

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий інститут електроенергетики  
(інститут)

Електротехнічний факультет  
(факультет)

Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеню магістра**

студента Горбика Єгора Максимовича  
(ПІБ)

академічної групи 151М-20-1  
(шифр)

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

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(офіційна назва)

на тему Дослідження та синтез системи автоматичного керування рівнем води в приймальному водозбірнику станції водовідведення  
(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	доц. Бубліков А.В.			
розділів:				
Синтез системи керування	доц. Бубліков А.В.			
Експериментальний розділ	доц. Бубліков А.В.			
Економічна частина	ст. викл. Яремчук І.О.			
Охорона праці	проф. Чеберячко Ю.І.			
Рецензент				
Нормоконтролер	ас. Славінський Д.В.			

Дніпро  
2022

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
кіберфізичних та  
інформаційно-вимірювальних систем  
(повна назва)

\_\_\_\_\_ Бублік А.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

## ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

студенту Горбику Є. М. академічної групи 151М-20-1  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(офіційна назва)

на тему Дослідження та синтез системи автоматичного керування рівнем води в приймальному водозбірнику станції водовідведення,

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 15.11.2021 № 969-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	На основі матеріалів виробничих практик, інших науково-технічних джерел сформулювати наукове завдання, конкретизувати предмет та мету досліджень	01.10.21 – 07.10.21
Теоретичний	Обґрунтувати теоретичну базу розв'язання наукового завдання, якому присвячено роботу	07.10.21 – 15.10.21
Синтез системи керування	Провести синтез системи та її дослідження із використанням методів та інструментів, що обґрунтовані та створені у теоретичному розділі	15.10.21 – 15.11.21
Експериментальний	Розробка програмного забезпечення системи керування на підставі обраного регулятора та його налаштувань	15.11.21 – 01.12.21
Економічна частина	Обґрунтувати доцільність витрат на створення та експлуатацію системи керування	01.12.21 – 15.12.21
Охорона праці	Розробити організаційно-технічні заходи щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи	15.12.21 – 30.12.21

Завдання видано \_\_\_\_\_ доц. Бублік А.В.  
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі 01.09.2021

Дата подання до атестаційної комісії 10.01.2022

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_ Горбик Є.М.  
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: \_\_\_ с., \_\_\_ рис., \_\_\_ табл., 3 додатки, \_\_\_ джерел.

**Об'єкт розробки** – система автоматичного керування рівнем води в приймальному водозбірнику станції водовідведення.

**Предмет розробки** – алгоритм автоматичного керування рівнем води в приймальному водозбірнику станції водовідведення.

Зроблений аналіз станції водовідведення як об'єкта автоматизації та за його результатами сформовані вимоги щодо якості функціонування системи автоматичного керування рівнем води в приймальному водозбірнику.

Проведено синтез оптимальної системи автоматичного керування за критерієм мінімізації кількості пусків насосів на основі вимог щодо якості функціонування системи автоматичного керування.

За допомогою створеної імітаційної моделі системи автоматичного керування рівнем води в приймальному водозбірнику станції водовідведення проведений обчислювальний експеримент, що підтвердив якість функціонування системи автоматичного керування за умови імітування реального притоку стічних вод.

Із використанням SCADA-програми Zenon створено програмне забезпечення системи автоматичного керування та людино-машинний інтерфейс з перевіркою коректності його функціонування.

Ключові слова: *синтез системи автоматичного керування, імітаційна модель, рівень води, приймальний водозбірник, станція водовідведення, SCADA-програма Zenon.*

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень та визначень .....	6
Вступ .....	7
1 Стан питання та постановка завдання .....	10
1.1 Галузь промисловості .....	10
1.2 Технологічний процес .....	12
1.3 Об'єкт керування .....	13
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування .....	13
1.3.2 Структура об'єкту керування .....	15
1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування .....	16
1.4 Структура системи керування .....	17
1.5 Формулювання задачі дослідження .....	20
1.6 Висновки до розділу .....	20
2 Теоретичний розділ .....	22
2.1 Створення моделі об'єкта керування .....	21
2.2 Обґрунтування критеріїв ефективності роботи системи автоматичного керування .....	32
2.3 Висновки до розділу .....	32
3 Синтез та дослідження системи автоматичного керування .....	34
3.1 Синтез системи керування .....	34
3.2 Дослідження ефективності роботи системи керування .....	39
3.3 Висновки до розділу .....	46
4 Експериментальний розділ .....	48
4.1 Цифрова модель системи керування .....	48
4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування .....	52
4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейса ...	54
4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення .....	58
4.5 Висновки до розділу .....	59
5 Економічна частина .....	60

	5
5.1 Розрахунок капітальних витрат .....	60
5.1.1. Розрахунок трудомісткості розробки програмного забезпечення ..	60
5.1.2. Розрахунок витрат на створення програмного забезпечення .....	62
5.1.3. Розрахунок додаткових капітальних витрат .....	63
5.2 Експлуатаційні витрати .....	64
5.3 Оцінка економічної ефективності .....	67
5.4 Висновок до розділу .....	68
6 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях .....	69
6.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів у робочому просторі станції водовідведення .....	69
6.2. Заходи щодо охорони праці під час обслуговування та виконання робіт на станції водовідведення .....	70
6.3. Розрахунок освітленості .....	79
6.4 Безпека у надзвичайній ситуації .....	81
6.5 Висновок до розділу .....	83
Висновки .....	84
Перелік посилань .....	86
Додаток А Програмні модулі системи керування .....	88
Додаток Б Програмне забезпечення системи керування .....	91
Додаток В Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу .....	94

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ ТА  
ВИЗНАЧЕНЬ**

САК	– Система автоматичного керування;
ЛМІ	– Людино-машинний інтерфейс;
ПК	– Персональний комп'ютер;
КНС	– Каналізаційна насосна станція
ПЗ	– Програмне забезпечення
МП	– Мартенівська піч
ОК	– Об'єкт керування

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Житлово-комунальне господарство є комплексом підгалузей, покликаних забезпечувати умови нормальної життєдіяльності населення і функціонування міських структур. Житлово-комунальне господарство значною мірою формує середовище життєдіяльності людини, забезпечуючи комфортність міста, району, мікрорайону, житла. Неякісна робота галузі породжує серйозні проблеми і протиріччя, такі як негативні процеси і явища, погіршення стану житла, якості комунальних послуг і багато чого іншого.

Отже, житлово-комунальна галузь є стратегічно важливим економічним сектором нашої країни, й вдосконалення процесів автоматичного керування обладнанням, що задіяно в ній, є актуальним науково-технічним завданням, оскільки це призводить до підвищення якості житлово-комунальних послуг, а також економії ресурсів.

**Мета і задачі дослідження.** Мета магістерської кваліфікаційної роботи полягає у підвищенні якості водовідведення стічних вод з приймального водозбірника каналізаційної насосної станції за рахунок вдосконалення автоматичного керування насосами. Головним критерієм якості роботи системи автоматичного керування є мінімізація кількості запусків насосів за умови забезпечення підтримання рівня води у водозбірнику у заданих межах.

Для досягнення поставленої мети у кваліфікаційній роботі поставлені і вирішені такі наукові задачі:

- створена імітаційна модель системи автоматичного керування рівнем води в приймальному водозбірнику станції водовідведення;

- обґрунтований метод синтезу системи автоматичного керування з урахуванням особливостей роботи об'єкта керування та обраних критеріїв якості роботи системи, та на основі нього розроблений регулятор рівня води у водозбірнику;

- проведені дослідження режимів роботи синтезованої системи керування рівнем води в приймальному водозбірнику станції водовідведення для складного характеру зміни у часі притоку стічних вод, що відповідає реальним умовам роботи станції, та визначені такі налаштування регулятора, при яких забезпечуються раціональні значення критеріїв якості роботи системи керування.

**Об'єкт дослідження** – процес автоматичного керування рівнем води в приймальному водозбірнику станції водовідведення.

**Предмет дослідження** – закони та алгоритми автоматичного керування рівнем води в приймальному водозбірнику станції водовідведення.

**Методи дослідження.** Для дослідження системи автоматичного керування рівнем води в приймальному водозбірнику використані методи сучасної теорії автоматичного керування. Дослідження проведені на основі обчислювальних експериментів з використанням аналітичних та комп'ютеризованих методів синтезу систем автоматичного керування. Оцінювання ефективності процесу автоматичного керування здійснене з використанням методів математичної статистики.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у наступному:

Дослідження ефективності роботи системи керування насосною станцією з використанням існуючого алгоритму показав, що через присутність людського фактору декілька насосів працюють синхронно з періодичним пуском, коли вода досягає підвищеного рівня у водозбірнику. Крім того, за умови підвищеного притоку води вмикаються усі насоси з їх наступним відключенням. Тобто, режим роботи насосів зовсім не підлаштовується під динаміку притоку води у водозбірник, що призводить до суттєвого збільшення кількості їх пуску.

Тому запропонований підхід, коли на основі моніторингу часу, який потрібний воді для здолаття відстані між датчиками рівня у водозбірнику, визначається середній притік каналізаційних вод. А потім методом перебору визначається така комбінація увімкнених насосів, при якій модуль різності



притоку й сумарної продуктивності насосів менше продуктивності одного насосу. Тобто, різниця між сумарною продуктивністю насосів та притоком повинна прагнути до нуля. У такому разі час відкачування води буде максимально довгим, й кількість вмикання насосів зменшується.

## 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

### 1.1 Галузь промисловості

Житлово-комунальне господарство є комплексом підгалузей, покликаних забезпечувати умови нормальної життєдіяльності населення і функціонування міських структур [1]. Житлово-комунальне господарство значною мірою формує середовище життєдіяльності людини, забезпечуючи комфортність міста, району, мікрорайону, житла. Ця галузь, з одного боку, випробовує вплив ринкових стосунків, що розвиваються, а з іншою – є важливою ланкою системи соціального захисту населення. Неякісна робота галузі породжує серйозні проблеми і протиріччя, такі як негативні процеси і явища, погіршення стану житла, якості комунальних послуг і багато чого іншого.

Житлово-комунальне господарство є галуззю сфери послуг і найважливішою частиною територіальної інфраструктури, що визначає умови життєдіяльності людини, комфортності його житла, його інженерний благоустрій, якість і надійність послуг транспорту, зв'язку, побутових і інших послуг, від яких залежить стан здоров'я, якість життя і соціальний клімат міського середовища.

У складі житлово-комунального господарства виділяються наступні підгалузі [2]:

- житлове господарство і ремонтно-експлуатаційне виробництво;
- водопостачання і водовідведення;
- комунальна енергетика (електропостачання, теплопостачання, газопостачання);
- міський транспорт (тролейбус, трамвай, автобус);
- інформаційне господарство (кабельні мережі, супутникове телебачення, оптоволоконні системи і електронні канали зв'язку, системи комп'ютерного забезпечення і зв'язку);
- зовнішній міський благоустрій, що включає дорожнє господарство і дорожньо-транспортне будівництво;

- санітарне очищення територій (вуличне прибирання, будинкове очищення з утилізацією побутових і харчових відходів);
- зелене господарство (озеленення міст, квітникарство);
- побутове обслуговування (лазні, пральні, ритуальне обслуговування);
- вуличне освітлення.

До особливостей житлово-комунального господарства можна віднести:

- поєднання виробничих і невиробничих функцій, пов'язаних з виготовленням матеріальних продуктів і наданням послуг;
- поєднання комерційних (орієнтованих на отримання прибутку) і некомерційних організацій;
- галузь представлена як природними монополіями (транспортування енергії і рідин), так і галузями, в яких можлива і потрібна конкуренція (виробництво товарів і послуг);
- поєднання великого (виробництво електроенергії, водоканал) і малого бізнесу.

Істотною особливістю галузі є монопольне положення підприємств – постачальників і виробників послуг, що призводить до недостатньо ефективного використання наявних фінансових і матеріальних ресурсів, відсутності оперативного реагування на вимоги споживачів шляхом вжиття адекватних економічних заходів і управлінських рішень, слабкої сприйнятливості підприємств житлово-комунального господарства до вимог науково-технічного прогресу.

Антимонопольне регулювання з боку держави вимагає від підприємств цієї галузі вдосконалення функціонування таких складових господарського механізму як фінансування, ціноутворення, управління і взаємовідносини між усіма сторонами, що беруть участь в процесі виробництва і отримання житлово-комунальних послуг [3].

Отже, житлово-комунальна галузь є стратегічно важливим економічним сектором нашої країни, й вдосконалення роботи обладнання, що задіяно в ній, є

актуальним науково-технічним завданням, оскільки це призводить до підвищення якості житлово-комунальних послуг, а також економії ресурсів.

## 1.2 Технологічний процес

Розглянемо технологічний процес водовідведення міста на прикладі Шосткинської міської каналізації [4].

Каналізація м. Шостка являє собою сукупність споруд, призначених для відводу господарсько-побутових та промислових стічних вод населеного пункту. Початок експлуатації міської каналізації датується приблизно 1930 р.

Система каналізації складається з наступних основних елементів: внутрішньої каналізації будівель, включаючи каналізаційні випуски, зовнішніх каналізаційних мереж, насосних станцій, напірних та самопливних колекторів, каналізаційних очисних споруд (рис.1.1).

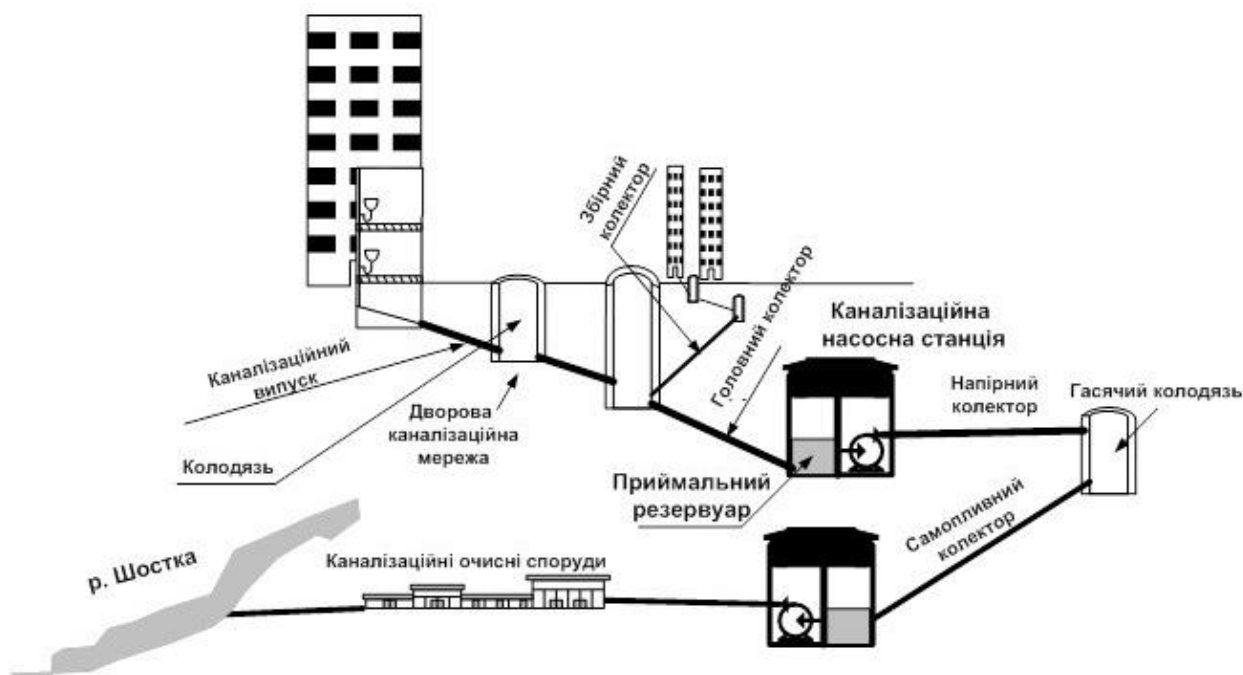


Рисунок 1.1 – Технологічна схема Шосткинської міської каналізації

Водовідведення здійснюють 16 каналізаційних насосних станцій продуктивністю від 25 до 1600 м<sup>3</sup>/год.

Каналізаційні очисні споруди були введені в експлуатацію в 1969 р. та 1976 р. (друга черга) і до 2000 р. були цехом у складі АПО «Свема». У 2000 році Рішенням виконкому Шосткинської міської ради комплекс очисних споруд з мережами і насосними станціями було передано в оперативне управління КП ВУВКГ. На даний момент виробнича потужність об'єкта становить 48 000 м<sup>3</sup>/добу.

Очисні споруди м.Шостка являють собою комплекс гідротехнічних споруд, насосних станцій та допоміжних об'єктів, що займають площу понад 40 га.

Очищення промислових і побутових стічних вод ведеться в 3 стадії:

1 стадія: механічне очищення – видалення сміття, піску на решітках, піскоуловлювачах, осадження зважених речовин на первинних відстійниках;

2 стадія: біологічне очищення-біохімічне окислення органічних і неорганічних речовин активним мулом в аеротенках-змішувачах. Забезпечення активного мулу киснем здійснюється нагнітачами компресорної станції (потужність кожного – 400 кВт / год), а для повернення активного мулу в аеротенки використовуються вторинні відстійники і ерліфти.

3 стадія: знезараження стічних вод розчином гіпохлориту натрію. Очищені і знезаражені стічні води надходять в р. Шостка.

### **1.3 Об'єкт керування**

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – каналізаційна насосна станція водовідведення каналізаційної системи міста. Цільовим продуктом є послуги з водовідведення у місті.

#### **1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування**

Каналізаційна насосна станція (КНС) є цілим комплексом гідротехнічного устаткування і споруд, який використовується для

перекачування господарче-побутових, промислових або зливових стічних вод в тих випадках, коли їх відведення самопливно неможливе.

Основні вимоги до устаткування КНС по продуктивності, потужності і режимам функціонування визначаються вимогами СніП 2.04.03-85. Залежно від передбачуваних об'ємів і характеру стоків складається технічне завдання для проектування каналізаційної станції.

Застосування сучасних технологічних рішень дозволяє звести до мінімуму терміни монтажу станцій. Приймальні водозбірники станції перекачування стоків мають різні характеристики по габаритах, по споживаній потужності і по продуктивності. Їх розмір варіюється в межах від 10 до 30 квадратних метрів при висоті від 2 до 3 метрів.

Станції оснащуються занурюваними насосами, кількість яких визначається об'ємами і характеристиками перекачуванні стоків. Робочі агрегати стикуються з трубопроводами через спеціальні фланцеві з'єднання. Облаштування цих механізмів таке, щоб можна було забезпечити дистанційований демонтаж насосів для ремонту. Насосні агрегати піднімаються на поверхню за допомогою ланцюга або троса без необхідності спуску вниз. Їх технічні характеристики наведені у табл.1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики насосу каналізаційних станцій водовідведення

№ п	Параметр	Значення
1	Робочий об'єм, см. куб.	100
2	Номінальна частота обертання, с <sup>-1</sup>	32
3	Номінальна подача, л/хв	173,4
4	Тиск на виході ном./макс, МПа	16/21
5	Коефіцієнт подачі – не менше	0,95
6	Коефіцієнт корисної дії	0,83
7	Номінальна потужність двигуна, кВт	66,4
8	Маса, кг	16,5

Каналізаційні насосні станції, технічні характеристики і характер використання яких не вимагають втручання людини в їх роботу, називаються автономними. В процесі експлуатації вони не потребують постійної присутності персоналу. Технічне і регламентне обслуговування робиться відповідно до встановленого графіку і експлуатаційної документації.

В якості об'єкту управління в цій роботі виступає каналізаційна насосна станція технічні, характеристики якої приведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики КНС

№	Найменування параметра	Значення
1	Максимальна витрата стоків, що поступає в приймальний резервуар, м <sup>3</sup> /год	40
2	Максимальна продуктивність насосів, м <sup>3</sup> /год	41,6
3	Довжина приймального резервуару, м	5
4	Ширина приймального резервуару, м	4
5	Активна висота приймального резервуару, м	3
5	Довжина напірного колектора, м	1500
6	Перепад висот напірного колектора, м	12

### 1.3.2 Структура об'єкту керування

Об'єкт керування у кваліфікаційній роботі є багатомірним з декількома керуючими й дискретними входами та одним керованим виходом. Структурна схема об'єкта керування показана на рис.1.2.

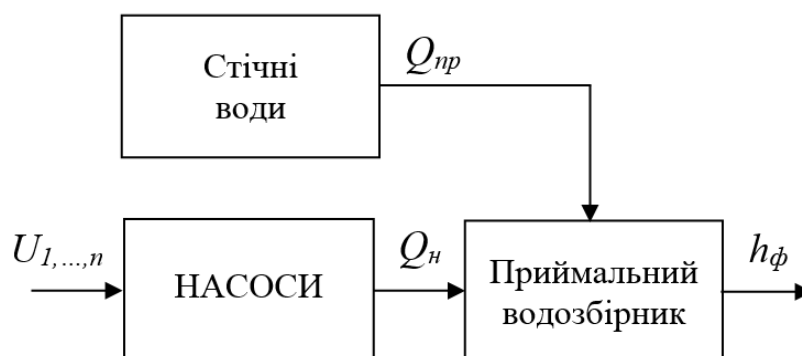


Рисунок 1.2 – Структурна схема об'єкта керування

На керуючі входи, з урахуванням того, що виконавчим органом є привод насосу з нерегульованим двигуном, подається дискретний електричний сигнал (вмикання/вимикання двигунів насосів). Керованою величиною є рівень води у приймальному водозбірнику.

Збурюючим впливом є притік стічних вод у приймальний водозбірник.

### 1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування

Принцип роботи розглянемо на прикладі існуючої системи керування КНС (рис.1.3).

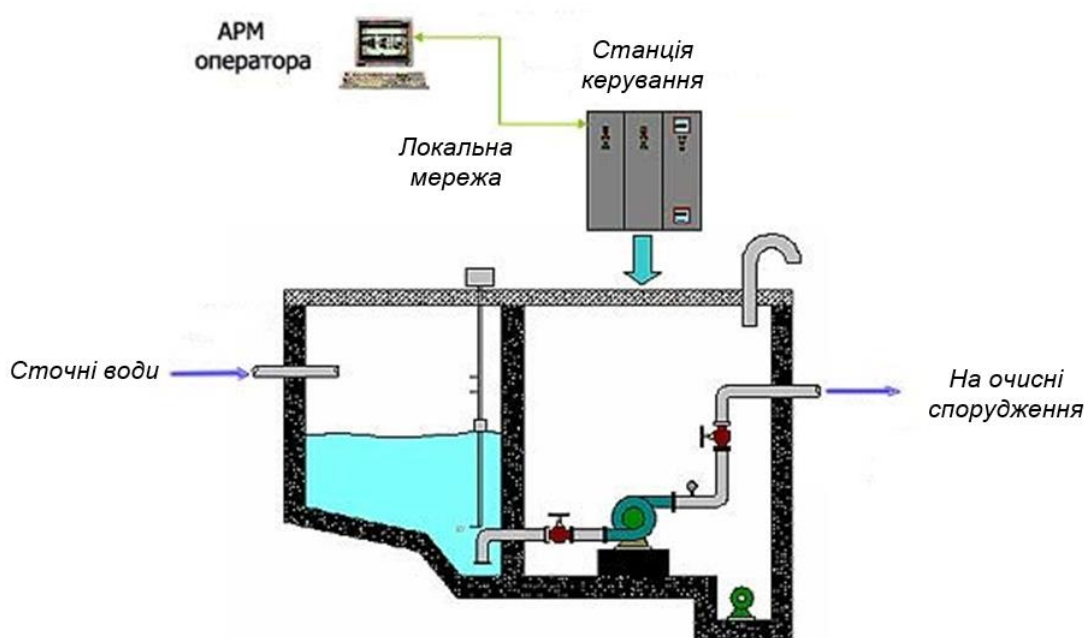


Рисунок 1.3 – Функціональна схема системи керування КНС

Основними функціями системи управління є:

- підтримання заданого значення рівня стоків у приймальному колодязі;
- контроль над роботою насосів та перемикання на резервний насос при аварії робочого;



- підключення додаткових насосів;
- контроль над рівнем води у дренажному приямку;
- контроль за роботою дренажних насосів;
- контроль за роботою пускачів;
- контроль за роботою двигунів приводів насосів;
- автоматичне чергування насосів через задані інтервали часу для забезпечення рівномірного завантаження насосів;
- можливість дистанційного контролю та управління станцією з АРМ оператора;
- можливість запуску та зупинення кожного насоса кнопками в ручному режимі з панелі керування прямим пуском від мережі або від пристрою запуску насосів (пуско-налагоджувальний режим);
- можливість занесення до журналу подій усіх технологічних параметрів та аварійних ситуацій з подальшим формуванням звіту за поточний період;
- можливість занесення до журналу подій усіх дій оператора.

#### **1.4 Структура системи керування**

Відповідно до завдання у кваліфікаційній роботі бакалавра розроблено структурну схему комп'ютерної системи, яка наведена на рис. 1.4.

До складу системи входять пристрій керування, який отримує інформацію про стан об'єкта керування від датчиків нижнього, середнього, верхнього та аварійного рівнів. На підставі отриманої інформації насосами формується керуючий вплив. Інформація про процес керування отримується з керуючого пристрою по інформаційній мережі.

Також розроблена структурна схема інформаційних потоків, яка наведена на рис.1.5. Дана структура забезпечує управління, збір даних про технологічний процес, візуалізацію отриманих даних, збереження їх в базі даних та створення їх резервних копій. Крім того дана структура забезпечує контроль, за обладнанням та сигналізацію досягнення параметрами управління заданих значень.

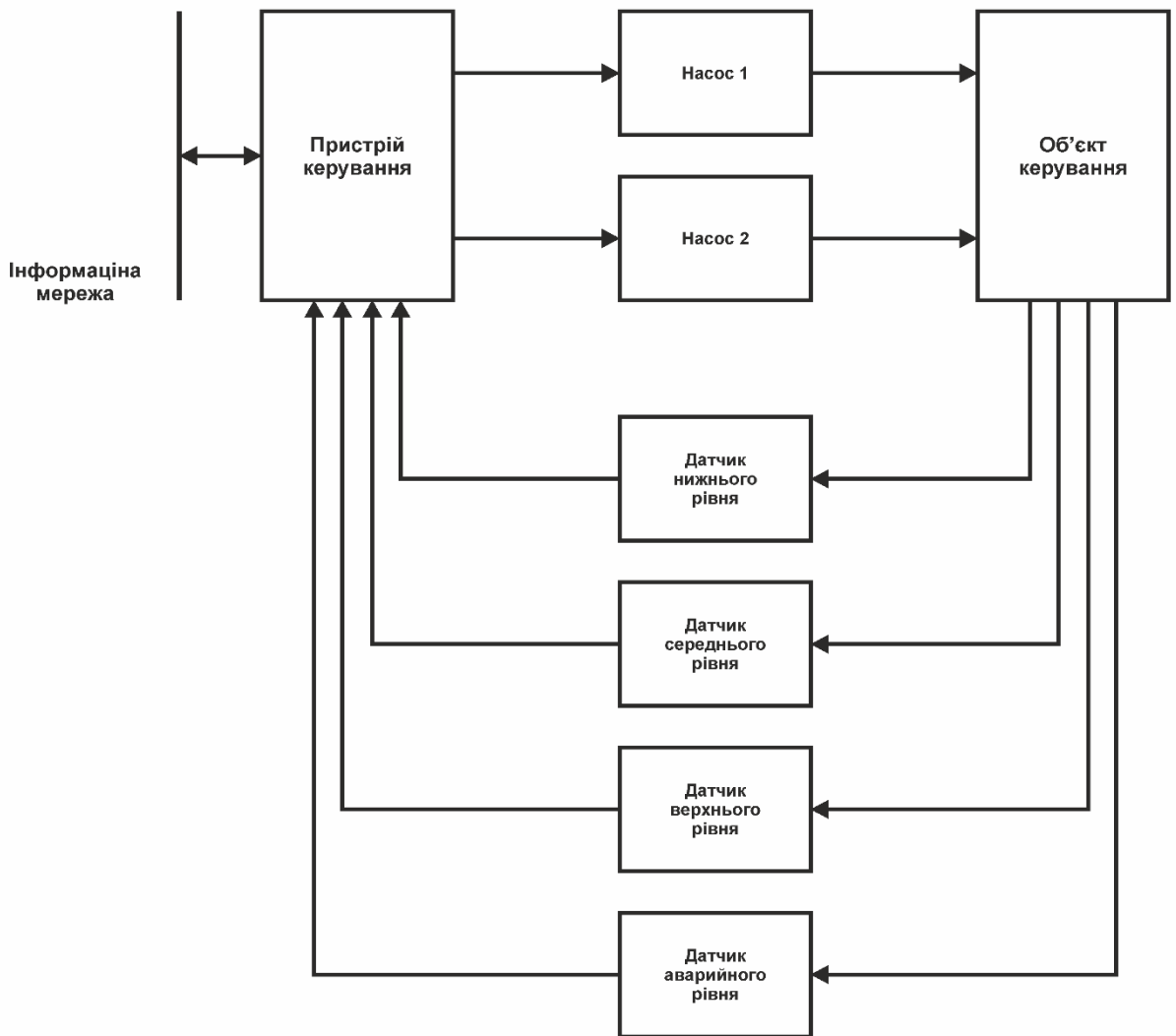


Рисунок 1.4 – Структурна схема САК

Таким чином згідно з вимогами підсистема автоматизованого управління технологічним обладнанням представляє собою апаратно програмний комплекс до якого входять датчики, об'єкт управління, пристрій управління в якості котрого виступає програмований логічний контролер (ПЛК), приводи, та індикація.

В кваліфікаційній роботі бакалавра також обґрунтовані датчики й виконавчі пристрої, виконана розробка апаратної частини системи керування.

На підставі обраної елементної бази та переліку вхідних та вихідних сигналів розроблено схема електрична принципова, яка наведена на рис.1.6.

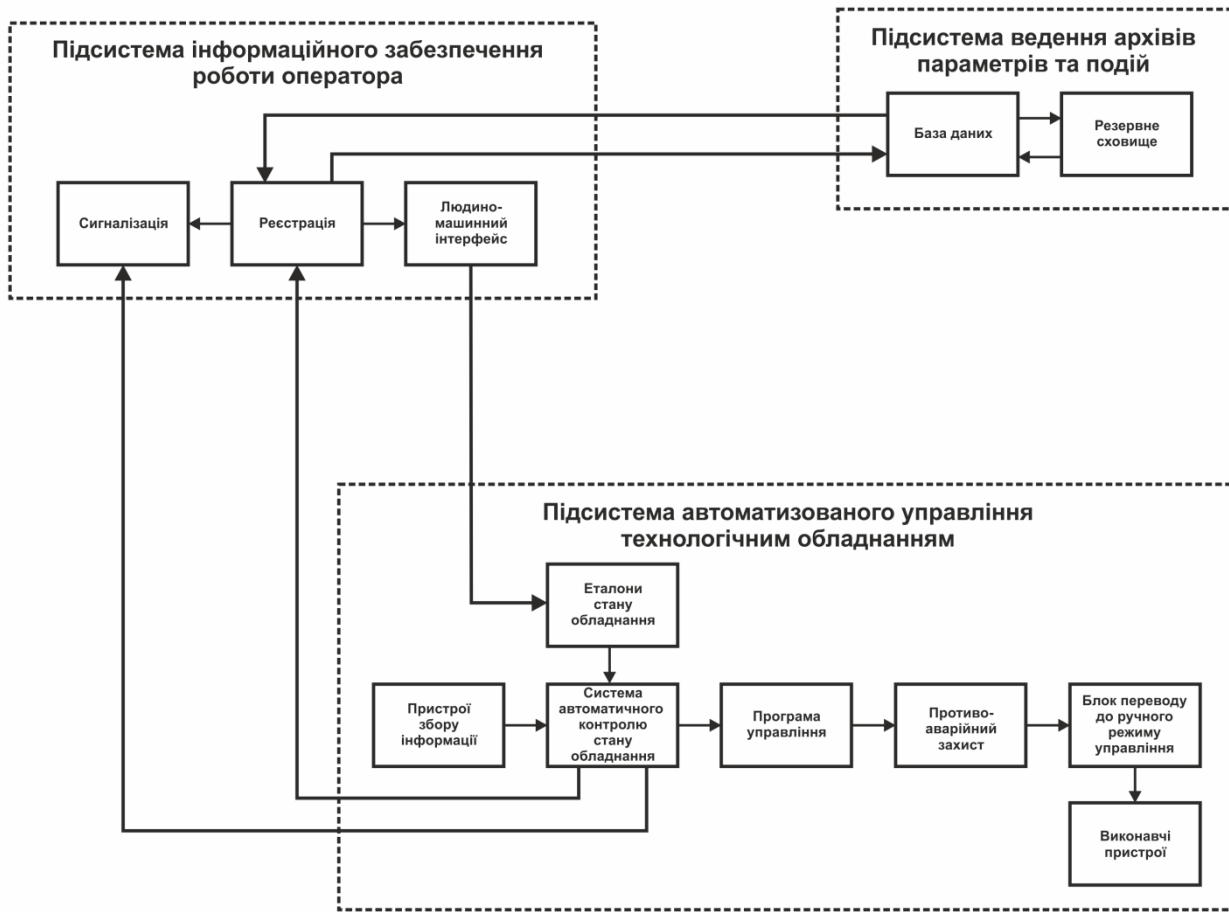


Рисунок 1.5 – Схема інформаційних потоків у системі керування

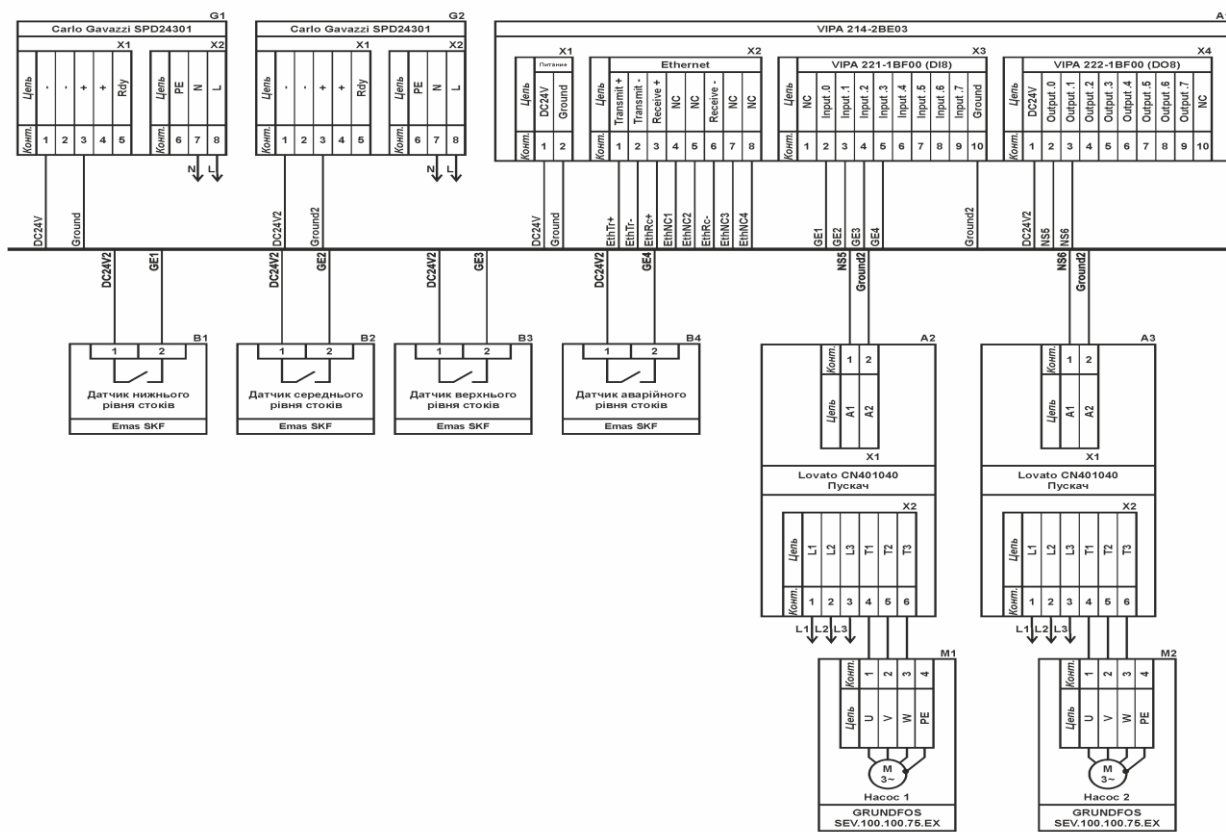


Рисунок 1.6 – Схема електрична принципова системи керування

### **1.5 Формулювання завдань дослідження**

Для досягнення основної мети – забезпечення раціональних значень критеріїв якості роботи системи автоматичного керування рівнем води в приймальному водозбірнику станції водовідведення за умови складного характеру зміни у часі притоку стічних вод, необхідно виконати наступні завдання дослідження:

- з метою проведення обчислювальних експериментів створити імітаційну модель системи автоматичного керування рівнем води в приймальному водозбірнику станції водовідведення;

- обґрунтувати метод синтезу системи автоматичного керування з урахуванням особливостей роботи об'єкта керування та обраних критеріїв якості роботи системи, та на основі нього провести розробку регулятора рівня води у водозбірнику;

- провести дослідження режимів роботи синтезованої системи керування рівнем води в приймальному водозбірнику станції водовідведення для складного характеру зміни у часі притоку стічних вод, що відповідає реальним умовам роботи станції, та визначити такі налаштування регулятора, при яких забезпечуються раціональні значення критеріїв якості роботи системи керування.

### **1.6 Висновки по розділу**

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – приймальний водозбірник каналізаційної станції водовідведення. Об'єктом дослідження є одна з локальних систем автоматичного керування станції, завданням керування якої є забезпечення заданого рівня води у приймальному водозбірнику. Предметом дослідження є закони автоматичного керування рівнем води у приймальному водозбірнику каналізаційної станції водовідведення.

Об'єкт керування є дискретно-неперервним та багатомірним з декількома дискретними керуючими входами (увімкнення/вимкнення двигунів приводів

насосів) та одним керованим виходом (рівень стічних вод у водозбірнику), але складний та динамічний характер зміни притоку стічних вод, а також багатомірність об'єкту керування з наявністю дискретних елементів, які мають тільки два стани, роблять його складним для керування.

Отже, необхідно провести дослідження режимів роботи синтезованої системи керування рівнем води у приймальному водозбірнику каналізаційної станції водовідведення для різних притоків стічних вод, та на основі цих досліджень визначити алгоритм оптимізації для системи керування насосами, що забезпечує мінімізацію пусків їх двигунів. Це дозволить зменшити кількість пусків двигунів насосів, що підвищить термін їх служби, та зменшить негативний вплив процесів запуску потужних двигунів на мережу електричного живлення.

## 2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Створення моделі об'єкта керування

З оглядом на сформовану у першому розділі завдання керування, створимо імітаційну модель системи автоматичного керування рівнем води в приймальному водозбірнику станції водовідведення. Вхідною величиною моделі є керуючі сигнали на блоки керування насосами, а вихідною – рівень води. Розглянемо структурну схему імітаційної моделі системи автоматичного керування (рис.2.1).

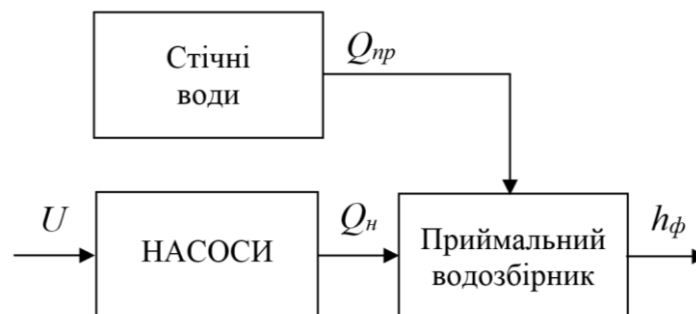


Рисунок 2.1 – Структурна схема імітаційної моделі об'єкта керування

На рис.2.1  $U$  – вектор керуючих впливів, що є дискретними величинами, оскільки двигуни насосів є некерованими;  $Q_{pr}$  – притік води (кількість води, що надійшла до водозбірника за одиницю часу);  $Q_n$  – сумарна кількість води, що відкачана насосами за одиницю часу;  $h_f$  – фактичний рівень води у водозбірнику.

На рис.2.1 блок “Стічні води” являє собою модель імітації зміни у часі притоку води до водозбірника (вихідна величина – кількість води, що надійшла до водозбірника за одиницю часу); блок “НАСОСИ” – сукупність імітаційних моделей, що моделюють роботу насосів з точки зору керування їх продуктивністю (вхідна величина – дискретний керуючий вплив, вихідна – кількість води, відкачаної насосом); блок “Приймальний водозбірник” – модель

резервуару, де накопичується стічні води (вхідні величини – притік води й кількість відкачаної насосами води, вихідна – рівень води у приймальному водозбірнику).

Розглянемо елементи імітаційної моделі окремо.

Для створення імітаційної моделі імітації зміни у часі кількості води, що надходить до приймального водозбірника, використані експериментальні дані (рис.2.2).

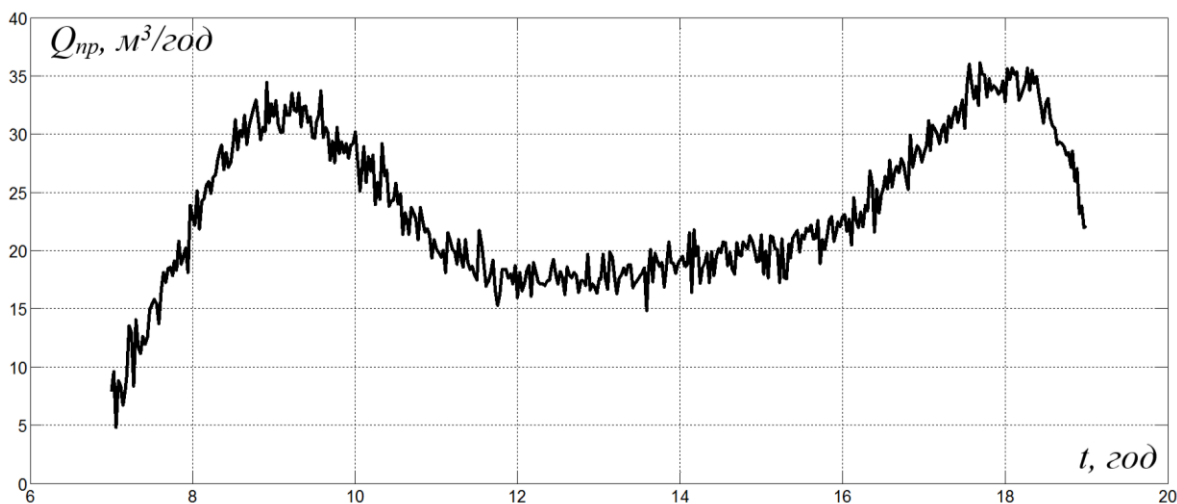


Рисунок 2.2 – Добовий графік зміни у часі притоку у приймальний водозбірник станції водовідведення, отриманий експериментально (начало координат – 7 година ранку)

З рисунку 2.2 видно, що в експериментальному графіку є дві складові – детермінована, чия вага набагато більша, та випадкова.

Проведемо апроксимацію детермінованої складової притоку води до водозбірника на основі спеціалізованого додатку програми MATLAB «Basic Fitting» за допомогою ступеневого поліному. Для цього інтегруємо дані до робочого простору програми MATLAB у вигляді векторів та побудуємо графік на основі експериментальних даних (програма 2.1).

## Програма 2.1 – Побудова графіку зміни у часі притоку у пакеті MATLAB

%Завдання вектору часу

t=0:100:4320;

%Побудова графіку зміни у часі притоку

plot(t, Pritok), grid

Результати роботи спеціалізованого додатку програми MATLAB «Basic Fitting» представлені на рис.2.3.

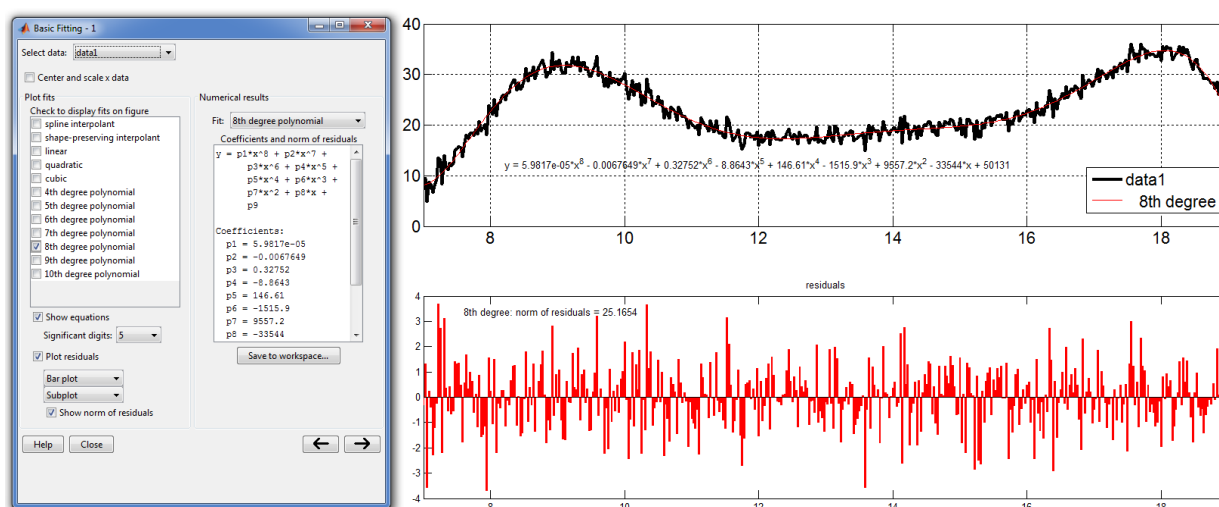


Рисунок 2.3 – Результати апроксимації експериментального графіку зміни у часі притоку води у приймальний водозбірник станції водовідведення за допомогою інструменту пакету MATLAB «Basic Fitting»

З рис.2.3 можна зробити висновок, що детермінована складова притоку води у приймальний водозбірник станції водовідведення з прийнятною точністю описується ступеневим поліномом восьмого порядку – максимальне абсолютне відхилення експериментальних даних від апроксимуючої кривої не перевищує  $4 \text{ м}^3/\text{год}$ , середнє інтегральне –  $1,5 \text{ м}^3/\text{год}$ , що у відносних одиницях для діапазону зміни  $20\text{-}30 \text{ м}^3/\text{год}$  становить  $5\text{-}7,5\%$ . При цьому графік апроксимуючої функції проходить практично посередині випадкових коливань



притоку, це видно з нижньої правої частини рис.2.3, на якому коливання навколо нуля розподілені майже симетрично.

На основі результатів апроксимації на рис.2.3 створена імітаційна модель зміни у часі притоку води до водозбірника у додатку Simulink програми MATLAB (рис.2.4)

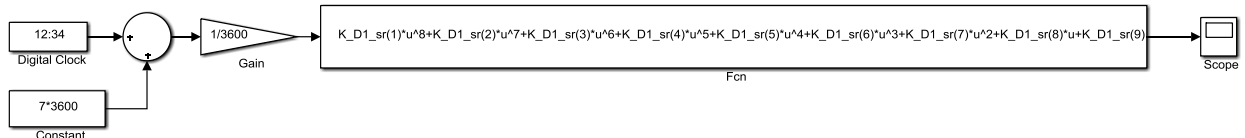


Рисунок 2.4 – Схема моделі імітації динаміки детермінованої складової притоку у приймальний водозбірник станції водовідведення

Оскільки експериментальні дані мають масштаб за часом години, а моделювання в додатку Simulink програми MATLAB відбувається у секундах, в моделі у блоках «Gain» та «Constant» відбувається нормування до розмірності “секунди”.

Щоб провести статистичний аналіз випадкової складової притоку води до приймального водозбірника, за допомогою програми 2.2 сформована вибірка з відхилень експериментальних даних від функції  $F_{pr}$ , що апроксимує детерміновану складову.

Програма 2.2 – Виділення випадкової складової притоку у приймальний водозбірник

**%Завдання функції зміни у часі притоку**

```
F_pr=@(t)K_D1_sr(1)*t.^8+K_D1_sr(2)*t.^7+K_D1_sr(3)*t.^6+K_D1_sr(4)*t.^5+K_D1_sr(5)*t.^4+K_D1_sr(6)*t.^3+K_D1_sr(7)*t.^2+K_D1_sr(8).*t+K_D1_sr(9)
```

```
for i=100:100:43300
```

```
    X(i/100)=F_pr(7+(i/3600))-R(i/100);
```

```
end
```

Щоб коректно згенерувати випадкову складову у додатку Simulink, проведемо перевірку належності сформованої вибірки до генеральної сукупності з нормальним законом розподілу за допомогою критерію Пірсона. Для цього, згідно алгоритму критерію, проведемо перетворення гістограми розподілу випадкових чисел (рис.2.5).

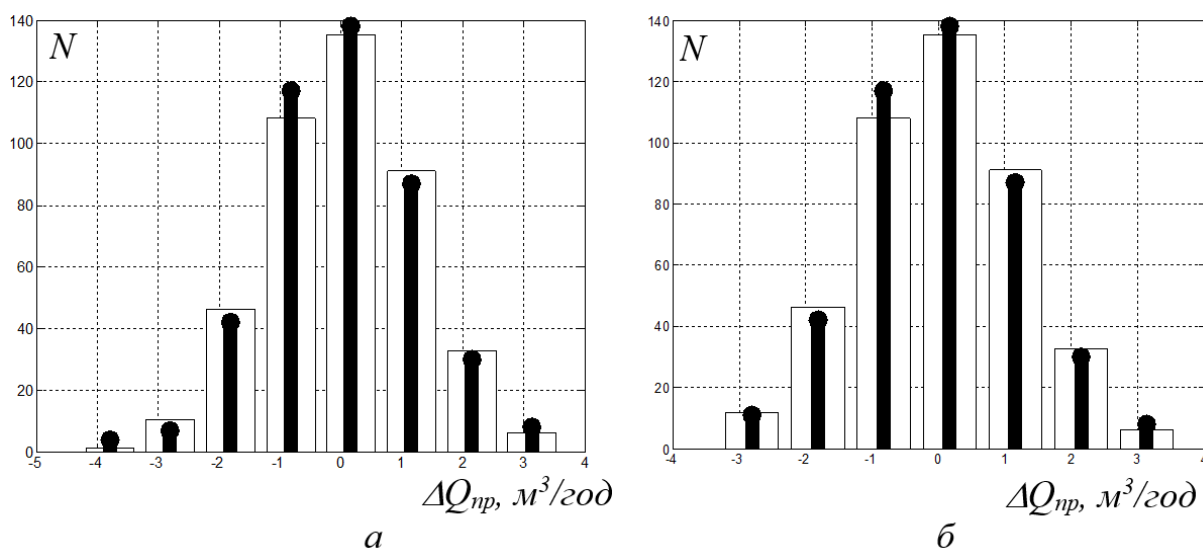


Рисунок 2.5 – Гістограма випадкової складової притоку у приймальний водозбірник (а) та перетворена гістограма для перевірки гіпотези про нормальний закон розподілу за критерієм Пірсона (б)

На основі гістограми на рис.2.5,б розрахований критерій Пірсона, який склав 2.1278, у той час, як його критичне значення для ступеня вільності 5 та рівнем значимості 5% дорівнює 9.487729.

Отже, гіпотеза про нормальний закон розподілу випадкової складової притоку підтвердилася. Також визначена її дисперсія, яка склала 1.49734672589 ( $\text{м}^3/\text{год}$ )<sup>2</sup>.

З урахуванням результатів статистичного аналізу випадкової складової притоку води до приймального водозбірника, модель імітації зміни у часі притоку води доповнена випадковою складовою (рис.2.6).

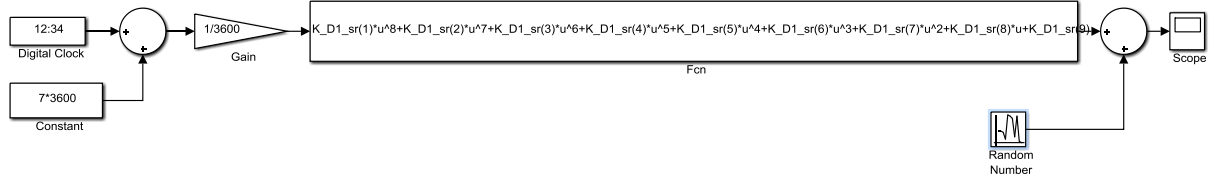


Рисунок 2.6 – Схема моделі імітації динаміки притоку у приймальний водозбірник станції водовідведення

Далі створимо імітаційну модель насосу на основі експериментальної кривої розгону, що наведена на рис.2.7.

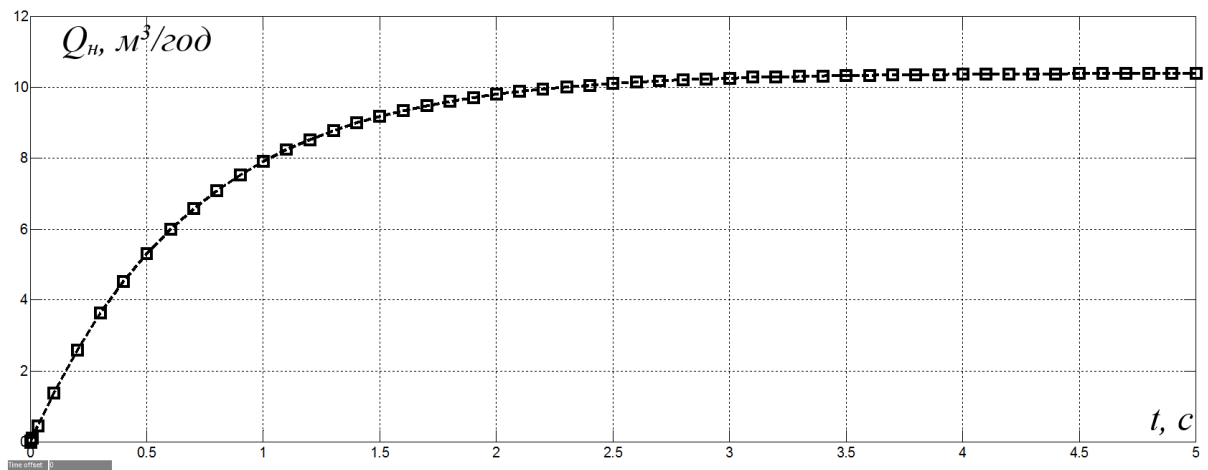


Рисунок 2.7 – Експериментальна крива розгону за продуктивністю насосу

З графіку на рис.2.7 видно, що у перехідному процесі відсутні коливання, транспортне запізнення й він з часом прагне до певного рівня. Таким чином, можна зробити висновок про те, що експериментальна крива розгону з великою точністю апроксимується передаточною функцією з дійсними й від'ємними коренями характеристичного рівняння. За допомогою додатку «System Identification Tool» спробуємо провести параметричну ідентифікацію за експериментальною кривою розгону, прийнявши модель за аперіодичну ланку.

Результати ідентифікації наведені на рис.2.8. З нього видно, що прийняття динамічної моделі насосу за аперіодичну ланку дає дуже високу

точність ідентифікації – 100%. Тож, приймаємо імітаційну модель насосу за аперіодичну ланку з параметрами: коефіцієнт підсилення 10,4, постійна часу – 0,7 с.

З аналізу результатів ідентифікації ми бачимо, що насос має дуже малу інерційність у порівнянні з часом відкачування води. Проведемо дослідження впливу інерційності насосу на кількість води, що відкачується насосом на короткому інтервалі часу до однієї хвилини. Для цього проведемо моделювання роботи насосу з урахуванням його інерційності та без урахування (створені відповідні моделі на рис.2.9).

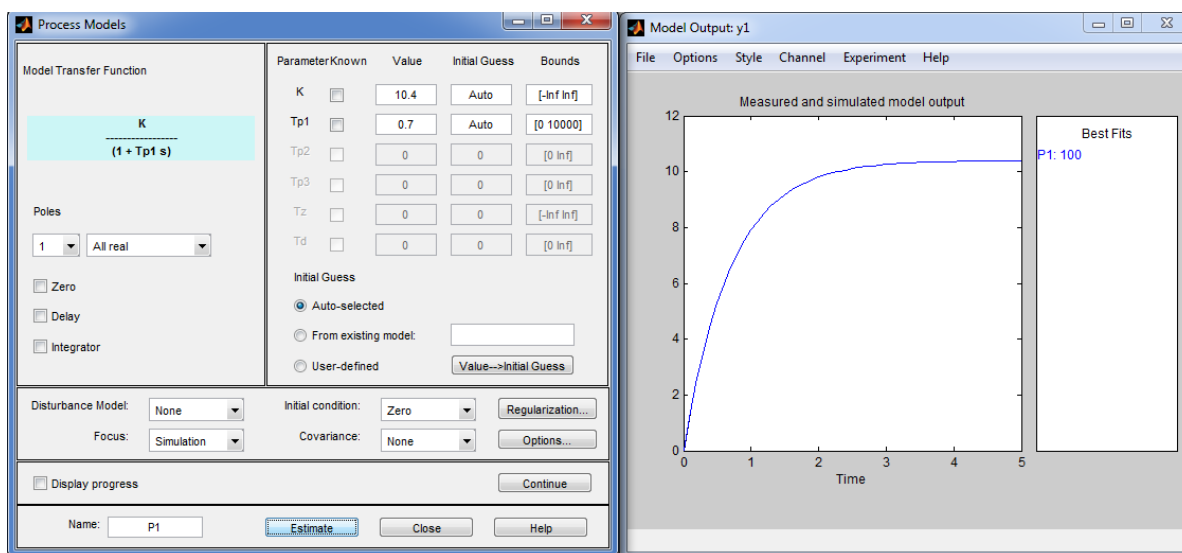


Рисунок 2.8 – Результати параметричної ідентифікації моделі насосу

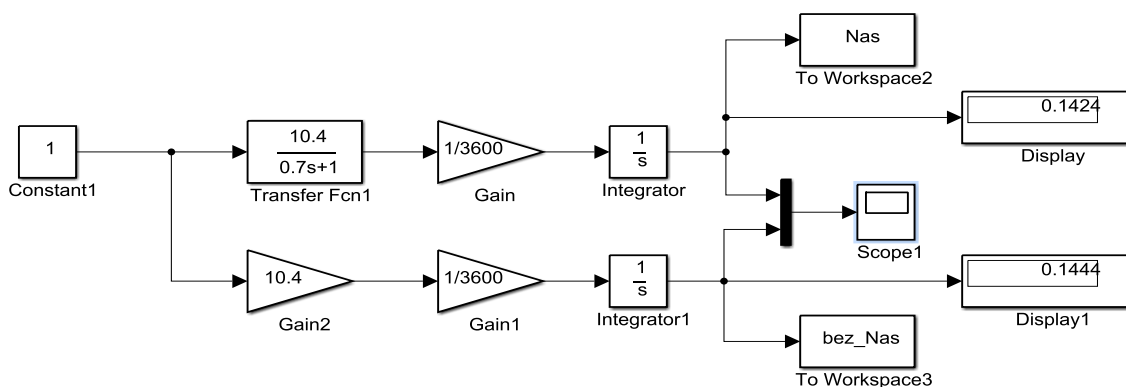


Рисунок 2.9 – Схема для оцінювання впливу інерційності насосу на керовану величину

На рис.2.9 продуктивність насоса взята з його технічних характеристик (10,4 м<sup>3</sup>/год), й задається за допомогою блоку «Gain2». Перехід від продуктивності насоса до кількості відкачаної води здійснюється за допомогою інтегратора, а перед цим відбувається перехід до часової шкали у секундах (блоки «Gain» та «Gain1» на рис.2.9).

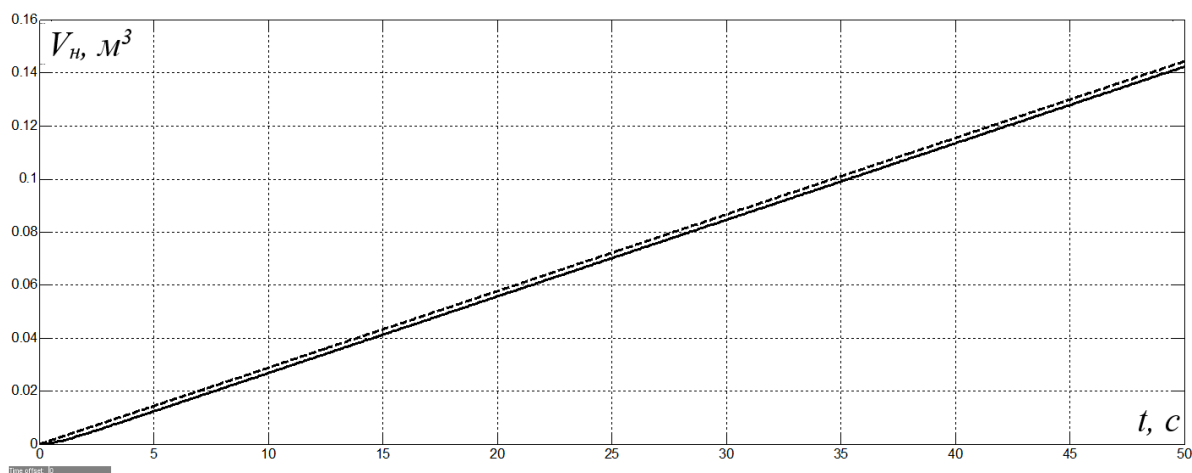


Рисунок 2.10 – Зміна у часі об'єму води, відкаченої насосом, з урахуванням інерційності насоса (суцільна лінія) та без урахування (пунктирна лінія)

З результатів моделювання, наведених на рис.2.10, можна зробити висновок, що інерційність насоса призводить до запізнення зміни у часі кількості відкачаної води, але це запізнення незначне. Статична похибка за кількістю відкачаної води через вплив інерційності насоса навіть на незначному часовому інтервалі до однієї хвилини становить менше 10%, а в реальних умовах насос працює кілька годин, й на такому часовому інтервалі статична відносна похибка буде у тисячі разів меншою.

Модель приймального водозбірника створюється на основі інтегратора, на вхід якого подається різниця між водою, що надійшла до водозбірника, та водою, що відкачана насосами. На виході інтегратора отримуємо кількість води у приймальному водозбірнику. Перехід від кількості води у водозбірнику до

рівня води у ньому здійснюємо за допомогою відомої формули визначення об'єму прямокутного паралелепіпеду, прийнявши форму водозбірника, що відповідає цій фігурі:

$$V_{\epsilon} = l_{\epsilon} \cdot s_{\epsilon} \cdot h_{\epsilon},$$

де  $l_{\epsilon}$ ,  $s_{\epsilon}$ , та  $h_{\epsilon}$  – відповідно, довжина й ширина водозбірника, а також рівень води в ньому.

Таким чином, рівень води у приймальному водозбірнику визначається за формулою:

$$h_{\epsilon} = \frac{V_{\epsilon}}{l_{\epsilon} \cdot s_{\epsilon}}$$

Динамічна модель насосу за кількістю відкачаної води без урахування його інерційності буде такою, як на рис.2.11.

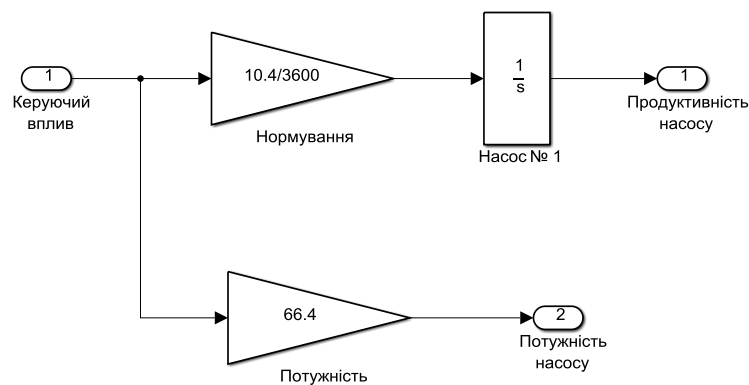


Рисунок 2.11 – Схема імітаційної моделі насосу

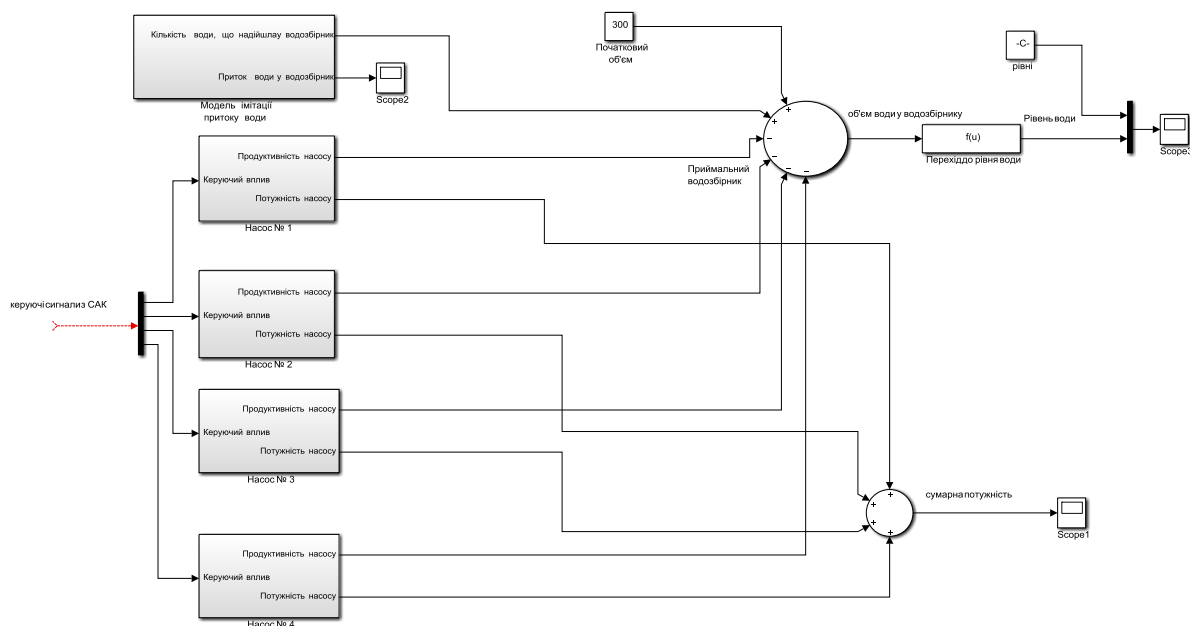


Рисунок 2.12 – Схема імітаційної моделі об'єкта керування

З урахуванням описаних вище моделі імітації зміни у часі притоку води у приймальний водозбірник, моделі насосу та самого водозбірника створена імітаційна модель об'єкта керування (рис.2.12) за умови використання чотирьох насосів.

Модель дозволяє отримати інформацію щодо зміни у часі кількості води, що надійшла до водозбірника, кількості води, що відкачана насосами, кількості води, що знаходиться у водозбірнику, а також щодо потужності, що споживається кожним насосом окремо.

Моделі імітації зміни у часі притоку води, насосів та водозбірника розташовані у підсистемах з відповідними назвами.

Різниця між водою, що надійшла до водозбірника, та водою, що відкачана насосами, визначається за допомогою суматора (рис.2.12), на вхід якого подається ще одна величина – початковий об'єм води у водозбірнику на момент початку моделювання.

## **2.2 Обґрунтування критеріїв ефективності роботи системи автоматичного керування**

Технологічний процес, що розглядається, не висуває досить жорстких вимог щодо керування рівнем води – допускається його знаходження в межах від 2 до 3 метрів з рекомендованим діапазоном від 2,2 до 2,8 метрів. Якщо брати динаміку за каналом керування, – вона є дуже простою: за умови подачі керуючого дискретного сигналу керована величина починає лінійно змінюватися у часі з прискоренням, що залежить від кількості увімкнених насосів. Фактично, якщо брати один насос, передаточною функцією об'єкта керування є звичайна інтегруюча ланка. За цих умов немає ніяких складнощів щодо забезпечення якісних перехідних процесів на виході системи керування. Тож, немає відповідних вимог до процесу керування рівнем води у водозбірнику.

Але, існують технологічні критерії, які визначають якість роботи системи керування насосною станцією. Одним з них є кількість запусків насосів за одиницю часу. Частий запуск потужних насосів має два негативних наслідки. По перше, це призводить до скорочення служби механічних частин приводів насосів й труб водопровідної системи, по якій відкачується вода. По друге, запуск потужних насосів викликає суттєву просадку напруги у мережі живлення, й погіршує якість енергопостачання у мережі, до якої під'єднані насоси.

Таким чином, у системі керування, що синтезується й досліджується, за критерій якості її роботи приймемо кількість запусків насосів за одиницю часу, яка потрібна прагнути до нуля. Тобто, керування насосною станцією буде здійснюватися за критерієм мінімізації кількості запуску насосів.

## **2.3 Висновки щодо розділу**

Модель об'єкта керування як інструменту дослідження, є багатокомпонентною й складається з моделі імітації зміни у часі притоку води у приймальний водозбірник, моделей насосу та самого водозбірника. Вона



дозволяє отримати інформацію щодо зміни у часі кількості води, що надійшла до водозбірника, кількості води, що відкачана насосами, кількості води, що знаходиться у водозбірнику, а також щодо потужності, що споживається кожним насосом окремо.

Детермінована складова притоку води у приймальний водозбірник станції водовідведення з прийнятною точністю описується ступеневим поліномом восьмого порядку – максимальне абсолютне відхилення експериментальних даних від апроксимуючої кривої не перевищує  $4 \text{ м}^3/\text{год}$ , середнє інтегральне –  $1,5 \text{ м}^3/\text{год}$ , що у відносних одиницях для діапазону зміни  $20\text{-}30 \text{ м}^3/\text{год}$  становить  $5\text{-}7,5\%$ .

Перевірена гіпотеза про нормальний закон розподілу випадкової складової притоку, яка підтвердилася з рівнем значимості  $5\%$ . Її дисперсія склала  $1.49734672589 \text{ (м}^3/\text{год)}^2$ .

Інерційність насосу призводить до запізнення зміни у часі кількості відкачаної води, але це запізнення незначне. Статична похибка за кількістю відкачаної води через вплив інерційності насосу навіть на незначному часовому інтервалі до однієї хвилини становить менше  $10\%$ , а в реальних умовах насос працює кілька годин, й на такому часовому інтервалі статична відносна похибка буде у тисячі разів меншою. Тож, інерційністю насосу при створенні моделі об'єкта керування можна знехтувати.

У системі керування, що синтезується й досліджується, за критерій якості її роботи приймемо кількість запусків насосів за одиницю часу, яка потрібна прагнути до нуля. Тобто, керування насосною станцією буде здійснюватися за критерієм мінімізації кількості запуску насосів.

## РОЗДІЛ 3 СИНТЕЗ І ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

### 3.1 Синтез системи керування

З урахуванням структури моделі об'єкта керування, що була створена у другому розділі, розроблена структура імітаційної моделі системи автоматичного керування рівнем води у приймальному водозбірнику станції водовідведення.

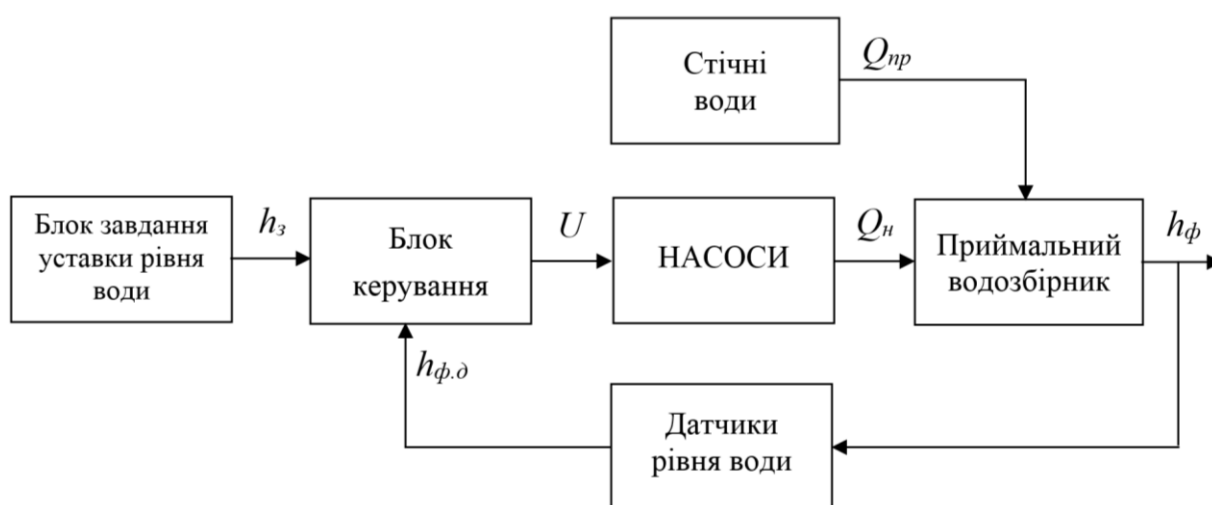


Рисунок 3.1 – Структурна схема імітаційної моделі системи автоматичного керування

З рис.3.1 ми бачимо, що додаються блок керування, блок завдання уставки рівня води та модель датчика рівня води.

Блок завдання уставки рівня води є умовним, оскільки керування рівнем води здійснюється у жорстко заданому діапазоні, що визначається дискретними датчиками рівня води.

Датчики рівня води реалізовані на основі блоків порівняння вхідної величини з константою. Вони прийняті безінерційними.

У блоці керування програмно реалізується алгоритм автоматичного керування рівнем води у приймальному водозбірнику.

Розробимо модель системи керування рівнем води у водозбірнику для одного насосу. Структурна схема такої моделі представлена на рис.3.2.

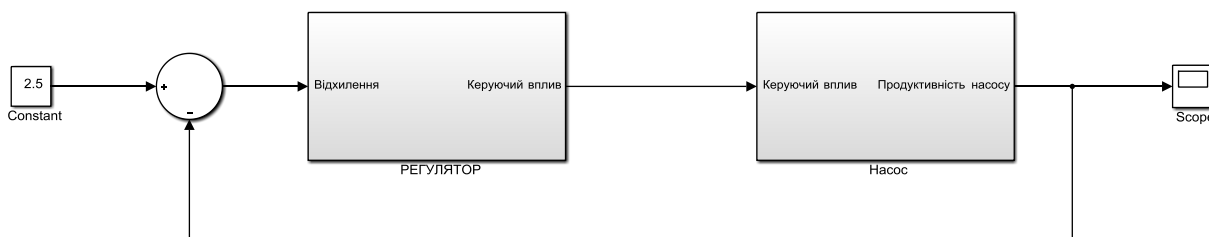


Рисунок 3.2 – Схема системи автоматичного керування одним насосом з релейним регулятором

В цій моделі у підсистемі «Насос» (рис.3.2) реалізована схема, що наведена на рис.2.11.

У свою чергу у підсистемі «Регулятор» реалізований регулятор рівня води релейного типу з зоною нечуттєвості  $\pm 0,2$  м. Вміст даної підсистеми наведений на рис.3.3.

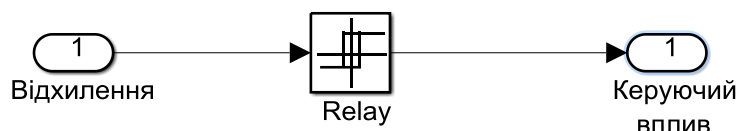


Рисунок 3.3 – Підсистема «РЕГУЛЯТОР»

З результатів моделювання роботи системи керування на рис.3.4 видно, що регулятор справляється зі своєю функцією – він утримує рівень води у діапазоні від 2,3 до 2,7 метрів згідно релейній статичній характеристиці регулятора.

Ці результати моделювання підтвердили можливість використання простих законів керування, на кшталт релейного, для утримання рівня води у водозбірнику у заданих межах без необхідності використання більш складних законів для коригування перехідного процесу на виході системи керування.

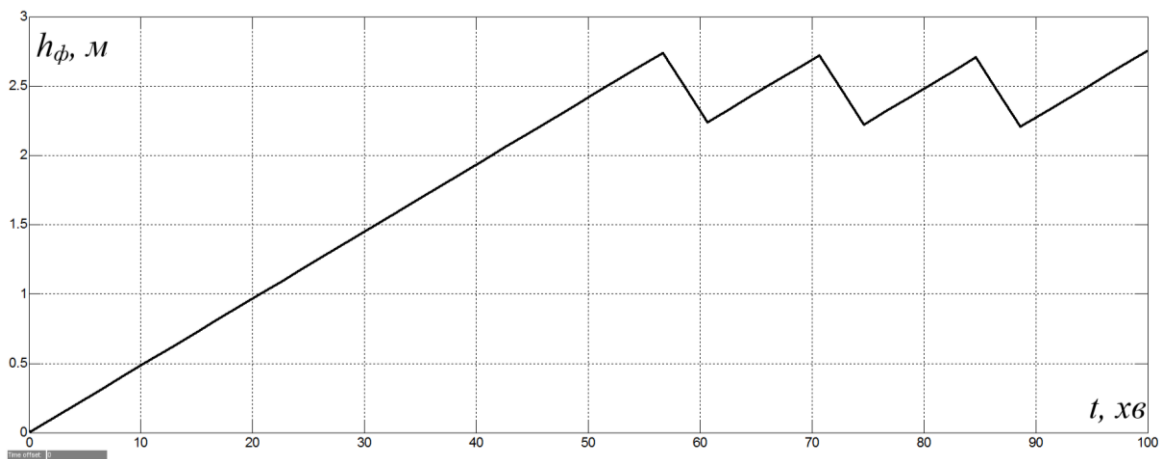


Рисунок 3.4 – Графік зміни у часі рівня води у приймальному водозбірнику при керуванні одним насосом

Далі розглянемо існуючий алгоритм керування насосною станцією на основі графу переходів на рис.3.5.

Зазначимо, що датчики рівня води у приймальному водозбірнику відповідають трьом рівням: низькому (2,2 м) підвищеному (2,5 м) та високому (2,8 м).

Стан 1 системи керування на рис. 3.5 відповідає знаходженню рівня води у водозбірнику нижче нижнього рівня. Стан 2 – знаходженню рівня води між нижнім та підвищеним рівнями, а стан 3 – між підвищеним та високим рівнями.

Отже умовою Переходу 1 на рис.3.5 є відсутність сигналу з датчика нижнього рівня (відсутність води – логічний нуль), а дією – вимикання усіх насосів.

Умовою Переходу 2 на рис.3.5 є зміна сигналу з датчика нижнього рівня з 0 на 1. Дій при цьому немає.

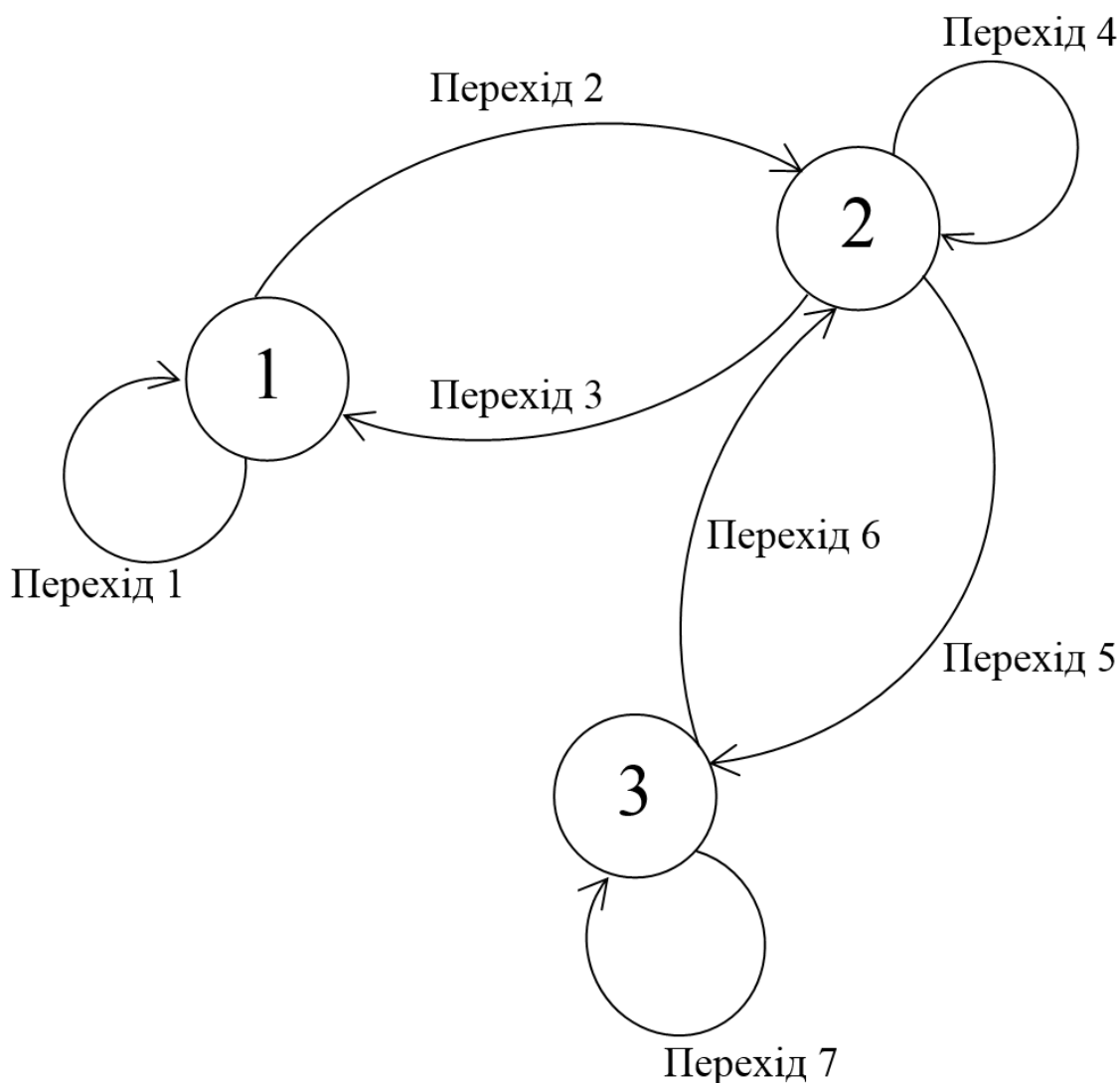


Рисунок 3.5 – Граф переходів, що описує алгоритм керування насосною установкою у приймальному водозбірнику

Умовою Переходу 3 на рис.3.5 є зміна сигналу з датчика нижнього рівня з 1 на 0. Дією переходу є вимикання усіх насосів.

Умовою Переходу 4 на рис.3.5 є присутність сигналу з датчику нижнього рівня, та відсутність сигналу з датчика підвищеного рівня. Дій за умови переходу немає.

Умовою Переходу 5 на рис.3.5 є зміна сигналу з датчика підвищеного рівня з 0 на 1. Дією переходу є вмикання насосів, кількість яких задається оператором (прийнято два).

Умовою Переходу 6 на рис.3.5 є зміна сигналу з датчика підвищеного рівня з 1 на 0. Дій за умови переходу немає.

Умовою Переходу 7 на рис.3.5 є зміна сигналу з датчика високого рівня з 0 на 1. Дією переходу є вмикання усіх чотирьох насосів.

З опису існуючого алгоритму керування насосною станцією можна виділити суттєвий недолік – присутність людського фактору. Саме людина визначає кількість працюючих насосів між нижнім та підвищеним рівнями, керуючись власним досвідом, або просто задаючи кількість насосів з суттєвим запасом, щоб вони справлялися з відкачуванням води. Це може призвести до суттєвого збільшення кількості запусків насосів за одиницю часу.

Тому, у даній роботі запропонований інший підхід при синтезі системи керування насосною станцією за критерієм мінімізації кількості пусків насосів.

Пропонується підхід, коли на основі моніторингу часу, який потрібний воді для здолання відстані між датчиками рівня у водозбірнику, визначається середній притік каналізаційних вод. Для цього використовується формула:

- на основі зміни метрів за рівнем розраховується зміна об'єму води у водозбірнику за певний час на основі знання про ширину й довжину водозбірника;

- цей об'єм нормується до розмірності  $\text{м}^3/\text{год}$  шляхом множення на 3600/час, який потрібний воді для проходження відстані між датчиками;

- розраховується притік води у водозбірник як різниця сумарної продуктивності насосів та притоку, що еквівалентний відкачаному за годину об'єму води між рівнями розташування датчиками, якщо рівень води зменшувався, та сумі цих параметрів, якщо збільшувався. Якщо рівень води через деякий час повертався на той же самий рівень у водозбірнику не досягши сусідніх датчиків, то притік води у водозбірник прирівнювався продуктивності працюючих насосів;

- методом перебору визначається така комбінація увімкнених насосів, при якій модуль різності притоку й сумарної продуктивності насосів менше продуктивності одного насосу. Тобто, різниця між сумарною продуктивністю

насосів та притоком повинна прагнути до нуля. У такому разі час відкачування води буде максимально довгим, й кількість вмикання насосів зменшується.

### 3.2 Дослідження ефективності роботи системи керування

Для перевірки ефективності роботи системи керування насосною станцією за існуючим вище описаним алгоритмом, розроблена імітаційна модель системи автоматичного керування рівнем води у приймальному водозбірнику у додатку Simulink програми MATLAB (рис.3.6).

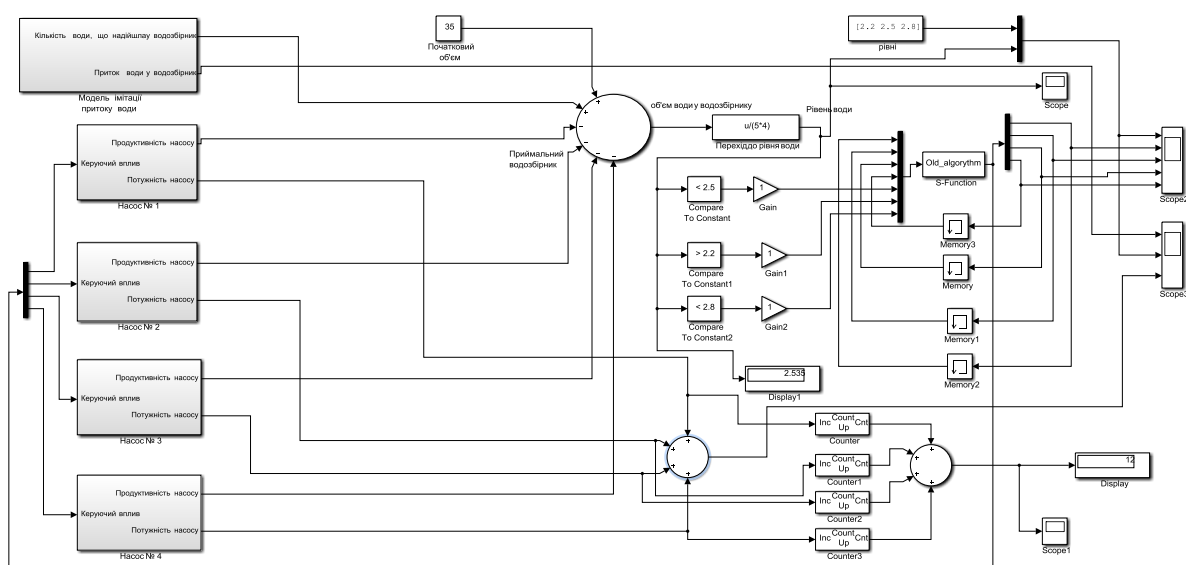


Рисунок 3.6 – Схема імітаційної моделі системи автоматичного керування насосною установкою у приймальному водозбірнику за існуючим алгоритмом

У рис.3.6 існуючий алгоритм реалізований як функція “Old\_algorithm” (код наведений нижче). Критерій ефективності роботи системи керування розраховується з використанням блоків “Counter”.

Програма 3.1 – Програмна реалізація існуючого алгоритму керування насосною станцією

```
function [sys,x0,str,ts] = Old_algorithm(t,x,u,flag)
switch flag,
```

```

case 0
    [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes;
case 3
    sys = mdlOutputs(t,x,u);
case { 1, 2, 4, 9 }
    sys = [];
otherwise
    error(['Unhandled flag = ',num2str(flag)]);
end

function [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes
sizes = simsizes;
sizes.NumContStates = 0;
sizes.NumDiscStates = 0;
sizes.NumOutputs = 4;
sizes.NumInputs = 7;
sizes.DirFeedthrough = 1;
sizes.NumSampleTimes = 1;
sys = simsizes(sizes);
x0 = [];
str = [];
ts = [10 0];

function sys = mdlOutputs(t,x,u)
sys=[u(1) u(2) u(3) u(4)];
global P
%Відпрацювання нижнього рівня (задані 2 насоси)
if(u(6)==0)
    sys=[0 0 0 0];
    P=0;
end
%Відпрацювання підвищеного рівня (задані 2 насоси)
if(u(5)==0 && P==0)
    sys=[1 1 0 0];
end
%Відпрацювання високого рівня
if(u(7)==0)
    sys=[1 1 1 1];
    P=1;
end
end

```

Результати моделювання роботи системи автоматичного керування насосною станцією з використанням існуючого алгоритму представлені на рис.3.7 та 3.8.



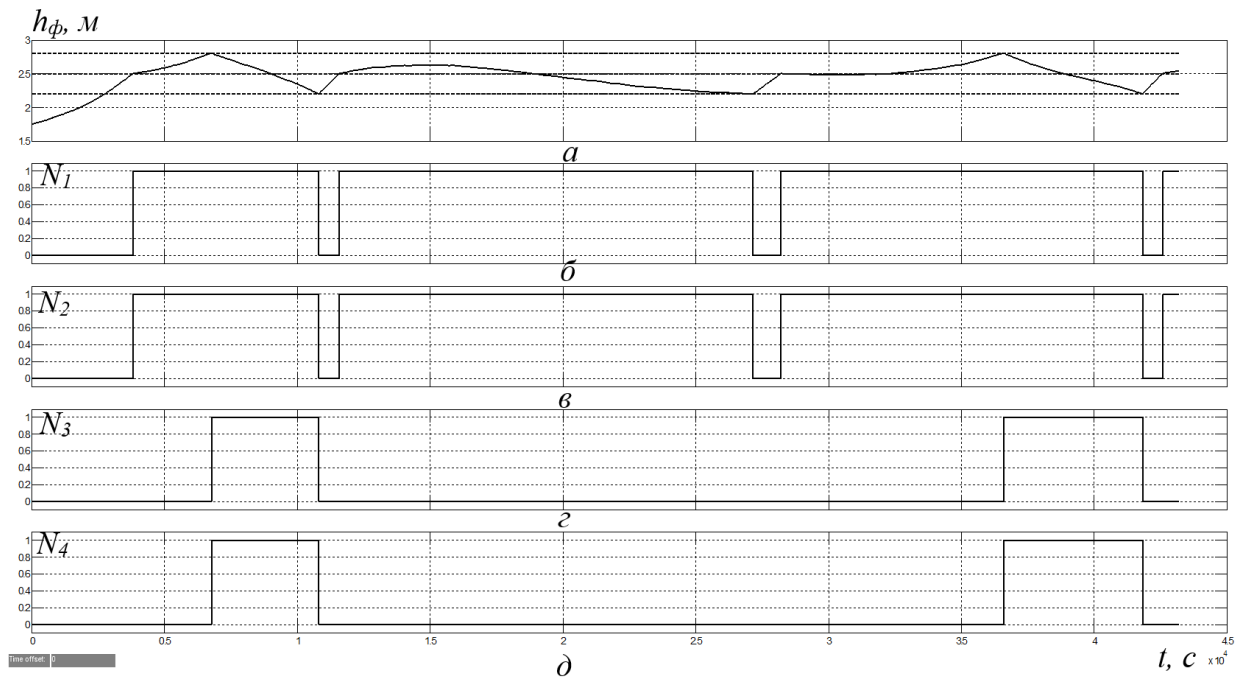


Рисунок 3.7 – Графіки зміни у часі: *a* – фактичного рівня води у водозбірнику; *б* – керуючого сигналу на насос №1; *в* – керуючого сигналу на насос №2; *г* – керуючого сигналу на насос №3; *д* – керуючого сигналу на насос №4 за умови існуючого алгоритму керування насосною станцією

З рис.3.7 видно, що перші два насоси працюють в основному як основні, а другі два як резервні. При цьому як перша пара насосів, так і друга працюють відносно один одного синхронно.

Перша пара насосів працює практично постійно, вимикаючись як правило після роботи усіх чотирьох насосів за умови досягнення водою нижнього рівня. Друга пара насосів підключається у часи-пік.

Такий режим роботи насосів призводить до доволно частого їх останову й пуску. З рис.3.6 видно, що кількість пуску дорівнює 12.

Зроблені висновки підтверджує рис.3.8. Ми бачимо, що при збільшенні притоку (рис.3.8,а) сумарна потужність, що споживають насоси, є максимальною (рис.3.8,в).

З рис.3.8,б видно, що система керування справляється зі своїм завданням та утримує рівень води у водозбірнику у заданих межах від 2,2 до 2,8 м.

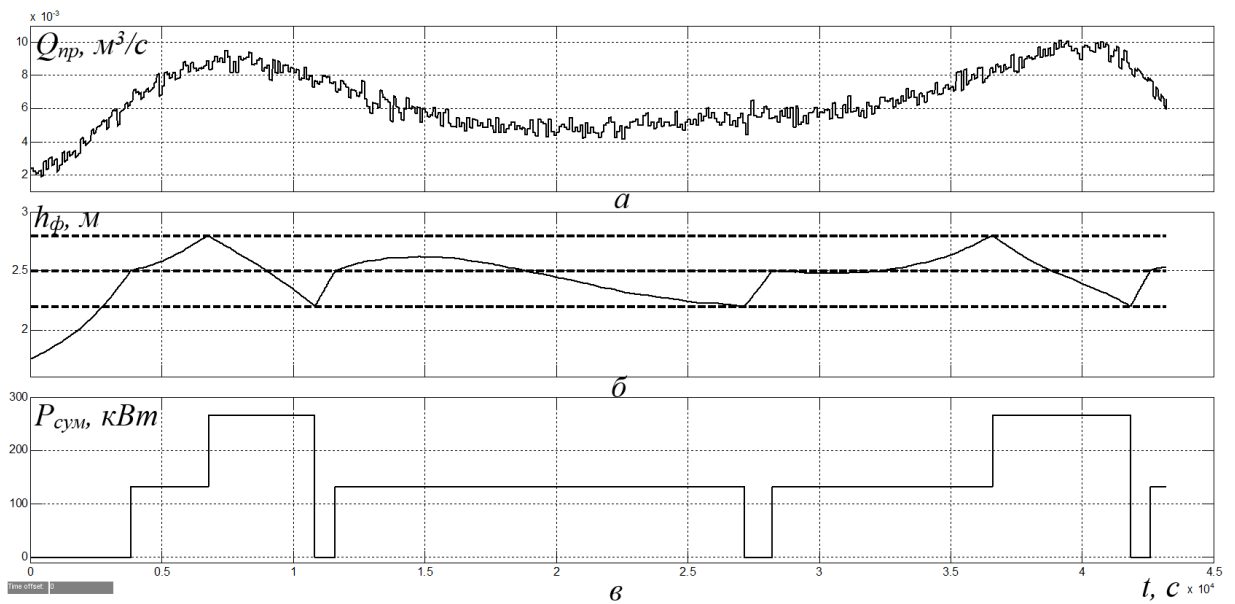


Рисунок 3.8 – Графіки зміни у часі: *a* – кількості води, що надходить до приймального водозбірника; *б* – фактичного рівня води у водозбірнику; *в* – сумарної потужності, що споживають насоси, за умови існуючого алгоритму керування насосною станцією

Для перевірки ефективності роботи системи керування насосною станцією за запропонованим у роботі алгоритмом, розроблена імітаційна модель системи автоматичного керування рівнем води у приймальному водозбірнику у додатку Simulink програми MATLAB (рис.3.9).

На рис.3.9 запропонований алгоритм реалізований як функція “New\_algorithm” (код наведений нижче).

Програма 3.2 – Програмна реалізація запропонованого алгоритму керування насосною станцією

```
function [sys,x0,str,ts] = New_algorithm(t,x,u,flag)
```

```
switch flag,
```

```
case 0
```

```
[sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes;
```

```
case 3
```

```
sys = mdlOutputs(t,x,u);
```

```

case { 1, 2, 4, 9 }
    sys = [];
otherwise
    error(['Unhandled flag = ',num2str(flag)]);
end

```

```

function [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes
sizes = simsizes;
sizes.NumContStates = 0;
sizes.NumDiscStates = 0;
sizes.NumOutputs = 4;
sizes.NumInputs = 7;
sizes.DirFeedthrough = 1;
sizes.NumSampleTimes = 1;
sys = simsizes(sizes);
x0 = [];
str = [];
ts = [10 0];

```

```

function sys = mdlOutputs(t,x,u)
global Timer
global prev
global prev_nn
global prev_vv
global Prit
global prev_vvv
%Збереження стану насосів за умови відсутності подій
sys = [u(1) u(2) u(3) u(4)];
%Обробка ситуації проходження верхнього рівня
if(u(7)<prev_vvv && Timer >500)
    Prit=(((2.8-2.5)*5*4)*(3600/Timer))+((u(1)+u(2)+u(3)+u(4))*10.4);
    k=0;
    for ii=0:1
        for jj=0:1
            for nn=0:1
                for mm=0:1
                    if(((ii+jj+mm+nn)*10.4)-Prit >0 && k==0)
                        sys=[mm nn jj ii];
                        prev=2.8;
                        k=1;
                    end
                end
            end
        end
    end
end
end
end
end
end
%Обробка ситуації проходження підвищеного рівня знизу вверху
if(u(5)<prev_vv && Timer >500)
    Prit=(((2.5-prev)*5*4)*(3600/Timer))+((u(1)+u(2)+u(3)+u(4))*10.4);
    k=0;
    for ii=0:1
        for jj=0:1

```

```

for nn=0:1
  for mm=0:1
    if(Prit-((ii+jj+mm+nn)*10.4) < 0 && k==0)
      k=1;
      prev=2.5;
    end
    if(k==0)
      sys=[mm nn jj ii];
    end
  end
end
end

```

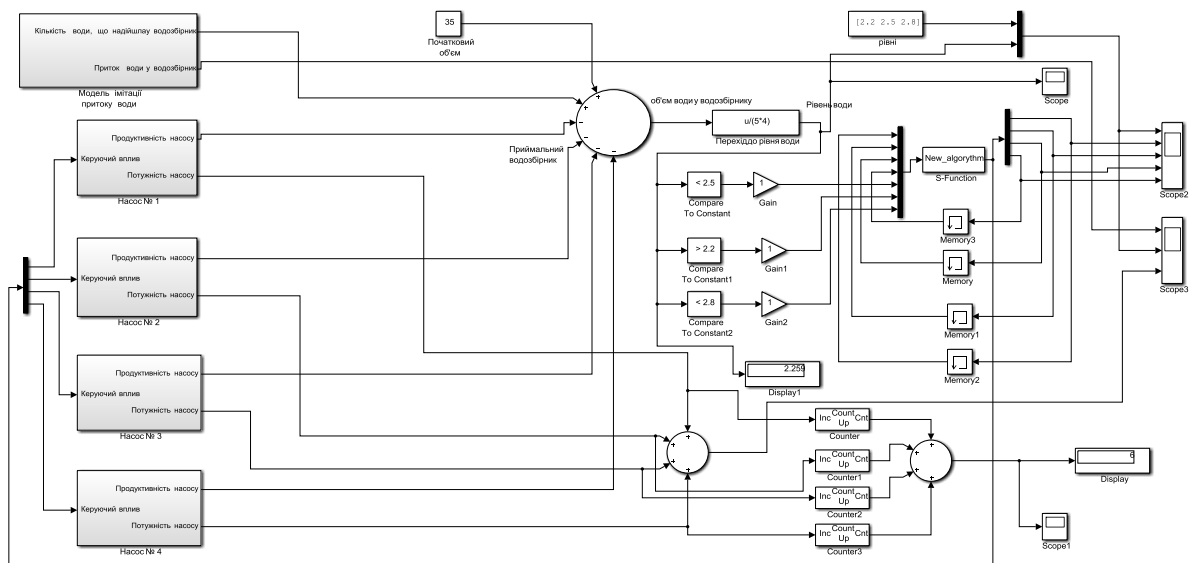


Рисунок 3.9 – Схема імітаційної моделі системи автоматичного керування насосною установкою у приймальному водозбірнику за запропонованим алгоритмом

Результати моделювання роботи системи автоматичного керування насосною станцією з використанням запропонованого в кваліфікаційній роботі алгоритму керування представлені на рис.3.10 та 3.11.

З рис.3.10 можна зробити наступні висновки:

- робота насосів тепер є здебільшого асинхронною – вони вмикаються одночасно тільки у випадку суттєвого збільшення притоку за короткий час. Це зменшує навантаження на мережу енергоживлення;

- з динаміки рівня води у водозбірнику видно, що зміна цього параметру стала не такою інтенсивною, як за умови використання існуючого алгоритму керування. Тепер рівень води досягає низького та високого рівнів за набагато довший час, через що кількість пусків насосів суттєво зменшилася. З рис.3.9 видно, що вона склала 6, що у два рази менше у порівнянні з випадком використання існуючого алгоритму керування;

- змінилася тактика роботи насосів – тепер основним є другий насос, що працює постійно, перший й третій насоси компенсують коливання притоку води й фактично є напіврезервними, а четвертий насос підключається тільки у випадку суттєвого збільшення притоку води.

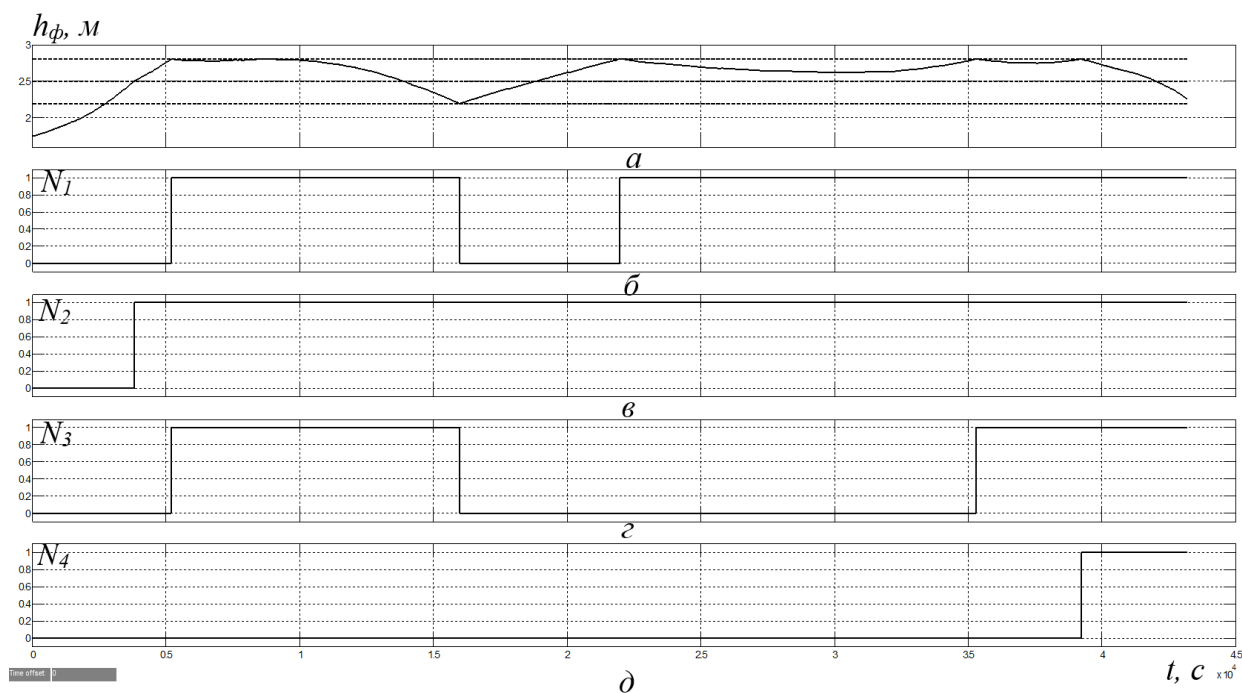


Рисунок 3.10 – Графіки зміни у часі: *a* – фактичного рівня води у водозбірнику; *б* – керуючого сигналу на насос №1; *в* – керуючого сигналу на насос №2; *г* – керуючого сигналу на насос №3; *д* – керуючого сигналу на насос №4 за умови запропонованого алгоритму керування насосною станцією

Рис.3.11 також підтверджує коректність й ефективність дії запропонованого алгоритму керування насосною станцією. З рис.3.11,в ми

бачимо, що сумарна потужність, що споживається насосами, фактично повторює форму зміни притоку води у водозбірник у часі (рис.3.11,а). Це є наслідком підключення рівно тієї кількості насосів, яка потрібна для компенсації збільшення притоку води. Завдяки цьому зменшується кількість пусків насосів.

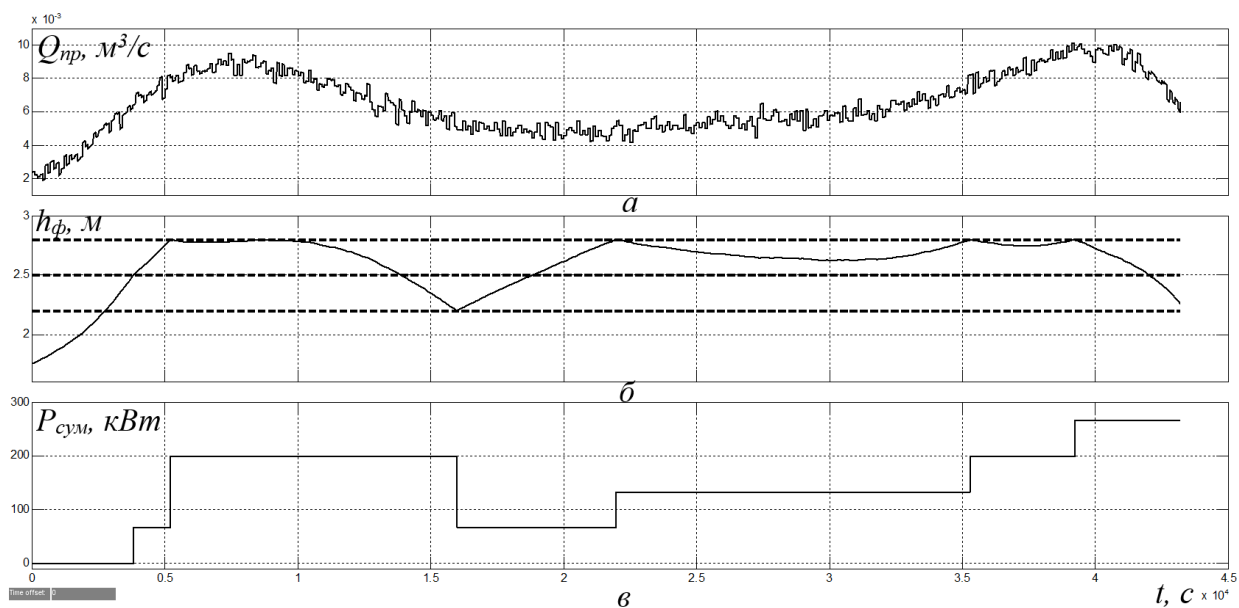


Рисунок 3.11 – Графіки зміни у часі: *а* – кількості води, що надходить до приймального водозбірника; *б* – фактичного рівня води у водозбірнику; *в* – сумарної потужності, що споживають насоси, за умови запропонованого алгоритму керування насосною станцією

З рис.3.11,б видно, що система керування за запропонованим алгоритмом також справляється зі своїм основним завданням й утримує рівень води у заданих межах.

### 3.3 Висновки щодо розділу

Дослідження ефективності роботи системи керування насосною станцією з використанням існуючого алгоритму показав, що через присутність людського фактору декілька насосів працюють синхронно з періодичним

пуском, коли вода досягає підвищеного рівня у водозбірнику. Крім того, за умови підвищеного притоку води вмикаються усі насоси з їх наступним відключенням. Тобто, режим роботи насосів зовсім не підлаштовується під динаміку притоку води у водозбірник, що призводить до суттєвого збільшення кількості їх пуску.

Тому запропонований підхід, коли на основі моніторингу часу, який потрібний воді для здолання відстані між датчиками рівня у водозбірнику, визначається середній притік каналізаційних вод. А потім методом перебору визначається така комбінація увімкнених насосів, при якій модуль різності притоку й сумарної продуктивності насосів менше продуктивності одного насосу. Тобто, різність між сумарною продуктивністю насосів та притоком повинна прагнути до нуля. У такому разі час відкачування води буде максимально довгим, й кількість вмикання насосів зменшується.

Дослідження показали коректність й ефективність дії запропонованого алгоритму керування насосною станцією. Обчислювальні експерименти показали, що зміна у часі кількості насосів та сумарної потужності, що споживається насосами, фактично повторюють форму зміни у часі притоку води у приймальний водозбірник. Це є наслідком підключення рівно тієї кількості насосів, яка потрібна для компенсації збільшення притоку води. Завдяки цьому кількість пусків насосів у порівнянні з випадком використання існуючого алгоритму керування зменшилася в два рази.

## 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### 4.1 Цифрова модель об'єкта керування

Вихідними даними для цього розділу є синтезована система автоматичного керування, що отримана у третьому розділі (рис.4.1).

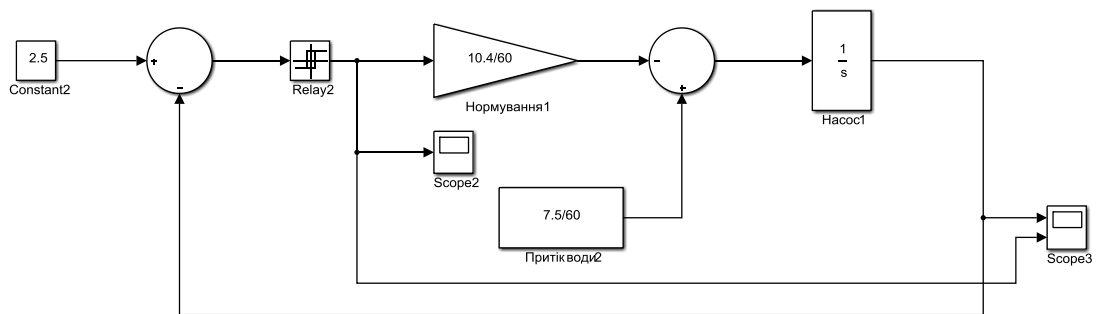


Рисунок 4.1 – Імітаційна модель синтезованої системи автоматичного керування

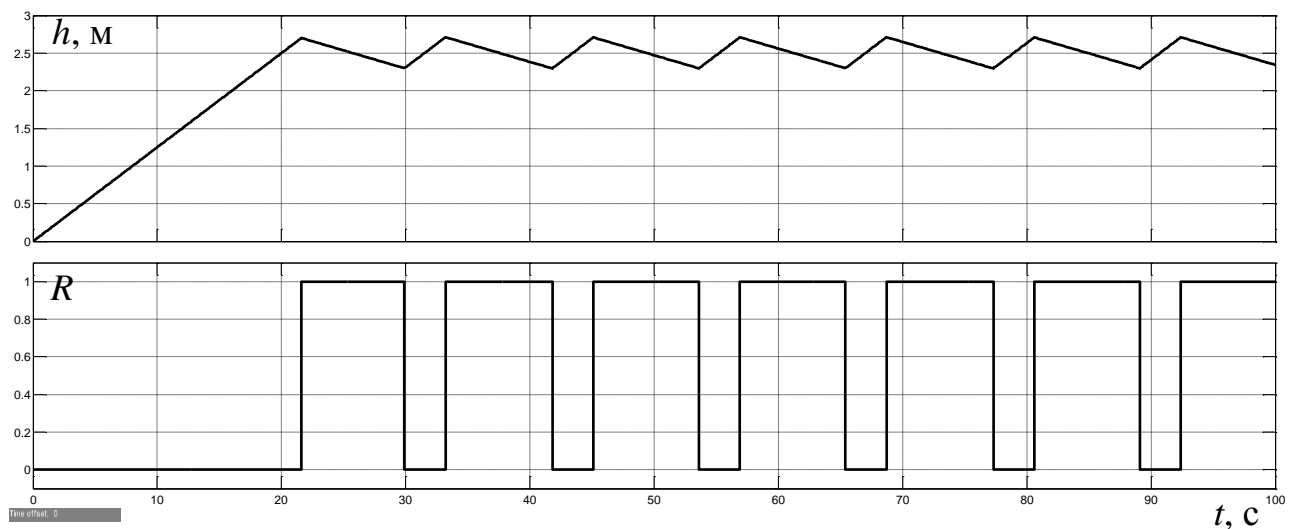


Рисунок 4.2 – Результати моделювання синтезованої системи автоматичного керування (верхній рис. – керована величина, нижній – керуюча)

Але, для створення програмного забезпечення для цієї системи необхідно перейти до цифрової моделі об'єкта керування. Тож, виконаємо



заміну неперервних елементів системи автоматичного керування цифровими. Для перетворення інтегруючої ланки створена програма на мові програмування MATLAB (програма 4.1).

Програма 4.1 Перетворення неперервної моделі об'єкта керування на цифрову

**%Перетворення у цифрову форму інтегруючої ланки**

```
wi=tf([1], [1 0]);
wiz=c2d(wi, 0.1);
[a_i, b_i]=tfdata(wiz);
a_i=cell2mat(a_i)
b_i=cell2mat(b_i)
```

Результат роботи програми 4.1:

```
a_i =
      0  0.1000000000000000
```

```
b_i =
      1  -1
```

За результатами роботи програми 4.1 створимо цифрову модель об'єкта керування (рис.4.3) та САК (рис.4.4).

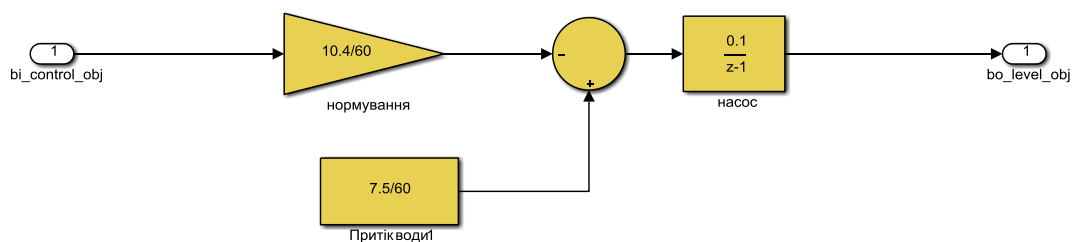


Рисунок 4.3 – Цифрова модель об'єкта керування

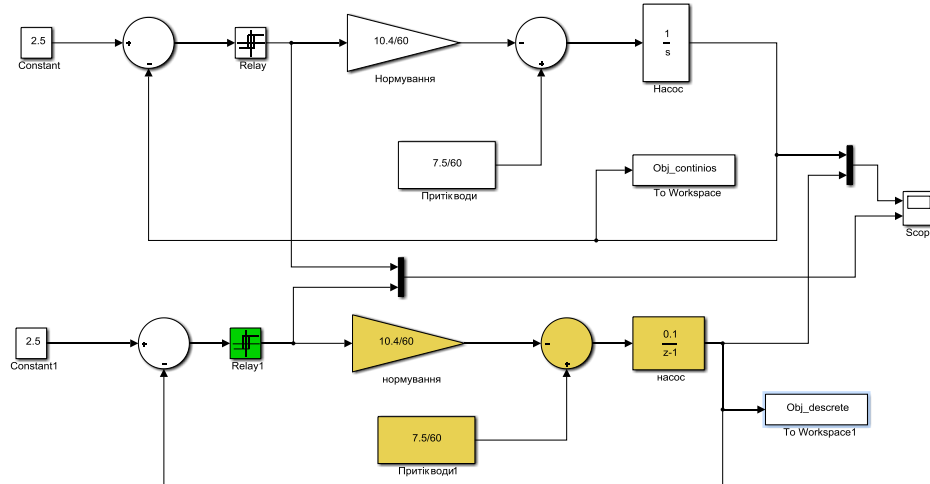


Рисунок 4.4 – Неперервна та цифрова моделі системи автоматичного керування

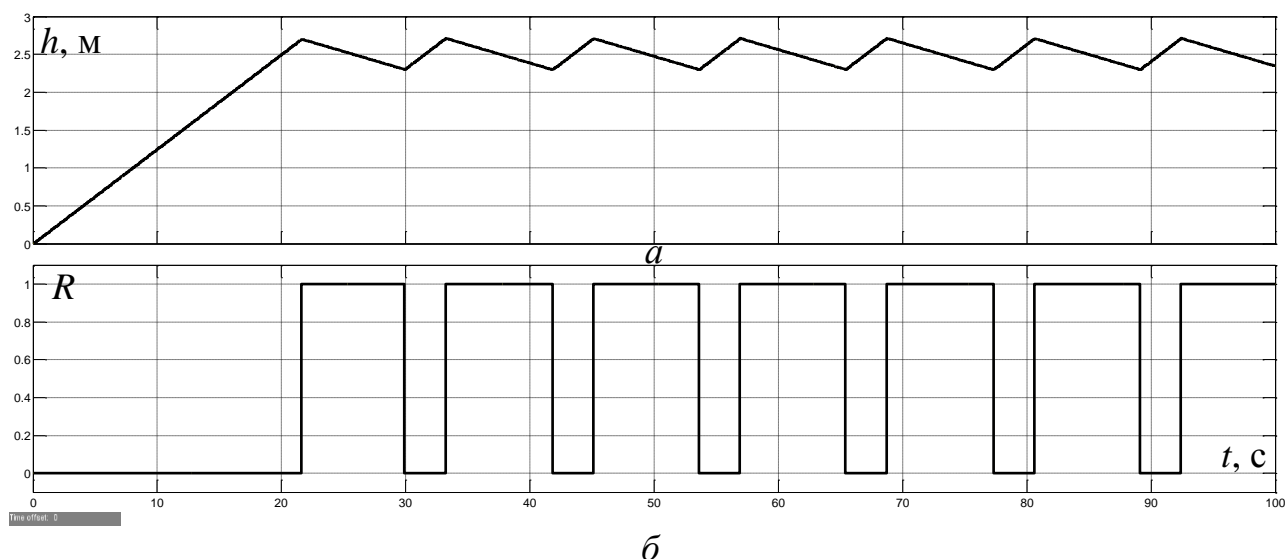


Рисунок 4.5 – Результати моделювання: а – керована величина; б – керуюча величина (суцільна лінія – неперервна модель; пунктирна – цифрова)

З рис.4.5 видно, що графіки як керованої величини, так і керуючої фактично повністю співпали. Оцінимо більш точно відповідність цифрової моделі системи автоматичного керування неперервній моделі за нормованим середньо-квадратичним відхиленням між точками кривих зміни у часі керованої та керуючої величин для неперервної та цифрової моделей.

```
>> goodnessOfFit(Obj_continuos,Obj_descrete, 'NRMSE')*100
```

```
ans =
```

```
99.999999999992127
```

Як видно за результатами перевірки, маємо дуже високий відсоток відповідності цифрової моделі системи автоматичного керування неперервній моделі.

У нижній частині рис.4.6 модель цифрової САК є згурпованою за підсистемами, одною з яких є об'єкт керування, а іншою – регулятор. Вміст підсистеми “Об’єкт керування” представлений на рис.4.3, а вміст підсистеми “Регулятор” – на рис.4.7.

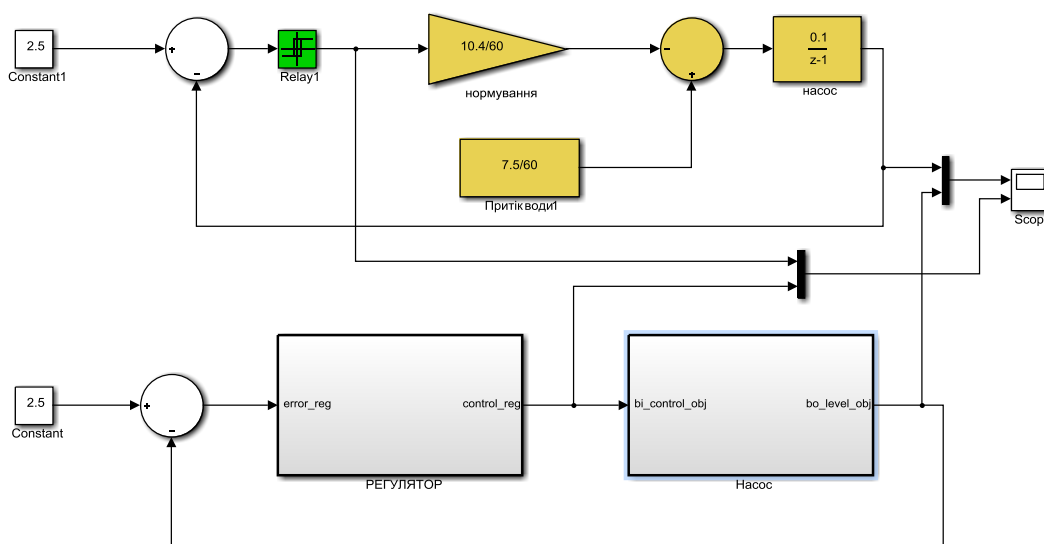


Рисунок 4.6 – Цифрова модель згурпованої системи автоматичного керування

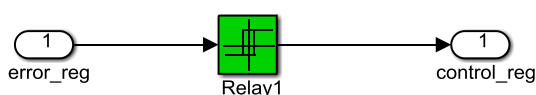


Рисунок 4.7 – Цифрова модель регулятора

На рис.4.7 цифрова модель релейного регулятора представлена відповідним блоком, в якому керуючий сигнал є дискретним, де 0 відповідає вимкненню насоса, а 1 – ввімкненню.

Далі на основі цифрової моделі САК згенеровано програмні модулі, що наведені у додатку А.

## 4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування

Програмне забезпечення системи автоматичного керування умовно можна поділити на дві окремі частини (два окремих програмних блоки): регулятор та об'єкт керування.

Програмне забезпечення регулятора розроблено під програмований логічний контролер zenon Logic, що входить до складу SCADA системи zenon. Програмне забезпечення об'єкту керування розроблено як ПЗ перевірки функціонування системи керування для драйверу пристрою керування.

З метою розробки ПЗ об'єкту керування був створений драйвер пристрою керування з налаштуванням, що показано на рисунку 4.8.

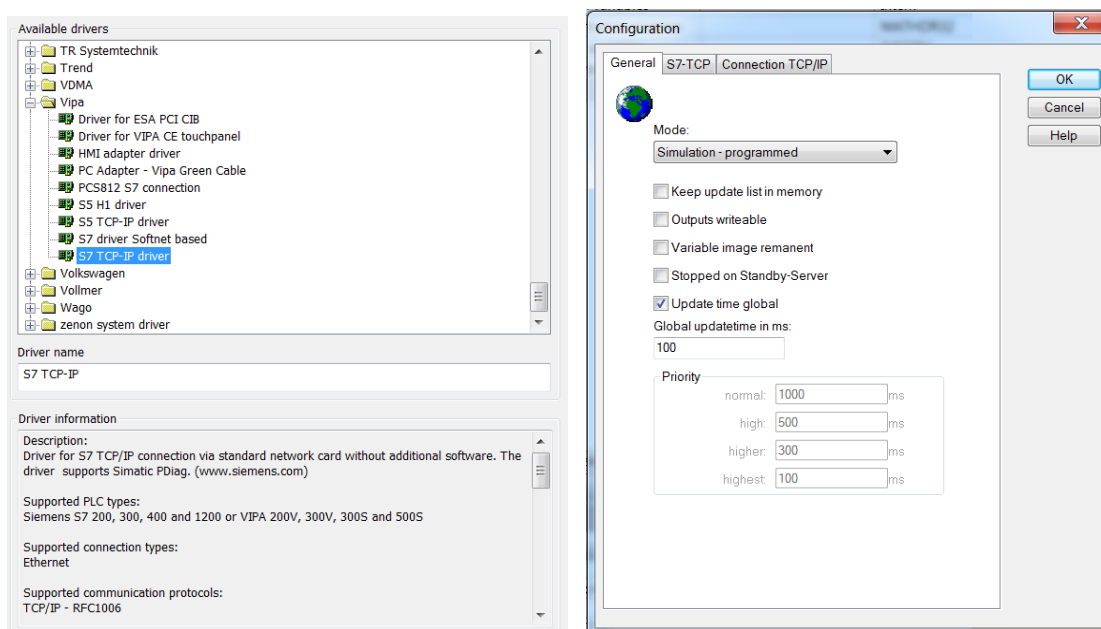


Рисунок 4.8 – Вибір драйверу пристрою керування та його настройка

Для драйвера пристрою керування були створені відповідні змінні, що забезпечують доступ до входів та виходів об'єкта керування (рис. 4.9).

State	Name	Identification	Measur...	Net address	Data block	Offset	Bit num...	Alignm...	Symbol...	Driver	Data type	Decimals	Start offset	
Filter text	Filter text	Filter text	Filter...	Filter text	Filter text	0	0	0	0	Filter text	STTCP32 - VIPA	REAL	1	0
	Pump									STTCP32 - VIPA	REAL	3	0	
	Level					0	0	0	0	STTCP32 - VIPA	REAL	3	0	

Рисунок 4.9 – Змінні драйверу об'єкта керування

У середі розробки zenon Logic Workbench для драйверу пристрою керування реалізована модель об'єкта керування на основі раніше створеного програмного модуля. Далі, з використанням отриманого користувацького функціонального блоку, розроблене програмне забезпечення об'єкта керування.

Більш детально список програм, змінних та драйверів для програмного забезпечення ОК наведені у додатку Б1.

Для реалізації програмного забезпечення регулятора спочатку створений проєкт регулятора (рис. 4.10).

State	Project name	Target host	Target port	Start type	Start place	Host	Startup	Redundant operati...
Filter...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Controller	localhost	1200	start/stop automatically	all computers	localhost	Cold start	<input type="checkbox"/>

Рисунок 4.10 – Проєкт регулятора

Також створені змінні регулятора, що відповідають значенню уставки температури, фактичному значенню керованої величини та керуючому впливу (додаток Б2).

Зв'язок між програмним забезпеченням регулятора та об'єкта керування реалізований через механізм розподілу «Allocations» (рис. 4.11).

Name	Source variable	Target variable	Trigger variable	Trigger ty...
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
zenon_to_PLC	Level	Controller/Global/Control_Level	< no variable linke...	Edge
PLC_to_zenon	Controller/Global/Control_Pump	Pump	< no variable linke...	Edge

Рисунок 4.11 – Механізм розподілу «Allocations»

Таким чином, створені два розподіли – перший, що копіює значення рівня води в приймальному водозбірнику станції водовідведення до регулятора, та другий – для передачі значення стану двигуна приводу насосу з регулятора до об'єкту керування. Більш докладно список програм, змінних та драйверів для програмного забезпечення регулятора наведені у додатку Б2.

### 4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу

Одною з основних частин програмного забезпечення системи автоматичного керування є людино-машинний інтерфейс.

Для забезпечення повноцінної функціональності системи автоматичного керування людино-машинний інтерфейс повинний забезпечувати:

- можливість спостерігати за протіканням перехідного процесу;
- можливість спостерігати за зміною параметрів об'єкта керування;
- можливість слідкувати за станом технологічного процесу, та сповіщати у разі виникнення аварійних подій.

Таким чином, можна сформулювати основні вимоги до ЛМІ:

- мінімальне розширення екрану 1024x920 px;
- кількість зображень: 5 – зображення з кнопками, що дозволяють переходити між різними зображеннями, технологічна схема, графік перехідного процесу, список подій, список тривог.

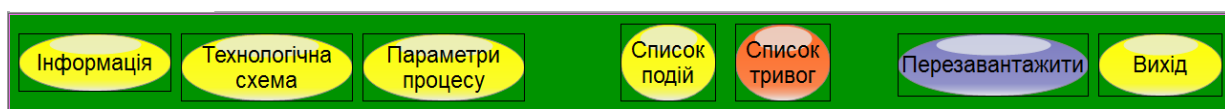


Рисунок 4.12 – Зображення кнопок

На рис. 4.12 показано зображення кнопок що були реалізовані для ЛМІ. Кожна з кнопок має певну функцію:

- «Об'єкт керування» – при натискання цієї кнопки відбувається перехід на зображення технологічної схеми, на якій показане розташування датчиків та виконавчих пристроїв (рис. 4.13). Реалізація роботи цієї кнопки виконана з використанням функції switch screen, що дозволяє перейти на наступне зображення;

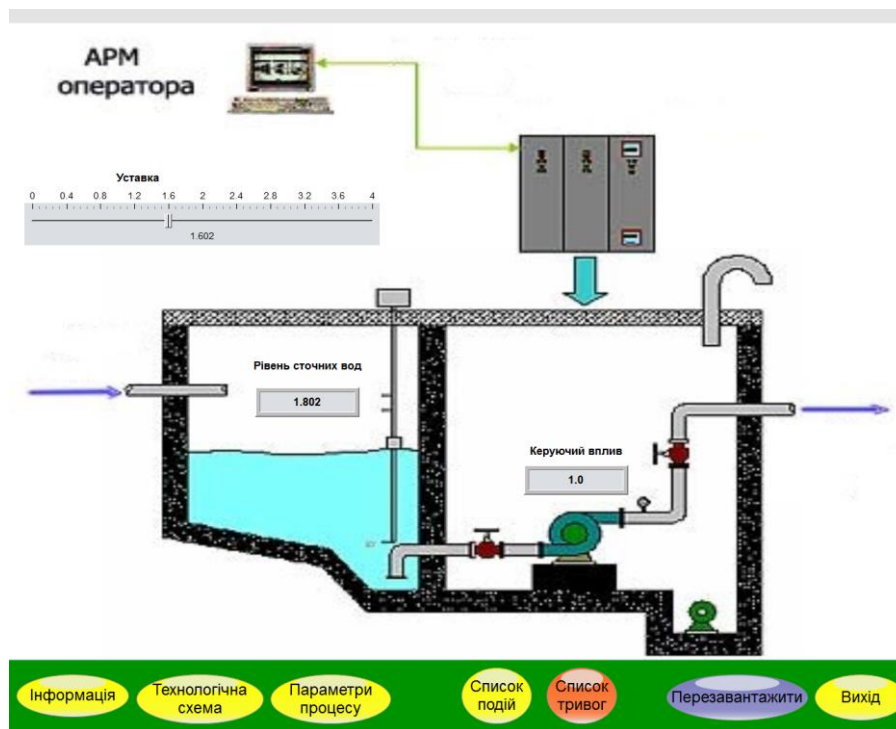


Рисунок 4.13 – Зображення технологічної схеми

- кнопки «Діаграма зміни параметрів», «Список тривог» та «Список подій» реалізовані аналогічно. Вони дозволяють перейти на зображення, що відповідають назвам кнопок, та які показані на рис. 4.14, рис. 4.15 і рис. 4.16 відповідно.

Кнопки «Вихід» та «Перезавантажити» створені за допомогою функцій «exit runtime» та «reload project» відповідно.



Рисунок 4.14 – Зображення графіку перехідного процесу

Час отримання	Текст	Ім'я змінної	Знач...	Одн...	Каристувач - п...
05.01.2022 12:21:37	System was started				SYSTEM
05.01.2022 12:22:05	Modify spontaneous value: (1.602)	Controller/Global/Control_11.602			SYSTEM
05.01.2022 12:23:19	Modify spontaneous value: (2.375)	Controller/Global/Control_12.375			SYSTEM

Рисунок 4.15 – Зображення списку подій



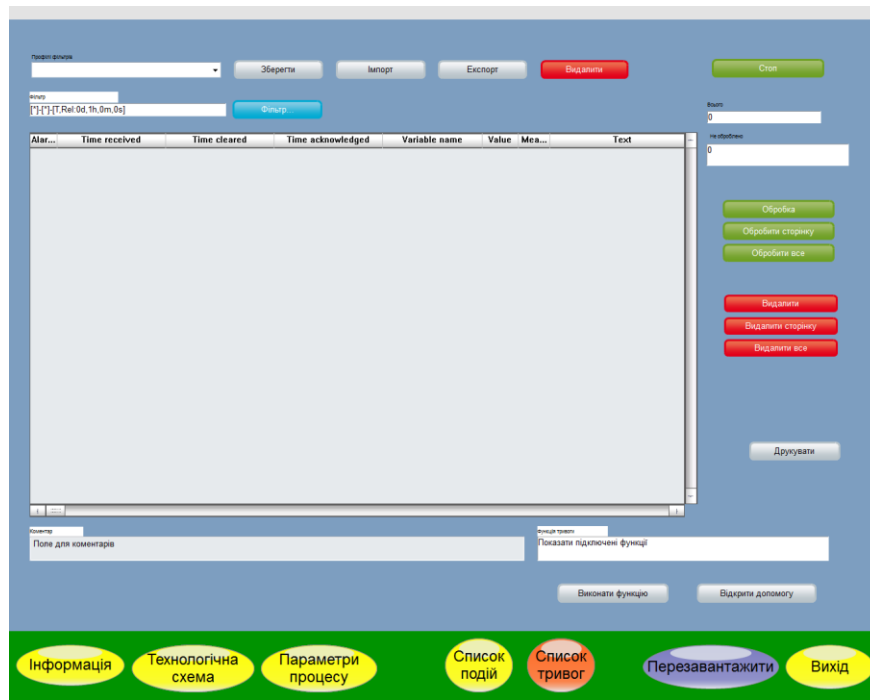


Рисунок 4.16 – Зображення списку тривоги

Всі зображення розташовано згідно шаблону на рисунку 4.17.

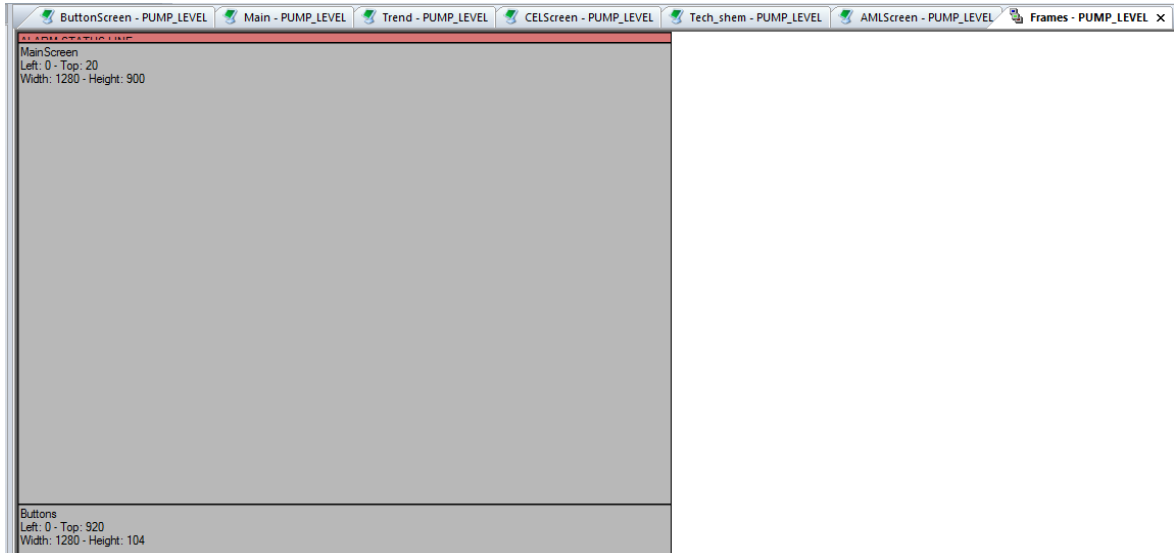


Рисунок 4.17 – Шаблон зображень

Основні зображення розміщені в основному фреймі, зображення з кнопками окремим фреймом, він є статичним та відображається постійно. Для розробки зображень «Список подій» та «Список тривоги» були використані шаблони SCADA системи zenon.

Розроблене програмне забезпечення ЛМІ більш детально наведено в додатку В.

#### 4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Перевірка функціонування програмного забезпечення відбувалася шляхом зміни рівня стічних вод у водозбірнику у діапазоні від 1 до 2,5 м.

З рисунка 4.18 видно, що об'єкт та регулятор працюють адекватно, при цьому виконуються усі вимоги щодо якісної роботи системи автоматичного керування (зміна фактичного рівня води відбувається у діапазоні значень відповідно до зони нечуттєвості релейного регулятора).



Рисунок 4.18 – Перевірка функціонування ПЗ системи керування

У ході перевірки роботи ЛМІ встановлено, що усі кнопки виконують свої функції коректно, на технологічній схемі коректно відображаються усі необхідні дані про стан та роботу системи керування. До списку подій вносяться дані про зміну уставки. Оскільки система автоматичного керування працює згідно з вимогами у нормальному режимі, список тривог порожній.

В результаті проведеної перевірки можна зробити висновок, що програмне забезпечення ЛМІ функціонує коректно, згідно з вимогами до системи автоматичного керування та може бути використане на виробництві.

#### **4.5 Висновки до розділу**

У результаті проведеної роботи було розроблено програмне забезпечення об'єкта керування, регулятора, та програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу. Проведено перевірку функціональності роботи системи автоматичного керування та ЛМІ, яка підтвердила, що програмне забезпечення об'єкта керування, регулятора та ЛМІ функціонує коректно та згідно з вимогами до системи автоматичного керування рівнем води в приймальному водозбірнику станції водовідведення.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Розвиток технічних, апаратних і програмних засобів, дає можливість підприємствам зменшувати витрати, підвищувати якість продукції, збільшувати швидкість виробництва, автоматизувати процеси і безліч інших рішень.

У цьому розділі приведено економічне обґрунтування доцільності використання автоматизованої система управління.

### 5.1 Розрахунок капітальних витрат

#### 5.1.1 Розрахунок трудомісткості розробки програмного забезпечення

Нормування праці в процесі створення програмного забезпечення ускладнене із-за творчого характеру праці програмістів. Тому трудомісткість обробки програмного забезпечення може бути розрахована на основі системи моделей з різною точністю оцінки.

Трудомісткість обробки праці програмного забезпечення можна розрахувати по формулі:

$$t = t_0 + t_d + t_a + t_n + t_{\text{опл}} + t_d, \text{ людино-годин} \quad (5.1)$$

- де  $t_0$  – витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання;  
 $t_d$  – витрати праці на дослідження алгоритму рішення завдання;  
 $t_a$  – витрати праці на обробку блок-схеми алгоритму;  
 $t_n$  – витрати праці на програмування по готовій блок-схемі;  
 $t_{\text{опл}}$  – витрати праці на налаштування програм на ЕОМ;  
 $t_d$  – витрати праці на підготовку документації за завданням.

Складові частини витрат праці визначаються на підставі умовної кількості оброблюваних операторів в програмному забезпеченні. До них відносять ті оператори, яких необхідно написати в процесі роботи над програмою з урахуванням можливих уточнень в постановці завдання і удосконалення алгоритму.

Умовна кількість операторів в програмі:

$$Q = q \cdot c \cdot (1 + p), \quad (5.2)$$

- де  $q$  – кількість операторів, використовуваних в програмі;  
 $z$  – коефіцієнт складності програми;  
 $p$  – коефіцієнт корекції програми в процесі її обробки.

За узгодженням з керівником проекту, значення коефіцієнтів  $z$  і  $p$  були узяті відповідно до 1,25 і 0,2.

Таким чином, для програми, описаній в кваліфікаційній роботі:

$$Q = 1200 \cdot 1,25 \cdot (1 + 0,2) = 1800 \text{ операторів}$$

Оцінка витрат праці на підготовку і опис завдання в цьому д кваліфікаційній роботі складають  $t_0=10$ .

Витрати праці на вивчення опису завдання визначаються з уточненням опису і кваліфікації програміста по формулі:

$$t_u = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85) \cdot k}, \text{ людино - годин,} \quad (5.3)$$

- де  $B$  – коефіцієнт збільшення витрат праці  $B=1,2,1,5$ ;  
 $k$  – коефіцієнт програміста, які визначається залежно від стажу роботи за фахом.

В даному випадку коефіцієнт  $k = 0,8$  - при стажі роботи до 2 років.

Таким чином, витрати праці на вивчення опису завдання :

$$t_o = \frac{1800 \cdot 1,3}{85 \cdot 0,8} = 34,4 \text{ людино - годин}$$

Витрати праці на обробку алгоритму рішення задачі :

$$t_a = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k}, \text{ людиног - годин,} \quad (5.4)$$

$$t_a = \frac{1800}{25 \cdot 0,8} = 90 \text{ человеко - часов}$$

Витрати праці на складання програми по готовій блок-схемі:

$$t_n = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k}, \text{ людино - годин,} \quad (5.5)$$

$$t_n = \frac{1800}{25 \cdot 0,8} = 90 \text{ людино - годин}$$

Витрати праці на налаштування програм ЕОМ розраховуються по формулі, за умови автономного налаштування одного завдання :

$$t_{omi} = \frac{Q}{(4...5) \cdot k}, \text{людино-годин}, \quad (5.6)$$

$$t_{omi} = \frac{1800}{5 \cdot 0,8} = 450 \text{ людино-годин.}$$

Витрати праці на підготовку документації за завданням визначаються по формулі:

$$t_{\partial} = t_{\partial p} + t_{\partial o}, \text{людино-годин}, \quad (5.7)$$

де  $t_{\partial p}$  – трудомісткість підготовки матеріалів до рукопису;

$t_{\partial o}$  – трудомісткість редагування, друку і оформлення документації.

$$t_{\partial p} = \frac{Q}{(15...20) * k}; \quad (5.8)$$

$$t_{\partial p} = \frac{1800}{20 \cdot 0,8} = 112,5 \text{ людино-годин,}$$

$$t_{\partial o} = 0,75 \cdot t_{\partial p}; \quad (5.9)$$

$$t_{\partial p} = 0,75 \cdot 112,5 = 84,4 \text{ людино-годин,}$$

$$t_{\partial} = 112,5 + 84,4 = 196,9 \text{ людино-годин,}$$

$$t = 10 + 34,4 + 90 + 90 + 450 + 196,9 = 871,3 \text{ людино-годин.}$$

Таким чином, трудомісткість розробки програмного забезпечення складає 871,3 людино-годин.

### 5.1.2 Розрахунок витрат на створення програмного забезпечення

Витрати на створення програмного забезпечення ( $K_{пз}$ ) включають витрати на заробітну плату розробника програми і вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми на ЕОМ ( $З_{мн}$ ) :

$$K_{пз} = З_{зп} + З_{мн}, \text{ грн.} \quad (5.10)$$

Заробітну плату розробника програми визначається по формулі:

$$Z_{zn} = t \cdot C_{np}, \text{ грн}, \quad (5.11)$$

де  $t$  – загальна трудомісткість розробки програмного забезпечення;

$C_{np}$  – середньо-годинна заробітна плата програміста (основна і додаткова) з нарахуваннями, грн/годину.  $C_{np}=45$  грн/годину.

$$Z_{zn} = 871,3 \cdot 45 = 37\,408,5 \text{ грн}.$$

Вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми на ЕОМ :

$$Z_{мс} = t_{отл} \cdot C_{мч}, \text{ грн}, \quad (5.12)$$

де  $t_{отл}$  – трудомісткість відладки програм на ЕОМ;

$C_{мч}$  – вартість машино-години ЕОМ, грн/годину.

$C_{мч}=15$  грн/годину.

$$Z_{мс} = 450 \cdot 15 = 6750 \text{ грн},$$

$$K_{но} = 37\,405,5 + 6750 = 44\,158,5 \text{ грн}.$$

Таким чином, витрати на створення програмного забезпечення складають 44 158,5 грн

### 5.1.3 Розрахунок додаткових капітальних витрат

Капітальні витрати - це засоби, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Капітальні витрати на розробку створюваної системи видаленого контролю відбиті в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 - Розрахунок капітальних витрат при розробці

№	Устаткування	Кількість, шт.	Ціна, грн	Монтажно-налагоджувальні роботи, грн	Всього
1	Датчик IA18DSN14NO	1	527,00	42,16	569,16
2	ATSTK500(комплект розробника) Датчик E40H8-1 800-3-N-24	2	7425,00	594,0	8019,00

№	Устаткування	Кількість, шт.	Ціна, грн	Монтажно-налагоджувальні роботи, грн	Всього
3	Контролер реверсування (RR2A40D150)	2	4125,00	330,00	4455,00
4	Частотний перетворювач (ESMD152L4TXA)	1	20825,00	1666,00	22491,00
5	Проблисковий маячок (MLPS-24-Y)	1	510,00	40,80	550,80
6	Програмований логічний контролер 214-2BS33	1	9800,00	784,00	10584,00
7	Модуль дискретного вводу 221-1BF00	1	4050,00	324,00	4374,00
8	Функціональний модуль 250-1BS00	1	2500,00	200,00	2700,00
9	Модуль аналогового виводу 232-1BD40	1	9800,00	784,00	10584,00
10	Модуль дискретного виводу 222-1BF00	1	2500,00	200,00	2700,00
11	Блок живлення SPD24301	1	2500,00	200,00	2700,00
	<b>Всього</b>	<b>-</b>	<b>64562</b>	<b>5164,96</b>	<b>69726,96</b>

## 5.2 Експлуатаційні витрати

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію і обслуговування об'єкту проектування за певний період (наприклад, рік), виражені в грошовій формі:

$$Z_{тек} = C_a + C_z + C_c + C_m + C_э, \quad (5.13)$$

де  $C_a$  – амортизаційні відрахування;

$C_z$  – заробітна плата обслуговуючого персоналу;

$C_c$  – відрахування на соціальні заходи від заробітної плати (22% від  $C_z$ );

$C_m$  – витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт устаткування;

$C_э$  – вартість електроенергії, споживаної об'єктом.

Устаткування, розробленої в кваліфікаційній роботі системи управління, відноситься до 4 групи по мінімальних термінах корисного використання. Передбачуваний термін експлуатації системи складає 5 років.



Розрахунок амортизаційних відрахувань зробимо по методу прискореного зменшення залишкової вартості, де використовується подвоєна норма амортизації:

$$H_A = \frac{2}{t} \cdot 100, \% \quad (5.14)$$

де  $H_A$  - коефіцієнт амортизації, долі одиниць.

Перевагою цього методу є те, що впродовж перших років експлуатації об'єкту проектування накопичується значна сума коштів, необхідних для його відновлення.

Отже, норма амортизації для проектованої і альтернативної системи управління складе:

$$H_{a a} = \frac{2}{5} \cdot 100 = 40\%, H_{a пр} = \frac{2}{5} \cdot 100 = 40\%.$$

$$C_a = \frac{ПС \cdot H_a}{100\%}, \text{ грн} \quad (5.15)$$

де  $C_a$  - річна сума амортизації, грн;

ПС - первинна вартість (капітальні витрати – К), грн.

$$C_a = C_3 \cdot 0,4 = 69726,96 \cdot 0,4 = 27\,890,78 \text{ грн.}$$

Розрахуємо заробітну плату обслуговуючого персоналу :

$$C_3 = ((T_k - T_{пр} - T_{вых} - T_{отп}) \cdot t_m) \cdot T_ч, \text{ грн}, \quad (5.16)$$

де  $T_k$  – кількість календарних днів у році;

$T_{пр}$  – кількість днів празників у році;

$T_{отп}$  – кількість днів відпустки у році;

$T_{вых}$  – кількість вихідних днів у році;

$t_m$  – термін зміни;

$T_ч$  – середньо-годинна заробітна плата.

$$C_3 = (((365 - 10 - 104 - 20) \cdot 8) \cdot 42 = 77\,616 \text{ грн.}$$

Розрахуємо відрахування на соціальні заходи від заробітної плати:

$$C_c = 0,22 \cdot C_3 = 0,22 \cdot 77\,616 = 17\,075,52 \text{ грн.}$$

Розрахуємо витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт устаткування:

$$C_t = 0,01 \cdot K = 0,01 \cdot 69726,96 = 697,27 \text{ грн.}$$

Розрахуємо вартість електроенергії, споживаної об'єктом:

$$C_{\text{э}} = K_{\text{э}} * ds * K_{\text{д}} * K_{\text{м}} * T, \text{ грн.} \quad (5.17)$$

де  $K_{\text{э}}$  - кількість електроенергії, споживаної на робочому місці за годину;

$K_{\text{м}}$  - кількість місяців в році;

$K_{\text{д}}$  - кількість робочих днів за місяць;

$ds$  - тривалість зміни;

$T$  - тариф на електроенергію для підприємств (для підприємств 2 класу 0,64272 грн. з ПДВ).

$$C_{\text{э}} = 1 * 8 * 21 * 12 * 0,64272 = 3\,310,53 \text{ грн.}$$

Експлуатаційні витрати складуть:

$$З_{\text{тек}} = 27\,890,78 + 77\,616 + 17\,075,52 + 697,27 + 3\,310,53 = 126\,590,1 \text{ грн.}$$

Таким чином, річні експлуатаційні витрати, пов'язані із застосуванням системи, що розробляється, складатимуть 126 590,1 грн.

Річну економію на поточних витратах ( $P_{\text{эж}}$ ), визначається по формулі:

$$P_{\text{эж}} = Z_{\text{р}} - (Z_{\text{тек}} + Z_{\text{э}}) \quad (4.18)$$

де  $Z_{\text{тек}}$  - річні поточні витрати, пов'язані із застосуванням системи;

$Z_{\text{р}}$  - витрати без застосування системи;

$Z_{\text{э}}$  - витрати після застосування системи.

Розрахуємо річні витрати на рішення задачі без застосування розробленої системи.

За джерельними даними собівартість випуску продукції у середньому зменшиться на 1% (об'єм випуску дорівнює  $Z_{\text{р}} = 72\,000\,000$  грн.).

Розрахуємо річні витрати на рішення задачі без застосування розробленої системи;

Витрати на рішення задачі після застосування системи:

$$Z_{\text{э}} = 0,72 * 100\,000\,000 * (1,00 - 0,01) = 71\,280\,000 \text{ грн.}$$

Визначимо річну економію на поточних витратах:

$$P_{\text{эж}} = 72\,000\,000 - (126\,590,1 + 71\,280\,000) = 593\,409,9 \text{ грн.}$$

Таким чином, річна економія на експлуатаційних витратах складає 593,4 тис. грн.

### 5.3 Оцінка економічної ефективності

Оцінка економічної ефективності здійснюється на основі визначення і аналізу наступних показників :

- 1) розрахункового коефіцієнта ефективності капітальних витрат

$E_p$ ;

- 2) терміну окупності капітальних витрат  $T_{\text{ЭК}}$ .

Коефіцієнт ефективності капітальних витрат показує, скільки гривень додаткової економії приносить одна гривна капітальних витрат :

$$E_p = \frac{P_{\text{ЭК}}}{K}, \quad (5.19)$$

де  $Do$  - капітальні витрати на придбання і впровадження системи видаленого контролю;

$P_{\text{ЭК}}$  - річна економія.

$$E_p = 593\,409,9 / 69\,726,96 = 8,51 \text{ (долі одиниць)}.$$

Таким чином, коефіцієнт ефективності капітальних витрат складе 8,51.

Термін окупності капітальних витрат на придбання і впровадження проекту за рахунок загальної економії розраховується по формулі:

$$T_{\text{ЭК}} = \frac{K}{P_{\text{ЭК}}}, \quad (5.20)$$

$$T_{\text{ЭК}} = 69\,726,96 / 593\,409,9 = 0,12.$$

Таким чином, термін окупності капітальних витрат складе 0,12 року.

Фінансово-економічні показники, що характеризують ефективність створення і використання розробленого проекту відображені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 - Фінансово-економічні показники використання системи, що розробляється

Найменування	Одиниця виміру	Значення показника
Капітальні витрати на придбання і впровадження системи	грн	69 726,96
Річні поточні витрати, пов'язані з використанням системи	грн	126 590,1
Річна економія від впровадження системи	грн	593 409,9
Коефіцієнт ефективності	долі од.	8,51
Розрахунковий термін окупності капітальних витрат	років	0,12

#### 5.4 Висновок

У цьому розділі кваліфікаційної роботи були розраховані економічні показники, які показують економічну доцільність системи, що розробляється.

При впровадженні проектованої системи капітальні витрати складуть 69,7 тис.грн. Річні поточні витрати складають 126,6 тис.грн. Річна економія на поточних витратах складає 593,4 тис.грн. Термін окупності проектних капітальних вкладень за рахунок скорочення експлуатаційних витрат складає 0,12 років. Коефіцієнт ефективності 8,51, тобто кожна гривна капітальних витрат принесе 8,51 грн. прибутку.

Виходячи з розрахованих даних, можна зробити висновок, що впровадження і використання проектованої системи економічно доцільне.

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 6.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів у робочому просторі станції водовідведення

Кваліфікаційна робота присвячена обслуговуванню водозбірника станції водовідведення, обслуговування яких належать до робіт підвищеної небезпеки відповідно НПАОП 41.0-1.01-79 «Правила техніки безпеки при експлуатації систем водопостачання і водовідведення населених пунктів». Аналізуючи умови праці при обслуговуванні та монтажі системи автоматичного керування рівнем води на станції водовідведення, можливо потрапити під дію наступних шкідливих та небезпечних факторів:

- небезпека падіння при відкриванні або закриванні кришки люків колодязів і при спуску до водозбірника
- можливість падіння різних речей у відкриті люки, чи можливе травмування працюючих які знаходяться у колодязі;
- небезпека впливу потоку води на працюючих у колодязях і камерах, особливо в колодязях на водовідвідних мережах і колекторах великих діаметрів;
- шум та вібрація насосних агрегатів;
- небезпека обвалення ґрунту при виконанні робіт;
- небезпека наїзду автотранспорту при роботах на вулиці;
- санітарна небезпека при зіткненні зі стічною рідиною;
- вогкість у колодязях і котлованах, ін.;
- незадовільний температурний режим (у т. ч. перепад температур).

На рис. 5.1 показана насосна станція на водозаборі.

Система водовідведення складається з самопливних колекторів та напірних трубопроводів які на 70% складаються із керамічних та азбестоцементних труб. Також є залізобетонні колектори, сталеві трубопроводи.

Типова насосна станція приведена на рис. 6.1 та 6.2.



Рис. 6.1 Загальний вигляд системи водовідведення



Рис. 6.2 Загальний вигляд насосної станції

### **6.2 Заходи щодо охорони праці під час обслуговування та виконання робіт на станції водовідведення**

Джерелом шуму на спорудах водопостачання є насосні агрегати, компресори, вентиляційні системи та інші механізми. Сильний, тривалий шум, який є загально-біологічним подразником. Тому погіршується робота серцево-судинної системи, шлунково-кишкової системи та загальний стан здоров'я

людини. Шум та вібрація є причиною зниження працездатності, послаблення пам'яті, уваги, гостроти зору, що може призвести до травматизму та аварій.

Основою всіх заходів для зниження шуму є його гігієнічне нормування.

Типові значення рівня звукового тиску можна проводити за допомогою шумоміра RZ GM1359 30-130 дБ.

Табл. 6.1 Типові рівні шуму на станції водовідведення

Рівні звукового тиску, дБ, в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц.									Рівень шуму, дБа
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Якщо робота пов'язана з підвищеними вимогами до процесів спостереження, дистанційного керування, зі сприйняттям акустичних сигналів, а також під час роботи з документами тощо, то норма шуму зменшується. Норми встановлено з розрахунків на людини шуму протягом 8 год. При меншому часі впливу, а також при наявності імпульсних шумів норми можуть бути збільшені відповідно до ГОСТу. Якщо фактичний рівень шуму перевищує норми, то розвивається приглухуватість. При рівні шуму, що дорівнює 120 дБА, виникає сильний біль у слуховому апараті людини, при 130...140 дБА – незворотні механічні пошкодження барабанної перетинки.

Заходи щодо зниження шуму у робочій зоні.

Технічні:

- вибір обладнання з мінімальними шумовими характеристиками;
- своєчасний профілактичний ремонт та обслуговування обладнання;
- дистанційне керування шумним обладнанням.

Будівельно-акустичні:

- використання звукопоглинальних та відбивних матеріалів (штукатурка, пориста цегла, деревина, пінопласт, гіпсові матеріали);
- звукоізоляційні кабінки та екрани.

Медико-профілактичні:

- проведення попереднього та профілактичного медоглядів;
- дотримання раціонального режиму праці та відпочинку;
- прийом 2 рази на рік полівітамінів групи В, С.

Індивідуальні засоби захисту:

- навушники (понад 95 дБА);
- шоломофон (понад 120 дБА);
- беруші (знижують рівень шуму на 10...15 дБА).

Вібрація – це коливання твердого тіла біля положення рівноваги, що виникають при неврівноваженості силових впливів.

Відповідно до ГОСТ вібрація за способом передачі коливань на тіло людини буває 2-х видів:

- загальна, коли коливання через опорні частини – людина сидить або стоїть і поширюються по всьому тілу;
- локальна, коли коливання надходять безпосередньо на руки під час роботи з ручним вібро-, електро- та пневмоінструментом.

До кожного виду вібрації ГОСТ встановлюються гранично-допустимі рівні (ПДУ) вібрації. Ці норми враховують як фізіологію людини, так і характер праці. Максимальна величина ПДУ встановлюється для персоналу, який обслуговує виробниче обладнання в приміщеннях, де є джерело вібрації.

Якщо фактичне значення вібрації перевищує ПДК, то розвивається проф. захворювання – віброхвороба. На першій стадії віброхвороба проявляється у вигляді загальних ознак нездужання. На другій стадії починаються деформації опорно-рухового скелета та утворюються тромби крові, що закінчуються гіпертонією або закупоркою вен. На третій стадії віброхвороба призводить до інвалідності з втратою працездатності. Найбільш небезпечні для людини коливання, що збігаються з частотою коливання внутрішніх органів (серце – 8...9 Гц, очне яблуко 60...90 Гц).

Нормованими показниками постійної вібрації є середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості, що вимірюються в октавних



смугах частот або їх логарифмічні рівні, а також кориговані за частотою значення віброприскорення та віброшвидкості та їх логарифмічні рівні. У насосів вібрація, що впливає на персонал, є загальною, категорії 3, тип «а», тобто та, що передається від стаціонарного устаткування на робоче місце.

Заходи щодо зниження вібрації у стаціонарному обладнанні.

#### 1. Технологічні засоби зниження вібрації:

- зменшення вібрації в джерелі виникнення за рахунок удосконалення конструкції обладнання та проведення своєчасних профілактичних ремонтів;
- віброгасіння – встановлення обладнання на додатковий масивний фундамент, маса якого розраховується так, щоб коливання на основу фундаменту мали амплітуду  $\leq 0,1$  мм;
- віброізоляція – зменшення амплітуди коливань шляхом передачі її від джерела до об'єкта, за допомогою установки гумових або пружинистих амортизаторів.

Також як і при заходах що до зниження шуму потрібні:

- організаційні заходи;
- медико-профілактичні заходи;
- індивідуальні засоби захисту.

Між тілом людини та навколишнім середовищем йде постійний теплообмін. Незважаючи на коливання параметрів зовнішнього середовища температура тіла підтримується на постійному рівні завдяки реакціям терморегуляції. Але якщо параметри зовнішнього середовища тривалий час порушені, реакції терморегуляції працюють з перевантаженням, у людини погіршується самопочуття, падає працездатність і може наступити перегрів або переохолодження тіла.

Показники мікроклімату робочої зони регламентують:

Державні санітарні норми та правила «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища,

важкості та напруженості трудового процесу», затверджені наказом МОЗ від 08.04.2014 № 248 (далі — Гігієнічна класифікація):

- ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» (далі — ДСН 3.3.6.042-99);
- ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія»;
- ДБН А.3.2-2-2009 «Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення» (далі — ДБН А.3.2-2-2009);
- ДСТУ EN 563-2001 «Безпечність машин. Температури поверхонь, доступних для дотику. Ергономічні дані для встановлення граничних значень температури гарячих поверхонь»;
- ДСТУ Б EN 15261:2012. Розрахунок параметрів мікроклімату;
- ДСТУ Б EN ISO 7730:2011 Ергономіка теплового середовища.

До цих параметрів відносяться 4 фактори:

- температура повітря, (Т, град. Цельсія);
- відносна вологість повітря (%);
- швидкість руху повітря (м/с);
- інтенсивність теплового (інфрачервоного) випромінювання від нагрітих поверхонь ( $\text{Вт/м}^2$ ).

Ці параметри мікроклімату повинні підтримуватись у оптимальних або допустимих величинах у робочій зоні. Оптимальні мікрокліматичні умови - це поєднання показників мікроклімату, яке забезпечує людині відчуття теплового комфорту протягом 8-годинної робочої зміни без порушення механізмів терморегуляції та не викликає відхилень у здоров'ї. У цьому створюються передумови високого рівня робіт. Допустимі мікрокліматичні умови встановлені за критеріями допустимого теплового та функціонального стану людини на період 8-годинної робочої зміни. Вони не викликають порушень здоров'я та механізмів терморегуляції. У приміщеннях станції водовідведення

мікроклімат повинен підтримуватись у допустимих величинах. Враховуючи, що при обслуговуванні обладнання роботи, що виконуються персоналом, зазвичай відносять до категорії 2б (роботи середньої тяжкості) параметри мікроклімату повинні знаходитися в таких межах:

- температура = 15...29 °С;
- відносна вологість – до 70%;
- швидкість руху повітря – до 0,5...0,2 м/с;

Заходи щодо поліпшення мікроклімату робочої зони.

Для підтримки мікроклімату виробничих приміщень у всі періоди року здійснюються різноманітні технічні та гігієнічні заходи. Для попередження охолодження працюючих приміщення обладнають системами опалення, а в приміщеннях, що не опалюються, передбачають спеціальні кабіни для обігріву. Щоб запобігти проривам холодного повітря в робочі приміщення, влаштовують тамбури та теплі завіси.

Струм, проходячи через тіло людини, надає термічну дію (нагрів судин і нервів, електролітичну дію (розкладання біологічних рідин – електроліз), біологічну (судомне скорочення м'язів). Все це призводить до 2-х видів уражень:

- електротравми (розрив тканин, електричні опіки)
- електроудари:
  - I ступеня – судомне скорочення м'язів, яке не призводить до втрати свідомості та порушення дихання та роботи серця;
  - II ступеня – дія струму призводить до судомного скорочення м'язів зі втратою свідомості, але без порушення дихання та роботи серця;
  - III ступеня – судомна м'язів призводить до втрати свідомості та порушення дихання і роботи серця.
  - IV ступеня – зупинка дихання та роботи серця (тобто клінічна смерть).

Чинники, які визначають результат ураження людини струмом:

- сила струму (при змінному струмі частотою 50 Гц та силі 10...15 мА, що є пороговим, який «не відпускає», тобто викликає таку судову м'язів, що людина самостійно подолати не може);
- час проходження струму через тіло людини (чим довше, тим гірші наслідки, безпечним вважається час 0,2 с, на який і розраховується спрацювання всіх електрозахисних засобів);
- рід та частота струму (найбільшу небезпеку становить струм змінний із частотою 20...10 Гц);
- індивідуальні властивості тіла;
- шлях струму через тіло людини (визначається точкою входу та виходу струму: рука-рука, нога-нога, рука-нога).

Заходи захисту від електричного ураження.

Відповідно до ПУЕ (правила влаштування електроустановок) безпека забезпечується такими заходами:

- застосування надійної ізоляції струмопровідних частин устаткування, у своїй розрахунковий опір має бути понад 500 кОм, у приміщеннях 3 кл. небезпеки по ураженню струмом ізоляція має бути подвійною з робочим та захисним шаром;
- дотримання безпечних відстаней до струмоведучих частин та його огороження;
- заземлення кожухів електрообладнання, при цьому обов'язковому заземленню та зануленню підлягають:
  - електроустановки напругою понад ~380 В (-440 В) у приміщеннях при роботах 1, 2, 3 класів небезпеки ураження електричним струмом;
  - електроустановки напругою понад ~42 В (-110 В) - у приміщеннях 2, 3 класу небезпеки;
  - усі електроустановки незалежно від напруги у вибухонебезпечних приміщеннях.

- використання автоматичного відключення електроустаткування від мережі;
- застосування попереджувальних написів та сигналізації;
- використання індивідуальних засобів захисту та пристроїв:
  - основні (за рахунок їх великого опору ними дозволяється торкатися струмопровідних частин обладнання);
  - огорожувальні (запобігають несанкціонованому доступу до електроустаткування);
  - додаткові (використовуються на додаток до основних; забороняється торкатися струмопровідних елементів);
- порядок виконання робіт у діючих електроустановках визначається спеціальним документом ПТЕ (правила технічної експлуатації) та ПТБ (правила технічної безпеки), персонал, що працює з електрообладнанням, повинен мати кваліфікаційну групу окремо з електробезпеки.

Окрім того має бути наведена схема підключення реле для регулювання рівня води, яка показана на рис. 6.3.

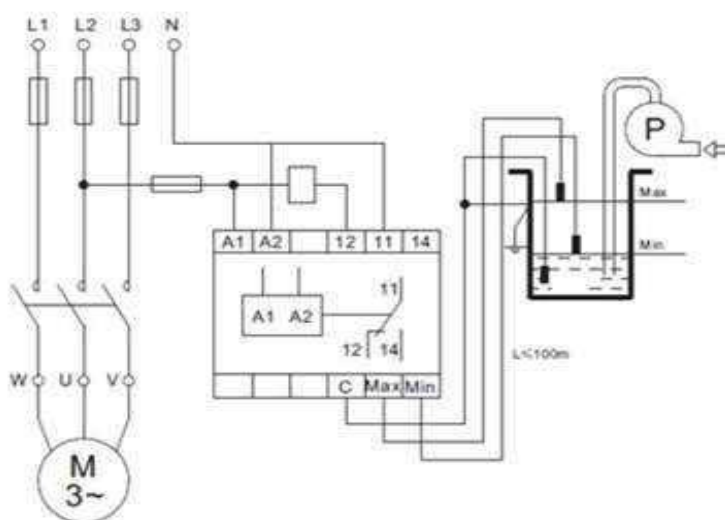


Рис. 6.3 Схема підключення реле

Робота реле заснована на вимірюванні опору струмопровідних рідин між загальним контактом «С» та контактами максимального «МАХ» та мінімального «МІН» рівнів. При досягненні верхнього рівня реле вимикається, контакти перемикаються в положення 11 - 12. Реле буде перебувати у вимкненому стані до зниження рівня рідини нижче мінімального, потім реле включається контакти перемикаються в положення 11 - 14.

Заходи, що забезпечують безпеку виконання робіт всередині ємності без засобів індивідуального захисту органів дихання, мають бути викладені у наряді-допуску, а саме:

- безперервний контроль стану повітряного середовища;
- безперервне гарантоване подавання свіжого повітря в апарат для забезпечення нормального повітряного режиму в ньому;
- наявність у кожного працівника у ємності та спостерігача шлангових протигазів у положенні «наготові»;
- наявність поблизу місця проведення робіт засобів зв'язку та сигналізації (світлової, звукової, радіотелефонної);
- наявність у кожного працівника в ємності рятувального поясу із закріпленою на ньому сигнально-рятувальною мотузкою;
- інші заходи, що забезпечують безпеку працівників.

Перед подачею води у мережу проводиться її хлорування. Хлор є шкідливою речовиною 2-го класу небезпеки.

Шкідливими вважаються речовини, які при контакті з організмом людини викликають відхилення у здоров'ї або позначаються на здоров'ї наступного покоління.

Для кожної речовини нормативні документи встановлюють гранично допустимі концентрації (ГДК). ГДК встановлюється з розрахунку, що у людини, яка працює в даних умовах щодня протягом трудового стажу сучасними засобами медицини не будуть виявлені відхилення у здоров'ї або у здоров'ї наступного покоління.

Якщо фактична концентрація речовин повітря робочої зони перевищує ГДК, то в обслуговуючого персоналу розвиваються професійні отруєння, які можуть бути хронічними або гострими.

Залежно від ступеня небезпеки для людини всі речовини поділяються на 4 класи небезпеки:

- 1 клас - надзвичайно-небезпечні (ГДК до 0.1);
- 2 клас - високо-небезпечні (ГДК 0.1-1.0);
- 3 клас – помірно-небезпечні (ГДК 1.0-10);
- 4 клас - мало-небезпечні (ГДК більше 10).

Однак існує ряд речовин фіброгенної дії, які вважаються шкідливими у будь-яких концентраціях, навіть значно менших ГДК. За наявності цих речовин у повітрі робочої зони, умови праці вважаються шкідливими, і дається 1 бал шкідливості, і навіть встановлюється вимога з обов'язкової безплатної видачі молочнокислих продуктів. Ці речовини перераховані у спеціальному переліку, затвердженому органами санітарії та гігієни, МОЗ та профспілками. Хлор також занесено до цього списку.

Обов'язковим є контроль за вмістом хлору у відділенні хлорування води на станції водовідведення. Періодичність контролю визначається залежно від класу небезпеки шкідливої речовини. Для хлору (2 клас) періодичність має бути не рідше чим 1 раз на місяць.

### **6.3 Розрахунок освітленості**

Для розрахунку була побудована модель станції водовідведення яка наведена на рис. 6.4. Модель містить ємність з водою, рівень у якій регулюється 12 автоматизованими насосами, які працюють за схемою один робочий один аварійний.

Для розрахунку задані геометричні параметри кімнати, необхідний рівень освітленості та висота звису світильників.

На рис. 6.5 представлений порівняльний розрахунок з обраним типом світильників.

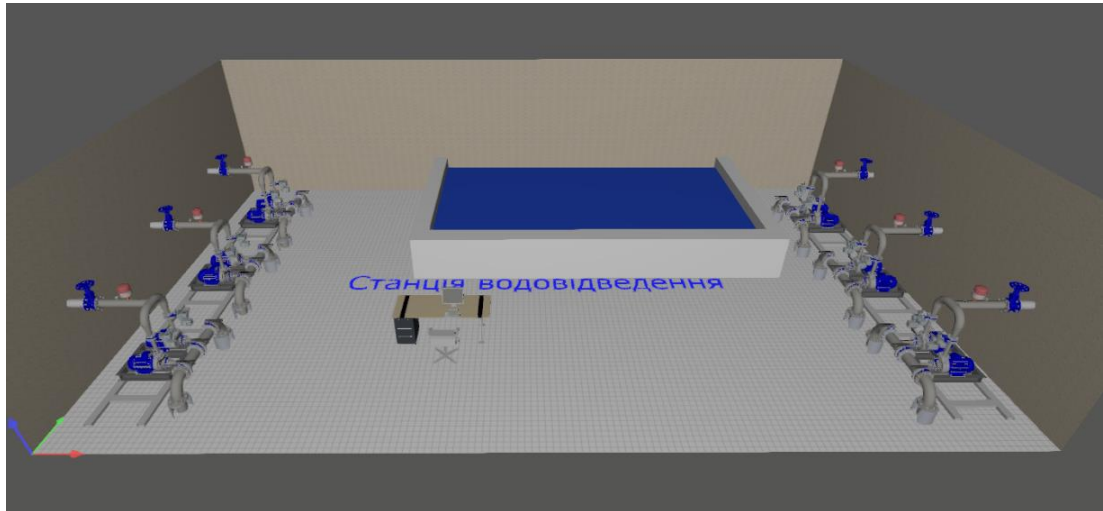


Рис. 6.4 Проект 3д кімнати для розрахунку освітленості

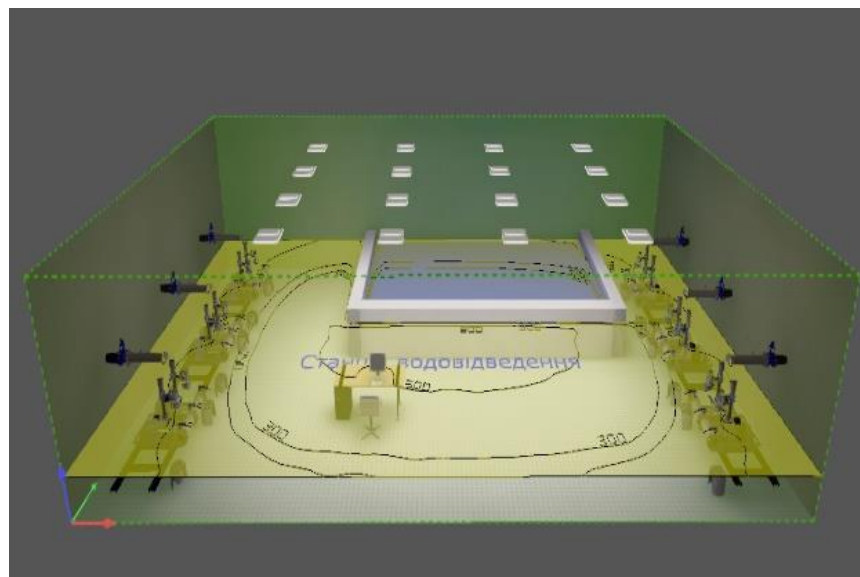
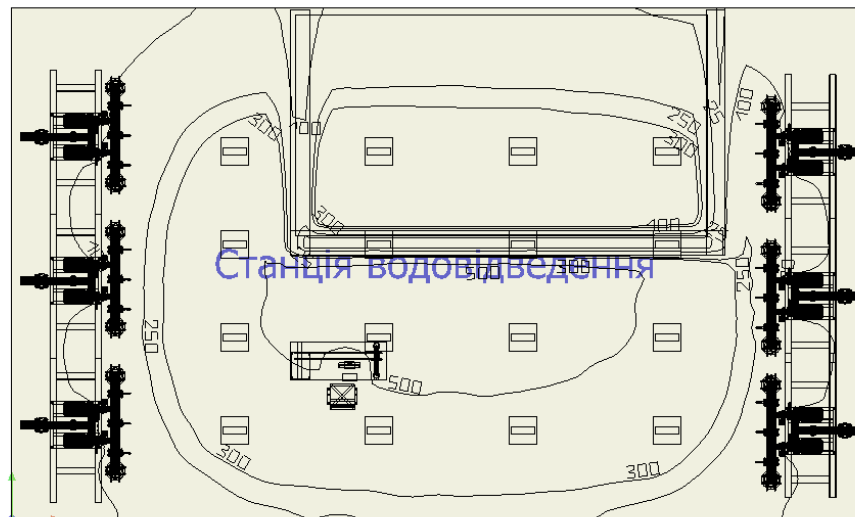


Рис. 6.5 Порівняльний розрахунок з обраним типом світильників



Технічні характеристики світильників СПЕКТРАЛЬНИЙ STORA-QA-LED 5200/840 МП наведені у табл. 6.2.

Табл. 6.2 Технічні характеристики лампи та світильника

Spс 0620003, P 32.0 W	
$\Phi_{\text{Лампа}} = 5200 \text{ lm}$	
$\Phi_{\text{Світильник}} = 3805 \text{ lm}$	
$\eta = 73.16 \%$ , світловий потік 118.9 lm/W CCT, 4 000 K	
CRI=80	

#### 6.4 Безпека у надзвичайній ситуації

Споруди систем водопостачання будують, як правило, з вогнетривких матеріалів. З огляду на велику вологість у цих приміщеннях (насосні станції, очисні станції, водонапірні вежі і т.д.) стіни роблять із цегли або бетону, перекриття – із залізобетону, підлога – з бетону (у більшості випадків покривають металевими плитами).

При розробці генеральних планів розташування основних вузлів водопровідних споруд враховують вимоги пожежної безпеки: передбачають протипожежні розриви між окремими будинками чи групами будівель, територія забезпечується дорогами та під'їздами, окремо виділяють території та приміщення, небезпечні щодо вибуху та пожежі.

На території споруд водопровідно-каналізаційного господарства передбачають систему протипожежного водопостачання. Уздовж доріг на

відстані не більше 100 м один від одного встановлюють пожежні гідранти. Опалювані будівлі та виробничі приміщення обладнають внутрішніми пожежними кранами.

У кожному приміщенні, де є небезпека загоряння та пожежі, повинен бути комплект ручного протипожежного інвентарю: лопата, ломи, гаки, багри, ящик з піском, бочки з водою, відра, вогнегасники, перезаряджені у встановлені терміни, протипожежний інвентар місцях. На випадок пожежі має бути розроблений план евакуації персоналу. План має бути вивішений на видному місці.

Відповідальність забезпечення пожежної безпеки підприємства несе його керівник, але в робочих місцях – майстер.

У разі аварійної ситуації роботи треба призупинити, працівника з ємності евакуювати.

Про аварійну ситуацію негайно повідомити безпосередньому керівнику або посадовій особі підприємства.

Не допускати в небезпечну зону сторонніх осіб.

Якщо під час виконання робіт стався нещасний випадок, зберегти обстановку в робочій зоні та устаткування у такому стані, в якому вони були на момент події (якщо це не загрожує життю і здоров'ю інших працівників і не призведе до більш важких наслідків), вжити заходів щодо недопущення подібних випадків у подальшому, інформувати про інцидент керівника робіт (іншу відповідальну особу підприємства) та в подальшому керуватися його вказівками.

У разі виникнення пожежі (ознак горіння) повідомити керівнику та, за потреби, викликати представників пожежної охорони за телефоном 101 і вжити можливих заходів для евакуації людей, гасіння (локалізації) пожежі наявними засобами пожежогасіння та збереження обладнання, дотримуючись порядку дії при ліквідації пожежі. При цьому пам'ятати, що гасіння електротехнічних пристроїв, що перебувають під напругою, виконувати лише після їх попереднього відключення від електромережі і здійснювати за допомогою

вуглекислотних або порошкових вогнегасників, а в окремих випадках - сухим піском.

При виклику пожежної охорони назвати адресу підприємства, місце виникнення події, обстановку, наявність людей, повідомити своє прізвище.

У разі нещасного випадку надати потерпілому першу допомогу згідно з інструкцією з надання першої до медичної допомоги, що діє на підприємстві. У разі подальшого погіршення самопочуття людини, не припиняючи надання першої допомоги, викликати за телефоном 103 швидку медичну допомогу.

Виконувати вказівки керівника робіт з ліквідації небезпеки.

## **6.5 Висновок**

У цьому розділі кваліфікаційній роботі, який розглянуто роботи з обслуговування водозбірника станції водовідведення, які належать до робіт підвищеної небезпеки відповідно НПАОП 41.0-1.01-79.

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів у робочому просторі станції водовідведення, розроблені заходи щодо охорони праці під час обслуговування обладнання та виконання профілактичних робіт на станції водовідведення, проведено розрахунок освітлення станції водовідведення, та розглянуті необхідні питання з безпеки у надзвичайних ситуаціях.

## ВИСНОВКИ

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – приймальний водозбірник каналізаційної станції водовідведення. Об'єктом дослідження є одна з локальних систем автоматичного керування станції, завданням керування якої є забезпечення заданого рівня води у приймальному водозбірнику. Предметом дослідження є закони автоматичного керування рівнем води у приймальному водозбірнику каналізаційної станції водовідведення.

Об'єкт керування є дискретно-неперервним та багатомірним з декількома дискретними керуючими входами (увімкнення/вимкнення двигунів приводів насосів) та одним керованим виходом (рівень стічних вод у водозбірнику), але складний та динамічний характер зміни притоку стічних вод, а також багатомірність об'єкту керування з наявністю дискретних елементів, які мають тільки два стани, роблять його складним для керування.

У зв'язку з цим проведені дослідження режимів роботи синтезованої системи керування рівнем води у приймальному водозбірнику каналізаційної станції водовідведення для різних притоків стічних вод, та на основі цих досліджень визначений алгоритм оптимізації для системи керування насосами, що забезпечує мінімізацію пусків їх двигунів.

Основні результати досліджень:

1. Через присутність людського фактору за умови використання існуючого алгоритму керування декілька насосів працюють синхронно з періодичним пуском, коли вода досягає підвищеного рівня у водозбірнику. Крім того, за умови підвищеного притоку води вмикаються усі насоси з їх наступним відключенням. Тобто, режим роботи насосів зовсім не підлаштовується під динаміку притоку води у водозбірник, що призводить до суттєвого збільшення кількості їх пуску.

Тому запропонований підхід, коли на основі моніторингу часу, який потрібний воді для здолання відстані між датчиками рівня у водозбірнику,

визначається середній притік каналізаційних вод. А потім методом перебору визначається така комбінація увімкнених насосів, при якій модуль різності притоку й сумарної продуктивності насосів менше продуктивності одного насосу. Тобто, різниця між сумарною продуктивністю насосів та притоком повинна прагнути до нуля. У такому разі час відкачування води буде максимально довгим, й кількість вмикання насосів зменшується.

2. Дослідження показали коректність й ефективність дії запропонованого алгоритму керування насосною станцією. Обчислювальні експерименти показали, що зміна у часі кількості насосів та сумарної потужності, що споживається насосами, фактично повторюють форму зміни у часі притоку води у приймальний водозбірник. Це є наслідком підключення рівно тієї кількості насосів, яка потрібна для компенсації збільшення притоку води. Завдяки цьому кількість пусків насосів у порівнянні з випадком використання існуючого алгоритму керування зменшилася в два рази.

У роботі приведено економічне обґрунтування доцільності використання автоматизованої системи управління. Виходячи з розрахованих даних, можна зробити висновок, що впровадження і використання проекрованої системи економічно доцільне.

Також у кваліфікаційній роботі проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів у робочому просторі станції водовідведення, розроблені заходи щодо охорони праці під час обслуговування обладнання та виконання профілактичних робіт на станції водовідведення, проведено розрахунок освітлення станції водовідведення, та розглянуті необхідні питання з безпеки у надзвичайних ситуаціях.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Волгіна Н.О., Гайдено С.М. Теоретичні аспекти сучасного реформування житлово-комунального господарства України / Н.О. Волгіна, С.М. Гайдено // Ефективна економіка. – 2016. – №5. Режим доступу: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=4998>

2. Гайдено С.М. Теоретичні аспекти розвитку підприємств житлово-комунального господарства / С.М. Гайдено // Науковий вісник Херсонського державного університету. – 2017. – Вип.23. – С. 145-148. Режим доступу: [http://www.ej.kherson.ua/journal/economic\\_23/1/35.pdf](http://www.ej.kherson.ua/journal/economic_23/1/35.pdf)

3. Самаєва Ю. Державно-приватне партнерство — не мета, а один із способів її досягнення / Ю. Самаєва // Дзеркало тижня Україна. — 2016. — №16. — [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://gazeta.dt.ua/macrolevel/derzhavno-privatne-partnerstvo-ne-meta-a-odin-iz-sposobiv-yiyi-dosyagnennya-.html>

4. Централізоване водопостачання міста / «Водоканал» м. Шостка: Інженерні споруди [сайт]. — Режим доступу: <https://vodoksh.jimdofree.com/%D1%96%D0%BD%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%96-%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%B8/>

5. Методичні рекомендації до виконання атестаційної роботи магістра студентами спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / В.В. Ткачов, А.В. Бубліков, М.М. Трипутень, С.М. Проценко, О.О. Бойко, В.І. Шевченко – МОН України. – Дніпро: НТУ «ДП», 2018. – 35 с.

6. Шаруда В.Г., Ткачов В.В., Бубліков А.В. Дослідницька частина в кваліфікаційній роботі магістра : навч. посіб. – Д.: Національний гірничий університет, 2015. – 487 с.

7. Бойко О.О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з теорії автоматичного управління для студентів напрямку підготовки «Комп'ютерна

інженерія» / Укл.: О.О. Бойко – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2017. – 107 с. – Режим доступу: <https://goo.gl/nUMtFE>. – Назва з домашньої сторінки Інтернету.

8. Міждержавний стандарт ГОСТ 12.0.003-74 (1999) ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

9. Охорона праці в галузі. Конспект лекцій для студентів Інституту електроенергетики. / Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. - Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2013. – 86 с.

10. ДСТУ 3191-95 (ГОСТ 12 2.137-96) Обладнання для кондиціонування повітря та вентиляції. Загальні вимоги безпеки.

11. Методичні рекомендації до практичних занять з розрахунку промислової вентиляції з дисципліни «Охорона праці в галузі» та дипломного проектування для студентів усіх спеціальностей / В.І. Голінько, Я.Я. Лебедев, С.О. Алексеєнко, В.Г. Марченко. – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2013. – 34 с.

12. Правила улаштування електроустановок Мінпаливвугілля України. – 2017 – 617 с.

## Додаток А

### Програмні модулі системи управління

#### А.1 Модуль об'єкта управління

```
(*
*
* File: SAK_group.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"SAK_group/Hacoc"
*
* Model name           : SAK_group
* Model version        : 1.10
* Model creator        : WORK
* Model last modified by : Egor
* Model last modified on  : Mon Jan 03 09:41:26 2022
* Model sample time    : 0s
* Subsystem name       : SAK_group/Hacoc
* Subsystem sample time : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on   : Mon Jan 03 09:42:37 2022
*
* Target IDE selection   : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included    : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_control_obj: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_level_obj: LREAL;
END_VAR
VAR
    _states: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    _states := 0.0;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:
        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn:
'<S1>/Hacoc' *)
        SS_STEP:
            (* Outport: '<Root>/bo_level_obj' incorporates:
```



```

    * DiscreteTransferFcn: '<S1>/насос' *)
    bo_level_obj := 0.1 * _states;

    (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/насос'
    incorporates:
    * Constant: '<S1>/Притік води1'
    * Gain: '<S1>/нормування'
    * Update for Inport: '<Root>/bi_control_obj'
    * Sum: '<S1>/Sum3' *)
    _states := (0.125 - (0.173333333333333334 *
    bi_control_obj)) - ( -_states);
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
    SS_INITIALIZE: SINT := 0;
    SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR

```

## A.2 Модуль регулятора

```

(*)
*
* File: SAK_group.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"SAK_group/РЕГУЛЯТОР"
*
* Model name                : SAK_group
* Model version              : 1.10
* Model creator              : WORK
* Model last modified by    : Egor
* Model last modified on    : Mon Jan 03 09:41:26 2022
* Model sample time         : 0s
* Subsystem name            : SAK_group/РЕГУЛЯТОР
* Subsystem sample time    : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on      : Mon Jan 03 09:41:49 2022
*
* Target IDE selection      : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included       : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    error_reg: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    control_reg: LREAL;
END_VAR
VAR
    Relay1_Mode: BOOL;
END_VAR

```

```
VAR_TEMP
END_VAR
(* Relay: '<S1>/Relay1' incorporates:
 * Inport: '<Root>/error_reg' *)
IF error_reg >= 0.2 THEN
    Relay1_Mode := TRUE;
ELSIF error_reg <= -0.2 THEN
    Relay1_Mode := FALSE;
END_IF;
IF Relay1_Mode THEN
    (* Outport: '<Root>/control_reg' *)
    control_reg := 0.0;
ELSE
    (* Outport: '<Root>/control_reg' *)
    control_reg := 1.0;
END_IF;
(* End of Relay: '<S1>/Relay1' *)
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR
```

## Додаток Б

### Програмне забезпечення системи управління

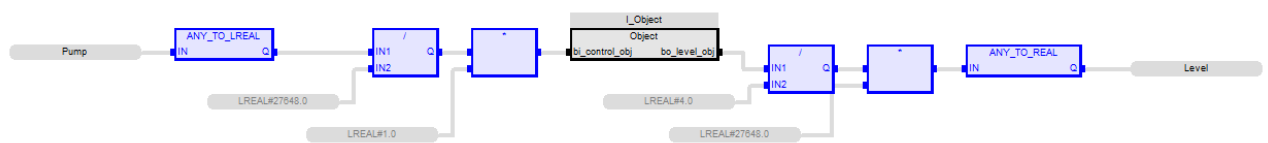
#### Б.1 Програмне забезпечення об'єкта

##### Б.1.1 Список програм

[FBD] Main

[ST] Object

##### Б.1.2 Основна програма



##### Б.1.3 Користувальницький функціональний блок

(\* Output: '<Root>/bo\_level\_obj' incorporates:

\* DiscreteTransferFcn: '<S1>/насос' \*)

bo\_level\_obj := LREAL#0.1 \* \_states;

(\* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/насос' incorporates:

\* Constant: '<S1>/Притік води1'

\* Gain: '<S1>/нормування'

\* Update for Inport: '<Root>/bi\_control\_obj'

\* Sum: '<S1>/Sum3' \*)

\_states := (LREAL#0.125 - (LREAL#0.173333333333333334 \* \*

bi\_control\_obj)) - (-\_states);

##### Б.1.4 Перелік змінних

```
VAR_INPUT
  bi_control_obj : LREAL ;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  bo_level_obj : LREAL ;
END_VAR
VAR
  _states : LREAL ;
```

END\_VAR

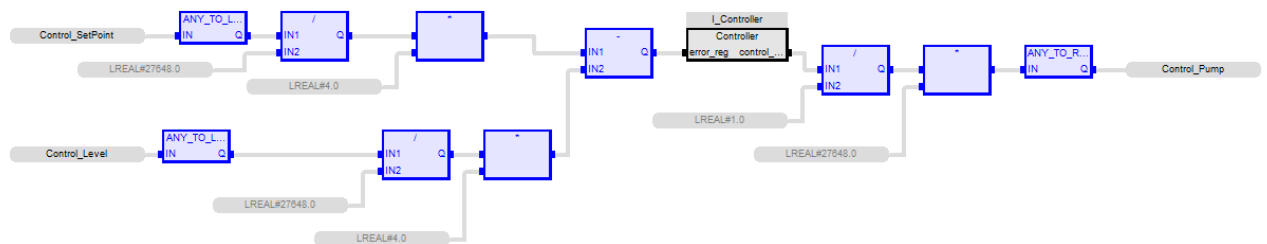
## Б.2 Програмне забезпечення регулятора

### Б.2.1 Список програм

[FBD] Main

[ST] Controller

### Б.2.2 Основна програма



### Б.2.3 Користувальницький функціональний блок

```
IF error_reg >= LREAL#0.2 THEN
```

```
    Relay1_Mode := TRUE;
```

```
ELSIF error_reg <= LREAL#-0.2 THEN
```

```
    Relay1_Mode := FALSE;
```

```
END_IF;
```

```
IF Relay1_Mode THEN
```

```
    (* Output: '<Root>/control_reg' *)
```

```
    control_reg := 0.0;
```

```
ELSE
```

```
    (* Output: '<Root>/control_reg' *)
```

```
    control_reg := 1.0;
```

```
END_IF;
```

### Б.2.4 Перелік змінних

```
VAR_INPUT
```

```
    error_reg : LREAL ;
```

```
END_VAR
```

```
VAR_OUTPUT
```

```
    control_reg : LREAL ;
```

```
END_VAR
```

```
VAR
```

```
Relay1_Mode : BOOL ;  
END_VAR
```

## Додаток В

### Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу

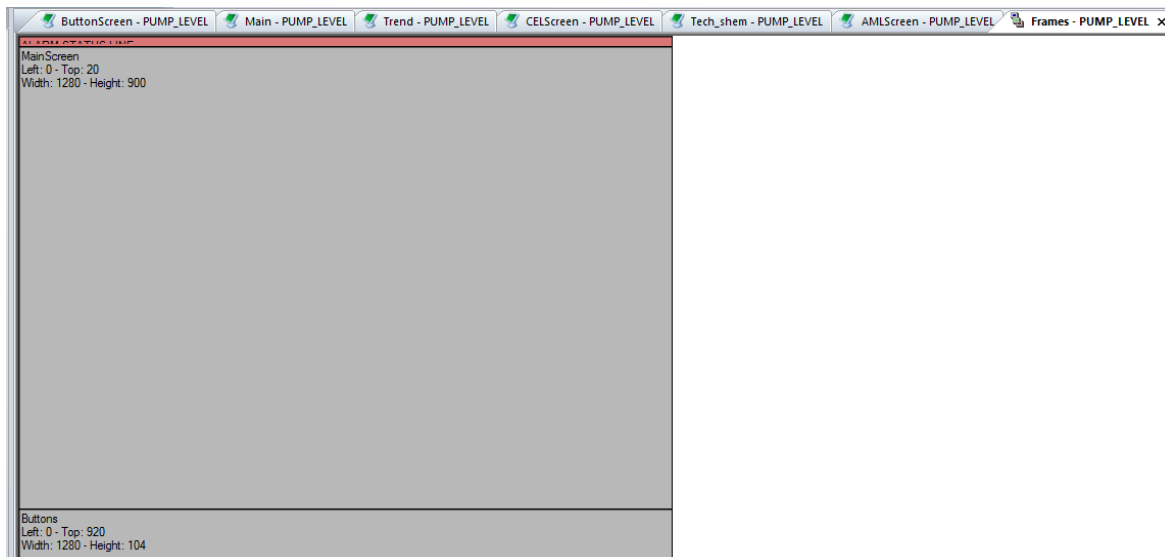
#### В.1 Драйвера

State	Identification	Description	File name
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Driver for internal variables		Intern
	Driver for mathematics variables		MATHDR32
	Driver for system variables		SYSDRV
	VIPA		S7TCP32
	zenon Logic: Controller		STRATONNG

#### В.2 Перелік змінних

State	Name	Identification	Measur...	Net address	Data block	Offset	Bit num...	Alignm...	Symbol...	Driver	Data type	Decimals	Start offset
Filter text	Filter text	Filter text	Filter...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter...	Filter...	Filter...	Filter text	Filter t...	Filter...	Filter text
	Pump			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	1	0
	Level			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	3	0
	Controller/Global/Control_SetPoint			0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...	REAL	3	0
	Controller/Global/Control_Pump			0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...	REAL	1	0
	Controller/Global/Control_Level			0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...	REAL	3	0

#### В.3 Шаблони зображень



## В.4 Функції

State	Name	Type	Parameter
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	ExitRuntime	Exit Runtime	
	ReloadProject	Reload project onli...	changed objects
	SwitchTrendScreen	Screen switch	Trend (Extended Trend) - PROCESS[...
	SwitchProcessScreen	Screen switch	Tech_shem (Standard)
	SwitchCELScreen	Screen switch	CELScreen (Chronological Event Lis...
	SwitchButtonScreen	Screen switch	ButtonScreen (Standard)
	SwitchAMLScreen	Screen switch	AMLScreen (Alarm Message List) - [...
	SwitchMain	Screen switch	Main (Standard)

## В.5 Зображення

State	Name	Screen type	Frame	Background color	Start function	End function
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	AMLScreen	Alarm Message List	MainScreen	#7D9EC0	< no function I...	< no function I...
	Tech_shem	Standard	MainScreen	#A3BDC7	< no function I...	< no function I...
	ButtonScreen	Standard	Buttons	#009300	< no function I...	< no function I...
	CELScreen	Chronological Event List	MainScreen	#7D9EC0	< no function I...	< no function I...
	Trend	Extended Trend	MainScreen	#7D9EC0	< no function I...	< no function I...
	Main	Standard	MainScreen	#7D9EC0	SwitchButtonS...	< no function I...

