагає більшого часу для стабілізування до бажаного рівня води, що потребується та додатково характеризується певним значенням перерегулювання.

Отримані авторами наукової роботи [15] результати моделювання доводять, що нечітке керування рівнем води в технологічних резервуарах є більш оптимальним у порівнянні з класичними законами теорії автоматичного керування.

Також можливим способом щодо оптимізації процесу автоматичного контролю рівня води в технологічних резервуарах є поєднання двох типів

регуляторів, а саме: мікроконтролерного з програмним забезпеченням на базі нечіткої логіки та апаратного рішення у вигляді ПІД-регулятора.

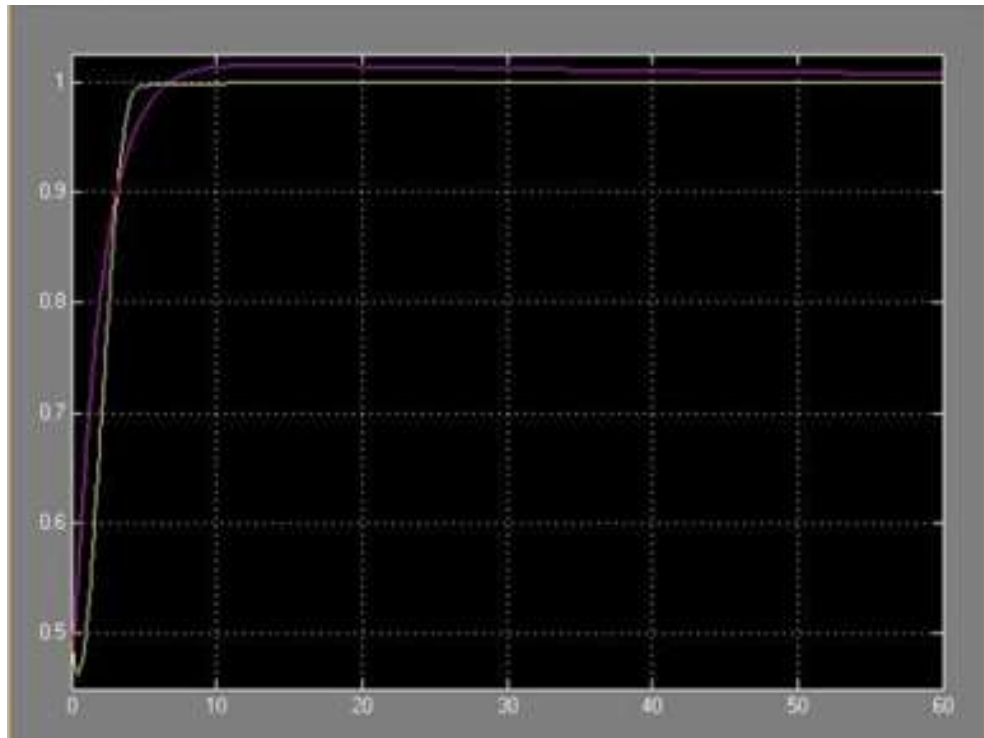


Рисунок 1.16 – Порівняльний аналіз перехідних процесів, що протікають у нечіткому та ПІД-регуляторі

На підставі аналізу прототипу досліджуваної САК, який був розроблений і реалізований в роботі [15], можна зробити висновок про доцільність використання нечітких алгоритмів керування, проте під час розробки апаратного забезпечення необхідно приділити більшу увагу обґрунтуванню метрологічного та функціонального забезпечення компонент САК рівня води технологічних резервуарів.

1.5 Висновок

У даному розділі магістерської роботи «Аналіз відомих результатів наукових досліджень і інженерно-практичних рішень із реалізації систем автоматичного керування рівнем води» було проведено бібліографічні

дослідження на предмет сучасного доробку в галузі розробки та реалізації систем автоматичного контролю рівня води в технологічних резервуарах промислових підприємств. Основними результатами цього розділу є:

1. Огляд і критичний аналіз поточного стану питання розробки комп'ютерно-інтегрованих САК рівнем води.
2. Якісний і кількісний аналіз існуючих алгоритмів нечіткого керування рівнем води в технологічних резервуарах.
3. Критичний аналіз відомих результатів наукових досліджень із розробки комп'ютерно-інтегрованих САК рівня води.
4. Аналіз функціональних характеристик прототипу комп'ютерно-інтегрованої САК рівня води в технологічних резервуарах.

РОЗДІЛ 2

ГРУНТОВНИЙ ВИБІР АНАЛОГОВИХ ТА ЦИФРОВИХ ЗАСОБІВ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ РІВНЯ

2.1 Узагальнена архітектура апаратних засобів автоматичного контролю рівня рідини

Системи автоматичного контролю (САК) промислового призначення використовуються під час вирішення задач регулювання певних фізичних параметрів або їх сукупності в об'єкті керування в певних технологічних умовах промислових підприємств. Під час розробки та впровадження комплексів автоматичного керування технологічними та виробничими процесами промислових підприємств САК мають входити до їх складу в якості функціональних підсистем. Основним їх призначенням є регулювання певних параметрів та / або їх сукупності у визначених діапазонах за встановленими законами автоматичного керування.

Базовий принцип функціонування будь-якої промислової системи автоматичного контролю (САК) полягає в тому, щоб реєструвати відхилення регульованих фізичних величин, що характеризують режими роботи технологічного об'єкта або процесу від номінального режиму і при цьому генерувати впливати на об'єкт або процес так, щоб компенсувати наявні відхилення в режимі реального часу.

Задля реалізації автоматичного контролю й регулювання до об'єкту, який підлягає автоматичному управлінню, має бути підключений автоматичний регулятор, який генерує впливи керування на відповідний орган регулювання. Цей вплив керування генерується регулятором у залежності від поточної різниці між виміряним значенням регульованої фізичної величини (у даному випадку рівень рідини), що детектується сенсором, і рекомендованим

значенням фізичної величина, що встановлюється за допомогою задавального пристрою. Об'єкт, який підлягає регулюванню, задавальний пристрій, сенсор рівня та автоматичний регулятор у сукупності складають апаратний базис досліджуваної комп'ютерно-інтегрованої системи автоматичного контролю технологічного процесу. Основною відмінною ознакою такої САК, є наявність у структурі зворотного зв'язку, за яким відповідний регулятор реалізує функцію динамічного контролю значення рівня рідини в автоматичному режимі в реальному часі.

Отже, на підставі вищенаведеного узагальненого опису принципів функціонування досліджуваної комп'ютерно-інтегрованої САК рівня рідини було розроблено її архітектуру, яку у вигляді відповідної структурної схеми наведено на рисунку 2.1.

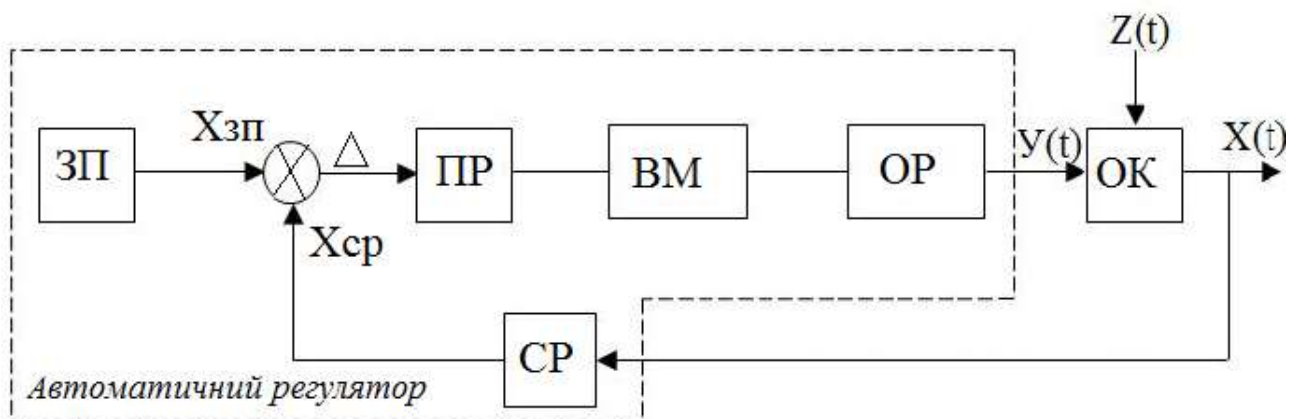


Рисунок 2.1 – Базова структурна схема комп'ютерно-інтегрованої САК рівня води в технологічних резервуарах

На рисунку 2.1 введені такі умовні позначення:

- ЗП – задавальний пристрій;
- ПР – пристрій регулювання;
- ВМ – виконавчий механізм;
- ОР – об'єкт регулювання;
- ОК – об'єкт керування;
- СР – сенсор рівня;

$X_{ЗП}$ – параметр, що генерується задавальним пристроєм;

$X_{СР}$ – вихідний сигнал сенсора рівня;

$X(t)$ – параметр, який регулюється;

$Y(t)$ – вплив регулювання;

$Z(t)$ – дестабілізуючий вплив, що призводить до збурення систему автоматичного контролю;

Δ – помилка, яка виникає під час реалізації процесу регулювання.

Таким чином, на підставі виконаного узагальненого якісного аналізу архітектури САК яку у вигляді відповідної структурної схеми наведено на рисунку 2.1, можна зробити висновок, що вона може бути використана в якості базової під час розробки та дослідження комп'ютерно-інтегрованої системи автоматичного контролю рівня рідини в технологічних резервуарах промислових підприємств, проте потребує подальших досліджень із обґрунтування аналогових і цифрових компонент, а також програмних засобів її побудови.

2.2 Аналогові компоненти САК рівня рідини в технологічних резервуарах промислових підприємств

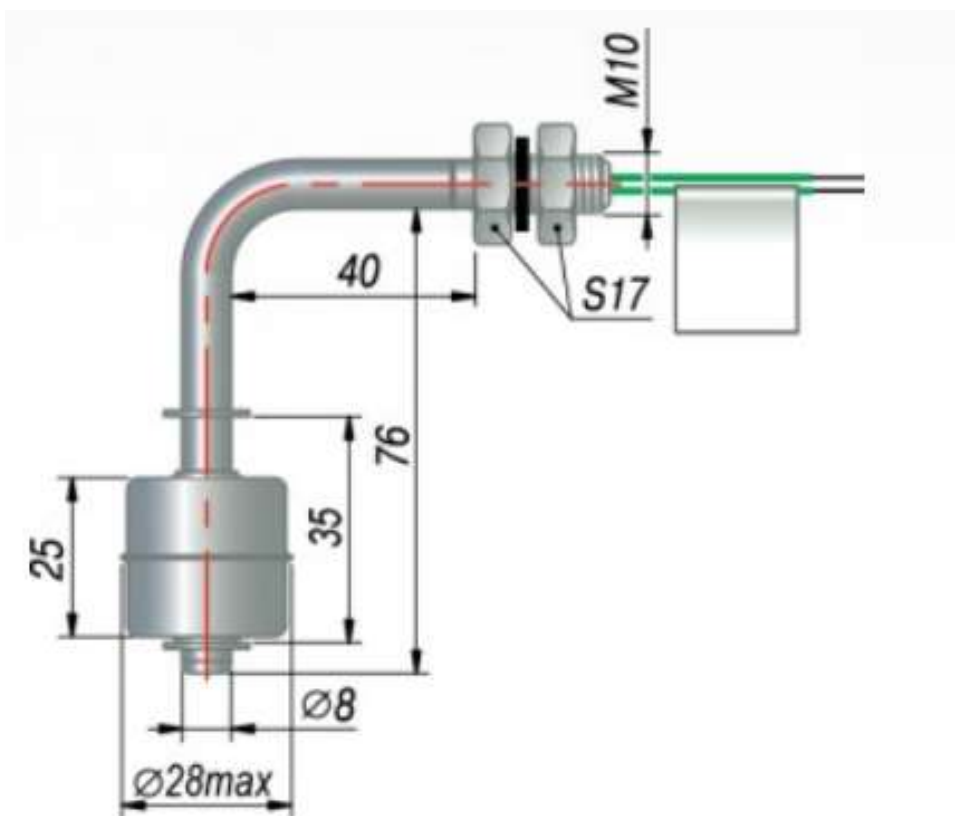
В якості первинного вимірювального перетворювача САК рівня води в технологічних резервуарах використано промисловий сенсор поплавкового типу з уніфікованим вихідним сигналом від 4 мА до 20 мА від фірми виробника ОВЕН [16].

Такий поплавковий рівнемір відноситься до сенсорів аналогового принципу дії та конструктивно виконаний у вигляді металевого вимірювального стрижня з магнітом, що виконує функцію поплавка та пересувається уздовж стрижня. Цей стрижень сенсора додатково оснащений герконами. Ці геркони розташовані з кроком 1 геркон на 10 мм довжини стрижня. Під час зміни рівня рідини починає змінюватись вихідний опір датчика, отже цей сенсор відноситься до класу параметричних резистивних

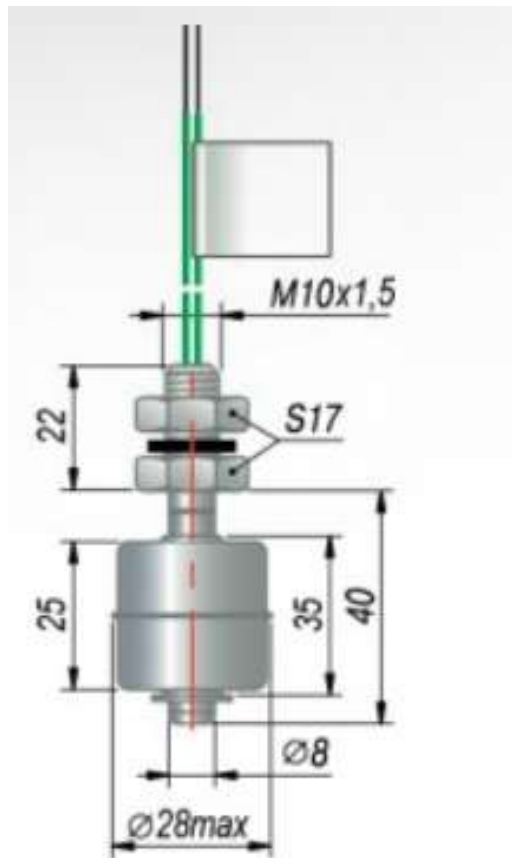
датчиків. Зміна опору виникає в наслідок того, що змінюється вертикальне положення поплавкового елементу вздовж чутливого стрижня в результаті піднімання або спадання. Ця зміна опору, що виникає в наслідок вищеприписаного ефекту, зчитується вторинною електронною схемою та перетворюється в уніфікований аналоговий струмовий сигнал в діапазоні від 4 мА до 20 мА. Вихідний сигнал такого аналогового рівнеміра та детектована фізична величина рівня рідини знаходяться в прямо пропорційній залежності. Основні технічні характеристики такого типу сенсора від фірми-виробника ОВЕН є наступними:

- типова схема підключення сенсора: 2-х дротова;
- номінальна напруга живлення постійного струму: від 10 В до 36 В;
- динамічний діапазон зміни вихідного струмового сигналу: від 4 мА до 20 мА;
- електрична номінальна потужність, що споживається: не більше 1 Вт;
- динамічний діапазон вимірювання рівня рідини: від 0 м до 30 м;
- роздільна здатність сенсора (дискретність вимірювання рівня рідини): 10 мм;
- типове розташування вісі кріпильних отворів сенсора в технологічному резервуарі: вертикально;
- типорозмір з'єднувальних елементів: G2;
- матеріал, із якого виготовлено робочу частину сенсора: сталь марки 12Х18Н10Т;
- ступінь захисту згідно ДСТУ 14254: IP 65;
- гранична щільність контролюваного середовища: 0,68 г/см³;
- робочий температурний діапазон контролюваного середовища: від -40 °С до +105 °С;
- граничне значення тиску аналізованого середовища: 4МПа.

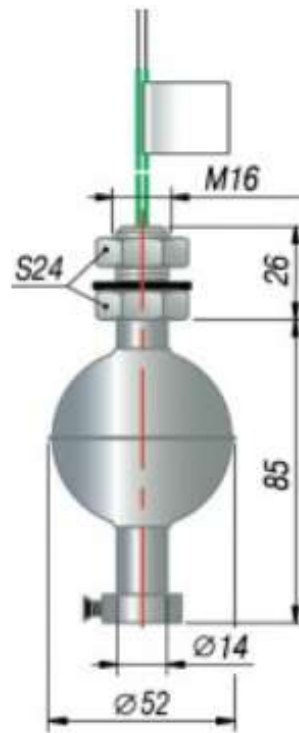
Базові варіанти виконання сенсорів рівня поплавкового принципу дії від фірми ОВЕН[16], які можуть бути використані під час розробки САК рівня води в технологічних резервуарах наведено на рисунку 2.2.



а) Поплавковий сенсор рівня горизонтального кріплення



б) Поплавковий сенсор рівня вертикального кріплення



в) Поплавковий сенсор рівня вертикального кріплення з шароподібною
конструкцією поплавка

Рисунок 2.2 – Базові варіанти виконання сенсорів рівня поплавкового принципу
дії від фірми ОВЕН

Зовнішній вигляд поплавкового сенсора рівня води наведено на
рисунку 2.3 [16].



Рисунок 2.3 – Поплавковий сенсор рівня рідини від фірми ОВЕН

Вищенаведені конструкції сенсорів рівня рідини мають поплавков, що пересувається вздовж штоку за вертикальною віссю. Герконовий контакт спрацьовує під час наближення магніту. Саме тому, якщо монтаж такого датчика зверху резервуару є неможливим, то поплавковий датчик рівня можна вмонтувати в стінку резервуару або в дно, як показано на рисунку 2.4.

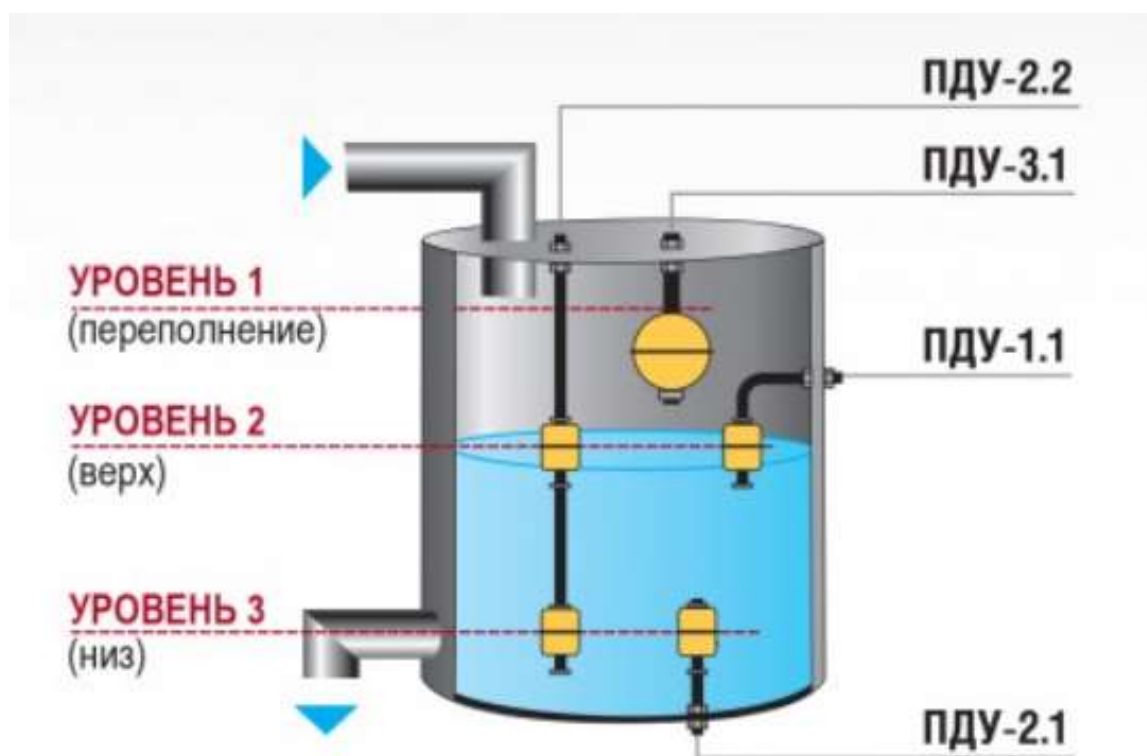


Рисунок 2.4 – Можливі варіанти виконання монтажу поплавкових сенсорів рівня рідини

Таким чином, на підставі аналізу технічних, метрологічних і функціональних параметрів поплавкових аналогових сенсорів від фірми ОВЕН було встановлено їх базову придатність до побудови системи автоматичного контролю рівня рідини в технологічних резервуарах промислових підприємств.

Функціональний вузол аналогового перетворення вихідного струмового сигналу сенсора рівня в еквівалентний сигнал у вигляді постійної напруги може бути побудований на базі промислового перетворювача типу ПАС 24-10 А 220 [17]. Цей перетворювач необхідний у структурі досліджуваної САК через

те, що уніфікований струмовий сигнал має бути перетворений в уніфікований сигнал напруги задля подальшого мікропроцесорного опрацювання результатів вимірювального контролю рівня рідини в технологічних резервуарах промислових підприємств. Зовнішній вигляд такого перетворювача наведено на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд промислового перетворювача струм – напруга від фірми виробника ЕЛІМ

Такий перетворювач аналогового сигналу моделі ПАС 24-10 А 220, зовнішній вигляд якого наведено на рисунку 2.5, призначено для безперервного функціонального лінійного перетворення вхідного уніфікованого струмового сигналу в діапазоні від 4 мА до 20 мА в уніфікований сигнал напруги від 0 В до 10 В. Цей функціональний пристрій у базовому виконанні розраховано на живлення від мережі змінного струму 220 В. В даному перетворювачі реалізовано аналоговий принцип перетворення. Тобто, основним його схемотехнічним рішенням є операційні підсилювачі. Перетворювач моделі

ПАС 24-10 А 220 дозволяє підвищити рівень уніфікованості промислових систем автоматизації, а також розширити лінійку доступних до використання стандартизованих технічних засобів. Завдяки високій точності перетворення (гранична основна невизначеність не перевищує 0,5 %), а також простоті монтажу та експлуатації цей пристрій вважається доступним рішенням для задач структурного і алгоритмічного узгодження різнотипних керуючих та /або інформаційних сигналів з відповідними пристроями промислових комплексів автоматики в цілому.

Типова схема електрична підключення цього перетворювача наведена на рисунку 2.6.

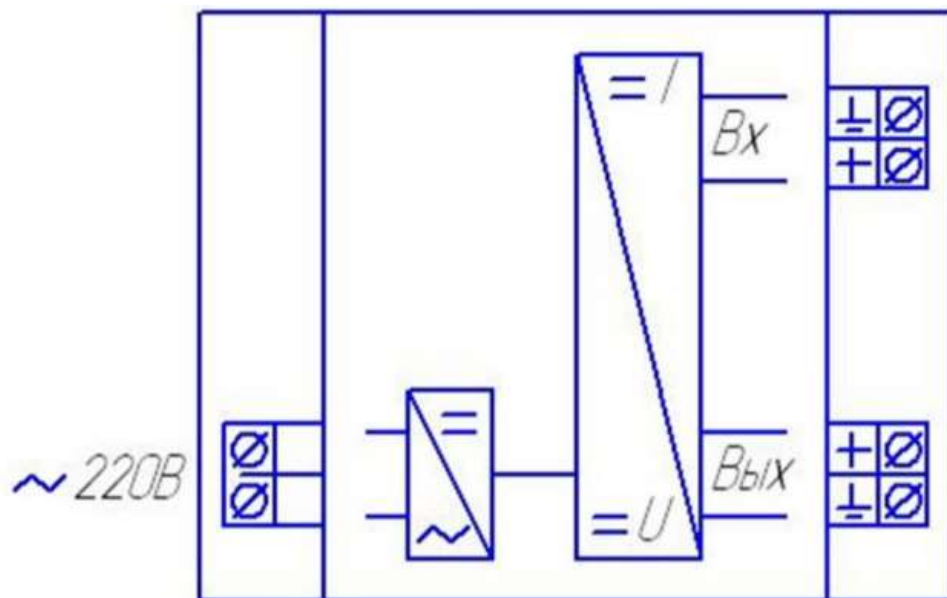


Рисунок 2.6 – Типова схема електрична підключення перетворювача
струм – напруга

Отже, отримані результати аналізу основних технічних характеристик і параметрів промислового перетворювача струм – напруга від фірми виробника ЕЛІМ [17] доводять його придатність до використання в складі досліджуваної системи автоматичного контролю рівня рідини технологічних резервуарів задля виконання функції синхронізації сигналів сенсора рівня та мікропроцесорного блоку опрацювання даних.

В якості виконавчого механізму досліджуваної САК рівня води обрано електромагнітний клапан від фірми-виробника CEME 5510 серії [18], який має цільове призначення в системах водопостачання. Зовнішній вигляд заявленої моделі електромагнітного клапана наведено на рисунку 2.7, а також на рисунку 2.8 наведено його основну робочу характеристику у вигляді діаграми втрати тиску.



Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд електромагнітного клапана від фірми-виробника CEME 5510 серії

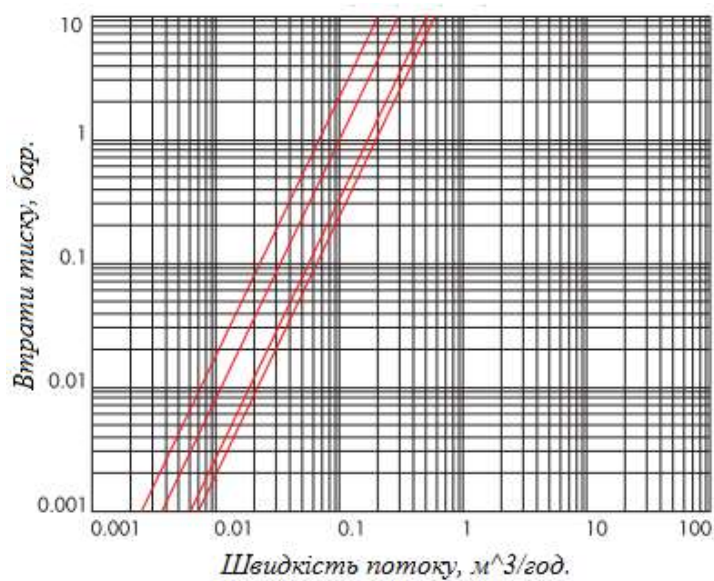


Рисунок 2.7 – Основна робоча характеристика електромагнітного клапана від фірми-виробника CEME 5510 серії

До основних характеристик і параметрів такої моделі електромагнітного клапана відносяться:

- принцип дії: прямий;
- схемотехнічне виконання: нормально закритий;
- тип ущільнення: NBR;
- заявлене робоче середовище: вода, повітря;
- наявна кількість фаз: однофазний;
- напруга живлення: 220 В напруги змінного струму або 24 В напруги постійного струму;
- номінальна пропускна спроможність: 0,09 м³/год.;
- номінальний прохід: 2 мм;
- граничне максимальне значення диференціального тиску: 13 Бар;
- граничне мінімальне значення диференціального тиску: 0 Бар.

Таким чином, із урахуванням вищеописаних і проаналізованих характеристик запропонованого до використання електромагнітного клапана можна стверджувати про його придатність до використання в складі САК рівня води в технологічних резервуарах.

В якості джерела живлення запропоновано до використання багатоканальний промисловий блок типу DRP024V240W1AA від фірми Delta Electronics, що має канали на 12 В та 24 В. Зовнішній вигляд такого блоку живлення наведено на рисунку 2.8. До його основних технічних і експлуатаційних характеристик належать:

- широкий динамічний діапазон вхідних напруг: від 85 В до 264 В змінного струму;
- відповідність промисловим стандартам RoHS;
- здатність витримувати перевантаження до 150 % протягом 3 с;
- можливість схемотехнічного резервування за рахунок зовнішнього додаткового діоду;
- наявна можливість ручного налаштування вихідної напруги;
- компактні масогабаритні розміри: 121 мм x 85 мм x 118,5 мм.



Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд промислового блоку живлення типу
DRP024V240W1AA від фірми Delta Electronics

Таким чином, заявлена модель блоку живлення від фірми Delta Electronics є придатною до використання в складі досліджуваної системи автоматичного контролю рівня води в технологічних резервуарах в умовах промислових підприємств.

2.3 Мікропроцесорний блок збору, обробки та інтерпретації результатів контролю рівня води в технологічних резервуарах

На підставі апріорного аналізу відомих розробок у галузі мікроконтролерних технологій контролю та керування технологічними процесами було встановлено те, що в якості мікропроцесорного блоку в складі системи автоматичного контролю рівня рідини в технологічних резервуарах промислових підприємств може бути використаний сигналізатор рівня рідких і дисперсних середовищ з дистанційним керуванням типу САУ М7Е від фірми-виробника ОВЕН [19].

Основним функціональним призначенням цього логічного мікроконтролерного пристрою є неруйнівний вимірювальний постійний контроль рівня рідких або дисперсних матеріалів. До основних характерних особливостей цього пристрою відносяться [19]:

- можливість підключення гірлянди сенсорів;
- можливість функціонування в режимах заповнення або опорожнення резервуарів;
- наявність ручного, автоматичного або комбінованого режимів керування електричним приводом регулюючих органів системи автоматичного управління;
- адаптивна сигналізація щодо екстремальних та / або аварійних режимів функціонування;
- адаптація режимів роботи до різних за показником електропровідності рідких середовищ.

Зовнішній вигляд заявленої моделі мікроконтролерного пристрою САК рівня рідини наведено на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд логічного мікроконтролерного пристрою типу САУ М7Е від фірми-виробника ОВЕН

Поточний вимірювальний контроль рівня реалізується із використанням трьох сенсорів, які встановлено до резервуару користувачем на заявлених виробником умовах протікання технологічного процесу з відмітками: нижній, проміжної, верхній.

До основних технологічних елементів логічного мікроконтролерного пристрою САУ М7Е належать такі: три входні компаратори, сенсори рівня, регулятори чутливості за кожним каналом, комутатори для налаштування режимів роботи, блок логіки, вихідне твердотіле реле, вихідні електромагнітні реле і блок керування виконавчими механізмами.

Базову функціональну схему логічного пристрою САУ М7Е, яка реалізує вищезазначені функції та містить описані вище структурні елементи, наведено на рисунку 2.10 [19].

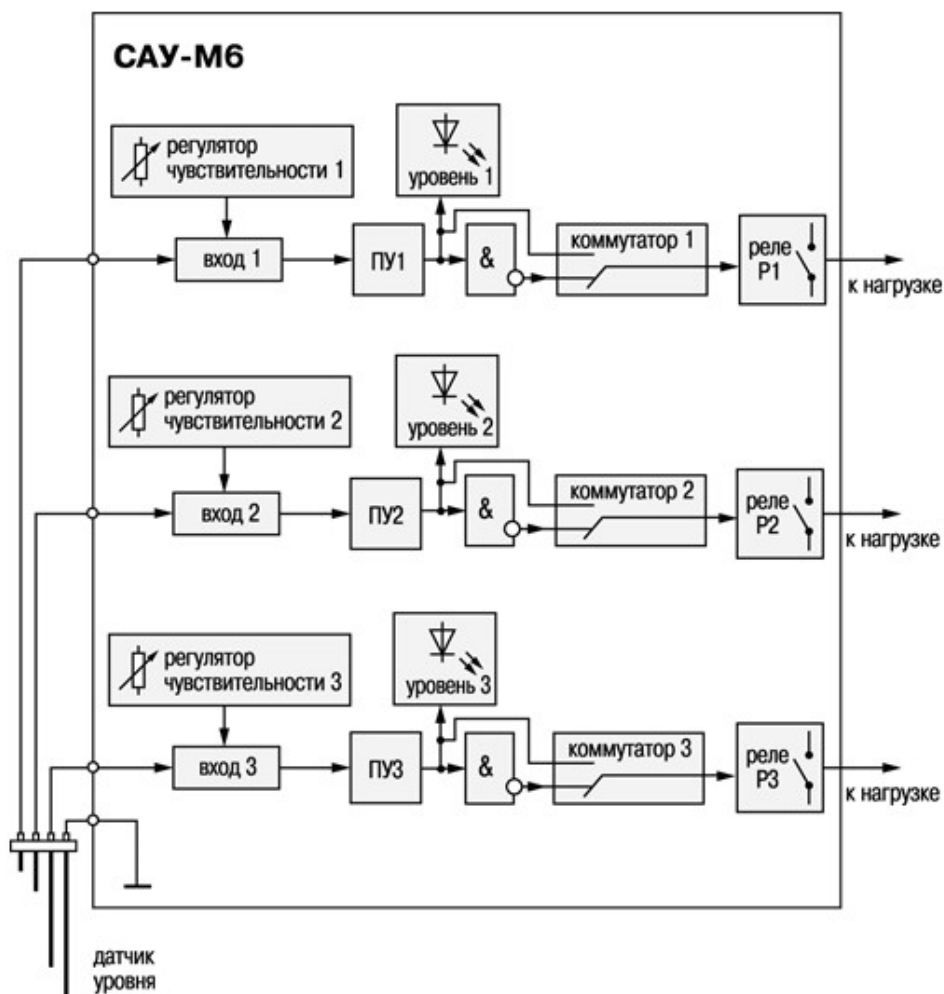
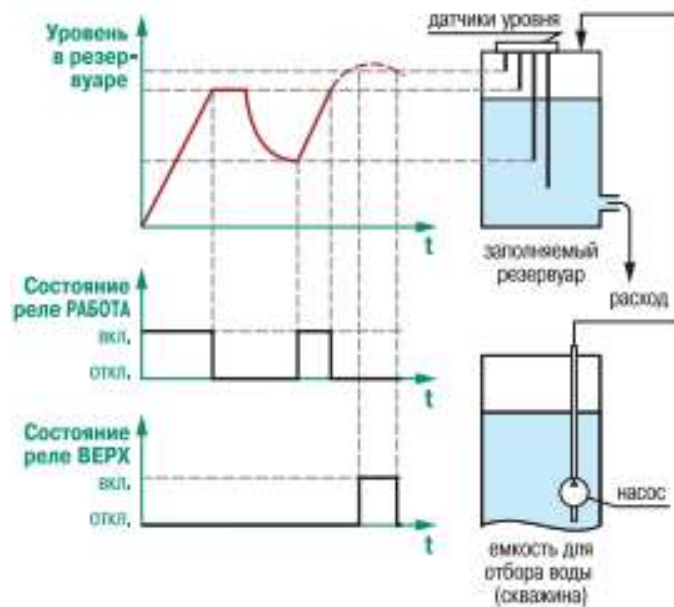
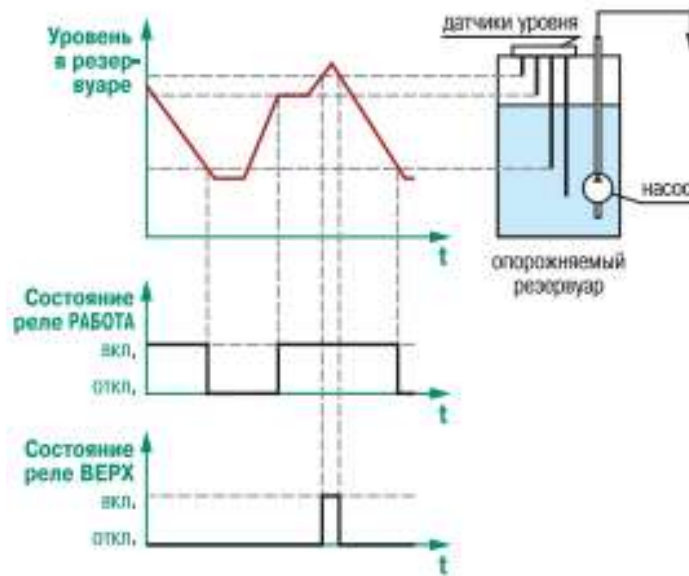


Рисунок 2.10 – Базова функціональна схема логічного пристрою САУ М7Е

Часові діаграми роботи вихідного логічного блоку мікроконтролерного пристрою ОВЕН САУ М7Е в режимах заповнення та опорожнення резервуару наведено на рисунку 2.11.



а) режим наповнення



б) режим опорожнення

Рисунок 2.11 – Часові діаграми роботи вихідного логічного блоку мікроконтролерного пристрою ОВЕН САУ М7Е

Отже, аналіз основних функціонально-технічних характеристик

промислового логічного контролера САУ М7Е від фірми-виробника ОВЕН дозволив обґрунтувати необхідність його використання в складі досліджуваної САК рівня води в технологічних резервуарах промислових підприємств.

2.4 Висновки

У заявленому розділі магістерської кваліфікаційної роботи було виконано вирішення дослідницького завдання з ґрунтового вибору аналогових та цифрових засобів побудови комп'ютерно-інтегрованої системи автоматичного контролю рівня води. До основних результатів цього розділу можуть бути віднесені наступні:

- розробка та опис узагальненої архітектури апаратних засобів автоматичного контролю рівня рідини;
- вибір та деталізований опис аналогових компонент САК рівня рідини в технологічних резервуарах промислових підприємств;
- вибір та ґрунтовний аналіз мікропроцесорного блоку збору, обробки та інтерпретації результатів вимірювального контролю рівня води в технологічних резервуарах.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ РІВНЯ РІДИНИ МЕТОДАМИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

3.1 Загальні підходи до моделювання САК рівня води в технологічних резервуарах

Задля підтримки встановленого рівня рідини в технологічному резервуарі в умовах промислових підприємств уздовж сосуду потрібно розмістити лінійку сенсорів, щонайменше два (вгорі та знизу). При цьому, під час спадання рівня рідини в резервуарі та спрацьовуванні сенсора, що встановлений у нижній частині резервуару, логічний мікропроцесорний блок генерує сигнал керування електромагнітним клапаном. Цей клапан, у свою чергу, під час приходу сигналу керування відкриває подачу води з використовуваних в умовах підприємства мереж водопостачання. подача води здійснюється до того часу, поки не досягне встановленої відмітки, що були визначені під час калібрування сенсорного блоку САК. У цей момент мікроконтролерний пристрій припиняє генерування впливу керування на електроклапан, який у свою чергу, закривається.

У загальному випадку логіка побудови математичної моделі системи автоматичного контролю рівня рідини в технологічному резервуарі побудована на принципі декомпозиції. Під час такого підходу узагальнена структурна схема досліджуваної САК, яка була розроблена в п. 2.1 «Узагальнена архітектура апаратних засобів автоматичного контролю рівня рідини», розбивається на блоки в залежності від покладених на них базових функцій, а саме: імітаційна модель динаміки рідини в резервуарі, блок мікроконтролеру на базі нечіткої логіки, модель електромагнітного клапана, модель технологічного резервуару. В загальному випадку функціональна схема САК, що моделюється

із використанням вищеописаного підходу, наведена у вигляді структури на рисунку 3.1.

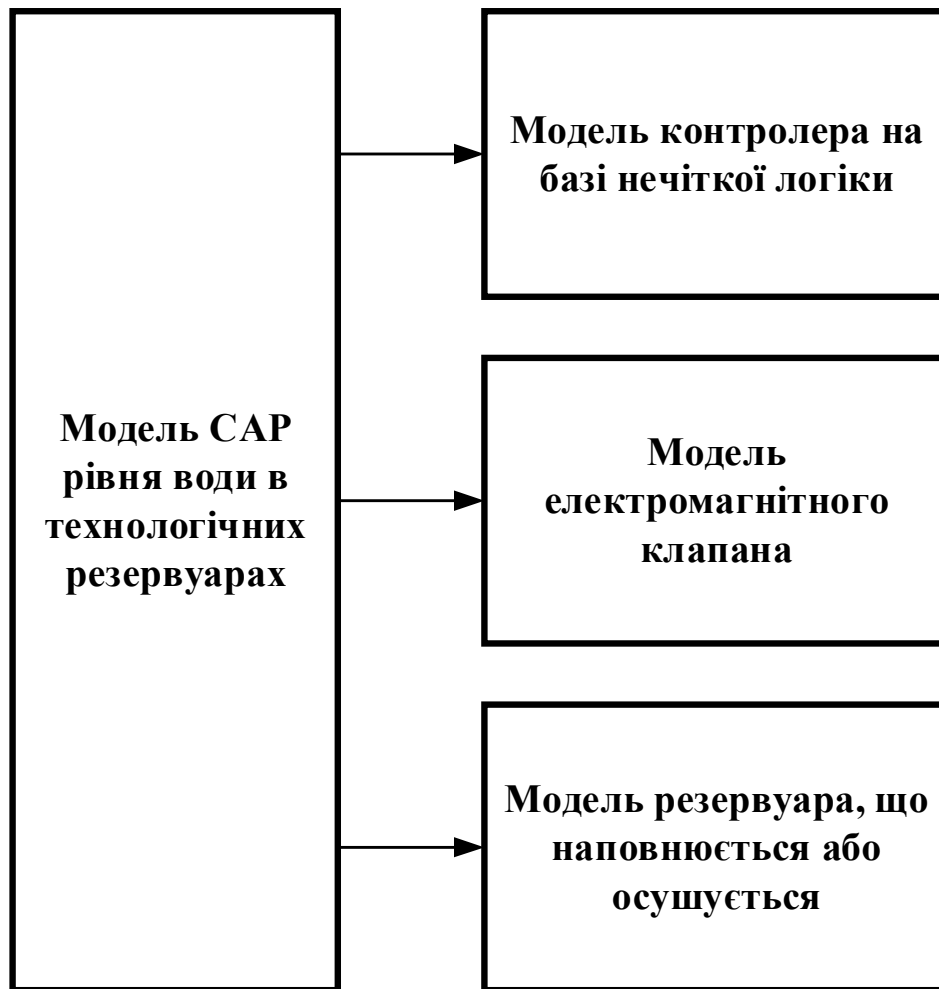


Рисунок 3.1 – Структурна схема побудови математичної моделі САК рівня води в технологічних резервуарах

У загальному випадку основою математичної моделі технологічного резервуара, до якого надходить і з якого витікає рідина, є наступне диференціальне рівняння [20]:

$$T_{\text{об}} \frac{dX}{d\tau} + Y_1 = X_1 + X_{\text{вх}}.$$

Математична модель сенсора рівня поплавкового типу описується може

бути представлена в наступному вигляді [20]:

$$Y_1 = K_{yp} \cdot X.$$

Математична модель процесу регулювання рівня описується наступною функціональною залежністю [20]:

$$X_2 = K_p \cdot Y_1 + \frac{1}{T_n} \int_0^1 Y_1 \cdot d\tau.$$

Математичний опис виконавчого органу може бути представлений наступною функціональною залежністю [20]:

$$T_{ny} \frac{dX_1}{d\tau} + X_1 = K_{ny} X_2.$$

У вищенаведених функціональних залежностях введено наступні умовні позначення: X – вихідна змінна (рівень рідини в резервуарі); $X_{вх.}$ – вхідна змінна (потік від джерела водопостачання); $T_{об.}$, T_{ny} , T_n – постійні часу відповідних структурних блоків САР; $K_{yp.}$, K_{ny} , K_p – коефіцієнти пропорційності рівнеміра, виконавчого пристрою та регулятора; X_1 , X_2 , Y – проміжні розрахункові параметри.

Таким чином, наведена на рисунку 3.1 структурна схема та вищенаведені функціональні математичні залежності, в сукупності з лінгвістичним формулюванням базових принципів щодо побудови математичної моделі системи автоматичного регулювання рівня рідини в технологічних резервуарах промислових підприємств є логічною та математичною основою задля розробки та дослідження імітаційної комп'ютерної моделі САК рівня води, що

дозволить обґрунтувати сукупність вимог до етапів проєктування даної системи промислової автоматики.

3.2 Алгоритм дослідження САК рівня води методами імітаційного комп'ютерного моделювання

Під час розробки та дослідження математичної моделі системи автоматичного контролю рівня рідини в технологічних резервуарах виникає завдання побудови алгоритму випробувань розроблюваної САР методами імітаційного комп'ютерного моделювання з використанням спеціалізованого програмного забезпечення.

Таким чином, запропонований алгоритм моделювання досліджуваної САР полягає в наступному:

1. Визначення фізичних параметрів, що впливають на вимірювальний контроль рівня води в резервуарі.
2. Фазифікація вхідних змінних, що відповідають виміряним даним фізичних величин, що контролюються за допомогою засобів вимірювальної техніки.
3. Фазифікація вихідної змінної, що відповідає поточному рівню води в резервуарі.
4. Встановлення відповідності між вхідними параметрами та вихідною функцією САР.
5. Синтез імітаційної комп'ютерної моделі САР рівня води в ППП Simulink.
6. Створення та завантаження бази правил до блоку нечіткого контролера комп'ютерної моделі САР.
7. Отримання характеристик і залежностей, що описують принцип функціонування САР.
8. Аналіз чисельних і якісних даних результатів моделювання та формулювання рекомендацій із подальших етапів розробки та проєктування

системи.

Отже, розроблена блок-схема алгоритму імітаційних комп'ютерних випробувань САР рівня води в технологічному резервуарі має вигляд, як показано на рисунку 3.2.

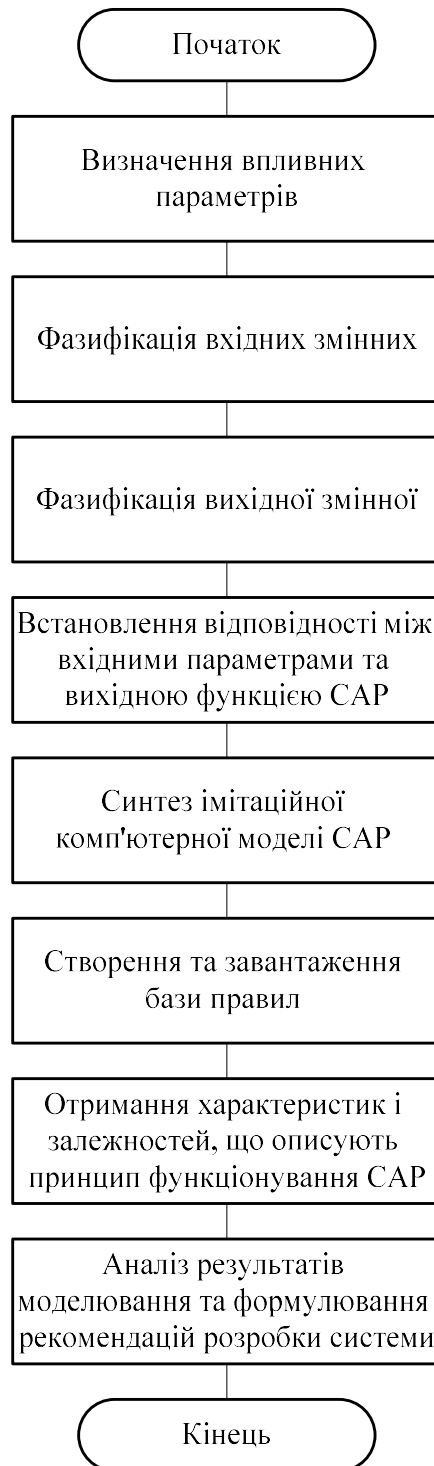


Рисунок 3.2 – Блок-схема алгоритму імітаційних комп'ютерних випробувань САР рівня води в технологічному резервуарі

Таким чином, блок-схема, яку наведено на рисунку 3.2, буде використана в якості алгоритмічної бази під час досліджень розроблюваної системи автоматичного контролю рівня води в технологічних резервуарах промислових підприємств.

3.3 Розробка та дослідження імітаційної комп'ютерної моделі САК рівня води

Базову графічну ілюстрацію принципу регулювання рівня води в технологічному резервуарі наведено на рисунку 3.3.

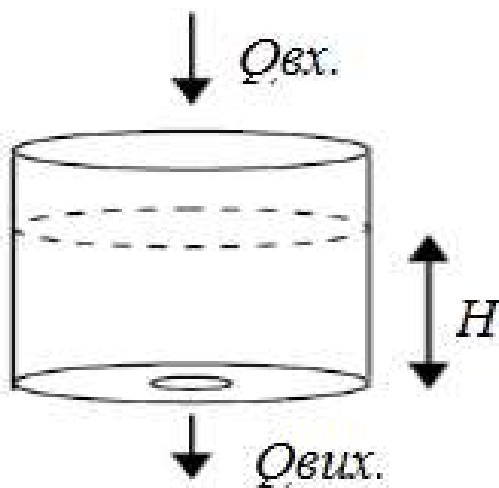


Рисунок 3.3 – Графічна ілюстрація принципу регулювання рівня води в технологічному резервуарі

Розроблена на базі досліджень, які було отримано в п. 3.1 «Загальні підходи до моделювання САК рівня води в технологічних резервуарах» і п. 3.2 «Алгоритм дослідження САК рівня води методами імітаційного комп'ютерного моделювання», з обліком основних параметрів апаратно-програмних компонент САК, які детально описано в другому розділі магістерської роботи, а також із використанням базової моделі [21], було

синтезовано імітаційну комп'ютерну модель досліджуваної САР в ППП Simulink, як показано на рисунку 3.4.

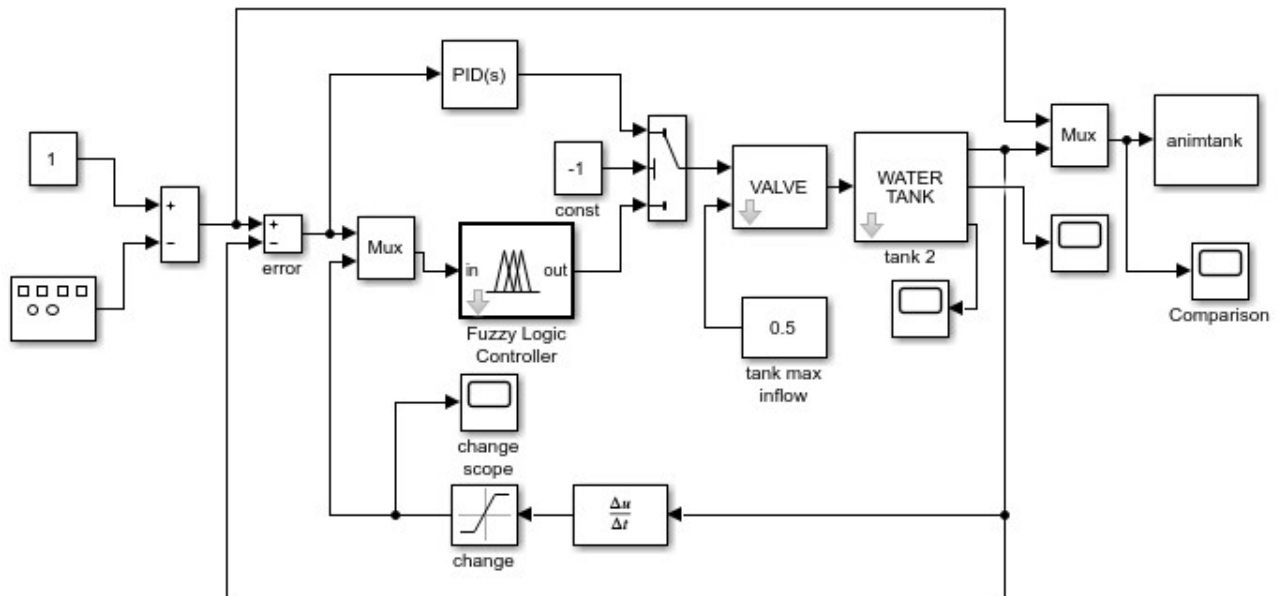


Рисунок 3.4 – Імітаційна комп'ютерна модель досліджуваної САР рівня води в ППП Simulink

Основними вхідними параметрами цієї системи є поточний рівень та швидкість надходження або відтоку води з технологічного резервуару. Ці змінні було фазифіковано Гауссівськими функціями, як показано на рисунках 3.5 і 3.6.

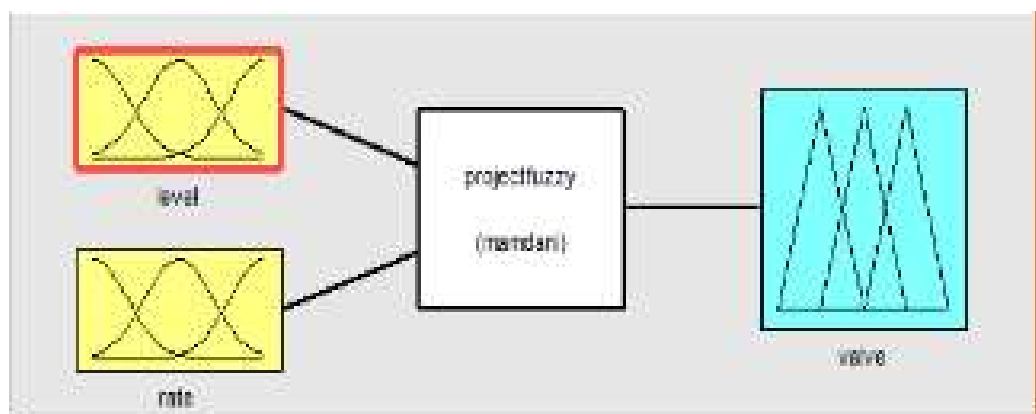
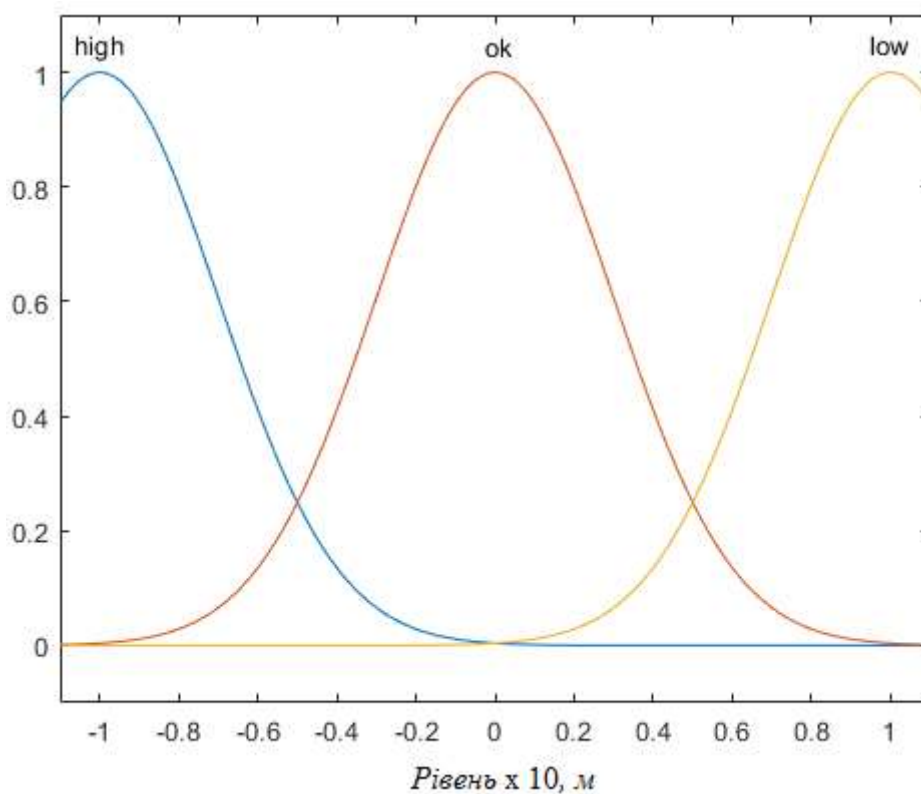
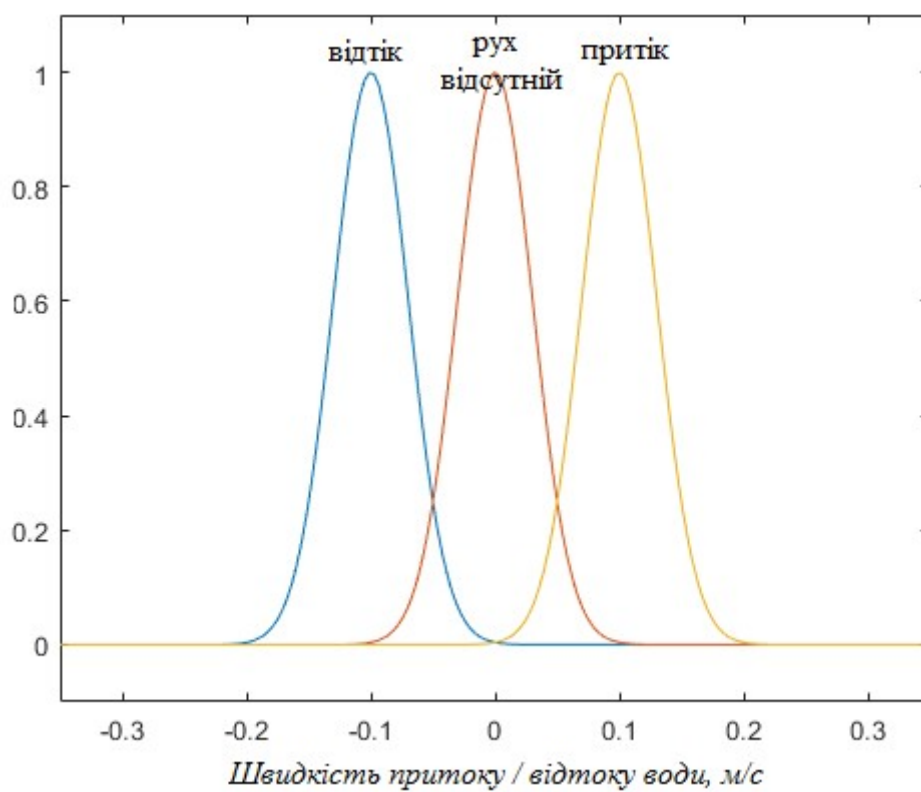


Рисунок 3.5 – Загальний вигляд вікна редагування під час фазифікації параметрів САК



а) Поточний рівень води



б) Швидкість притоку / відтоку води

Рисунок 3.6 – Графічна інтерпретація процедури фазифікації вхідних змінних САК

В якості вихідної змінної, тобто параметра який регулюється, виступає кут повороту електромагнітного клапана блоку регулювання подачі води. Графічну інтерпретацію процедури фазифікації вихідної змінної системи наведено на рисунку 3.7, а лінгвістичний вигляд баз правил зображений на рисунку 3.8 [21].

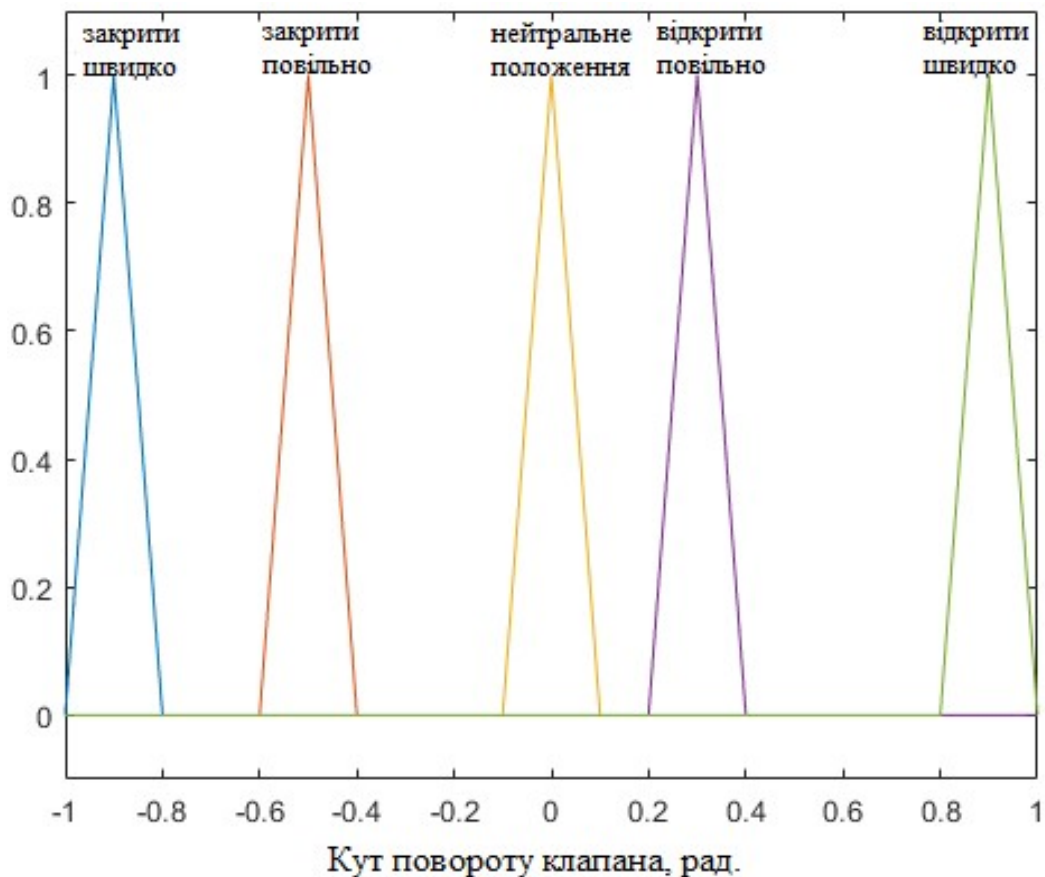


Рисунок 3.7 – Графічна інтерпретація процедури фазифікації вихідної змінної системи

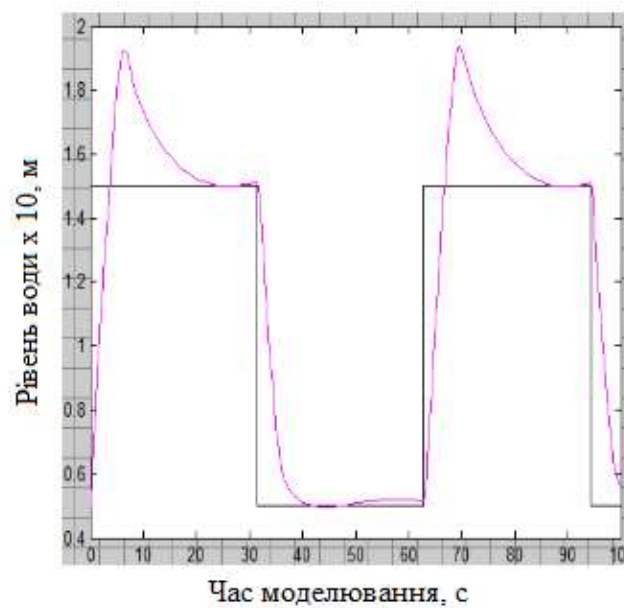
```

1  "level==okay => valve=no_change (1)"
2  "level==low => valve=open_fast (1)"
3  "level==high => valve=close_fast (1)"
4  "level==okay & rate==positive => valve=close_slow (1)"
5  "level==okay & rate==negative => valve=open_slow (1)"

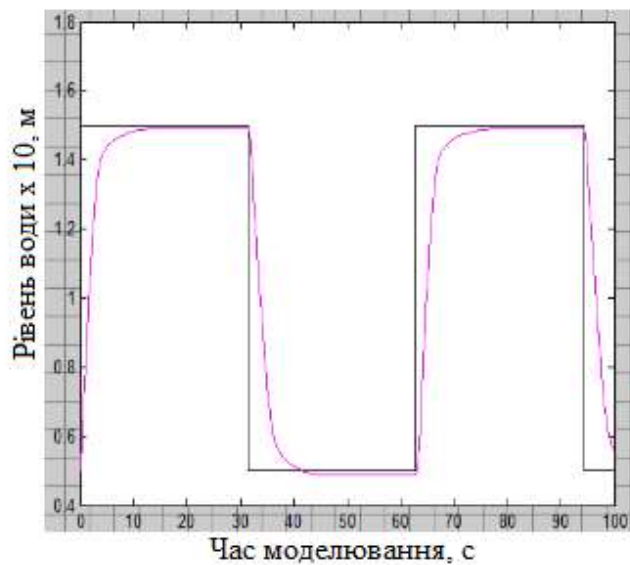
```

Рисунок 3.8 – Лінгвістичний вигляд баз правил, що описує логіку роботи САК рівня води в резервуарі

На підставі отриманих результатів реалізації попередніх етапів розробки комп'ютерної імітаційної моделі системи автоматичного контролю рівня води в технологічних резервуарах промислових підприємств, які наведено на рисунках 3.4 – 3.8, було встановлено реакцію системи на режими перемикання сигналів керування електромагнітним клапаном САК [22], як показано на рисунку 3.9.



а) Неввічливості одним правилом із сукупності



б) Облік усіх правил сукупності

Рисунок 3.9 – Результати моделювання САК рівня води в технологічних резервуарах промислових підприємств

Отже, на підставі аналізу отриманих результатів розробки та тестування комп'ютерної імітаційної моделі САР рівня води в технологічних резервуарах можна зробити висновок про оптимальність розробленої бази правил керування та доцільності подальшого використання підходів на базі нечіткої логіки під час проектування досліджуваної системи автоматизації.

3.4 Висновки

У даному розділі магістерської роботи було вирішено поставлене дослідницьке завдання щодо дослідження комп'ютерно-інтегрованої системи автоматичного контролю рівня рідини методами комп'ютерного моделювання. Основними результатами цього розділу стали:

- обґрунтування загальних підходів до моделювання САК рівня води в технологічних резервуарах;
- розробка алгоритму дослідження САР рівня води методами імітаційного комп'ютерного моделювання;
- розробка та дослідження із подальшим критичним аналізом імітаційної комп'ютерної моделі САР рівня води.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛУ БЕЗДРОТОВОГО ОБМІНУ ІНФОРМАЦІЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ РІВНЯ РІДИНИ МЕТОДАМИ КОМП'ЮТЕРНОГО ТЕСТУВАННЯ

4.1 Загальна модель бездротового обміну інформації САК контролю рівня рідини

У теперішній час невід'ємною складовою автоматизованих комплексів керування технологічними процесами промислових підприємств є бездротові мережі сенсорів.

Комплексна автоматизація технологічних об'єктів різних видів промисловості, що використовують накопичувальні резервуари з водою, повинна враховувати інтегральний характер та забезпечувати централізований моніторинг, контроль і керування технологічними параметрами і характеристиками виробництва. Також варто враховувати той факт, що процес керування виробничим процесом може мати як одно-, так і багатоступеневу структуру. Тип структури залежить від прийнятої схеми агрегації інформації.

Одноступінчата структура реалізує функції контролю і керування рівнем рідини в резервуарі, а технологічну операцію збору інформації виконує центральний диспетчерський пункт комплексу автоматизації підприємства.

Під час реалізації двоступеневої структури керування основними параметрами системи подачі та відведення води з резервуару здійснюється також в центральному пункті диспетчеризації, а другорядними із використанням щита оператора об'єкта.

Більшість комплексів автоматизації технологічних процесів широкого спектру промислових підприємств передбачають використання пристроїв і систем автоматики на основі розподілених мереж промислових логічних

контролерів або портативних мікропроцесорних пристроїв, що функціонують у режимі реального часу.

Підвищення ефективності функціонування типових структур САК можна досягти за рахунок використання сучасних пристроїв агрегації, опрацювання, передачі й архівування інформації, обчислювальної техніки, спеціалізованого програмного забезпечення, хмарних технологій, уніфікованих баз даних та інше.

Отже, сучасна система автоматичного контролю і керування рівнем води в технологічних резервуарах промислових підприємств має реалізовувати наступні задачі:

- локальний і віддалений контроль над інформативними параметрами і дестабілізуючими факторами процесу подачі / відкачування води з технологічного резервуару;
- віддалене адаптивне керування привідними механізмами технологічного обладнання;
- забезпечення інформаційного взаємозв'язку між центральним диспетчерським пунктом, адміністративним персоналом та безпосередніми локаціями зняття даних.
- генерування інформаційних повідомлень щодо оптимізації режимів функціонування технологічного обладнання на базі інтелектуального аналізу результатів вимірювань.

Під час вирішення наведених вище задач основну роль при побудові промислових САК відіграють завдання надійного обміну вимірювальною інформацією. Отже, до складу розроблюваної системи автоматичного контролю рівня води в технологічних резервуарах обов'язково має входити бездротова мережа сенсорів.

Бездротова сенсорна мережу (БСМ або WSN) – це розподілена мережа сукупності сенсорів та виконавчих пристроїв, що самоорганізуються, які об'єднані між собою засобами радіоканалів. Зона, яку здатна покрити типова конфігурація мережі бездротових сенсорів, може становити від одиниць метрів

до декількох кілометрів, що обумовлено кількістю засобів ретрансляції сигналу та протоколами, які використовуються для обміну інформацією, а також умовами в яких експлуатуються певні комплекси автоматизації виробничих процесів.

Типову структурну схему бездротової мережі сенсорів наведено на рисунку 4.1.

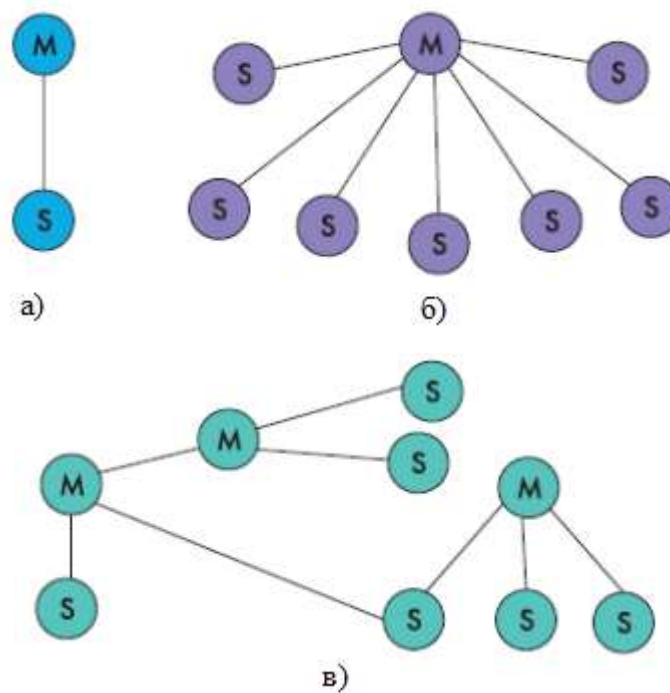


Рисунок 4.1 – Типові конфігурації бездротових сенсорних мереж
(а – з одним підпорядкованим пристроєм, б – з декількома підпорядкованими пристроями, в – розподілена мережа, М – базовий пристрій мережі, S – підпорядкований пристрій мережі)

Популярність такого підходу до обміну вимірювальною інформацією в умовах промислових підприємств обумовлена наявністю у більшості використовуваних радіомодулів функціоналу перемикання між декількома рівнями споживаної потужності під час роботи в режимі приймання або передачі. Цей факт дозволяє оптимізувати показники енергоефективності технологічного процесу. При цьому, чим більшою є потужність модулів, тим відповідно вище струм і радіус дії.

4.2 Реалізація підсистеми бездротового обміну інформації САК контролю рівня рідини

У теперішній час широкого розповсюдження набули багато промислових протоколів і технологій бездротового обміну інформацією задля оперативного отримання вимірювальної інформації щодо параметрів і характеристик обладнання та процесів.

Однією з найбільш використовуваних у теперішній час технологій, яка характеризується оптимальними параметрами енергоефективності, радіусу дії та завадостійкості є ZigBee. Зовнішній вигляд типових серійних модулів на базі цієї технології наведено на рисунку 4.2 [23].



Рисунок 4.2 – Зовнішній вигляд типових серійних модулів на базі технології ZigBee

У результаті проведених досліджень цього розділу було розроблено програмні компоненти для ZigBee-передача та ZigBee-приймача на мові програмування C. Скетчі відповідних програмних компонент наведено на рисунку 4.3.

```
const int potPin = A0;
int value ;
void setup() {
    Serial.begin(9600);
}
void loop() {
    value = analogRead(A0);
    value = map (value, 0, 1023, 0, 255);
    Serial.print('<');
    Serial.print(value);
    Serial.println('>');
}
```

а) передавач

```
bool started= false;
bool ended  = false;
char incomingByte ;
char msg[3];
byte index;
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(ledPin, OUTPUT);
}
void loop() {
    while (Serial.available()>0){
        incomingByte = Serial.read();
        if(incomingByte == '<')
        {
            started = true;
            index = 0;
            msg[index] = '\0'; }
        else if(incomingByte == '>')
        {
            ended = true;
            break;}
        else
        {
            if(index < 4)
            { msg[index] = incomingByte;
              index++;
              msg[index] = '\0'; |      }
        }
    }
    if(started && ended)
    { int value = atoi(msg);
      analogWrite(ledPin, value);
      index = 0;
      msg[index] = '\0';
      started = false;
      ended = false;
    }
}
```

б) приймач

Рисунок 4.3 – Програмна компонента САК рівня води, що реалізує бездротовий обмін інформацією

Шляхом компіляції відповідного програмного коду було встановлено його придатність до використання в складі системи автоматичного контролю рівня води в технологічних резервуарах.

4.3 Висновки

У даному розділі магістерської роботи було вирішено поставлене дослідницьке завдання щодо розробки функціоналу бездротового обміну інформації системи автоматичного контролю рівня рідини методами комп'ютерного моделювання. Основними науково-практичними результатами цього розділу стали:

- обґрунтування загальної моделі бездротового обміну інформації САК контролю рівня рідини;
- реалізація підсистеми бездротового обміну інформації САК контролю рівня рідини.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

У результаті виконання досліджень магістерської кваліфікаційної роботи на тему «Розробка та дослідження комп'ютерно-інтегрованої технології автоматичного контролю рівня води в технологічних резервуарах» було вирішено актуальне науково-практичне завдання підвищення ефективності та технічного переоснащення промислових підприємств. Основні науково-практичні результати полягають в такому:

1. У першому розділі магістерської роботи «Аналіз відомих результатів наукових досліджень і інженерно-практичних рішень із реалізації систем автоматичного керування рівнем води» було проведено бібліографічні дослідження на предмет сучасного доробку в галузі розробки та реалізації систем автоматичного контролю рівня води в технологічних резервуарах промислових підприємств. Основними результатами цього розділу є:

- огляд і критичний аналіз поточного стану питання розробки комп'ютерно-інтегрованих САК рівнем води;
- якісний і кількісний аналіз існуючих алгоритмів нечіткого керування рівнем води в технологічних резервуарах;
- критичний аналіз відомих результатів наукових досліджень із розробки комп'ютерно-інтегрованих САК рівня води;
- аналіз функціональних характеристик прототипу комп'ютерно-інтегрованої САК рівня води в технологічних резервуарах.

2. У другому розділі магістерської кваліфікаційної роботи було виконано вирішення дослідницького завдання з ґрунтового вибору аналогових та цифрових засобів побудови комп'ютерно-інтегрованої системи автоматичного контролю рівня. До основних результатів цього розділу можуть бути віднесені наступні:

- розробка та опис узагальненої архітектури апаратних засобів автоматичного контролю рівня рідини;

- вибір та деталізований опис аналогових компонент САК рівня рідини в технологічних резервуарах промислових підприємств;
- вибір та ґрунтовний аналіз мікропроцесорного блоку збору, обробки та інтерпретації результатів вимірювального контролю рівня води в технологічних резервуарах.

3. У третьому розділі магістерської роботи було вирішено поставлене дослідницьке завдання щодо дослідження комп'ютерно-інтегрованої системи автоматичного контролю рівня рідини методами комп'ютерного моделювання. Основними результатами цього розділу стали:

- обґрунтування загальних підходів до моделювання САК рівня води в технологічних резервуарах;
- розробка алгоритму дослідження САК рівня води методами імітаційного комп'ютерного моделювання;
- розробка та дослідження із подальшим критичним аналізом імітаційної комп'ютерної моделі САК рівня води.

4. У четвертому розділі магістерської роботи було вирішено поставлене дослідницьке завдання щодо розробки функціоналу бездротового обміну інформації системи автоматичного контролю рівня рідини методами комп'ютерного моделювання. Основними науково-практичними результатами цього розділу стали:

- обґрунтування загальної моделі бездротового обміну інформації САК контролю рівня рідини;
- реалізація підсистеми бездротового обміну інформації САК контролю рівня рідини.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Safarzadeh O., Kahki Sedigh A., Shirani A. Identification and robust water level control of horizontal steam generators using quantitative feedback theory. Energy conversion and Management. 2011. Vol. 52. PP.3103 – 3111.
2. Tan W. Water level control for a nuclear steam generator. Nuclear Engineering and Design. 2011 .Vol.241. PP. 1873 – 1880.
3. Moradi H., Avvaland M., Nejad F. Sliding mode control of drum water level in an industrial boiler unit with time-varying parameters: A comparison with H_{∞} robust control approach. Journal of Process Control. 2012.Vol. 22. PP. 1844 – 1855.
4. Science Direct. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0967066197000075> (дата звернення 17.09.2021).
5. IAEA. Performance assessment for the water level control system in steam generator of the nuclear power plant. URL: https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:43124941 (дата звернення 25.09.2021).
6. Zhang G., Yang X., Ye X., Xu H., Lu D., Chen W. Research on pressurized water level control of PWR nuclear power station. Energy Procedia. 2021. Vol. 16. PP. 849 – 855.
7. Sage Journal. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0142331214534292> (дата звернення 25.09.2021).
8. Liu C., Zhao F., Hu P., Hou S., Li C. P-controller with partial feed forward compensation and decoupling-control for the steam generator water level. 2010. Nuclear Eng. & Design. Vol. 240. PP.181 – 190.
9. Springer. Mathematical Principles of Fuzzy Logic. URL: <https://www.springer.com/gp/book/9780792385950> (дата звернення 25.10.2021).
10. ETDE WEB. Application of self-organizing fuzzy logic controller to nuclear steam generator level control. URL: <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20833048> (дата звернення 27.10.2021).

11. Semantic Scholar. Water Level Control by Fuzzy Logic and Neural Networks. URL: [semanticscholar.org/paper/Water-Level-Control-by-Fuzzy-Logic-and-Neural-Wu-Karray/deaf32ff2aad8ffba8fb82b471f3a960513b94e2](https://www.semanticscholar.org/paper/Water-Level-Control-by-Fuzzy-Logic-and-Neural-Wu-Karray/deaf32ff2aad8ffba8fb82b471f3a960513b94e2) (дата звернення 29.10.2021).

12. Glazina V., Saric T., Lujic R. Application of Fuzzy Logic in Boiler Control. Technical Gazette. 2008. Vol. 15. PP. 15 – 21.

13. Taoyan Z., Ping L., Jiangtao L. Study of Interval Type-2 Fuzzy Controller for Twin-tank Water Level System. 2012. Vol. 20. PP. 1102 – 1106.

14. Shome A., Ashok D. Fuzzy Logic Approach for Boiler Temperature and Water Level Control. Int. J. of Scientific and Engineering Research. 2012. Vol. 3. PP. 1 – 6.

15. NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ROURKELA. DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING. DESIGN OF WATER LEVEL CONTROLLER USING FUZZY LOGIC SYSTEM. URL: <http://ethesis.nitrkl.ac.in/4833/1/109ME0422.pdf> (дата звернення 09.11.2021).

16. Датчики уровня ОБЕН. URL: <https://owen.ua/ru/news/datchiki-urovnja-owen> (дата звернення 10.11.2021).

17. СВ Альтера. Преобразователь аналогового сигнала. URL: <https://www.svaltera.ua/catalog/784/8440.php> (дата звернення 14.11.2021).

18. WATTON. Клапан електромагнітний. URL: <https://watton.ua/ru/ceme-5510.html> (дата звернення 16.11.2021).

19. СВ Альтера. Сигнализатор уровня жидких и сыпучих сред с дистанционным управлением ОБЕН САУ М7Е. URL: https://www.svaltera.ua/upload/iblock/4ae/sau-m7e_cat.pdf (дата звернення 22.11.2021).

20. Автоматическое регулирование технологических процессов: Метод, указания к лабораторным. работам. Ч.1 / НГТУ; Сост.: В.А. Ульянов, В.Н. Гушин, С.А. Балан, В.Е. Шигин. Н. Новгород, 2012. – 35 с.

21. MathWorks. Help Center. Water Level Control in a Tank. URL: <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/water-level-control-in-a-tank.html> (дата звернення 27.11.2021).

22. Research Gate. URL: https://www.researchgate.net/publication/272790461_Simulated_Design_of_Water_Level_Control_System (дата звернення 02.12.2021).

23. Мир микроконтроллеров. Подключение модуля XBee к Arduino. URL: <https://microkontroller.ru/arduino-projects/podklyuchenie-modulya-xbee-k-arduino-uno/> (дата звернення 06.12.2021).

ДОДАТОК А – ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ПРИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ НА ПІДПРИЄМСТВІ

А.1 Характеристика умов праці науково-дослідного відділу підприємства

Робочим приміщенням, у якому розташовано науково-дослідний відділ, є кімната розмірами 7 метрів на 4,5 метрів. У приміщенні розташовані 8 комп'ютерів потужністю 0,6 кВт/год., 8 моніторів потужністю 0,15 кВт/год., 2 ноутбуки потужністю 0,08 кВт/год., 1 принтер потужністю 0,5 кВт/год., генератор сигналів потужністю 0,08 кВт/год., осцилограф потужністю 0,07 кВт/год., паяльна станція потужністю 0,65 кВт/год., 5 лабораторних блоків живлення потужністю 0,45 кВт/год., 1 кондиціонер потужністю 4,5 кВт/год.

Приміщення знаходиться на 3-ому поверсі адміністративного будинку цегельної будівлі та за своїх характеристикам цілком відповідає вимогам СІ І і П 2.09.04 – 87 «Адміністративні і побутові будинки виробничих підприємств», а також СП 512 – 78 «Інструкція з проектування будинків і приміщень ЕОМ».

Основними шкідливими факторами, зв'язаними з роботою на ПК є:

- напруга зорових органів та пов'язане з цим стомлення, захворювання і побічні ефекти;
- значне навантаження на пальці та кисті рук, що при відсутності профілактики та медичного контролю можуть викликати професійні захворювання;
- тривале перебування в одній і тій самій позі, що викликає застійні явища в організмі, та може сприяти різним захворюванням;
- випромінювання різного виду при використанні відеомоніторів на електронно-променевих грубках (м'яке рентгенівське випромінювання, ультрафіолетове випромінювання, видиме випромінювання, інфрачервоне випромінювання, низько і високочастотне електромагнітне випромінювання, електростатичні полюси);

- механічні шуми, що пов'язані з роботою електронно-механічного друкуючої пристрою (принтера), вентиляторів системи охолодження, приводів читання CD-дисків та вібрація; іонізація повітря;

- наявність шкідливих хімічних речовин.

Дослідження науково-дослідного інституту гігієни праці і профзахворювань вказали на зміни у функціональному стані зорового аналізатора в ході виробничої діяльності фахівців, що працюють з відеотерміналами, наприкінці 4 години роботи.

Професійні захворювання при роботі з персональним комп'ютером:

- комп'ютерний зоровий синдром. Вплив роботи з монітором зазвичай залежить від віку користувача, від стану зору, а також від інтенсивності роботи з дисплеєм та організації робочого місця. В результаті тривалої роботи дуже великий ризик появи, або прогресивності вже наявної, короткозорості.

- проблеми, що пов'язані з м'язами і суглобами. Нерухома напружена поза оператора, протягом тривалого часу прикутого до екрану монітора, призводить до втоми і виникнення болю в хребті, шийі, плечових суглобах, а також розвивається м'язова слабкість і відбувається зміна форми хребта. Інтенсивна робота з клавіатурою викликає больові відчуття в ліктьових суглобах, передпліччях, зап'ястях, в кистях і пальцях рук. Зазвичай присутні скарги на оніміння шийі, біль у плечах і попереку або поколювання в ногах. Але бувають, проте, і більш серйозні захворювання. Найбільш поширений кистьовий тунельний синдром, при якому нерви руки пошкоджуються внаслідок частої і тривалої роботи на комп'ютері. У найбільш важкій формі цей синдром проявляється у вигляді болісних відчуттів, що позбавляють людину працездатності.

- синдром комп'ютерного стресу. Постійні користувачі ПК зазвичай піддаються психологічним стресам, функціональних порушень центральної нервової системи, хвороб серцево-судинної системи.

- вплив на імунну систему. При впливі електро-магнітного випромінювання (ЕМВ) порушуються процеси імуногенезу, опромінених ЕМВ,

змінюється характер інфекційного процесу – протягом інфекційного процесу обтяжується. ЕМВ можуть сприяти неспецифічному пригніченню імуногенезу, посилення утворення антитіл до тканин плоду і стимуляції аутоімунної реакції в організмі вагітної самки.

– вплив на ендокринну систему і нейрогуморальну реакцію. При дії ЕМВ, як правило, відбувається стимуляція гіпофізарно-адреналінової системи, що супроводжується збільшенням вмісту адреналіну в крові, активацією процесів згортання крові.

– вплив на статеву функцію. Порушення статевої функції зазвичай пов'язані зі зміною її регуляції з боку нервової та нейроендокринної систем.

Симптоми захворювання різноманітні і численні. Зазвичай, на-відмінність єдиного симптому малоймовірно, оскільки всі функціональні органи людини взаємопов'язані.

1. Фізичні нездужання: сонливість, непроходяча втома; головний біль після роботи; болі в нижній частині спини, в ногах, відчуття поколювання, оніміння, болі в руках; напруженість м'язів верхньої частини тулуба.

2. Захворювання очей: відчуття гострого болю, печіння, свербіння.

3. Порушення візуального сприйняття: неясність зору, яка збільшується протягом дня; виникнення подвійного зору.

4. Погіршення зосередженості і працездатності: зосередженість досягається за працею; дратівливість під час і після роботи; повітря робочої точки на екрані; помилки при друкуванні.

А.2 Заходи щодо поліпшення умов праці

До приміщення науково-дослідного відділу й організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення в якому знаходиться робоче місце з ПК повинно мати природне освітлення, бажано з одnobічним розміщенням світопрорізів, площа осклянілості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни

світопрорізами. Віконні прорізи в приміщенні з ПК повинні мати регульовані жалюзі чи занавеси або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць із ПК у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з ПК рекомендується розміщати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з ПК повинна складати 6 м^2 , об'єм – 20 м^3 . Неприпустиме розташування ПК, при якому працюючий звернений обличчям, або спиною до вікон чи кімнати задньої частини ПК, у яку монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень із ПК полімерні матеріали (дерев'яностружечні плити, шпалери що миються, плівкові та рулоні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені в «Перелік дозволених, МЗ» 1977-1985 р.

В лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з ПК розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами складає 3 м. Екрани відеомоніторів ПК знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення ($S=21 \text{ м}^2$, $V=73,5 \text{ м}^3$) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78 та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 метрів від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050x590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650, глибина 550, ширина 450 міліметрів відповідно. Робочий стілець оснащений підйомно-поворотнім пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння і спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

Мікроклімат робочого місця. У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентильовання. Витрату повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаємо за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)}, \quad (\text{A.1})$$

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.; c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг); p – обсягова вага повітря (1,226 кг/м³); t_B – температура витяжного повітря (30°C); t_H – температура приточного повітря (20°C).

Розрахуємо надлишкове надходження тепла за наступною формулою:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}}, \quad (\text{A.2})$$

де $Q_{\text{УСТ}}$ – виділення тепла від устаткування; $Q_{\text{ПЕР}}$ – виділення тепла робітниками; $Q_{\text{ОСВ}}$ – надходження тепла від електричного освітлення; $Q_{\text{СР}}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначимо виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{УСТ}} = P \cdot K_a \cdot K_{\sigma} \cdot 860, \quad (\text{A.3})$$

P – сумарна потужність устаткування, кВт/год; K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95); K_{σ} – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{\text{УСТ}} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_{\sigma} \cdot 860 = \\ &= [8 \cdot 0,6 + 8 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,08 + 1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,08 + 1 \cdot 0,07 + 1 \cdot 0,65 + 5 \cdot 0,45 + \\ &+ 1 \cdot 4,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 13037 \text{ ккал/год.} \end{aligned}$$

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою наступної формули:

$$Q_{\text{ПЕР}} = 5 \cdot g = 2 \cdot 100 = 500 \text{ ккал/год}, \quad (\text{A.4})$$

де n – кількість працюючих; g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.).

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{\text{ОСВ}} = E_M \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 31,5 = 473 \text{ ккал/год}, \quad (\text{A.5})$$

де E_M – нормована освітленість для цієї зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк; g_1 – питоме тепловиділення на 1 м² підлоги при 1 лк освітленості (для / люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.) S – площа приміщення, м².

Визначимо надходження тепла від сонячної радіації через вікна за наступною формулою:

$$Q_{\text{СР}} = F \cdot g_2 \cdot K_{\text{ОСЛ}} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год}, \quad (\text{A.6})$$

де F – площа віконних прорізів (3x2,5=7,5 м²); g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м² віконного прорізу (65 ккал/год.); $K_{\text{ОСЛ}}$ – коефіцієнт ослаблення, приймаємо 0,4.

Визначимо кількість надлишкового тепла:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}} = 13037 + 500 + 473 + 195 = 14205 \text{ ккал/год}.$$

Визначимо витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)} = \frac{14205}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 4889 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Існуюча в наявності система кондиціонування і вентилявання має продуктивність 2200 куб. м./годину, що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати (22 – 24) градуса за Цельсієм, 0,1 метра в секунду та 40-60 % відповідно. При збереженні всім параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати (23 – 25) градусів Цельсія, рухливість повітря (0,1 – 0,2) метрів секунду, вологість (40 – 60) %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія при збереженні всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності. Розміри приміщення: довжина ($a=7$ м), ширина ($b=4,5$ м), висота ($h=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{стелі} = 70 \%$, $P_{стін} = 50 \%$. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, які підвищуються до стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,4$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою

$$h_0 = H - h_c = 3,5 - 0,4 = 3,1 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути у межах (2,5 – 4,0) м, залежно від характеристики світильника. В лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідному

відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,5 - 0,4 = 2,8 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається при відповідному співвідношенні відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,8 = 2,0 \text{ м.}$$

4) Розрахуємо необхідну кількість світильників

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{2^2} = 6.$$

Приймаємо 6 світильників, враховуючи розміри приміщення розміщуємо їх у два ряди по 3 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника ($\Phi_{\text{л}}$) визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк; K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп; S – площа приміщення, що освітлюється, м²; Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15); N – кількість світильників; n – кількість ламп у світильнику; η – коефіцієнт використання світового потоку, який визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стін та стелі.

6) Визначимо показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3,5}{3,5 \cdot (6 + 3,5)} = 2,21.$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 (при $i = 2,5$, $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$)

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 1677 \text{ лм.}$$

9) обираємо лампу Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої становить 2100 лм. Хоча це значення на 18% більше розрахованого, однак не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{св}} = P \cdot N = 150 \cdot 6 = 900 \text{ Вт.}$$

А.3 Пожежна безпека

Найважливішою умовою роботи будь-якого підприємства є дотримання правил пожежної охорони. У приміщенні лабораторії виміральної техніки та науково-дослідному відділу основні міри для забезпечення пожежної безпеки визначає «Інструкція про заходи пожежної безпеки для службових приміщень (офісів)». Вона є обов'язковою для використання всіма співробітниками відділу. У згідності з цією інструкцією, у кожному приміщенні повинний бути

призначений відповідальний за пожежну безпеку, вивішена на видному місці табличка з указівкою його посади та прізвища.

Меблі й устаткування повинні розміщатися таким чином, щоб забезпечувався вільний евакуаційний прохід до дверей виходу з приміщення (шириною не менше 1 м). Евакуаційні шляхи та виходи необхідно постійно держати вільними, нічим не захарашувати. По мірі нагромадження та закінчення роботи пальні відходи варто збирати в спеціально відведених сміттєзбиральників.

Електромережі, електроприлади й апаратура повинна експлуатуватися тільки в справному стані, з урахуванням рекомендацій підприємства-виготовлювачів. У випадку виявлення ушкоджень електромереж, вимикачів, розеток та інших електровиробів варто негайно відключи їх та вжити необхідних заходів до приведення в пожежобезпечний стан. Документи папір та інші горючі матеріали варто зберігати на відстані не менш 1 м від електрощитів, електрозбірок та електрокабелів, 0,5 м від світильників та 0,25 м від приладів опалення.

Засоби протипожежного захисту (пожежні крани, пожежна й охоронно-пожежна сигналізація, первинні засоби пожежогасіння і т.п.), що мають у приміщеннях, варто тримати в справному стані.

Усі працівники повинні пройти протипожежний інструктаж, уміти користатися наявними вогнегасниками, іншими первинними засобами пожежогасіння та знати місце їхнього перебування. Відстань від найбільш віддаленого місця приміщення до місця розміщення вогнегасника не повинне перевищувати 20 м.

А.4 Безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві

Об'єктом розгляду на предмет визначення надзвичайних небезпек та їх наслідків є науково-дослідний відділ. Однією із вірогідних загроз може бути раптове виникнення пожеги внаслідок короткого замикання в електромережах

або розрядів статистичної електрики, що може привести до пошкодження і руйнування будівлі, устаткування, комунікацій, виділення токсичних продуктів горіння.

Тому в науково-дослідному відділі розроблено оперативний план гасіння пожежі, який визначає порядок дії персоналу при пожежі, порядок її гасіння в електроустановках, взаємодію з власним складом пожежних підрозділів, а також застосування схем и засобів пожежогасіння з урахуванням заходів безпеки.

Будівля повинна бути обладнана мережею протипожежного водозабезпечення, установками виявлення та гасіння пожеж відповідно вимогам нормативно-технічних документів. Кожний працівник повинен чітко знати та виконувати вимоги ППБ та протиаварійний режим на об'єкті, уміти користуватися наявними вогнегасниками, іншими первинними засобами пожежогасіння і знати місце їхнього перебування.

Меблі й устаткування повинні розміщатися таким чином, щоб забезпечувався вільний евакуаційний прохід до дверей виходу з приміщення (шириною не менше 1 м). Евакуаційні шляхи і виходи необхідно постійно держати вільними, нічим не захащувати. Засоби протипожежного захисту в приміщеннях потрібні триматися у справному стані.

У випадку виявлення пожежі слід: негайно повідомити державну пожежну охорону за телефоном «101», вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, своє прізвище; повідомити про пожежу керівництву, а в нічний час черговому охоронцю; у разі можливості почати гасіння пожежі наявними засобами, організувати зустріч пожежних підрозділів.

При виникненні пожежі у початковій стадії його розвитку випромінюється тепло, накопичуються токсичні продукти згоряння, імовірні руйнування будівельних споруд. Тому слід як можна швидше провести евакуацію людей із палаючої будівлі. Показником ефективності евакуації є час, протягом якого працівники можуть при необхідності залишити окремі

приміщення і будівлю в цілому. Безпека евакуації досягається тоді, коли час евакуації не перевищує час настання критичної фази розвитку пожежі, тобто часу від початку пожежі до досягнення граничних для людини впливів факторів пожежі (критичних температур, ступені задимлення, зниження концентрації кисню и т.п.). Число евакуаційних виходів повинно бути не менш двох. Вони повинні розташовуватися розосереджено. Мінімальна відстань між найбільш віддаленими один від одного евакуаційними виходами із приміщення визначається за формулою:

$$l = 1,5 \cdot \sqrt{P} = 1,5 \cdot \sqrt{19} = 6,5 \text{ м}, \quad (\text{A.7})$$

де P – периметр приміщення, м.

Двері на шляхах евакуації повинні відкриватися у напрямку виходу із будівлі. У кожному приміщенні на видному місці повинен бути вивішений план евакуації при пожежі.

При пожежі обов'язково необхідно враховувати небезпечні чинники і механізм їх дії на людину. При виникненні пожежі, після виклику пожежної охорони, необхідно попередити про це усіх, хто знаходиться поруч, після чого евакуюватися самому і по можливості допомогти евакуюватися іншим, особливо особам літнього віку і дітям, попереджаючи при цьому виникнення паніки. З метою обмеження циркуляції повітря, яке здатне збільшувати швидкість горіння, покидаючи приміщення, закрийте за собою усі двері, якщо це можливо. Якщо пожежа виникла в приміщенні над вами і безпосередньої загрози для вас не спостерігається, то бажано виконати заходи по зниженню можливих втрат від води яку проливають при гасінні пожежі. Для цього необхідно відключити всі електроприводи та прикрити їх поліетиленовою плівкою. Значно гірше, якщо пожежа виникла в приміщенні під вами – потрібно оцінити обстановку и якщо є впевненість, що ще не має сильної задимленості з високою температурою, потрібно негайно покинути приміщення, рухаючись до виходу по коридорам і сходовим кліткам.

Користуватися ліфтом категорично забороняється, за винятком ліфтів, які спеціально призначені для транспортування пожежної охорони. Шахта ліфта є шляхом для поширення диму і отруйних продуктів горіння, до того ж при пожежі ліфт часто відключають і можна опинитися в пастці при пожежі.

Якщо ви знаходитесь в приміщенні де немає пожежі, але відрізани вогнем, димом, високою температурою від головних шляхів евакуації, то в першу чергу необхідно заважити доступу диму и продуктів горіння в це приміщення. Для чого необхідно негайно закрити усі щілини у дверях та під ними змоченими водою ганчірками, рушниками, робочими халатами та ін. Якщо приміщення все ж заповнено димом, необхідно підповзти до вікна, закрити при цьому рот та ніс змоченою тканиною, яка грає роль фільтру та в певної мірі захищає від продуктів горіння.