

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 Сорокопуда Владислава Віталійовича  
(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 у шахтному водозбірнику за критерієм мінімізації дисперсії коливань споживаної потужності  
(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.			
<b>Рецензент</b>				
<b>Нормоконтролер</b>	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 Сорокопуд В. В. 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 у шахтному водозбірнику за критерієм мінімізації дисперсії коливань споживаної потужності,

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	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 дослідження 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**

\_\_\_\_\_ (підпис керівника)

доц. Бублік А.В.  
(прізвище, ініціали)

**Дата видачі**

01.09.2021

**Дата подання до атестаційної комісії**

10.01.2022

**Прийнято до виконання**

\_\_\_\_\_ (підпис студента)

Сорокопуд В. В.  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: \_\_\_ с., \_\_ рис., \_\_ табл., 3 додатка, \_\_джерел.

Об'єкт дослідження: процес автоматичного керування рівнем води у шахтному водозбірнику.

Предмет дослідження: методи та алгоритми автоматичного керування рівнем води у шахтному водозбірнику.

Мета роботи: підвищення ефективності процесу автоматичного керування рівнем води у шахтному водозбірнику за рахунок вдосконалення алгоритму автоматичного керування.

Вдосконалення алгоритму автоматичного керування відбувається завдяки використанню експертних правил, що реалізують ідею забезпечення знаходження сумарної потужності двигунів насосів у незмінному й мінімальному діапазоні значень якомога довше за умови перебування притоку води у водозбірник у певному діапазоні.

Головним показником якості роботи системи автоматичного керування рівнем води у шахтному водозбірнику є мінімізація дисперсії коливань сумарної потужності, що споживають насоси станції.

Під час виконання кваліфікаційної роботи магістра отримані наступні результати:

- створена імітаційна модель системи автоматичного керування рівнем води у шахтному водозбірнику;

- створений метод синтезу системи автоматичного керування рівнем води у шахтному водозбірнику на основі введення експертних правил з метою забезпечення дисперсії коливань сумарної потужності двигунів насосів, наближеної до мінімального значення, за рахунок спеціального алгоритму увімкнення та вимкнення насосів;

- розроблене програмне забезпечення системи автоматичного керування рівнем води у шахтному водозбірнику.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ, ШАХТНИЙ ВОДОЗБІРНИК,  
РІВЕНЬ ВОДИ, СИНТЕЗ, ЕКСПЕРИМЕНТ, ЛЮДИНО-МАШИННИЙ  
ІНТЕРФЕЙС

## 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 .....	11
1.3 Об'єкт керування .....	12
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування .....	13
1.3.2 Структура об'єкту керування .....	14
1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування .....	14
1.4 Структура системи керування .....	15
1.5 Формулювання задачі дослідження .....	20
1.6 Висновки до розділу .....	20
2 Теоретичний розділ .....	22
2.1 Модель системи автоматичного керування .....	22
2.2 Критерії якості функціонування системи керування .....	28
2.3 Висновки до розділу .....	29
3 Синтез та дослідження системи автоматичного керування .....	30
3.1 Визначення алгоритму автоматичного керування рівнем води у водозбірнику .....	30
3.2 Дослідження роботи системи автоматичного керування рівнем води у водозбірнику .....	41
3.3 Висновки до розділу .....	46
4 Експериментальний розділ .....	47
4.1 Цифрова модель системи керування .....	47
4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування .....	50
4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейса ...	52
4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення .....	56
4.5 Висновки до розділу .....	57

	5
5 Економічна частина .....	58
5.1 Розрахунок капітальних витрат .....	58
5.2 Розрахунок капітальних витрат на розробку системи .....	59
5.2.1 Розрахунок часу на розробку системи .....	59
5.2.2 Розрахунок витрат на розробку моделі об'єкта управління .....	61
5.3 Висновки до розділу .....	63
6 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях .....	64
6.1 Аналіз потенційних небезпек .....	64
6.2 Заходи щодо забезпечення техніки безпеки .....	65
6.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці .....	69
6.4 Штучне освітлення .....	72
6.5 Пожежна профілактика .....	74
6.6 Заходи з цивільного захисту .....	77
6.7 Висновки до розділу .....	79
Висновки .....	80
Перелік посилань .....	82
Додаток А Програмні модулі системи керування .....	84
Додаток Б Програмне забезпечення системи керування .....	88
Додаток В Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу .....	90

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

САК	– Система автоматичного керування;
ЛМІ	– Людино-машинний інтерфейс;
ПК	– Персональний комп'ютер;
НС	– Насосна станція
ПЗ	– Програмне забезпечення
ОУ	– Об'єкт управління

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Технологічний процес проведення виробок за умови підземного видобутку вугілля, що розглядається у кваліфікаційній роботі, є складовою частиною однієї з ключових галузей України – гірничої галузі.

Станом на 2021 рік в Україні видобувалося вугілля на 148 шахтах, серед яких 102 шахти у державній власності. Більшість вугледобувних підприємств приватного сектору входять до складу вертикально інтегрованих структур металургії або електроенергетики.

За даними «Всесвітньої вугільної Асоціації» («World Coal Association» - «WCA»), за рахунок вугілля в усьому світі покривається близько 30% первинної потреби в енергії. В цілому завдяки вугіллю в світі виробляється близько 41% всієї електроенергії. Вугілля також використовується для виробництва 70% світового обсягу сталі. Щорічно у світі видобувається близько 7,8 млрд тонн вугілля.

У 2019 році, за даними Всесвітнього статистичного щорічника з енергетики, в українських шахтах видобули 27 млн. тон вугілля.

Згідно з концепцією розвитку вугільної промисловості України, на теперішній час і на віддалену перспективу вугілля – єдиний енергоносіє, обсяги якого потенційно достатні для практично повного забезпечення потреб національної економіки. Тож, з урахуванням складної економічної ситуації України, протягом наступних декількох десятиріч видобуток вугілля, як стратегічно важливого ресурсу для паливно-енергетичної й металургійної галузей України, є досить актуальним для економіки нашої держави.

**Мета і задачі дослідження.** Мета магістерської кваліфікаційної роботи полягає у підвищенні ефективності процесу автоматичного керування рівнем води у шахтному водозбірнику за рахунок вдосконалення алгоритму автоматичного керування. Вдосконалення алгоритму автоматичного керування відбувається завдяки використанню експертних правил, що реалізують ідею забезпечення знаходження сумарної потужності двигунів насосів у незмінному

й мінімальному діапазоні значень якомога довше за умови перебування притоку води у водозбірник у певному діапазоні.

Головним показником якості роботи системи автоматичного керування рівнем води у шахтному водозбірнику є мінімізація дисперсії коливань сумарної потужності, що споживають насоси станції.

Для досягнення поставленої мети у роботі поставлені і розв'язані такі наукові задачі:

- створена імітаційна модель системи автоматичного керування рівнем води у шахтному водозбірнику;

- створений метод синтезу системи автоматичного керування рівнем води у шахтному водозбірнику на основі введення експертних правил з метою забезпечення дисперсії коливань сумарної потужності двигунів насосів, наближеної до мінімального значення, за рахунок спеціального алгоритму увімкнення та вимкнення насосів;

- розроблене програмне забезпечення системи автоматичного керування рівнем води у шахтному водозбірнику.

**Об'єкт дослідження:** процес автоматичного керування рівнем води у шахтному водозбірнику.

**Предмет дослідження:** методи та алгоритми автоматичного керування рівнем води у шахтному водозбірнику.

**Методи дослідження.** Для дослідження системи автоматичного керування рівнем води у шахтному водозбірнику використані методи сучасної теорії автоматичного керування, а також системний аналіз. Дослідження проводилися на основі обчислювальних експериментів з використанням комп'ютеризованих методів синтезу системи. Оцінювання ефективності процесу автоматичного керування проведене з використанням методів математичної статистики.

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

Запропонований новий підхід щодо синтезу системи автоматичного керування насосами водовідливної станції, який полягає у наступному. Весь діапазон зміни об'єму води у водозбірнику розбивається умовно на середній,



підвищений, високий, надвисокий, занижений, низький та наднизький рівні. Задачею є тримати рівень води між підвищеним та заниженим рівнями за рахунок забезпечення якомога довше незмінної комбінації активних насосів 0/1, 1/2 або 2/3, а діапазони між підвищеним й високим, а також між заниженим й низьким рівнями використати для переходу до іншої з означених вище комбінацій за кількістю активних насосів.

Таким чином, на більшій кількості часових інтервалів різниця кількості активних насосів не буде перевищувати одного, що є умовою зменшення дисперсії сумарної потужності, що споживається насосами.

## 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

### 1.1 Галузь промисловості

Технологічний процес проведення виробок за умови підземного видобутку вугілля, що розглядається у кваліфікаційній роботі, є складовою частиною однієї з ключових галузей України – гірничої галузі.

Станом на 2021 рік в Україні видобувалося вугілля на 148 шахтах, серед яких 102 шахти у державній власності [1].

Більшість вугледобувних підприємств приватного сектору входять до складу вертикально інтегрованих структур металургії або електроенергетики (ТОВ «Метінвест холдинг» – 7 шахт; Донбаська паливно-енергетична компанія (ДТЕК) – 28 шахт; ПрАТ «Донецький металургійний завод» – 1 шахта) та однієї горизонтально інтегрованої структури – НВО «Механік» (6 шахт). Також у приватному секторі функціонують понад 10 незалежних вугледобувних підприємств різних організаційно-правових форм, серед яких ПАТ «Шахта ім. О.Ф. Засядька»; ПАТ «Шахта «Жданівська»; ТОВ «Краснолиманське»; «Шахтоуправління ім. В.І. Чапаєва»; ПАТ «Укрвуглебуд» та ін.

Більшість державних вугледобувних підприємств, частка яких у видобутку вугілля оцінюється на рівні 28 %, є малопотужними шахтами зі складними гірничо-геологічними умовами [2, 3].

За даними «Всесвітньої вугільної Асоціації» («World Coal Association» - «WCA»), за рахунок вугілля в усьому світі покривається близько 30% первинної потреби в енергії. В цілому завдяки вугіллю в світі виробляється близько 41% всієї електроенергії. Вугілля також використовується для виробництва 70% світового обсягу сталі. Щорічно у світі видобувається близько 7,8 млрд тонн вугілля.

У 2019 році, за даними Всесвітнього статистичного щорічника з енергетики, в українських шахтах видобули 27 млн. тон вугілля.

Згідно з концепцією розвитку вугільної промисловості України [4], на теперішній час і на віддалену перспективу вугілля – єдиний енергоносіє, обсяги

якого потенційно достатні для практично повного забезпечення потреб національної економіки.

Тож, з урахуванням складної економічної ситуації України, протягом наступних декількох десятиріч видобуток вугілля, як стратегічно важливого ресурсу для паливно-енергетичної й металургійної галузей України, є досить актуальним для економіки нашої держави.

## **1.2 Технологічний процес**

Шахтні водовідливні установки виконують досить відповідальне завдання – запобігають підтопленню гірничих виробок підземними водами, що є дуже серйозними вимогами, які висуваються до надійності цих установок [5]. Якщо з будь-якої причини шахта тимчасово зупиняється, то вимикаються всі установки, і тільки водовідлив продовжує працювати, щоб не допустити затоплення шахти. Крім того, водовідлив – одна з найбільш енергоємних установок шахти (до 20% від загального електроспоживання шахти), особливо для глибоких шахт з більшим припливом води, тому дуже важливо підвищувати енергоефективність водовідливних установок.

Технологічні схеми таких установок залежать від конкретних гірничо-геологічних умов шахти й добового припливу води.

Шахтні водовідливні установки обладнаються тільки відцентровими насосами і поділяються на головні, призначені для відкачки на поверхню всього шахтного припливу води, і місцеві (дільничні, зумпфові) для перекачування води всередині шахти з окремих ділянок у загальний водозбірник.

Головні водовідливні установки відповідно до вимог правил безпеки обладнаються не менш ніж трьома насосними агрегатами, а по стволу прокладаються два нагнітальні трубопроводи. Насоси і нагнітальні трубопроводи вмикаються по черзі, при цьому кожний з них розрахований на відкачку нормального добового припливу. При підвищеному припливі (навесні, восени) передбачається одночасне вмикання двох насосів і трубопроводів. Кількість насосних агрегатів і нагнітальних трубопроводів місцевих

водовідливних установок не регламентується й визначається виходячи з конкретних умов.

Наведемо приклад основної характеристики об'єкта автоматизації з точки зору технології процесу.

Головна водовідливна установка шахти розташована в приствольному дворі горизонт 265 м і обладнана п'ятьма насосами типу ЦНС:

- №1 и №2 – ЦНС 300х360;
- №3 – ЦНС 300х300;
- №4 и №5 – ЦНС 300х360.

Напірні трубопроводи насосів закільцьовані через запірну-регулюючу арматуру і приєднані до трьох трубопроводах, що забезпечує відкачування води на поверхню. Всмоктуючий трубопровід виконаний з труб  $D = 325$  мм, напірний трубопровід з труб  $D = 273$  мм. Запірна-регульована арматура відповідає діаметру трубопроводу. Усмоктувальні трубопроводи оснащені прийомними клапанами, розміщеними в колодязях двох водоприймачів, насоси №1 і №4 - водоприймач №1, насоси №5 - водоприймач №2.

Місткість водозбірників (в незамуленому стані) розрахована на 4-х годинний максимальний приток води  $600 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Камера ЦПП і ЦНК з'єднана з допоміжним стволом трубно-кабельним ходком, за яким прокладені напірні трубопроводи №1 і №2 і високовольтні кабелі в ЦПП горизонту 265 м. Напірний трубопровід №3 проходить по окремій свердловині.

### **1.3 Об'єкт керування**

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – шахтний водозбірник разом з насосною станцією. Цільовим продуктом є послуга забезпечення відкачування ґрунтових вод на шахтному підприємстві з метою забезпечення його нормального функціонування.

### 1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

Узагальнена схема розташування устаткування водовідливної установки наведена на рис.1.1.

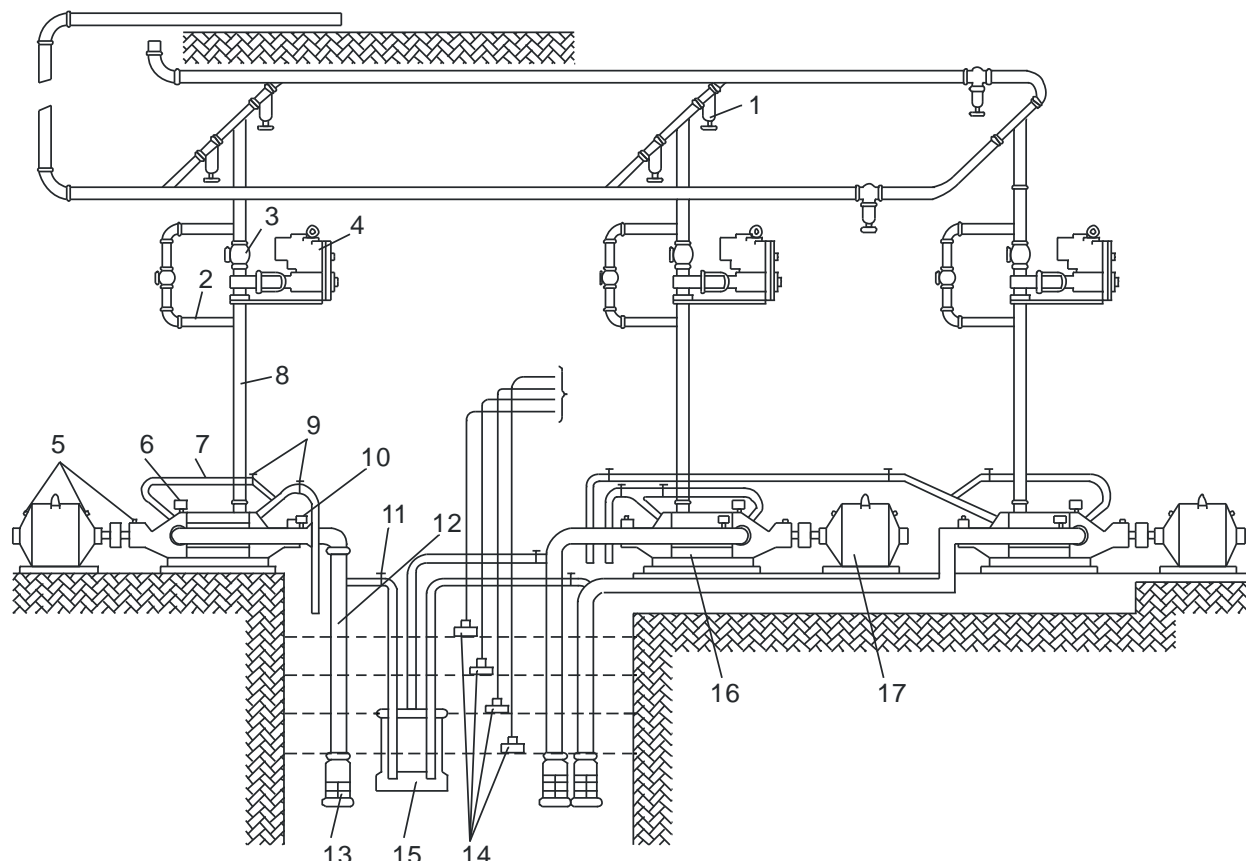


Рисунок 1.1 – Схема розташування устаткування водовідливної установки шахти

Кожен з насосів (поз. 1 на рис.1.1) може бути з'єднаний з головним водопроводом за допомогою вентилів (2). Головний водопровід (постав) (3) кожного з насосів оснащений вентиляем (4) з ручним керуванням і засувкою (5) з електроприводом і обвідним трубопроводом з вентиляем (15). Заливальний насос (6) з'єднаний з іншими насосами окремими трубопроводами (7) через усмоктувальний водозабірний трубопровід (8), на кінці якого встановлений водозабірник (9). По закінченні заливання вода з насосів по відповідним трубопроводам (10) попадає у водозбірник. Датчик продуктивності насоса (11) установлений на всмоктувальному трубопроводі. Закінчення заливання контролюється датчиком тиску (12). У процесі роботи насосних агрегатів

спостерігають за температурою підшипників двигуна й насоса (13). Як правило, контролюється 4 значення рівня води у водозбірнику (14): нижній, верхній, підвищений і аварійний.

### 1.3.2 Структура об'єкту керування

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

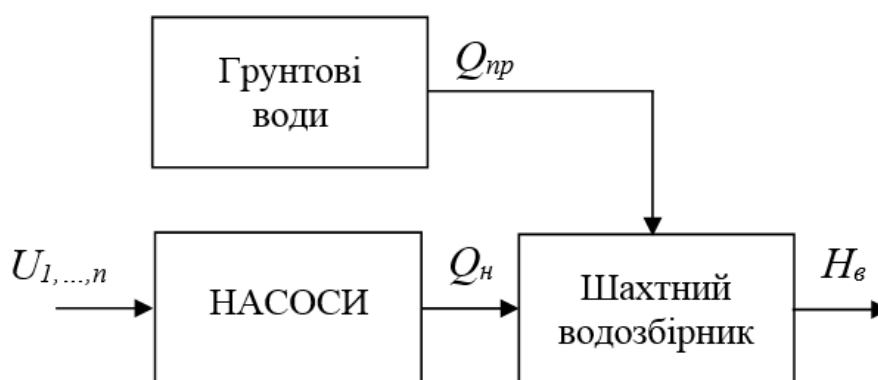


Рисунок 1.2 – Структурна схема об'єкта керування

На керуючі входи, з урахуванням того, що виконавчими елементами системи керування є приводи насосів з нерегульованими двигунами, подається дискретний електричний сигнал (вмикання/вимикання двигунів насосів). Керованою величиною є рівень води у шахтному водозбірнику.

Збурюючим впливом є притік ґрунтових вод у шахтний водозбірник.

### 1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування

Робота всієї водовідливної установки – це виконання її устаткуванням певних операцій у суворій послідовності [5]. Починають з контролю рівня води у водозбірнику. Якщо вода досягне верхнього рівня, заливається насос, після чого вмикається в мережу привідний двигун. Коли тиск у нагнітальному патрубку наблизиться до номінального, відкривається засувка нагнітального

трубопроводу. При нормальному пуску насос приймає навантаження і у нагнітальному трубопроводі встановлюється номінальний тиск – насос працює з повною продуктивністю. Під час роботи насоса контролюється рівень води у водозбірнику, а також температура підшипників і обмоток електродвигуна. При досягненні водою нижнього рівня закривається засувка в нагнітальному трубопроводі та припиняється подача живлення на привідний двигун. Насосний агрегат зупиняється.

Якщо після вмикання привідного електродвигуна насос не розвиває номінального тиску, то засувка закривається й електродвигун вимикається і живлення від мережі не надходить, після чого проводиться запуск наступного насосного агрегату.

Коли після нормального запуску першого насоса вода у водозбірнику, продовжуючи підніматись, досягає аварійного рівня, це означає, що приплив води в шахту перевищив допустимий рівень. Після цього одразу ж запускається інший насос на другий нагнітальний трубопровід.

Якщо в працюючого насоса перегріваються підшипники або привідний електродвигун, то насосний агрегат вимикається і запускається резервний.

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

В якості об'єкта управління виступає шахтна водовідливна установка, для якої виконується розробка системи автоматизованого управління. Вхідними параметрами об'єкта управління є сигнали управління насосом і засувкою. Вихідними параметрами об'єкту управління є рівень води, температура підшипників та статора двигуна, положення засувки, тиск в нагнітальному трубопроводі. Виходячи з цього, в кваліфікаційній роботі бакалавра розроблена апаратна частина підсистеми управління, яка включає датчики рівня води, датчик температури підшипників, датчик температури статора двигуна, датчики положення засувки, датчик тиску в нагнітальному трубопроводі та пристрої управління насосом та засувкою (рис. 1.3).

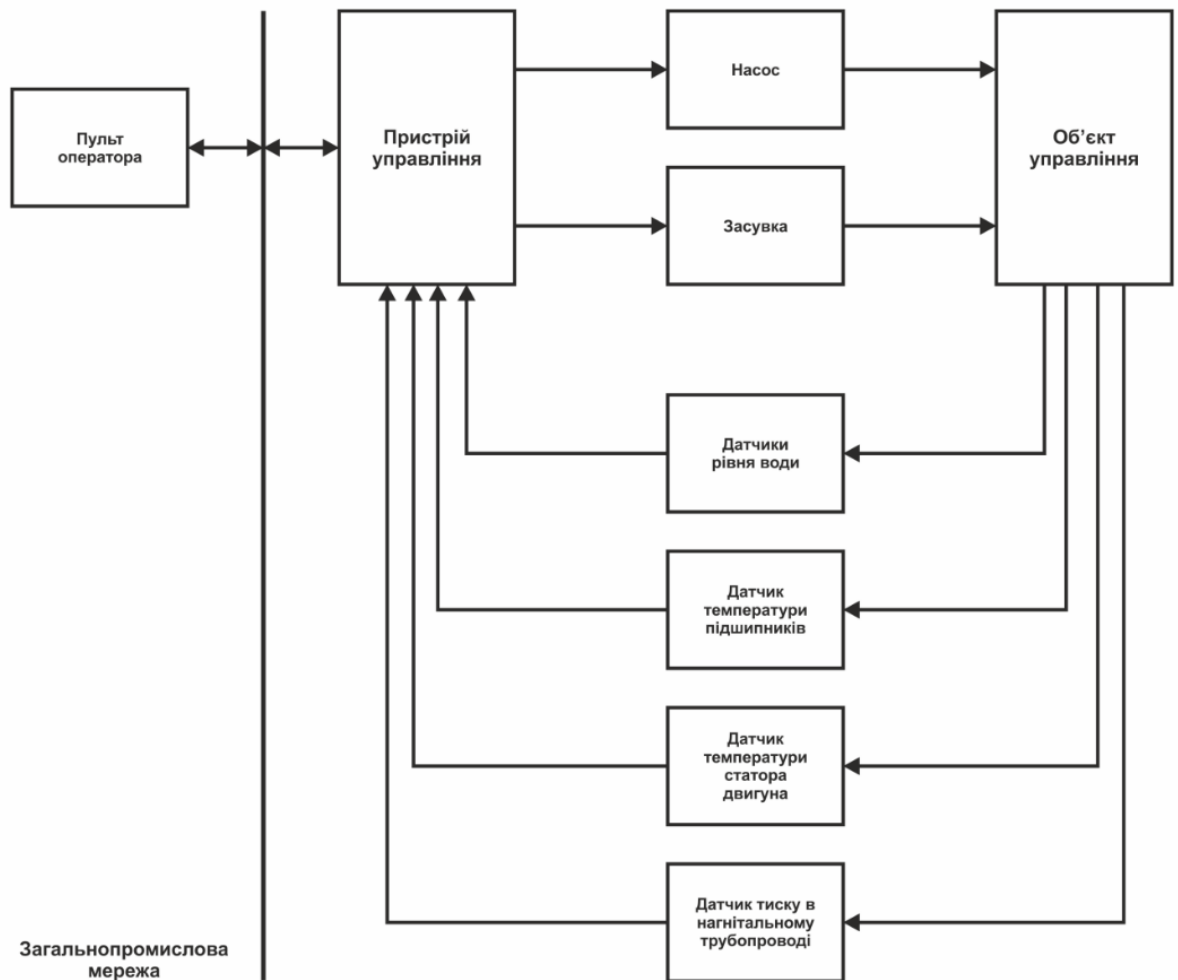


Рисунок 1.3 – Структурна схема підсистеми керування водовідливною установкою

Виходячи з вимог, система має забезпечувати управління об'єктом, а отже включати підсистему управління технологічним обладнанням. Дана підсистема складається з пристроїв збору інформації (датчики рівня води, температури та тиску), еталонів стану обладнання (рівні включення насосу), системи автоматичного контролю стану обладнання, програми управління яка повинна реалізувати управління насосом, блоку переводу до ручного режиму управління та виконавчих пристроїв (привід засувки та пристрій управління насосом).



Крім того система повинна забезпечувати візуалізацію та контроль, за технологічним процесом, тому до неї повинна входити підсистема інформаційного забезпечення роботи оператора. Дана підсистема складається з реєстрації параметрів процесу, людино-машинного інтерфейсу та сигналізації досягнення параметрами заданих значень.

Також системою повинно забезпечуватися архівування технологічних процесів які відбуваються, цьому в неї повинна бути підсистема ведення архівів параметрів та подій, включно з базою даних та резервним сховищем.

Таким чином, в кваліфікаційній роботі бакалавра розроблена структурна схема інформаційних потоків, що наведена на рис. 1.4.

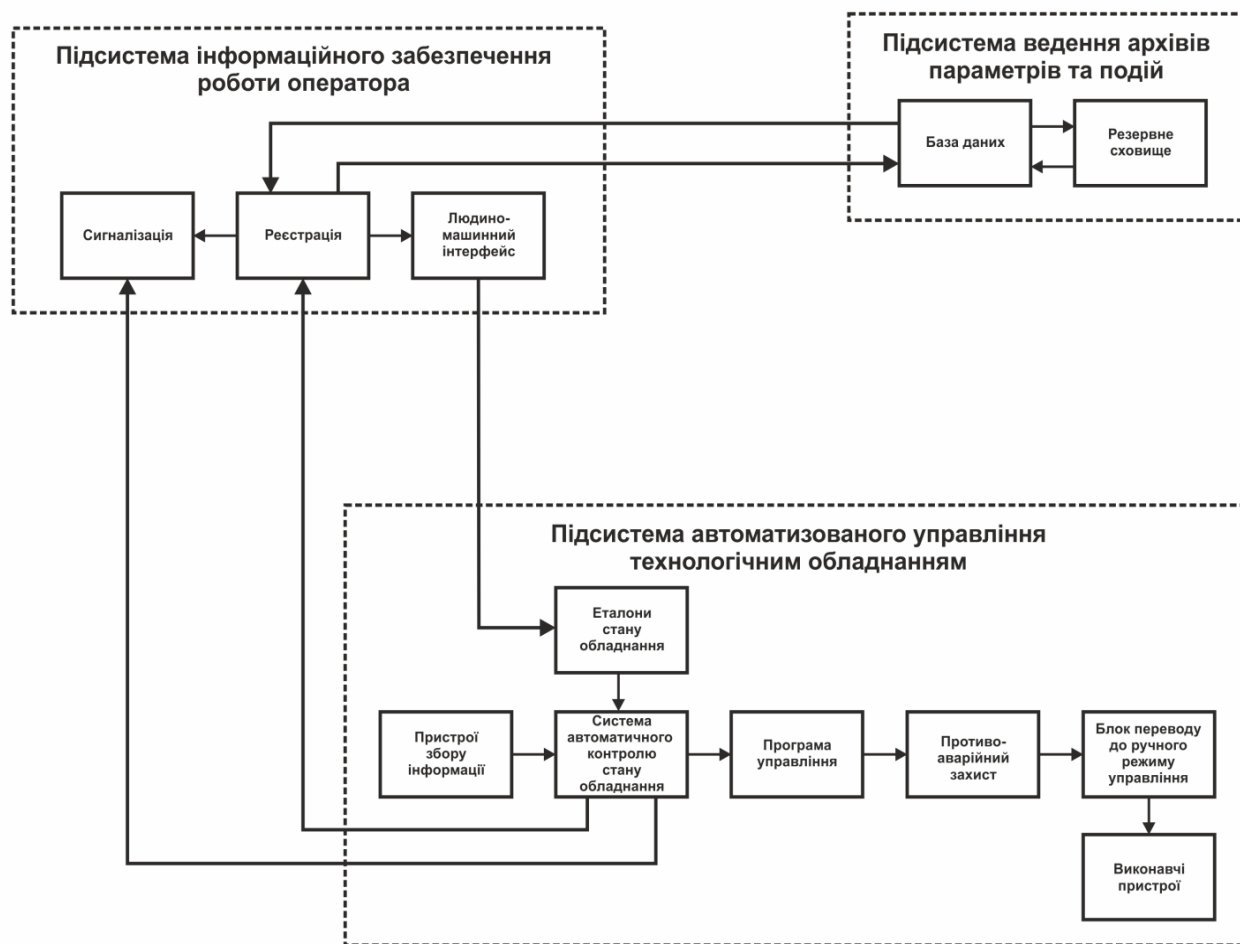


Рисунок 1.4 – Структурна схема інформаційних потоків

Дана структура забезпечує управління рівнем води, 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.

Таким чином, згідно з вимогами, підсистема автоматизованого управління технологічним обладнанням представляє собою апаратно програмний комплекс до якого входять датчики рівня води, датчики температури підшипників та статора двигуна, датчик тиску в нагнітальному трубопроводі, об'єкт управління, пристрій управління засувкою та пристрій управління насосом.

Підсистема інформаційного забезпечення роботи оператора представляє собою апаратно програмний комплекс на персонального комп'ютера з SCADA системою zenon Supervisor.

Підсистема ведення архівів параметрів та подій представляє собою окремий програмний модуль SCADA системи zenon.

Зв'язок між наведеним апаратним комплексом, згідно з вимогами, забезпечується за допомогою загальнопромислової мережі підприємства, а між програмним забезпеченням – за допомогою стандартних протоколів.

В кваліфікаційній роботі бакалавра також обрані датчики й виконавчі механізми для системи керування водовідливною установкою.

На основі вимог до системи управління та обраного апаратного забезпечення, в кваліфікаційній роботі бакалавра також розроблена функціональна схема автоматизації, яка наведена на рис. 1.5.

У якості пристрою управління використовується програмований логічний контролер (UY 11 – VIPA 115-6BL32). Програмований логічний контролер підключено до персонального комп'ютеру (UYR 6) за допомогою інтерфейсу RS-485.

Датчики рівня (LE), датчики положення засувки (GT), датчик тиску (PE) та датчики температури (TE) підключенні до контролеру. Управління

положенням засувки виконується за допомогою контролеру реверсування (GC).  
Управління двигуном виконується за допомогою КРУВ-6В-ОП (SC).

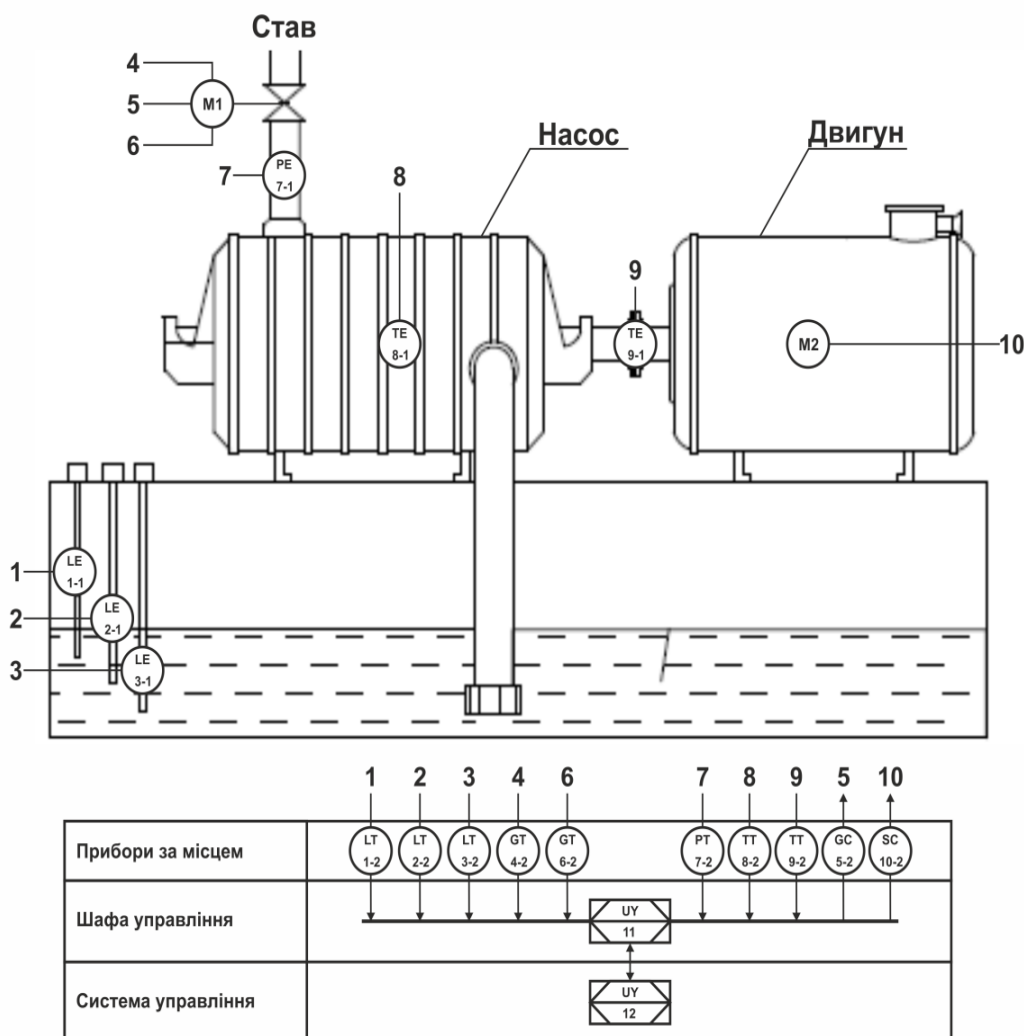


Рисунок 1.5 – Функціональна схема автоматизації системи управління

Таким чином, у кваліфікаційній роботі бакалавра створена локальна система автоматизації окремого насоса, а у кваліфікаційній роботі магістра акцент робиться передусім на розробку так званого “верхнього” рівня системи керування для реалізації тактики вмикання та вимикання декількох насосів станції.

### **1.5 Формулювання завдань дослідження**

Для досягнення основної мети – забезпечення для різного характеру зміни у часі притоку ґрунтовних вод мінімальної дисперсії коливань сумарної потужності, споживаної насосами водовідливної стації, необхідно виконати наступні завдання дослідження:

- для проведення обчислювальних експериментів створити імітаційну модель системи автоматичного керування рівнем води у шахтному водозбірнику;

- обґрунтувати метод синтезу системи автоматичного керування з урахуванням особливостей роботи об'єкта керування та визначених критеріїв якості роботи системи;

- провести дослідження режимів роботи синтезованої системи керування з урахуванням різного характеру динаміки притоку ґрунтовних вод, та визначити експертні правила, що для різних умов роботи водовідливної стації забезпечують досягнення мінімуму дисперсією коливань сумарної потужності, що споживають двигуни насосів.

### **1.6 Висновки до розділу**

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – шахтний водозбірник разом з насосною станцією. Об'єктом дослідження є процес автоматичного керування рівнем води у шахтному водозбірнику. Предмет дослідження – методи та алгоритми автоматичного керування рівнем води у шахтному водозбірнику.

За умови використання декількох насосів з некерованими двигунами їх приводів, маємо багатомірний й нелінійний об'єкт керування, що є складним для управління. Крім того, процес керування ускладнюється непередбачуваним характером зміни у часі притоку ґрунтовних вод.

Таким чином, об'єкт керування є дискретно-неперервним та багатомірним з декількома дискретними керуючими величинами

(увімкнення/вимкнення двигунів приводів насосів), та одною керованою величиною (рівень води у шахтному водозбірнику).

Отже, необхідно провести дослідження режимів роботи синтезованої системи керування рівнем води у шахтному водозбірнику для різного характеру притоку ґрунтових вод, та на основі цих досліджень визначити такі експертні правила для системи керування насосами, що забезпечують мінімізацію дисперсії коливань сумарної потужності, що споживають двигуни насосів.

Зменшення дисперсії зміни у часі потужності підвищує прогнозованість кількості споживаної енергії на відкачування води, а також зменшує кількість часу, коли спостерігається суттєво підвищена сумарна потужність приводів насосів. Це дозволяє зменшити питомі енерговитрати на відкачування води за умови використання диференційованого підходу при розрахунку вартості електроенергії (є додаткові бонуси у разі заказу наперед певної кількості електроенергії, та відсутності перевищення зарезервованого рівня за максимальною споживаною потужністю).

## 2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Модель системи автоматичного керування

З метою синтезу й дослідження системи автоматичного керування рівнем води у водозбірнику, який оснащений трьома робочими насосами з продуктивністю кожного  $300 \text{ м}^3/\text{год}$  та споживаною потужністю одним насосом  $350 \text{ кВт}$ , як інструмент дослідження розроблена імітаційна модель водозбірника з насосами як об'єкта автоматичного керування (рис.2.1).

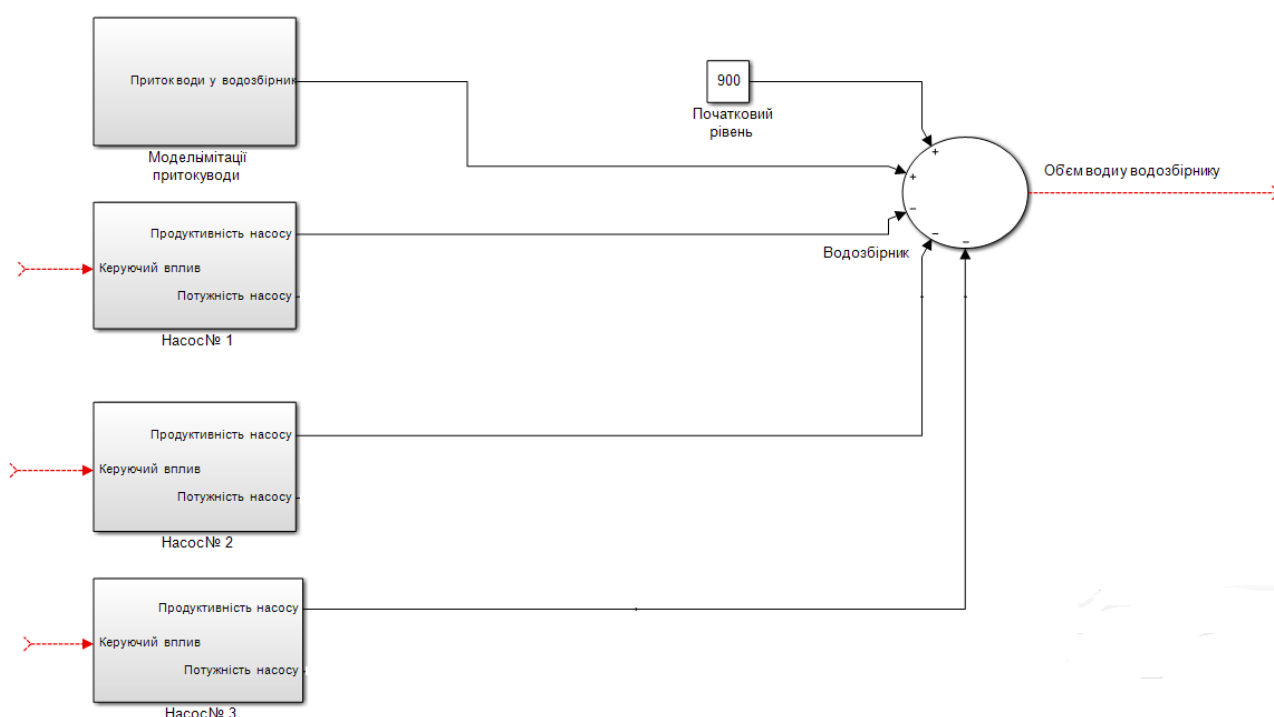


Рисунок 2.1 – Схема імітаційної моделі об'єкта автоматичного керування рівнем води у шахтному водозбірнику

Вхідними величинами моделі об'єкта керування є три дискретні керуючі сигнали на вмикання (логічна одиниця) та вимикання (логічний нуль) кожного з насосів.

Вихідною величиною моделі є об'єм води у водозбірнику. Саме ця величина приймається за керовану, оскільки існує пряма й пропорційна її залежність від рівня води у водозбірнику.

Модель водозбірника фактично представлена лише суматором, який реалізує баланс між кількістю води, що за 1 секунду надійшла до водозбірника, та кількістю води, що відкачена насосами:

$$V_{\text{водозб.}} = V_{\text{поч}} + V_{\text{прит}} - V_{\text{нас.1}} - V_{\text{нас.2}} - V_{\text{нас.3}}, \text{ м}^3,$$

де  $V_{\text{водозб}}$  – поточний об’єм води у водозбірнику;  $V_{\text{поч}}$  – об’єм води у водозбірнику на початку моделювання (заданий за допомогою блока “Початковий рівень” на рис.2.1 рівним  $900 \text{ м}^3$ );  $V_{\text{нас.1}}$  – об’єм води, що відкачений насосом №1 з певного моменту часу (для нашого випадку – з моменту початку моделювання);  $V_{\text{нас.2}}$  – об’єм води, що відкачений насосом №2 з певного моменту часу;  $V_{\text{нас.3}}$  – об’єм води, що відкачений насосом №3 з певного моменту часу.

У підсистемі «Насос №  $i$ » моделі на рис.2.1 реалізована імітаційна модель насосу на основі інтегратора (рис.2.2), оскільки вихідною величиною моделі є кількість води (ємність), що відкачена насосом за одиницю часу.

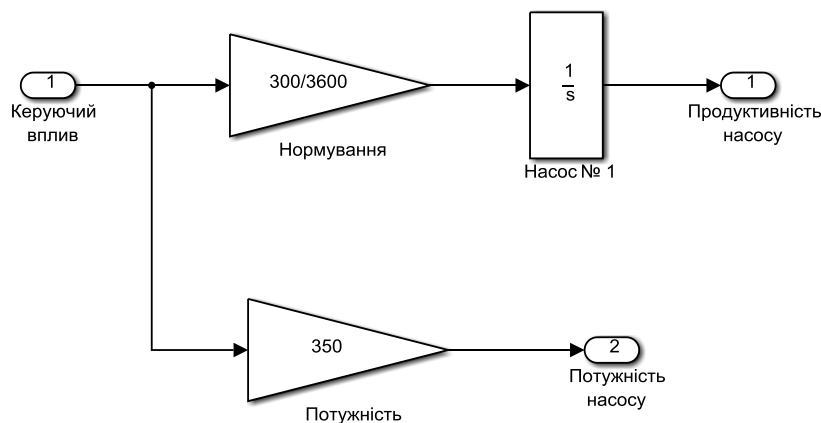


Рисунок 2.2 – Схема імітаційної моделі насосної установки як об’єкта автоматичного керування

У блоці “Нормування” враховується той факт, що моделювання у додатку Simulink програми Matlab відбувається у секундах, а у технічних

характеристиках насосу його продуктивність вказана за годину, тому відбувається перехід до продуктивності насосу за секунду.

Крім того, за допомогою блоку “Потужність” керуючий сигнал множиться на 350, що відповідає умові потужності двигуна 350 кВт при ввімкненому насосі та 0 кВт при вимкненому.

Окрім моделі насосу, іншим головним елементом моделі об’єкта керування є модель імітації зміни у часі притоку води у водозбірник, що є головним збурюючим впливом для системи автоматичного керування рівнем води у водозбірнику. Ця модель реалізується у підсистемі «Модель імітації притоку води» на рис.2.1, а її схема показана на рис.2.3.

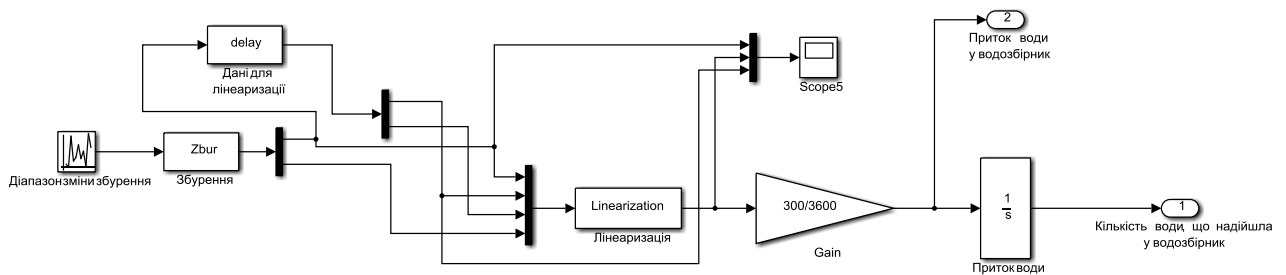


Рисунок 2.3 – Схема моделі імітації зміни у часі кількості води, що прибуває до водозбірника, як збурюючого впливу

У моделі імітації зміни у часі збурюючого впливу на початку створюється східчастий сигнал, який є квантованим як по рівню (амплітудою), так і за часом. Цей вплив створюється у блоці «Збурення» на рис.2.3, в якому реалізована функція на мові програмування пакету MATLAB «Zbur» (програмний код наведений нижче). Далі відбувається лінійна інтерполяція випадкового східчастого сигналу за формулою:

$$y_i = y_{non} + \frac{y_{nom} - y_{non}}{T_{nep}(V_n)} \cdot t_i, \quad (2.1)$$



де  $y_i$  – поточне значення випадкового сигналу при його лінійній інтерполяції;  $y_{non}$  – попереднє значення східчастого випадкового сигналу;  $y_{nom}$  – поточне значення східчастого випадкового сигналу;  $t_i$  – поточний час, для якого розраховується  $y_i$ .

### Програма 2.1 – Функція генерування східчастого збурення

```

unction [sys,x0,str,ts] = Zbur(t,x,u,flag)

switch flag,
case 0
    [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes;
case 2
    sys = mdlUpdate(t,x,u);

case 3
    sys = mdlOutputs(t,x,u);
case 4
    sys = mdlGetTimeOfNextVarHit(t,x,u);
case { 1, 9 }
    sys = [];
otherwise
    error(['Unhandled flag = ',num2str(flag)]);
end

function [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes
sizes = simsizes;
sizes.NumContStates = 0;
sizes.NumDiscStates = 1;
sizes.NumOutputs = 2;
sizes.NumInputs = 1;
sizes.DirFeedthrough = 1;
sizes.NumSampleTimes = 1;
sys = simsizes(sizes);
x0 = [100];
str = [];
ts = [-2 0];

function sys = mdlUpdate(t,x,u)
sys=normrnd(3600*6, 3600*1.5);

function sys = mdlOutputs(t,x,u)
sys(1) =u(1);
sys(2) = x(1);

function sys = mdlGetTimeOfNextVarHit(t,x,u)
sys = t + x(1);

```

З формули (2.1) видно, що для процедури лінійної інтерполяції потрібний, умовно кажучи, прямокутник, створений з поточного східчастого збурюючого сигналу, та його аналогу, затриманого на період. Діагональ цього прямокутника й є результатом лінійної інтерполяції. Тому, з метою підготовки даних для лінійної інтерполяції за формулою (2.1) написана функція «delay», програмний код якої наведений нижче.

Програма 2.2 – Функція підготовки даних до лінеаризації східчастого сигналу

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

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

function [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes

sizes = simsizes;
sizes.NumContStates = 0;
sizes.NumDiscStates = 3;
sizes.NumOutputs = 2;
sizes.NumInputs = 1;
sizes.DirFeedthrough = 0;
sizes.NumSampleTimes = 1;
sys = simsizes(sizes);
x0 = [0 0 0];
str = [];
ts = [1 0];

function sys = mdlUpdate(t,x,u)
if (x(2)==u(1))
    sys = [x(1) x(2) x(3)+1];
else
    sys = [x(2) u(1) 0];
end

function sys = mdlOutputs(t,x,u)
sys = [x(1) x(3)];
```

Сама формула (2.1), на основі якої здійснюється лінійна інтерполяція збурюючого сигналу, реалізована за допомогою функції «Linearization» (див. рис.2.3). Код цієї функції наведений нижче.

Програма 2.3 – Функція лінеаризації східчастого збурюючого впливу

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

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

```
function [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes
sizes = simsizes;
sizes.NumContStates = 0;
sizes.NumDiscStates = 2;
sizes.NumOutputs = 1;
sizes.NumInputs = 4;
sizes.DirFeedthrough = 1;
sizes.NumSampleTimes = 1;
sys = simsizes(sizes);
x0 = [0 0];
str = [];
ts = [1 0];
```

```
function sys = mdlUpdate(t,x,u)
sys = [x(2) u(2)+(((u(1)-u(2))*u(3))/u(4))];
```

```
function sys = mdlOutputs(t,x,u)
if (abs(x(1)-x(2))>0.1)
    sys = u(2);
else
    sys = x(2);
end
```

Результат роботи моделі імітації притоку води у водозбірник показаний на рис.2.4.

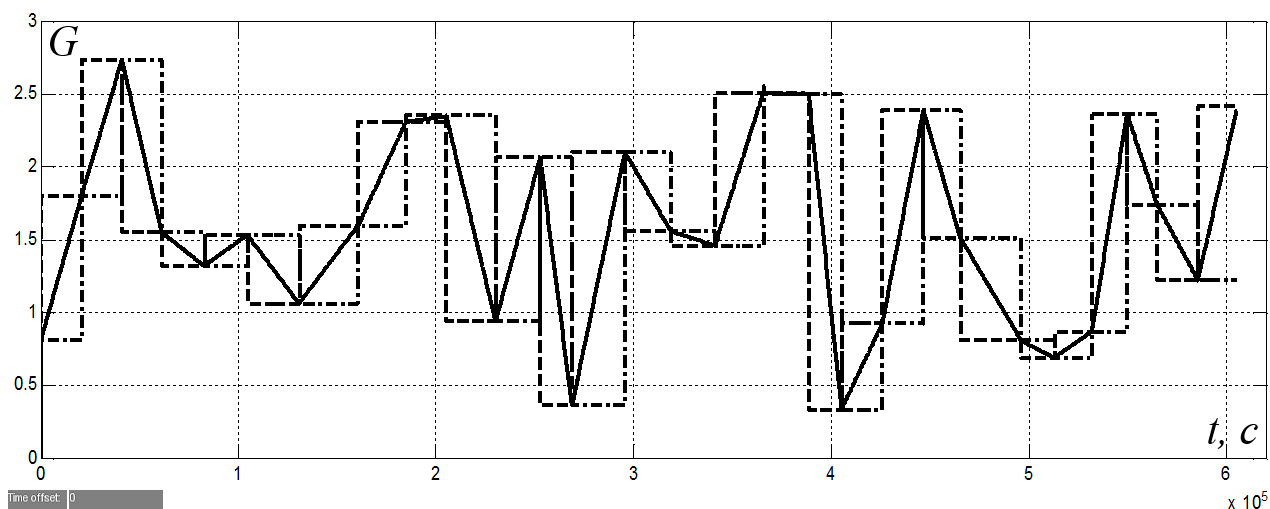


Рисунок 2.4 – Зміна у часі: нормованого східчастого збурюючого сигналу (пунктирна лінія), нормованого східчастого збурюючого сигналу з часовою затримкою на період (штрих-пунктирна лінія), нормованого лінеаризованого збурюючого сигналу

Нормування збурюючого впливу здійснюється у діапазоні значень за віссю ординат від 0 до 3, де число 3 еквівалентне об'єму води, яка приходить у водозбірник, що відповідає сумарній продуктивності трьох насосів.

## 2.2 Оцінка якості функціонування системи управління

Основною метою роботи системи автоматичного керування, синтез якої проводиться, є зменшення дисперсії коливань сумарної потужності, що споживається насосами.

Зменшення дисперсії зміни у часі потужності підвищує прогнозованість кількості споживаної енергії на відкачування води, а також зменшує кількість часу, коли спостерігається суттєво підвищена сумарна потужність приводів насосів. Це дозволяє зменшити питомі енерговитрати на відкачування води за умови використання диференційованого підходу при розрахунку вартості електроенергії (є додаткові бонуси у разі заказу наперед певної кількості

електроенергії, та відсутності перевищення зарезервованого рівня за максимальною споживаною потужністю).

З урахуванням цього, основним критерієм ефективності роботи синтезованої системи автоматичного керування рівнем води у водозбірнику є дисперсія коливань сумарної потужності, що споживається насосами, яка повинна прагнути до нуля. Також введемо ще один другорядний критерій ефективності – частоту вмикання насосів, яка повинна бути якомога менше, оскільки занадто часте вмикання насосів негативно позначається як на часі служби насосів, так і на якості напруги живлення у шахтній мережі.

### **2.3. Висновки до розділу**

Для синтезу й дослідження системи автоматичного керування рівнем води у водозбірнику розроблена імітаційна модель водозбірника з насосами як об'єкта автоматичного керування. В цій моделі об'єм води у водозбірнику, від якого прямо пропорційно залежить рівень води, визначається як баланс між кількістю води, що за певний час надійшла до водозбірника, та кількістю води, що за цей час відкачується насосами. З оглядом на це, для імітації відкачування води насосом використаний інтегратор з коефіцієнтом підсилення, що відповідає продуктивності насосу, оскільки вихідною величиною моделі насосу повинна бути кількість води (ємність), що відкачена насосом за одиницю часу.

Крім того, в імітаційній моделі об'єкта автоматичного керування у якості моделі імітації притоку води у водозбірник, що є збурюючим впливом, використаний генератор випадкових чисел, в якому як сам притік, так і період його зміни у часі є випадковими числами, які розподіляються згідно нормальному закону. Статистичні характеристики притоку води у водозбірник відповідають реальним умовам.

Єдиним й основним критерієм ефективності роботи синтезованої системи автоматичного керування рівнем води у водозбірнику є дисперсія коливань сумарної потужності, що споживається насосами, яка повинна прагнути до нуля.

### 3. СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

#### 3.1 Визначення алгоритму автоматичного керування рівнем води у водозбірнику

При розробці імітаційної моделі системи автоматичного керування рівнем води у водозбірнику за основу взята структурна схема системи, за якою фактично здійснена декомпозиція структурної схеми моделі системи керування (рис.3.1).

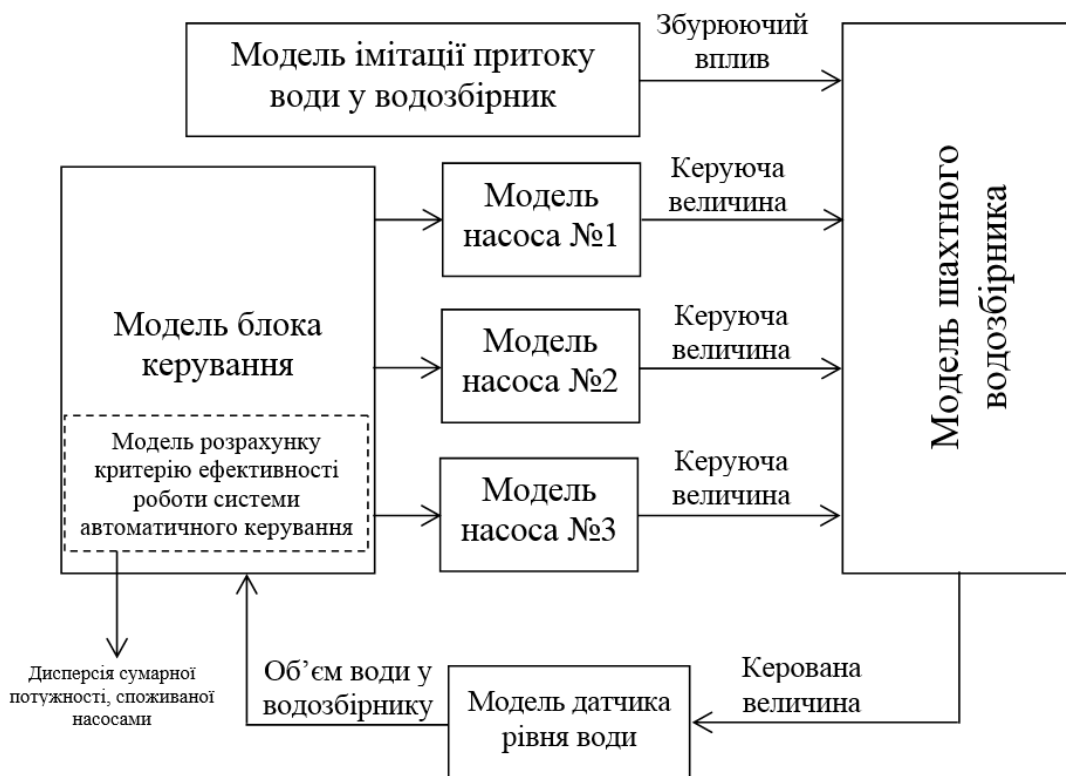


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи автоматичного керування рівнем води у водозбірнику

Як бачимо з рис.3.1, структура моделі системи автоматичного керування рівнем води у водозбірнику повністю повторює структуру реальної системи.

При цьому, як було відображено у розділі 2, модель об'єкта керування є багатокомпонентною, та складається з моделей насосів, моделі імітації зміни у

часі притоку води та моделі водозбірника. Модель розрахунку критерію якості роботи системи керування доцільно зробити складовою частиною моделі блоку керування, оскільки фактично ця функція виконується програмно на базі контролера.

На основі структурної схеми моделі системи автоматичного керування рівнем води у водозбірнику на рис.3.1 проведена її реалізація у додатку Simulink програми Matlab (рис.3.2).

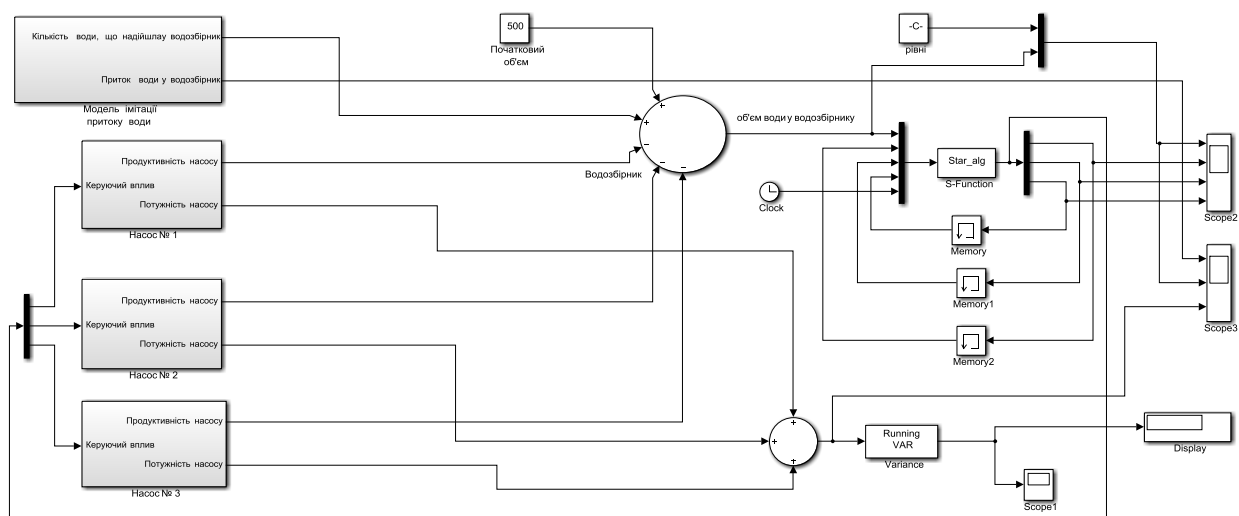


Рисунок 3.2 – Схема імітаційної моделі системи автоматичного керування рівнем води у шахтному водозбірнику

Модель блоку керування на рис.3.2 реалізована на основі блоку “S-function”, за допомогою якого у додаток Simulink інтегрована S-функція – спеціальний програмний інструмент, що дозволяє користувачеві реалізовувати різні алгоритми у додатку Simulink з використанням мови програмування пакету Matlab.

У нашому випадку у блоці “S-function” на рис.3.2 реалізується існуючий наразі алгоритм автоматичного керування рівнем води у водозбірнику, що показаний на рис.3.3.

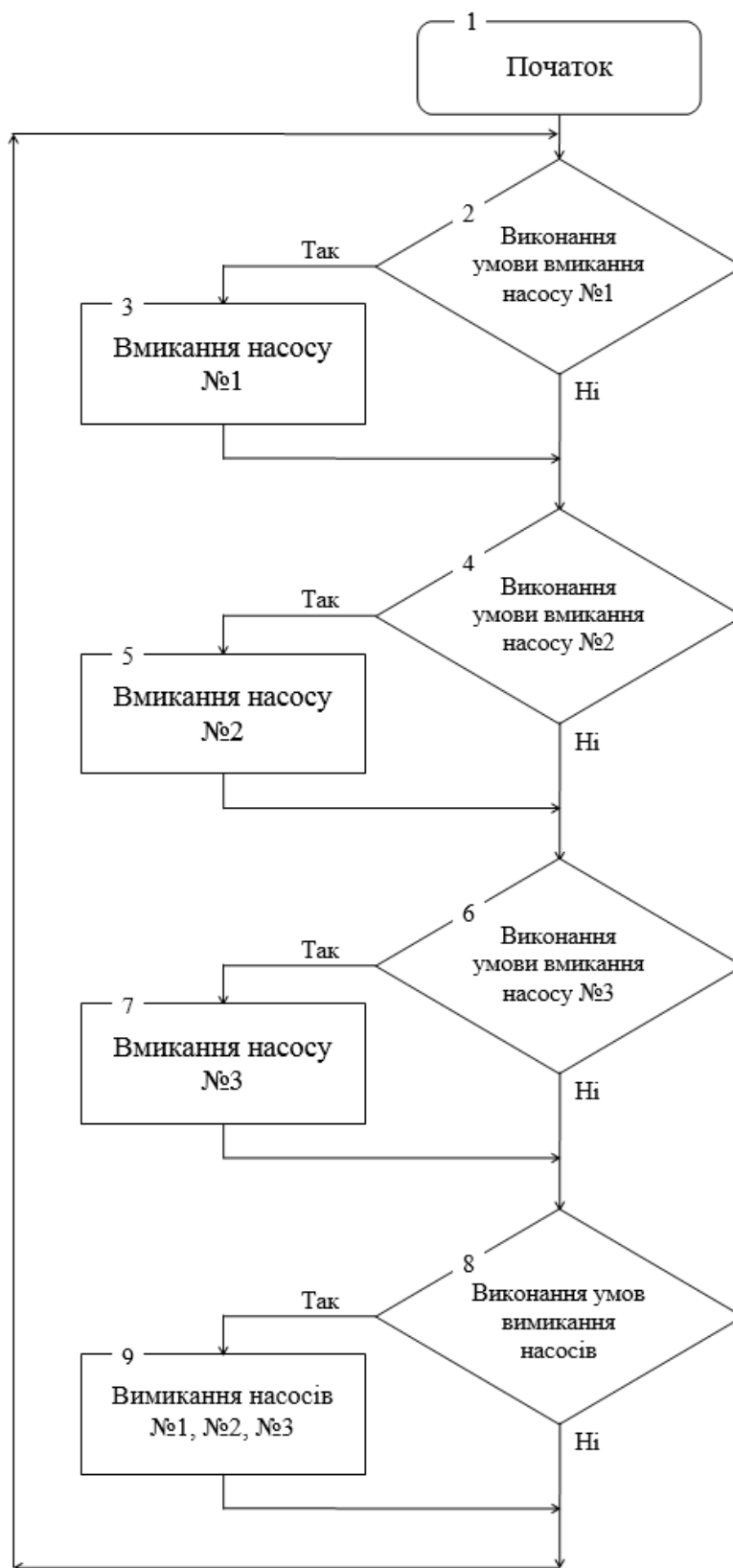


Рисунок 3.3 – Схема існуючого алгоритму автоматичного керування рівнем води у водозбірнику



Схема на рис.3.3 описує існуючий алгоритм керування водовідливною установкою, що полягає у наступному.

За умови першого запуску системи (блок 1 на рис.3.3) у блоці 2 перевіряється умова запуску Насосу №1, якою є перевищення фактичним об'ємом води у водозбірнику верхнього рівня. Якщо умова виконується, у блоці 3 відбувається вмикання Насосу №1.

Далі у блоці 4 перевіряється умова запуску Насосу №2, якою є перевищення фактичним об'ємом води у водозбірнику верхнього рівня ТА проходження з моменту запуску Насосу №1 90 секунд. Якщо умова виконується, у блоці 5 відбувається вмикання Насосу №2.

Після цього у блоці 6 перевіряється умова запуску Насосу №3, якою є перевищення фактичним об'ємом води у водозбірнику верхнього рівня ТА проходження з моменту запуску Насосу №2 30-ти секунд. Якщо умова виконується, у блоці 7 відбувається вмикання Насосу №3.

Умовою вимикання усіх трьох насосів, що перевіряється у блоці 8, є досягнення об'єму води у водозбірнику нижнього рівня. При виконанні умови у блоці 8 усі три насоси вимикаються (блок 9).

Нижче представлений програмний код на мові програмування Matlab, що реалізує описаний алгоритм та введений у блок “S-function” на рис.3.2.

Програма 3.1 – Програма існуючого алгоритму автоматичного керування рівнем води у водозбірнику

```
function [sys,x0,str,ts] = Star_alg(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 = 3;
sizes.NumInputs = 5;
sizes.DirFeedthrough = 1;
sizes.NumSampleTimes = 1;
sys = simsizes(sizes);
x0 = [];
str = [];
ts = [10 0];

function sys = mdlOutputs(t,x,u)
global Timer_1
sys = [u(2) u(3) u(4)];
%Умова вмикання 1 насосу
if(u(1) > 900*1.2 && u(3)==0)
    sys(1)=1;
    Timer_1 = Timer_1 +10;
end
%Умова вмикання 2 насосу
if(u(1) > 900*1.2 && Timer_1 > 90 && u(2)==1)
    sys(2)=1;
    Timer_1 = Timer_1 +10;
end
%Умова вмикання 3 насосу
if(u(1) > 900*1.2 && Timer_1 > 120 && u(2)==1 && u(3)==1)
    sys(3)=1;
end
%Умова вимикання насосів
if(u(1) < 900*0.8)
    sys=[0 0 0];
    Timer_1 = 0;
end

```

Ідеєю досягнення поставленої мети керування з урахуванням сформованих у підрозділі 2.2 критеріїв ефективності є використання експертних правил при прийнятті рішення щодо вмикання або вимикання насосів, які дозволяють зменшити дисперсію зміни сумарної потужності, що споживається насосами. В цих правилах реалізована ідея забезпечення зміни сумарної потужності якомога довше у незмінному діапазоні значень за умови перебування притоку води у водозбірник у певному діапазоні.

Для цього весь діапазон зміни об'єму води у водозбірнику розбивається умовно на середній, підвищений, високий, надвисокий, занижений, низький та наднизький рівні. Задачею є тримати рівень води між підвищеним та заниженим рівнями, а діапазони між підвищеним й високим, а також між заниженим й низьким рівнями потрібні для переходу до іншої комбінації за кількістю активних насосів (0/1, 1/2 або 2/3).

При цьому для запобігання частого вмикання насосів, при зміні комбінації активних насосів вимикається той насос, який робив довше за всіх, і навпаки – вмикається той насос, який простоював найдовше. Це дозволить поліпшити другорядний критерій ефективності роботи системи керування.

З урахуванням описаних словесно закономірностей керування насосами, що дозволять поліпшити критерії якості роботи системи керування, сформовані наступні експертні правила:

1. Якщо до цього працював один насос ТА вода досягла заниженого рівня ТА градієнт менше нуля ТО усі насоси вимикаються.

2. Якщо до цього працювали два насоси ТА вода досягла заниженого рівня ТА градієнт менше нуля ТО вимикається той насос, що працював найдовше.

3. Якщо до цього працювали три насоси ТА вода досягла заниженого рівня ТА градієнт менше нуля ТО вимикається той насос, що працював найдовше.

4. Якщо до цього працював один насос ТА вода досягла низького рівня ТА градієнт менше нуля ТО усі насоси вимикаються.

5. Якщо до цього працювали два насоси ТА вода досягла низького рівня ТА градієнт менше нуля ТО вимикається той насос, що працював найдовше.

6. Якщо до цього працював один насос ТА вода досягла наднизького рівня ТА градієнт менше нуля ТО усі насоси вимикаються.

7. Якщо до цього насоси не працювали ТА вода досягла підвищеного рівня ТА градієнт більше нуля ТО вмикається насос, який найдовше простоював.

8. Якщо до цього працював один насос ТА вода досягла підвищеного рівня ТА градієнт більше нуля ТО вмикається насос, який найдовше простоював.

9. Якщо до цього працювали два насоси ТА вода досягла підвищеного рівня ТА градієнт більше нуля ТО вмикається насос, який найдовше простоював.

10. Якщо до цього працював один насос ТА вода досягла високого рівня ТА градієнт більше нуля ТО вмикається насос, який найдовше простоював.

11. Якщо до цього працювали два насоси ТА вода досягла високого рівня ТА градієнт більше нуля ТО вмикається насос, який найдовше простоював.

12. Якщо вода досягла надвисокого рівня, усі насоси вмикаються.

Нижче представлений програмний код на мові програмування Matlab, що реалізує експертні правила.

Програма 3.2 – Програма запропонованого експертного алгоритму автоматичного керування рівнем води у водозбірнику

```
function [sys,x0,str,ts] = Nov_alg(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 = 3;
sizes.NumInputs = 4;
sizes.DirFeedthrough = 1;
sizes.NumSampleTimes = 1;
sys = simsizes(sizes);
x0 = [];
```

```

str = [];
ts = [10 0];

function sys = mdlOutputs(t,x,u)
global Timer1
global Timer2
global Timer3
global Timer
global max_on
global max_off
global mem;
sys = [u(2) u(3) u(4)];
%Оновлення стану таймерів
if(u(2)==1)
    Timer1(1)=Timer1(1)+10;
else
    Timer1(2)=Timer1(2)+10;
end
if(u(3)==1)
    Timer2(1)=Timer2(1)+10;
else
    Timer2(2)=Timer2(2)+10;
end
if(u(4)==1)
    Timer3(1)=Timer3(1)+10;
else
    Timer3(2)=Timer3(2)+10;
end
%Визначення насосу, який найдовше працював
tim_on=[Timer1(1) Timer2(1) Timer3(1)];
max_on=[1-floor(Timer1(1)/max(tim_on)) 1-floor(Timer2(1)/max(tim_on)) 1-
floor(Timer3(1)/max(tim_on))];
%Визначення насосу, який найдовше простоював
tim_off=[Timer1(2) Timer2(2) Timer3(2)];
max_off=[floor(Timer1(2)/max(tim_off)) floor(Timer2(2)/max(tim_off))
floor(Timer3(2)/max(tim_off))];
%Правило 1
if((u(1)<900*0.9*1.01 && u(1)>900*0.9*0.99) && sum([u(2) u(3) u(4)])==1 && Timer>1000
&& u(1)<mem)
    sys=[0 0 0];
    %Обнуління часу роботи усіх насосів
    Timer1(1)=0;
    Timer2(1)=1;
    Timer3(1)=2;
    Timer=0;
    mem=u(1);
end
%Правило 2
if((u(1)<900*0.9*1.01 && u(1)>900*0.9*0.99) && sum([u(2) u(3) u(4)])==2 && Timer>1000
&& u(1)<mem)
    sys=[u(2)*max_on(1) u(3)*max_on(2) u(4)*max_on(3)];
    %Обнуління часу роботи вимкненого насосу

```

```

Timer1(1)=Timer1(1)*max_on(1);
Timer2(1)=Timer2(1)*max_on(2);
Timer3(1)=Timer3(1)*max_on(3);
Timer=0;
mem=u(1);
end
%Правило 3
if((u(1)<900*0.9*1.01 && u(1)>900*0.9*0.99) && sum([u(2) u(3) u(4)])==3 && Timer>1000
&& u(1)<mem)
sys=[u(2)*max_on(1) u(3)*max_on(2) u(4)*max_on(3)];
%Обнуління часу роботи вимкненого насосу
Timer1(1)=Timer1(1)*max_on(1);
Timer2(1)=Timer2(1)*max_on(2);
Timer3(1)=Timer3(1)*max_on(3);
Timer=0;
mem=u(1);
end
%Правило 4
if((u(1)<900*0.85*1.01 && u(1)>900*0.85*0.99) && sum([u(2) u(3) u(4)])==1 &&
Timer>1000 && u(1)<mem)
sys=[0 0 0];
%Обнуління часу роботи усіх насосів
Timer1(1)=0;
Timer2(1)=1;
Timer3(1)=2;
Timer=0;
mem=u(1);
end
%Правило 5
if((u(1)<900*0.85*1.01 && u(1)>900*0.85*0.99) && sum([u(2) u(3) u(4)])==2 &&
Timer>1000 && u(1)<mem)
sys=[u(2)*max_on(1) u(3)*max_on(2) u(4)*max_on(3)];
%Обнуління часу роботи вимкненого насосу
Timer1(1)=Timer1(1)*max_on(1);
Timer2(1)=Timer2(1)*max_on(2);
Timer3(1)=Timer3(1)*max_on(3);
Timer=0;
mem=u(1);
end
%Правило 6
if((u(1)<900*0.8*1.01 && u(1)>900*0.8*0.99) && sum([u(2) u(3) u(4)])==1 && Timer>1000
&& u(1)<mem)
sys=[0 0 0];
%Обнуління часу роботи усіх насосів
Timer1(1)=0;
Timer2(1)=1;
Timer3(1)=2;
Timer=0;
mem=u(1);
end
%Правило 7

```

```

if((u(1)<900*1.1*1.01 && u(1)>900*1.1*0.99) && sum([u(2) u(3) u(4)])==0 && Timer>1000
&& u(1)>mem)
    sys=[u(2)+max_off(1) u(3)+max_off(2) u(4)+max_off(3)];
    %Обнуління часу простою ввімкненого насосу
    Timer1(2)=Timer1(2)*(1-max_off(1));
    Timer2(2)=Timer2(2)*(1-max_off(2));
    Timer3(2)=Timer3(2)*(1-max_off(3));
    Timer=0;
    mem=u(1);
end
%Правило 8
if((u(1)<900*1.1*1.01 && u(1)>900*1.1*0.99) && sum([u(2) u(3) u(4)])==1 && Timer>1000
&& u(1)>mem)
    sys=[u(2)+max_off(1) u(3)+max_off(2) u(4)+max_off(3)];
    %Обнуління часу простою ввімкненого насосу
    Timer1(2)=Timer1(2)*(1-max_off(1));
    Timer2(2)=Timer2(2)*(1-max_off(2));
    Timer3(2)=Timer3(2)*(1-max_off(3));
    Timer=0;
    mem=u(1);
end
%Правило 9
if((u(1)<900*1.1*1.01 && u(1)>900*1.1*0.99) && sum([u(2) u(3) u(4)])==2 && Timer>1000
&& u(1)>mem)
    sys=[u(2)+max_off(1) u(3)+max_off(2) u(4)+max_off(3)];
    %Обнуління часу простою ввімкненого насосу
    Timer1(2)=Timer1(2)*(1-max_off(1));
    Timer2(2)=Timer2(2)*(1-max_off(2));
    Timer3(2)=Timer3(2)*(1-max_off(3));
    Timer=0;
    mem=u(1);
end
%Правило 10
if((u(1)<900*1.15*1.01 && u(1)>900*1.15*0.99) && sum([u(2) u(3) u(4)])==1 &&
Timer>1000 && u(1)>mem)
    sys=[u(2)+max_off(1) u(3)+max_off(2) u(4)+max_off(3)];
    %Обнуління часу простою ввімкненого насосу
    Timer1(2)=Timer1(2)*(1-max_off(1));
    Timer2(2)=Timer2(2)*(1-max_off(2));
    Timer3(2)=Timer3(2)*(1-max_off(3));
    Timer=0;
    mem=u(1);
end
%Правило 11
if((u(1)<900*1.15*1.01 && u(1)>900*1.15*0.99) && sum([u(2) u(3) u(4)])==2 &&
Timer>1000 && u(1)>mem)
    sys=[u(2)+max_off(1) u(3)+max_off(2) u(4)+max_off(3)];
    %Обнуління часу простою ввімкненого насосу
    Timer1(2)=Timer1(2)*(1-max_off(1));
    Timer2(2)=Timer2(2)*(1-max_off(2));
    Timer3(2)=Timer3(2)*(1-max_off(3));
    Timer=0;

```

```

mem=u(1);
end
%Правило 12
if((u(1)<900*1.2*1.01 && u(1)>900*1.2*0.99) && Timer>1000)
    sys=[1 1 1];
    %Обнуління часу простою ввімкненого насосу
    Timer1(2)=0;
    Timer2(2)=1;
    Timer3(2)=2;
    Timer=0;
    mem=u(1);
end
Timer=Timer +10;

```

Розроблена імітаційна модель системи автоматичного керування рівнем води у водозбірнику, в якій реалізується запропонований експертний алгоритм керування насосами (рис.3.4).

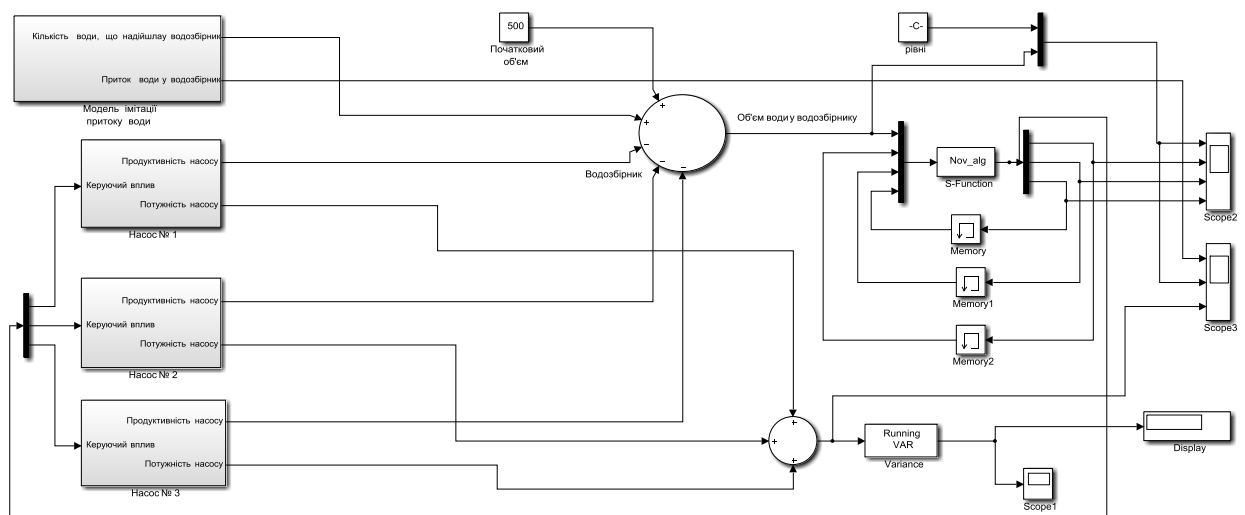


Рисунок 3.4 – Схема імітаційної моделі системи автоматичного керування рівнем води у шахтному водозбірнику на основі запропонованого експертного алгоритму

Запропонований експертний алгоритм автоматичного керування рівнем води у водозбірнику, програмний код якого наведений вище, реалізується через s-функцію “Nov\_alg”, яка у модель на рис.3.4 інтегрована через блок «S-Function».



### 3.2. Дослідження роботи системи автоматичного керування рівнем води у водозбірнику

На основі імітаційних моделей систем автоматичного керування рівнем води у водозбірнику, які описані у підрозділі 3.1, проведені обчислювальні експерименти з метою дослідження ефективності керування рівнем води за існуючим та запропонованим експертним алгоритмами автоматичного керування.

На рис.3.5 та 3.6 показані результати експерименту за умови використання існуючого алгоритму автоматичного керування рівнем води, що описаний у підрозділі 3.1.

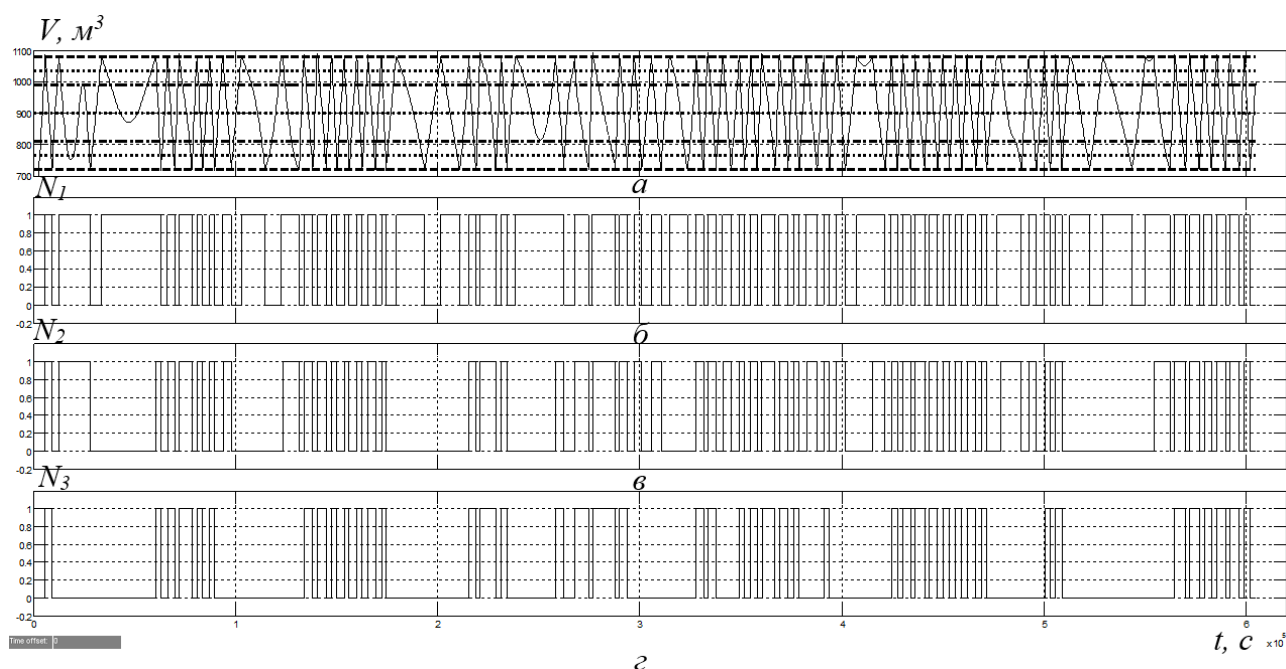


Рисунок 3.5 – Зміна у часі: *a* – рівня води у водозбірнику; *б* – стану насосу №1; *в* – стану насосу №2; *г* – стану насосу №3 (існуючий алгоритм автоматичного керування)

Рис.3.5,а підтверджує правильність реалізації існуючого алгоритму керування – ми бачимо, що керована величина змінюється між верхнім (+20% від уставки) та нижнім (-20% від уставки) рівнями з різним диференціалом за часом, який визначається інтенсивністю притоку води у водозбірник. При цьому з рис.3.5,б-г видно, що за умови досягнення керованою величиною

верхнього рівня в залежності від інтенсивності притоку води у водозбірник на цей момент вмикаються один, або одночасно два чи три насоси майже синхронно у часі (з урахуванням незначного часового зміщення 90 с згідно з існуючим алгоритмом). Ця закономірність роботи насосів також відповідає існуючому алгоритму керування.

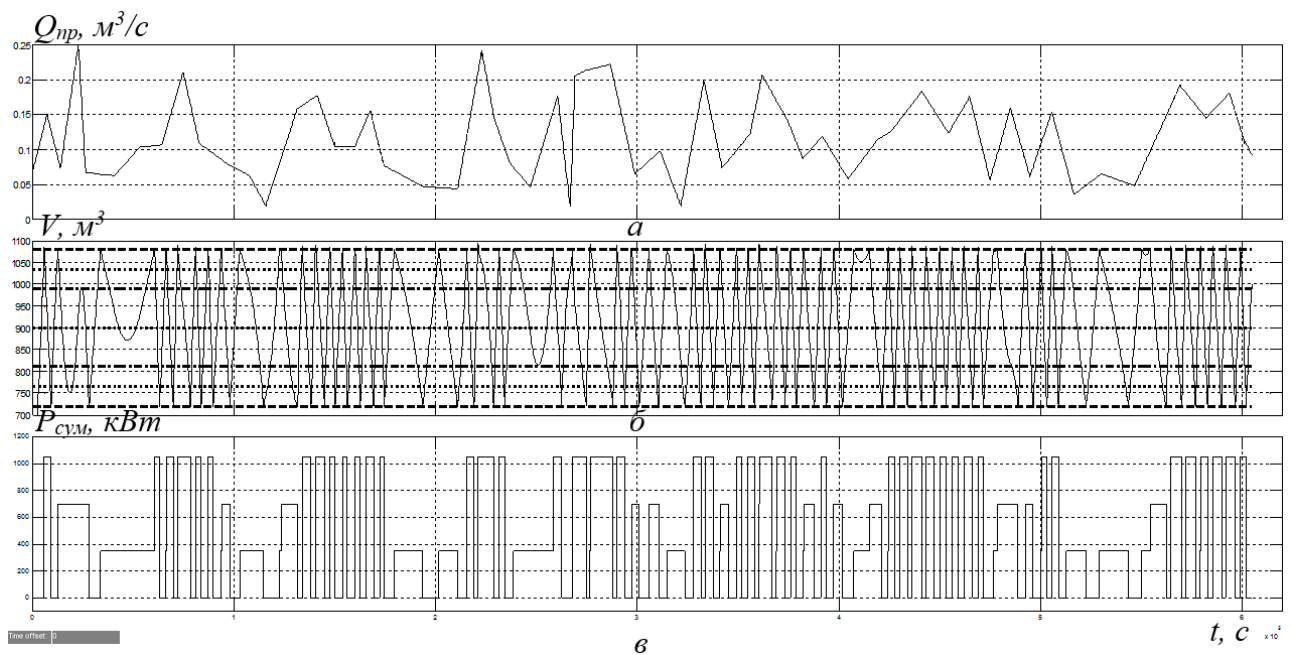


Рисунок 3.6 – Зміна у часі: *a* – притоку води у водозбірник; *б* – рівня води у водозбірнику; *в* – сумарної потужності, що споживається насосами (існуючий алгоритм автоматичного керування)

З аналізу результатів обчислювального експерименту на рис.3.6 ми бачимо, що притік води у водозбірник є складним за своїм характером збурюючим впливом (рис.3.6,а) – його повільні зміни у часі непередбачувано чергуються з досить різкими змінами, а за своїм рівнем він може бути як менше продуктивності одного насосу, так і більше продуктивності двох насосів. Через це ми бачимо, що сумарна потужність, що споживається насосами, також змінюється непередбачувано, фактично відзеркалюючи зміну притоку води у водозбірник (рис.3.6,в), – коли притік незначний, ми бачимо періодичні стрибки сумарної потужності тільки до рівня 350 кВт. Коли притік знаходиться між продуктивностями одного та двох насосів, стрибки сумарної потужності

відбуваються до 700 кВт, а коли притік знаходиться між продуктивностями двох та трьох насосів – то стрибки відбуваються до 1050 кВт.

З метою оцінювання ефективності роботи системи автоматичного керування за існуючим алгоритмом, визначена зміна у часі ковзної дисперсії сумарної потужності, що споживають насоси (рис.3.7).

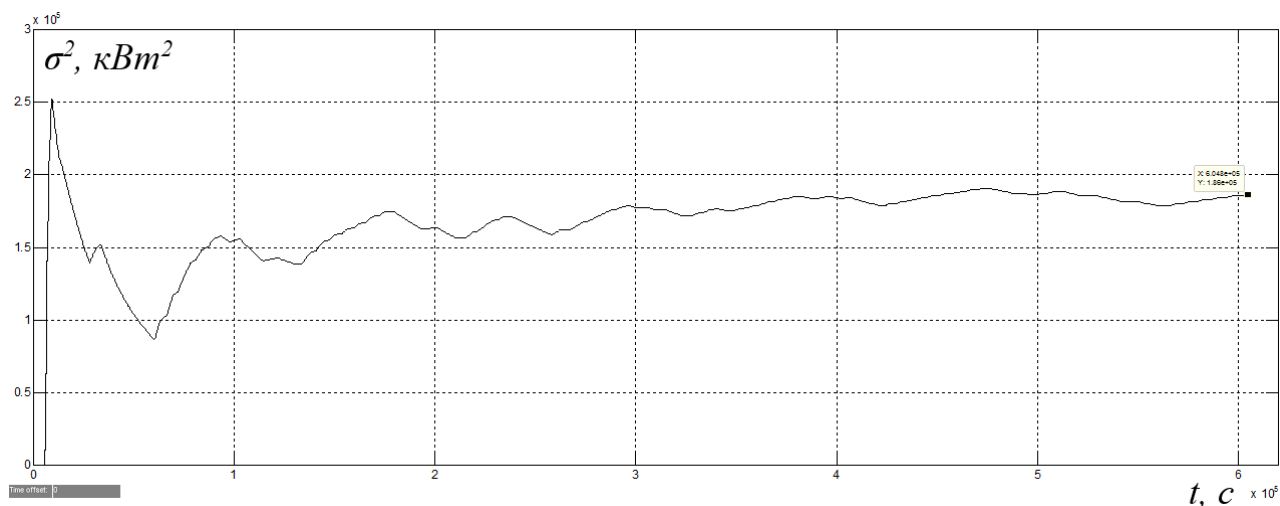


Рисунок 3.7 – Зміна у часі ковзної дисперсії сумарної потужності, що споживається насосами (існуючий алгоритм автоматичного керування)

З рис.3.7 видно, що протягом тривалої роботи насосів ковзна дисперсія сумарної потужності, яку вони споживають, дорівнює  $1,86 \cdot 10^5$  кВт<sup>2</sup>.

Тепер проаналізуємо результати обчислювального експерименту роботи системи автоматичного керування рівнем води у водозбірнику за запропонованим у підрозділі 3.1 алгоритмом (див. рис.3.8 та 3.9).

З рис.3.8,а ми можемо зробити висновок про правильність роботи системи керування за запропонованим алгоритмом – керована величина в абсолютній більшості випадків змінюється тільки між заниженим та підвищеним рівнями. І тільки чотири рази виникали випадки, коли система кардинально перелаштовувала комбінацію працюючих насосів через різку зміну у часі притоку води у водозбірник, коли керована величина піднімалася до верхнього, або опускалася до нижнього рівнів.

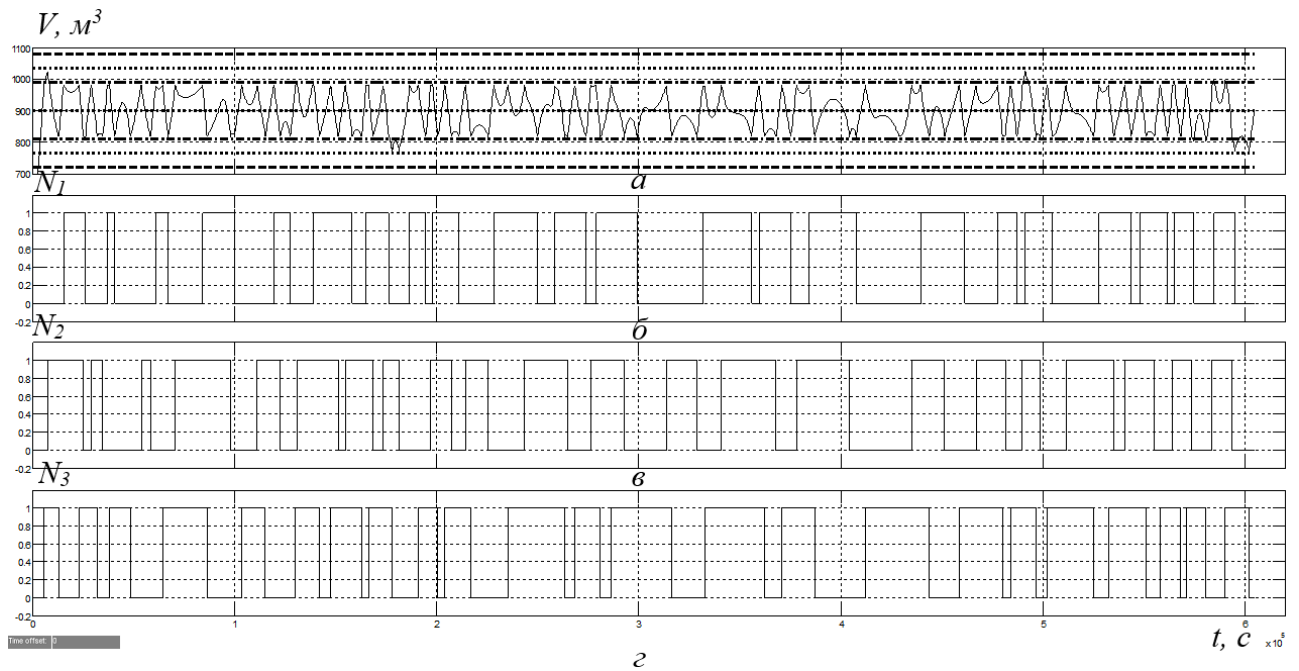


Рисунок 3.8 – Зміна у часі: *a* – рівня води у водозбірнику; *б* – стану насосу №1; *в* – стану насосу №2; *г* – стану насосу №3 (запропонований алгоритм автоматичного керування)

З рис.3.8,б-г ми бачимо, що насоси працюють асинхронно у часі так, як і закладено в запропонованому алгоритмі – в залежності від рівня притоку певний час спостерігається незмінна комбінація активних насосів: при малому притоку 0-1, при підвищеному 1-2, при значному 2-3. Ця закономірність краще простежується на рис.3.9,в, з якого видно, що ніколи тривалий час не мають місце комбінації активних насосів 0-2, 0-3 або 1-3. Це також підтверджує коректність реалізації запропонованого алгоритму автоматичного керування, а також це є причиною зменшення дисперсії коливань сумарної потужності, що споживають насоси.

Також з рис.3.8,б-г видно, що насоси працюють почергово – вмикається той насос, що більше простоював, та вимикається той, що більше працював, як і закладено в запропонованому алгоритмі. За рахунок цього покращується ще один критерій ефективності роботи системи керування – частота вмикання насосів.

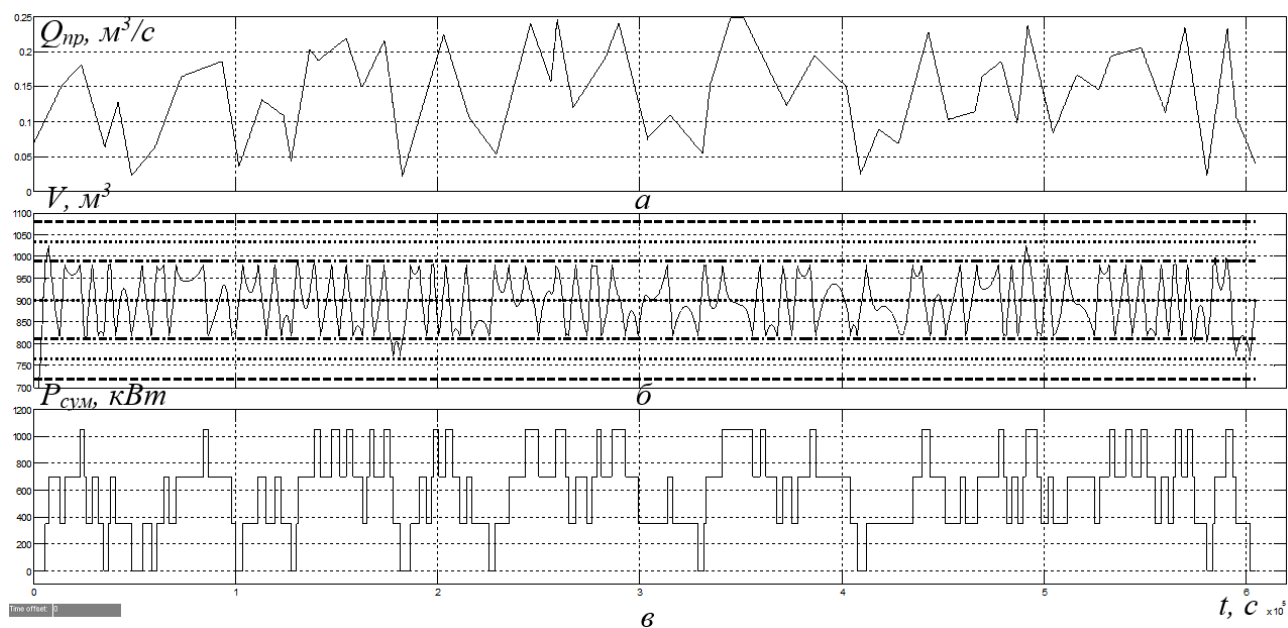


Рисунок 3.9 – Зміна у часі: *a* – притоку води у водозбірник; *b* – рівня води у водозбірнику; *v* – сумарної потужності, що споживається насосами (запропонований алгоритм автоматичного керування)

З метою оцінювання ефективності роботи системи автоматичного керування за запропонованим алгоритмом, визначена закономірність зміни у часі ковзної дисперсії сумарної потужності, що споживають насоси (рис.3.10).

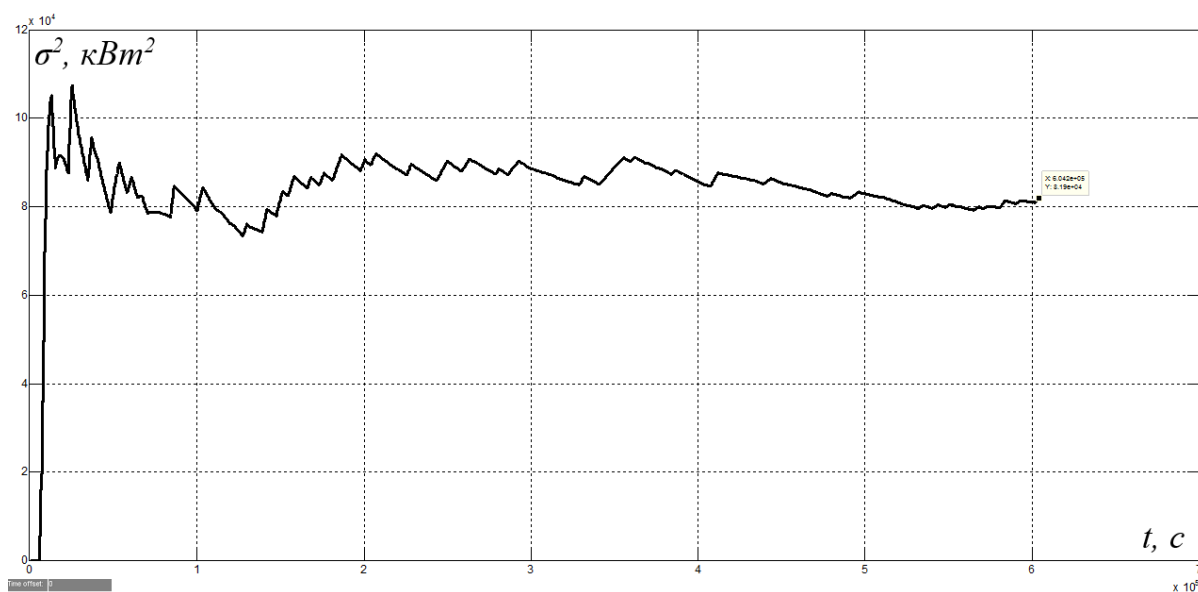


Рисунок 3.10 – Зміна у часі ковзної дисперсії сумарної потужності, що споживається насосами (запропонований алгоритм автоматичного керування)

З рис.3.10 видно, що протягом тривалої роботи насосів ковзна дисперсія сумарної потужності, яку вони споживають, склала  $8,19 \cdot 10^4$  кВт<sup>2</sup>.

### **3.3. Висновки до розділу**

Аналіз роботи системи автоматичного керування рівнем води у водозбірнику за існуючим алгоритмом показав, що керування тільки за двома рівнями призводить до суттєвої кількості часових інтервалів, на яких мають місце наступні комбінації увімкнених насосів: 0/2, 0/3 та 1/3, що призводить до збільшення дисперсії сумарної потужності, що споживають насоси. З метою зменшення даного критерію ефективності роботи системи керування запропоновані експертні правила, що реалізують ідею забезпечення зміни сумарної потужності якомога довше у незмінному й мінімальному діапазоні значень за умови перебування притоку води у водозбірник у певному діапазоні.

Для цього весь діапазон зміни об'єму води у водозбірнику розбивається умовно на середній, підвищений, високий, надвисокий, занижений, низький та наднизький рівні. Задачею є тримати рівень води між підвищеним та заниженим рівнями за рахунок забезпечення якомога довше незмінної комбінації активних насосів 0/1, 1/2 або 2/3, а діапазони між підвищеним й високим, а також між заниженим й низьким рівнями використати для переходу до іншої з означених вище комбінацій за кількістю активних насосів.

Таким чином, на більшій кількості часових інтервалів різність кількості активних насосів не буде перевищувати одного, що є умовою зменшення дисперсії сумарної потужності, що споживається насосами.

Обчислювальні експерименти на основі створеної імітаційної моделі системи автоматичного керування рівнем води у водозбірнику показали, що перехід від існуючого алгоритму керування насосами до запропонованого експертного алгоритму зменшує дисперсію сумарної потужності, що споживається насосами, у 2,27 разів.

## 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### 4.1 Цифрова модель системи керування

В результаті синтезу системи керування було отримано безперервну модель системи керування, що відповідає сформульованим критеріям якості.

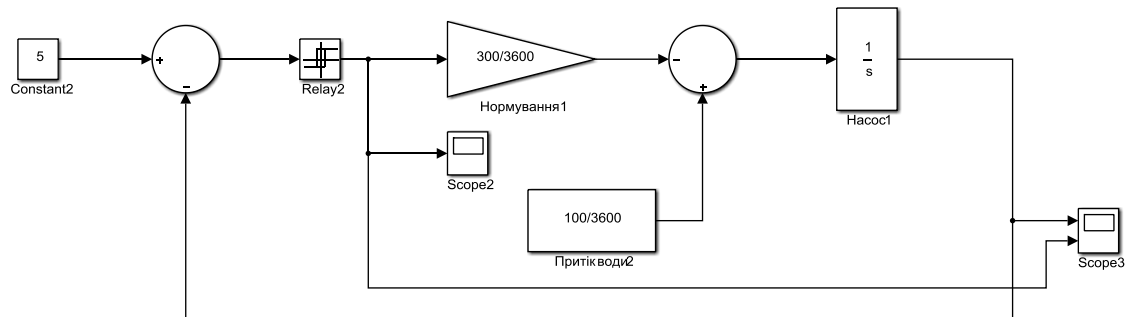


Рисунок 4.1 – Безперервна модель системи керування

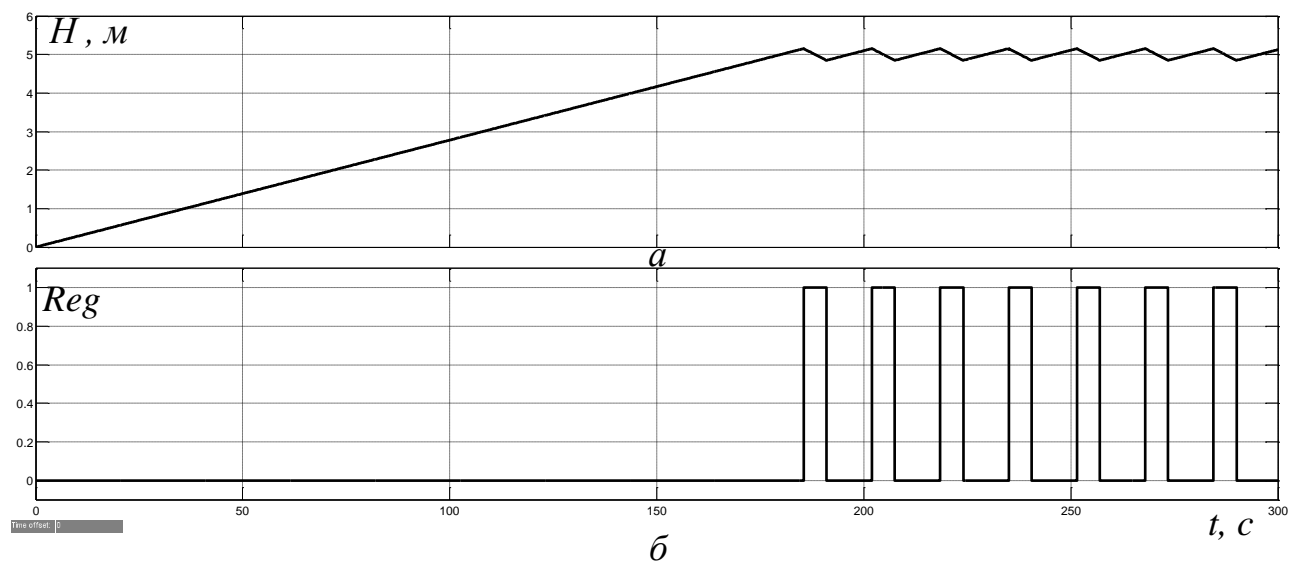


Рисунок 4.2 – Результати моделювання безперервної системи керування

Для подальшої роботи виконаємо заміну безперервних елементів системи керування цифровими. Для перетворення безперервної інтегруючої ланки об'єкта керування створена програма:

```
%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 виконання програми:

```
>> z_transform
```

```
a_i =
      0  0.10000000000000000
```

```
b_i =
      1  -1
```

В результаті заміни безперервних елементів моделі на цифрові отримуємо цифрову модель системи керування:

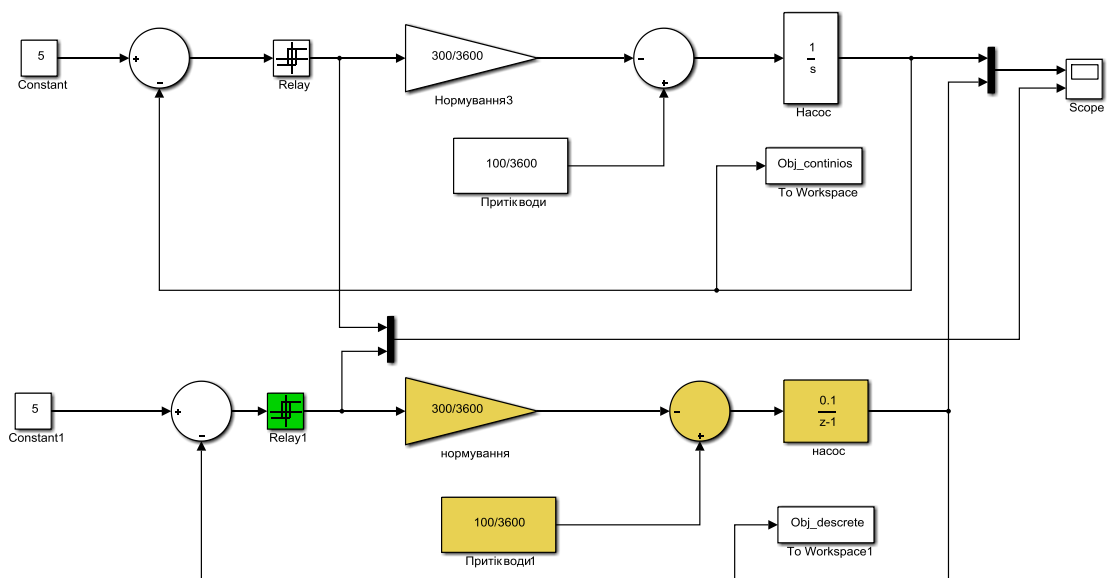


Рисунок 4.3 – Цифрова модель системи керування

Оцінимо відповідність цифрової моделі системи керування безперервній моделі за нормованим середньо-квадратичним відхиленням:

```
>> goodnessOfFit(Obj_continuos,Obj_descrete, 'NRMSE')*100
ans =
      99.820148212011489
```



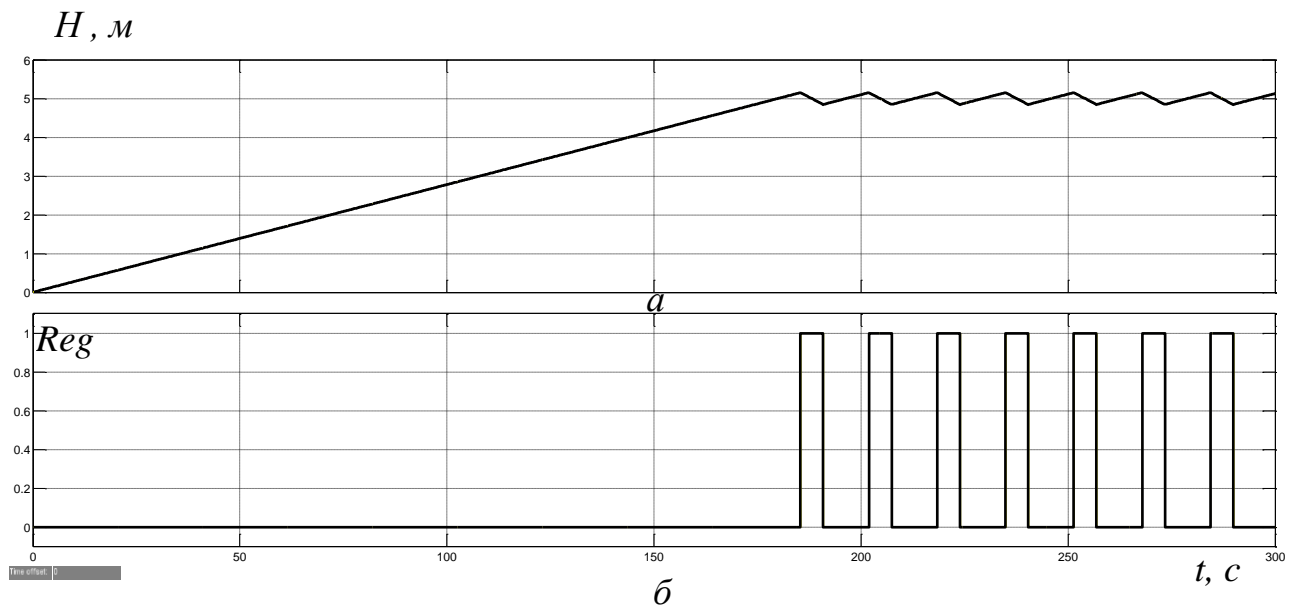


Рисунок 4.4 – Результати моделювання безперервної та цифрової систем керування:  $a$  – керована величина;  $b$  – керуючий сигнал

Як видно за результатами перевірки цифрової моделі системи керування на адекватність, маємо досить високий відсоток відповідності цифрової моделі безперервній.

Далі, виконаємо поділ системи керування шляхом створення блоків підсистем (рисунок 4.5).

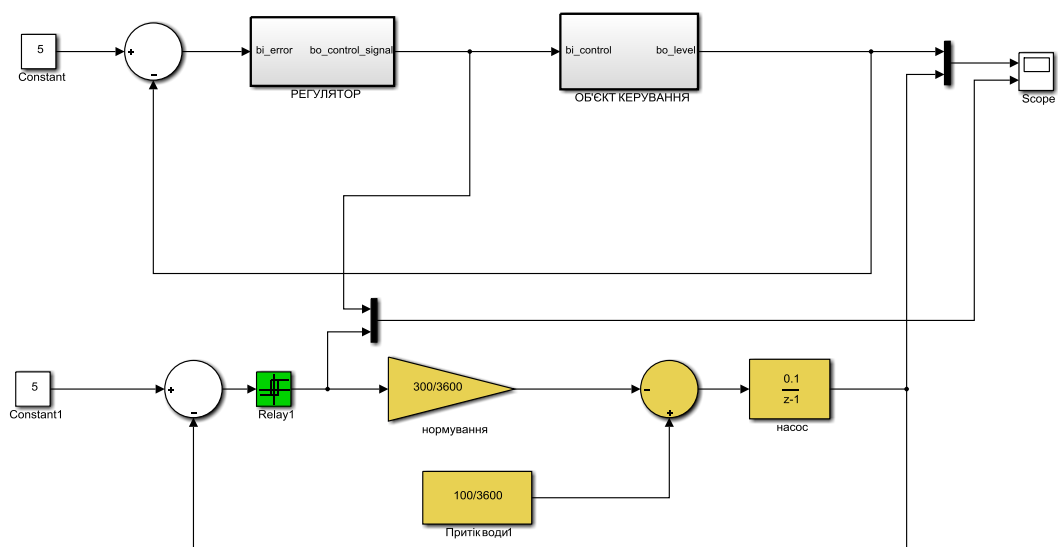


Рисунок 4.5 – Цифрова модель системи керування у вигляді блоків підсистем

Для полегшення експорту моделей з математичного пакету MATLAB до середовища розробки zenon Logic перейменуємо вхідні\вихідні порти підсистем, згідно з правилами:

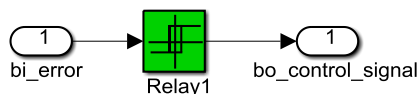


Рисунок 4.6 – Підсистема регулятора

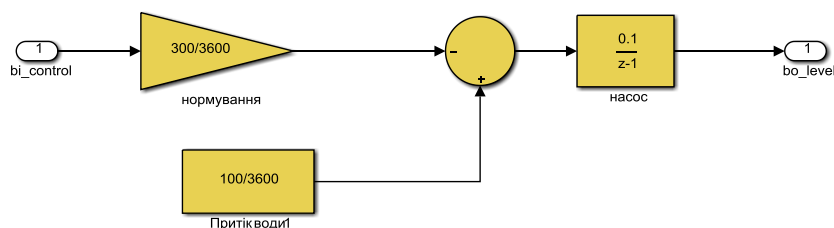


Рисунок 4.7 – Підсистема об'єкта керування

Далі було згенеровано програмні модулі, що наведені у додатку А.

## 4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування

Програмне забезпечення системи керування поділено на 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'єкта керування розроблено як ПЗ перевірки функціонування системи керування для драйверу пристрою керування.

Для розробки ПЗ об'єкта керування було створено драйвер пристрою керування з налаштуванням, яке показано на рисунку 4.8.

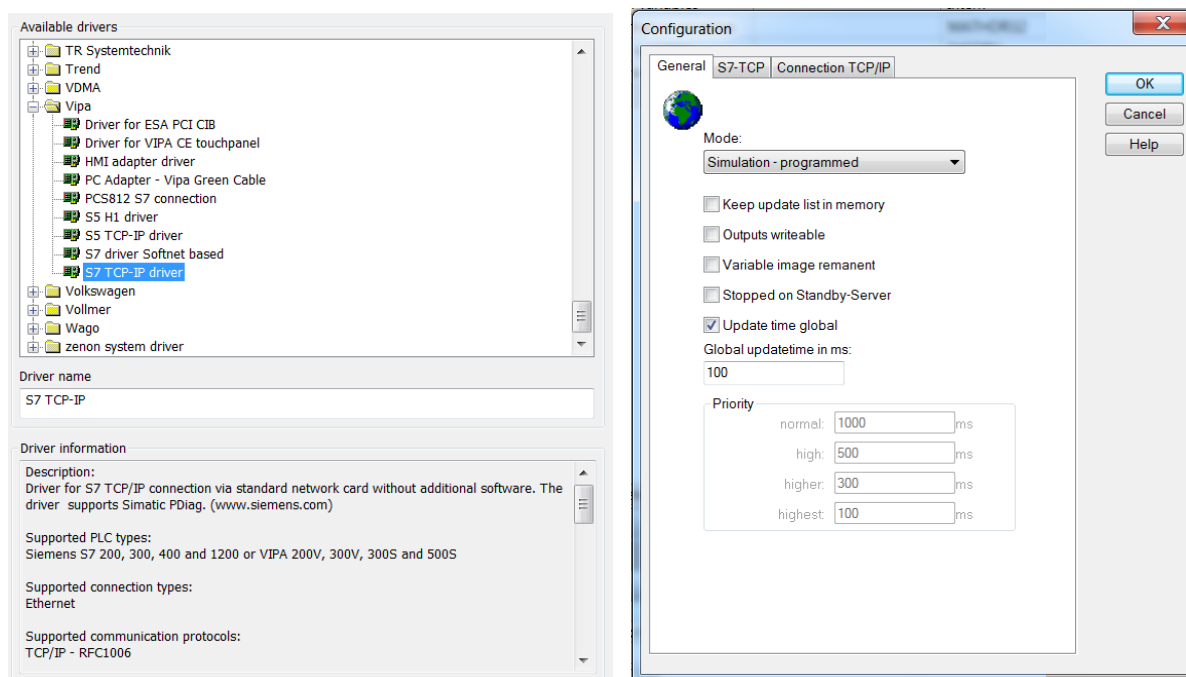


Рисунок 4.8 – Вибір драйверу пристрою керування та його налаштування

Для драйвера пристрою керування було створено такі 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 text	Filter...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter...	Filter...	Filter...	Filter text	Filter...	Filter...	Filter text
	Level				0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	3	0
	Pump				0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	1	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

Рисунок 4.9 – Змінні драйверу об'єкту керування

У середі розробки zenon Logic Workbench для драйверу пристрою керування було реалізовано модель об'єкту керування на базі раніше отриманого програмного модуля. Далі, на основі отриманого користувацького функціонального блоку, було розроблено програмне забезпечення об'єкту керування.

Більш докладно список програм, змінних, драйверів для програмного забезпечення ОК наведено у додатку Б1.

Для реалізації програмного забезпечення регулятора створено проект 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 – Проект регулятора

Також створено змінні регулятора, що відповідають значенню уставки, дійсному значенню та керуючому впливу (додаток Б2).

Зв'язок між програмним забезпеченням регулятора та об'єктом керування реалізовано 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, було створено два розподіли. Перший, копіює значення рівня води у водозбірнику з об'єкту керування до регулятора, друге – значення стану двигуна приводу насоса з регулятора до об'єкту керування. Більш докладно список програм, змінних, драйверів для програмного забезпечення регулятора наведено у додатку Б2.

### 4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу

Невід'ємною частиною розробки системи керування є створення програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу.

Для забезпечення повної функціональності системи керування необхідно розробити ЛМІ, що має забезпечувати:

- можливість спостерігати за протіканням перехідного процесу;
- можливість спостерігати за зміною параметрів об'єкта;

- можливість слідкувати за станом протікання технологічного процесу, та в разі виникнення непередбачуваних подій вчасно вирішити проблему.

Таким чином, можна сформулювати основні вимоги до ЛМІ:

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

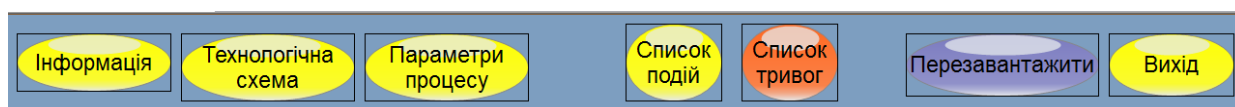


Рисунок 4.12 – Зображення кнопок

На рис. 4.12 показано зображення кнопок що було реалізовано для ЛМІ. Кожна з них має свою функцію.

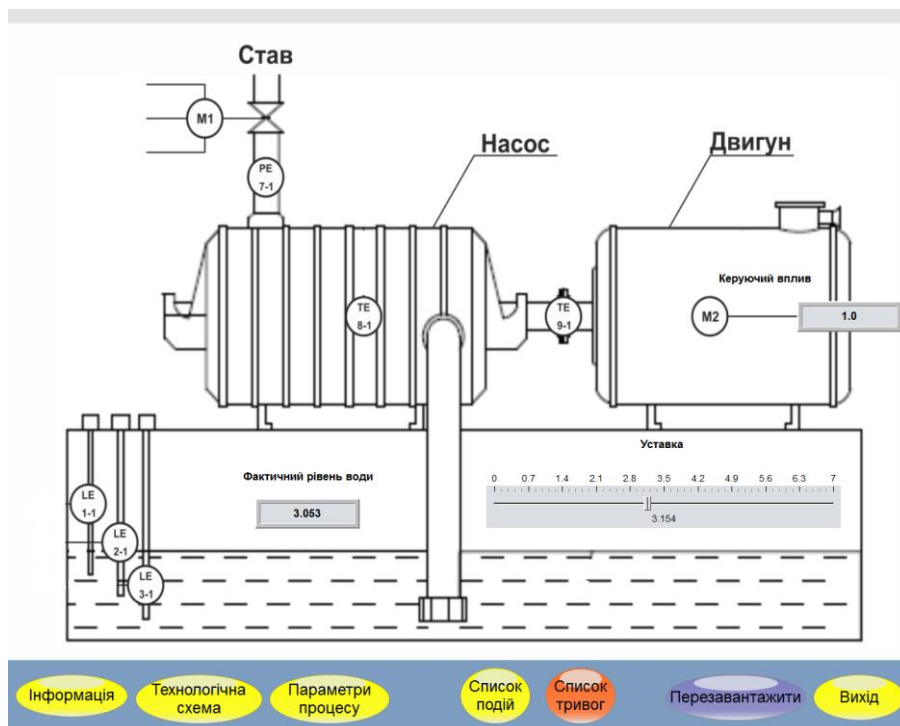


Рисунок 4.13 – Зображення технологічної схеми

«Технологічна схема»: при натисканні цієї кнопки відбувається перехід на наступне зображення (рис. 4.13), де представлена технологічна схема системи керування, розташування датчиків та основна інформація про об'єкт. Реалізація роботи цієї кнопки була виконана за допомогою функції switch screen, що дозволяє перейти на наступне зображення.

Кнопки «Параметри процесу», «Список тривог», «Список подій» було реалізовано аналогічно, вони дозволяють перейти на зображення – рис. 4.14, рис. 4.15, рис. 4.16 відповідно.

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

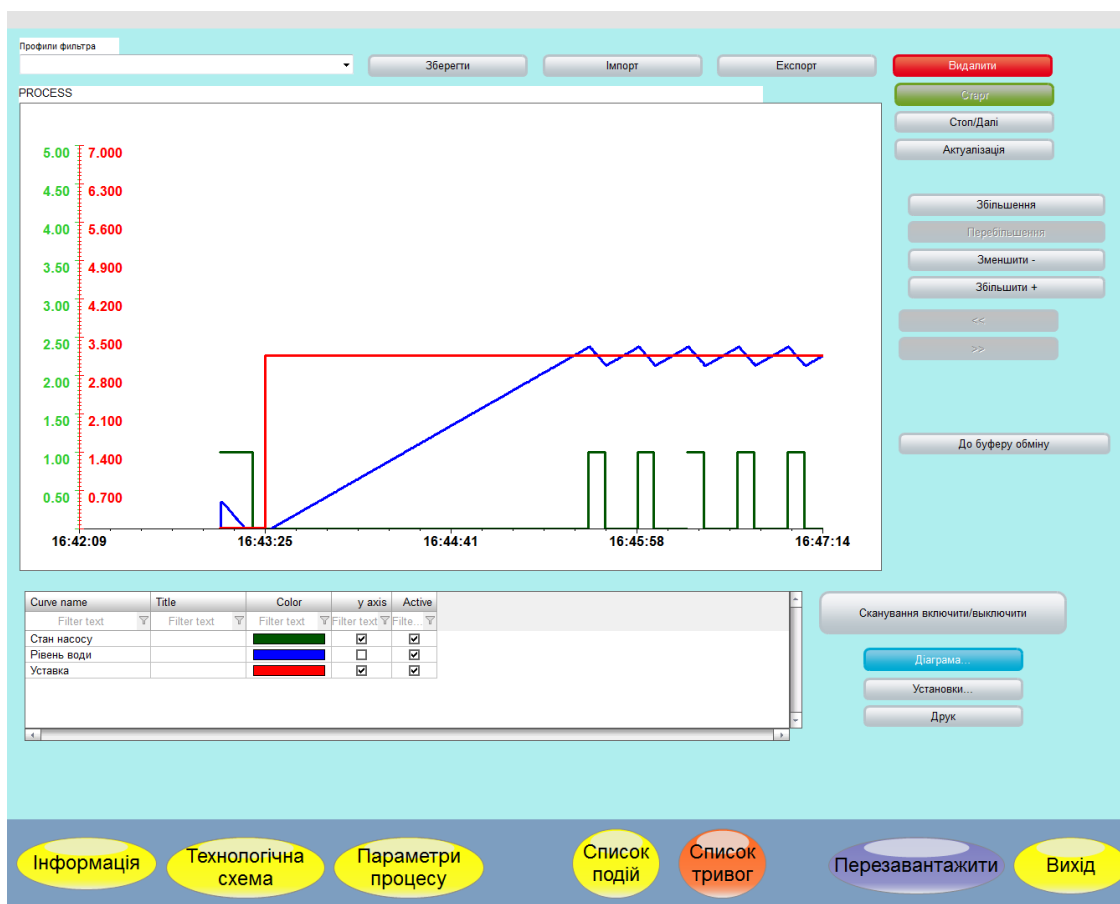


Рисунок 4.14 – Зображення графіку перехідного процесу

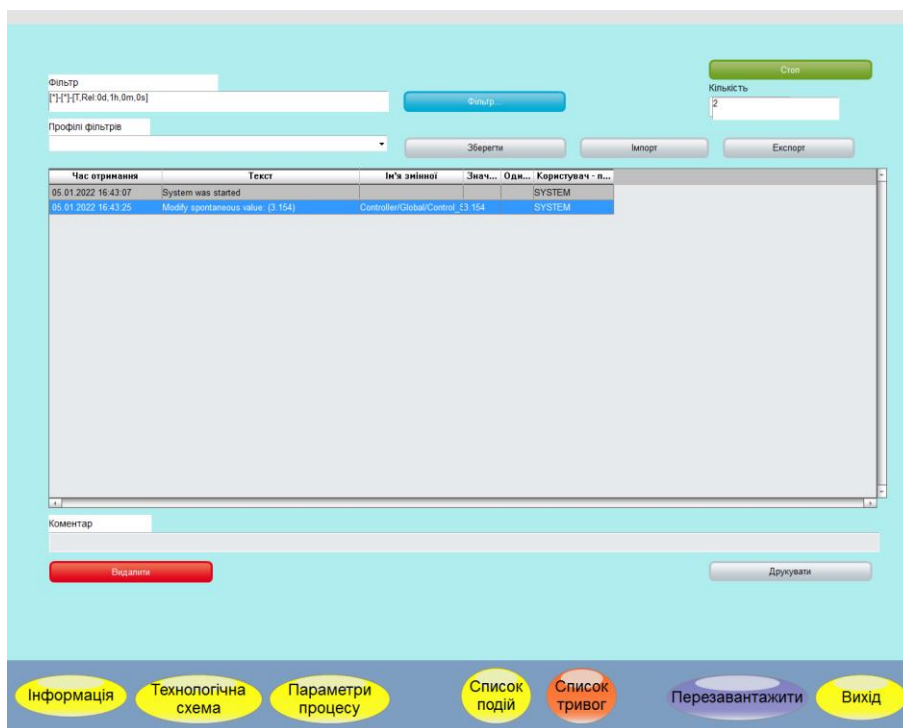


Рисунок 4.15 – Зображення списку подій

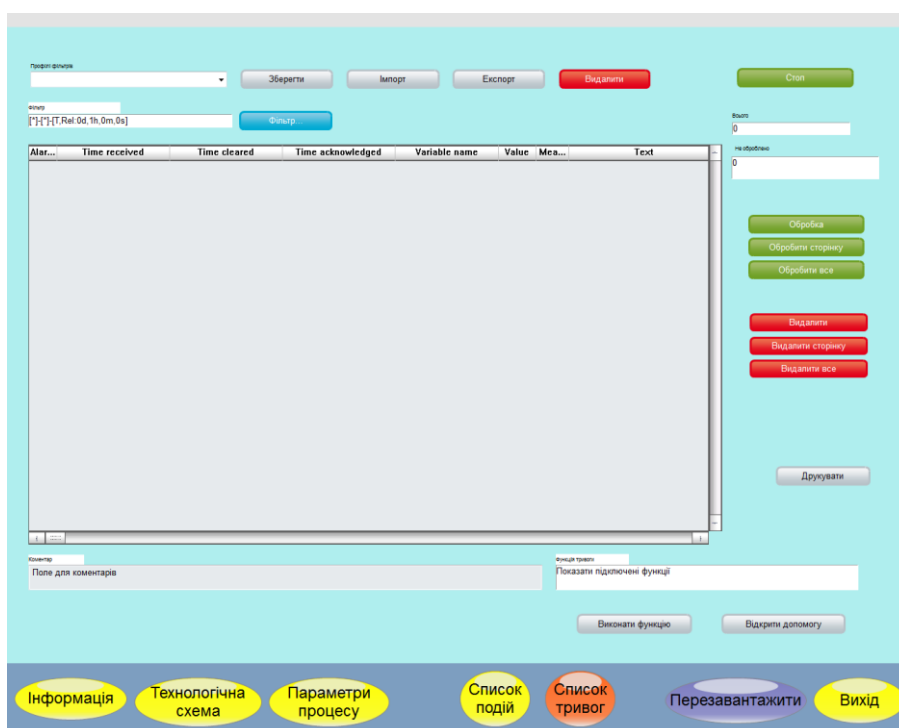


Рисунок 4.16 – Зображення списку тривог

Всі зображення розташовано згідно шаблону (рисунок 4.17).

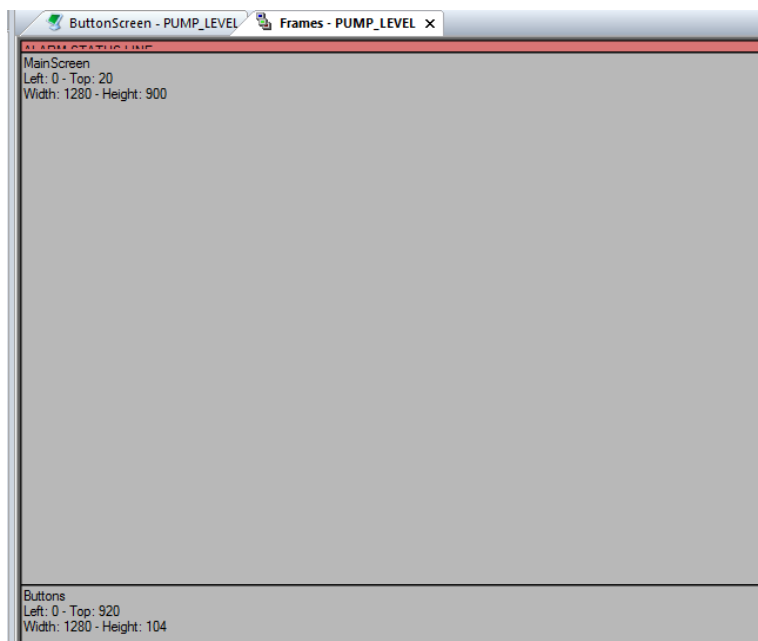


Рисунок 4.17 – Шаблон зображень

Основні зображення розташовані в основному фреймі, зображення з кнопками окремим фреймом, проте є статичним та відображається постійно. Для розробки таких зображень, як «Список подій» та «Список тривог» були використані шаблони SCADA системи zenon.

Розроблене програмне забезпечення наводиться в додатку В.

#### **4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення**

Перевірка функціонування програмного забезпечення відбувалася шляхом подачі уставки рівня води у водозбірнику 4,0 м на вхід об'єкта керування. З рисунка 4.18 видно, що об'єкт та регулятор адекватно працюють, перерегулювання практично відсутнє.

Усі кнопки виконують свої функції, на технологічній схемі коректно відображаються усі необхідні дані про стан та роботу системи керування. До списку подій вносяться дані про зміну уставки. Оскільки система керування працює згідно з вимогами, список тривог порожній.



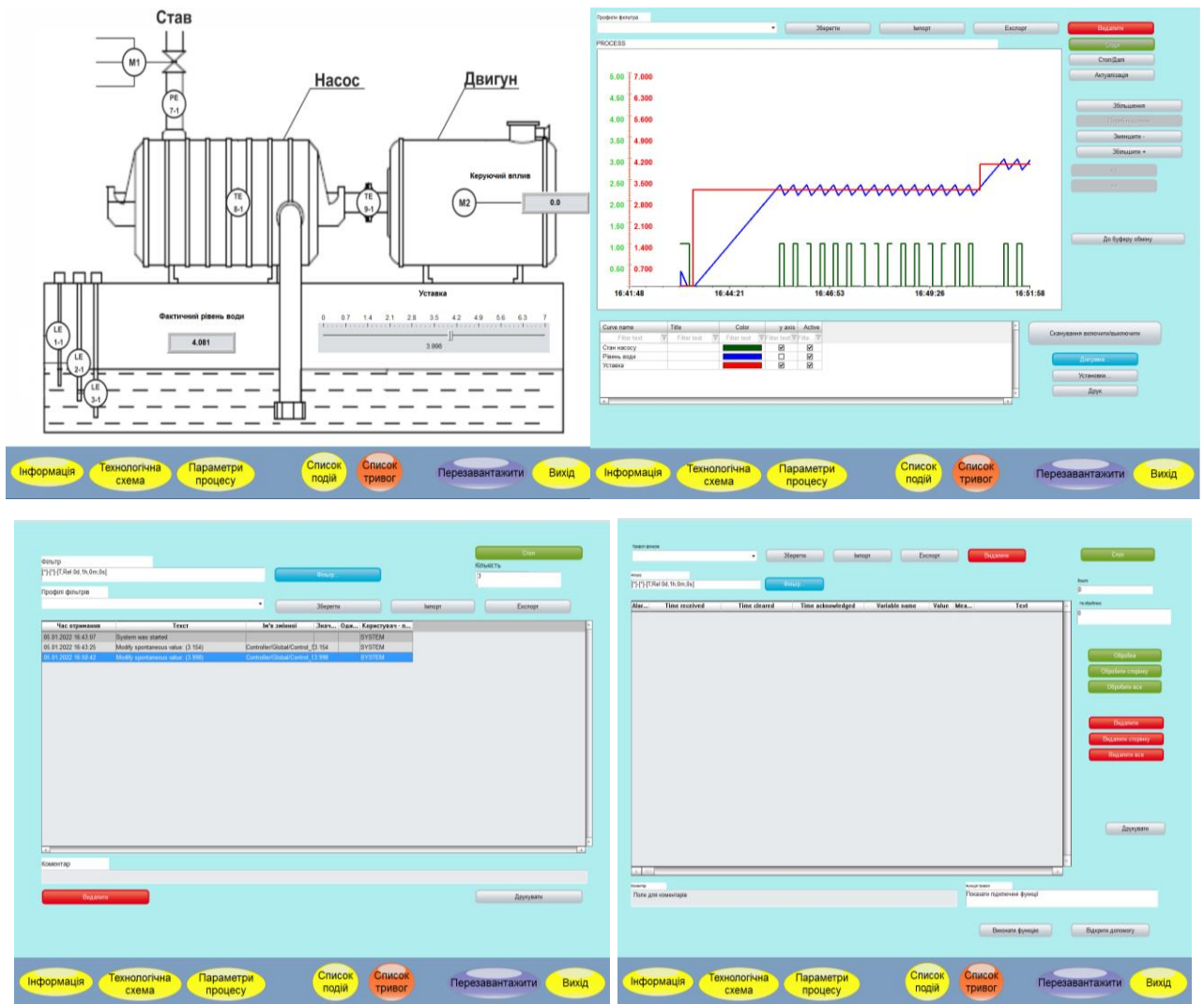


Рисунок 4.18 – Перевірка функціонування

В результаті проведеної перевірки можна зробити висновок, що програмне забезпечення ЛМІ функціонує згідно з вимогами, 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 керування рівнем води у шахтному водозбірнику та ЛМІ.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 5.1 Розрахунок капітальних витрат

Розрахуємо капітальні витрати, пов'язані з виготовленням та впровадженням системи управління.

Визначення проектних капітальних витрат проводиться за такою формулою:

$$K_{\text{пр}} = C_{\text{об}} + D_{\text{тр}} + M_{\text{мн}} + K_{\text{пз}} \quad (5.1)$$

де  $C_{\text{об}}$  – витрати на комплектуючі вироби;

$D_{\text{тр}}$  – витрати на транспортно-заготівельні витрати;

$M_{\text{мн}}$  – витрати на монтаж і налагодження системи;

$K_{\text{пз}}$  – витрати на програмне забезпечення.

Вартість комплектуючих деталей наведена в табл. 5.1.

Таблиці 5.1 – Вартість комплектуючих системи

№ п/п	Найменування обладнання	Одиниці виміру	Кількість	Оптова ціна за од., грн.	Сума, грн.
1.	ПЛК VIPA 115-6BL32	од.	1	13 102	13 102
2.	КРУВ-6В-ОП	од.	1	229 633	229 633
3.	Carlo Gavazzi RR2A40D150	од.	1	8531	8531
4.	Carlo Gavazzi SPD24301	од.	2	1481	1962
5.	Danfoss KP	од.	2	1 328	1656
6.	РОС 101	од.	3	2 761	8283
7.	KPS	од.	1	364	364
8.	БК-200	од.	2	270	540
Разом					264 071

Витрати на транспортно-заготівельні і складські витрати визначаються по всіх розділах в залежності від вартості обладнання матеріалів, виробів, конструкцій, беруться 8 % від загальної вартості.

$$D_{\text{тр}} = C_{\text{об}} \times 0,08, \quad (5.2)$$

де,  $C_{\text{об}}$  – вартість комплектуючих, грн.

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи складають

$$D_{\text{тр}} = 264071 \times 0,08 = 21125 \text{ грн}$$

Вартість монтажних-налагоджувальних робіт приймаємо на рівні 7 % від вартості обладнання.

$$M_{\text{МН}} = C_{\text{об}} \times 0,07 \quad (5.3)$$

Витрати на монтажні-налагоджувальні роботи складуть

$$M_{\text{МН}} = 264\,071 \times 0,07 = 18484 \text{ грн.}$$

Капітальні витрати на обладнання складуть:

$$K_{\text{пр.об}} = 264071 + 21125 + 18484 = 303\,680 \text{ грн.}$$

## 5.2 Розрахунок капітальних витрат на розробку системи

### 5.2.1 Розрахунок часу на розробку системи

Трудомісткість розробки моделі об'єкту управління розраховуються за формулою:

$$t = t_o + t_u + t_a + t_n + t_{om} + t_d \quad (5.4)$$

де  $t_o$  - витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання;

$t_u$  - витрати праці на дослідження алгоритму отримання моделі об'єкту управління;

$t_a$  - витрати праці на обробку отриманих даних;

$t_n$  - витрати праці на перевірку отриманої моделі об'єкту управління;

$t_{om}$  - витрати праці на налаштування необхідних програм на ЕОМ;

$t_d$  - витрати праці на підготовку документації по завданню.

Складові витрат праці визначаються на підставі умовної кількості параметрів та характеристики об'єкту управління, у тому числі параметри і критерії, які необхідно розрахувати у процесі дослідження.

Умовна кількість параметрів об'єкту управління:

$$Q = q \times c(1 + p), \quad (5.5)$$

де  $q$  – кількість параметрів, приймаємо  $q = 51$  (виходячи з опису технологічного процесу);

$c$  – коефіцієнт складності моделі;

$p$  – коефіцієнт корекції моделі в процесі її обробки.

Коефіцієнт складності «с» визначає відносну складність моделі по відношенню до типового завдання, складність якого відповідає 1. Приймаємо  $c=1,5$ .

Коефіцієнт корекції «р» визначає збільшення обсягу робіт за рахунок внесення змін в модель об'єкту управління в результаті уточнення постановки завдання. Величина  $p$  прийmemo рівною 0,08.

Таким чином, для моделі об'єкта управління, описаного у кваліфікаційній роботі:

$$Q = 51 \cdot 1,5(1+0,08) = 82,62$$

Оцінка витрат праці на підготовку і опис завдання в кваліфікаційній роботі складають 12 люд.-годин.

Витрати праці на дослідження алгоритму отримання моделі об'єкту управління з урахуванням уточнення опису та кваліфікації виконавця роботи:

$$t_u = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85) \cdot k}, \text{ люд.-годин} \quad (5.6)$$

де  $B$  - коефіцієнт збільшення витрат праці прийmemo  $B = 1,5$ ;

$k$  - коефіцієнт кваліфікації виконавця, які визначається залежно від стажу роботи за спеціальністю.

У нашому випадку коефіцієнт кваліфікації виконавця становить  $k=1,2$ .

Для розроблювальної моделі об'єкта управління:

$$t_u = \frac{82,62 \cdot 1,5}{80 \cdot 1,2} = 1,29 \text{ люд.-годин.}$$

Витрати на обробку отриманих даних визначаються за формулою:

$$t_a = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k}, \text{ люд.-годин} \quad (5.7)$$

Для розроблювальної моделі об'єкта управління:

$$t_a = \frac{82,62}{23 \cdot 1,2} = 2,99 \text{ люд.-годин.}$$

Витрати праці на перевірку отриманої моделі об'єкту управління за формулою:

$$t_n = \frac{Q}{(20...25) \cdot k}, \text{ люд.-годин} \quad (5.8)$$

Для розроблювальної моделі об'єкта управління:

$$t_n = \frac{82,62}{23 \cdot 1,2} = 2,99 \text{ люд.-годин.}$$

Витрати праці на налаштування необхідних програм на ЕОМ:

$$t_{\text{нал}} = \frac{Q}{(4...5) \cdot k}, \text{ люд.-годин} \quad (5.9)$$

Для конкретного випадку:

$$t_{\text{нал}} = \frac{82,64}{4 \cdot 1,2} = 17,22 \text{ люд.-годин.}$$

Витрати праці на підготовку документації по завданню:

$$t_d = t_{\text{др}} + t_{\text{до}}, \text{ люд.-год}, \quad (5.10)$$

де  $t_{\text{др}}$  – трудомісткість підготовки матеріалів до написання;

$t_{\text{до}}$  – трудомісткість редагування, друку та оформлення документації.

$$t_{\text{др}} = Q / (15...20) \cdot k, \quad (5.11)$$

$$t_{\text{др}} = \frac{82,64}{16 \cdot 1,2} = 4,3 \text{ люд.-годин.}$$

$$t_{\text{до}} = 0,75 \cdot t_{\text{др}}, \quad (5.12)$$

$$t_{\text{до}} = 0,75 \cdot 4,3 = 3,3 \text{ люд.-год.}$$

Для моделі об'єкту управління, що розроблена у кваліфікаційній роботі:

$$t_d = 4,3 + 3,3 = 7,6 \text{ люд.-год.}$$

Трудомісткість розробки моделі об'єкту управління становитиме:

$$t = 12 + 1,29 + 2,99 + 2,99 + 17,22 + 7,6 = 44,09 \text{ людино-годин.}$$

### 5.2.2 Розрахунок витрат на розробку моделі об'єкта управління

Витрати на розробку моделі об'єкта управління включають витрати на заробітну плату виконавця робіт  $Z_{\text{зп}}$  і вартість машинного часу, необхідного для отримання моделі та обробки результатів на ЕОМ  $Z_{\text{мі}}$

$$K_{\text{пз}} = Z_{\text{зп}} + Z_{\text{мі}}, \text{ грн.} \quad (5.13)$$

Заробітна плата виконавця:

$$Z_{зп} = t \cdot C_{пр}, \text{ грн.} \quad (5.14)$$

де  $t$  – загальна трудомісткість розробки моделі об'єкту управління;  
 $C_{пр}$  – середня годинна тарифна ставка виконавця робіт становить (з урахуванням єдиного соціального внеску):

$$C_{пр} = 42 \text{ грн./год.}$$

Заробітна плата за розробку моделі об'єкта управління дорівнює:

$$Z_{зп} = 44,09 \cdot 42 = 1851,78 \text{ грн.}$$

Вартість машинного часу, необхідного для налаштування програм на ЕОМ:

$$Z_{мч} = t_{нал} \cdot C_{мч}, \text{ грн.} \quad (5.15)$$

де  $t_{нал}$  – трудомісткість налаштування необхідних програм на ЕОМ, людино-годин;

$C_{мч}$  – вартість машино-години ЕОМ, грн. / год.  $C_{мч} = 9,32 \text{ грн. / год.}$

$$Z_{мч} = 17,22 \cdot 9,32 = 160,49 \text{ грн.}$$

Вартість 1 години машинного часу ПК визначається за формулою:

$$C_{мч} = P \cdot t_{нал} \cdot C_e + \frac{\Phi_{зал} \cdot H_a}{F_p} + \frac{K_{лнз} \cdot H_{анз}}{F_p} \quad (5.16)$$

де  $P=0,55$  – встановлена потужність, кВт;

$C_e=1,93$ – тариф на електричну енергію з ПДВ, грн/кВт\*година;

$\Phi_{зал}=4\,000$ – залишкова вартість ПК на поточний рік, грн.;

$H_a=0,5$ – річна норма амортизації на ПК, частки одиниці;

$H_{анз} = 0,25$ – річна норма амортизації на ліцензійне програмне забезпечення, частки одиниці;

$$C_{мч} = (0,55 \cdot 1,93 \cdot 17,22) + (4\,000 \cdot 0,5) / 1920 + (2521 \cdot 0,25) / 1920 = 19,63 \text{ грн/год.}$$

$K_{лнз}=21532$ грн, вартість ліцензійного програмного забезпечення, грн.

(табл. 4.1.);

$F_p=1920$ – річний фонд робочого часу (за 40-годинного робочого тижня  $F_p=1920$ ).

Таблиця 5.1 –Вартість необхідного програмного забезпечення

<b>Програмне забезпечення</b>	<b>Вартість, грн</b>
zenon LO RT 64 Tags	14 416
Autodesk AutoCAD LT 2018	7116
Всього	21532

Витрати на розробку моделі об'єкта управління становитимуть:

$$K_{ПЗ} = 1851 + 160 = 2\,012,27 \text{ грн.}$$

Таким чином, витрати на розробку моделі об'єкта управління є частиною одноразових капітальних витрат при створенні управління.

Загальні капітальні вкладення складуть:

$$K_{пр} = 264071 + 2012 + 21532 = 287615 \text{ грн.}$$

### **5.3 Висновки по розділу**

При розробці системи управління капітальні витрати складуть 287615 грн, у тому числі - капітальні витрати на обладнання системи управління 264 071 грн., та капітальні витрати на розробку моделі системи управління 2 012 грн, а також 21 532 грн на програмне забезпечення.

## **6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **6.1 Аналіз потенційних небезпек**

У даному розділі кваліфікаційної роботи розглядаються заходи з охорони праці та безпеки під час проведення робіт у шахтному водозбірнику за критерієм мінімізації дисперсії коливань споживаної потужності.

Проведення досліджень передбачається в приміщенні, обладнаному ПК, тому додатково необхідно також розглянути робоче місце користувача персональним комп'ютером.

На основі вивчення та аналізу існуючих, нових технологічних процесів і обладнання, що застосовується, згідно з ГОСТ 12.0.003-74 «Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація», виявлено ряд небезпечних виробничі фактори, вплив яких на працюючих може призвести до погіршення умов праці або травматизму:

- незадовільний рівень освітлення робочого місця у зв'язку з несправністю освітлювальних приладів, нераціонального освітлення, помилками при проектуванні системи освітлення, світлотехнічною специфікою робочих місць з ПК, недотриманням режиму праці, що призводить до погіршення зору;
- ураження електричним струмом у зв'язку з несправністю електрообладнання, невиконанням правил техніки безпеки під час користування електричним обладнанням, відсутністю захисного заземлення;
- електромагнітні випромінювання під час використання несправного або несертифікованого обладнання ПК;
- негативний вплив електростатичного поля від складових ПК;
- накопичена статична електрика;
- незадовільний стан мікроклімату в приміщенні;



- механічні травми у зв'язку з недбалістю та неуважністю персоналу, та нерациональним плануванням робочого місця, що призводить до травматизму;
- тривале статичне напруження м'язів спини, шиї, рук і ніг у зв'язку з сидячою роботою, що призводить до втоми і специфічних захворювань кістково-м'язового апарату;
- функціональні порушення роботи зап'ястку під час роботи за ПК;
- нервово-емоційні навантаження у зв'язку зі стресовими ситуаціями;
- зараження патогенними мікроорганізмами (бактеріями, вірусами, грибками і т.п.) і продуктами їхньої життєдіяльності унаслідок порушення правил санітарної гігієни, що призводить до хвороб персоналу;
- вірогідність пожежі у зв'язку із недбалістю персоналу, несправністю електроустаткування, недотриманням або порушенням правил протипожежної безпеки;
- неправильні дії персоналу під час надзвичайної ситуації, які можуть призвести до паніки, механічних ушкоджень та летальних наслідків.

## **6.2 Заходи щодо забезпечення техніки безпеки**

Серйозність ураження електричним струмом на робочому місці часто не враховується. Відповідно вимог для електричних мереж, дроти повинні бути належним чином підібрані та встановлені для виключення можливості будь-яких зовнішніх впливів під час звичайного користування, наприклад, вогкість або корозія. Також слід уникати механічних напружень, що впливають на цілісність дроту внаслідок дії гострих предметів, ударів від інструментів або впливів від натягу та стиску, які очікуються під час монтажу.

Конструкція електроустаткування має відповідати умовам їх експлуатації та забезпечувати захист персоналу від доторкання з рухомими частинами які проводять струм, а обладнання - від попадання всередину сторонніх твердих об'єктів та води.

Конструкція, вид виконання, спосіб встановлення, клас ізоляції застосовуваних провідників, кабелів, пристроїв та іншого електрообладнання відповідають вимогам електробезпеки. Технологічні ділянки шахтного водозбірника за ступенем ураження людей електричним струмом відноситься згідно ПУЕ 1.1.13 до категорії приміщень з підвищеною небезпекою (висока температура, можливість одночасного дотику до металевих елементів технологічного обладнання або металоконструкцій будинку та металевих корпусів електрообладнання).

У нормальному режимі роботи обладнання - можливість ураження працівників електричним струмом виключена. Але на випадок аварії для запобігання ураження струмом людей передбачене захисне заземлення.

Для ізоляції людини від частин електроустановок, що знаходяться під напругою, використовуються основні та допоміжні ізолюючі засоби, а саме слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками, ізолюючі ковдри та підставки, тощо.

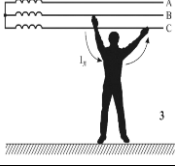
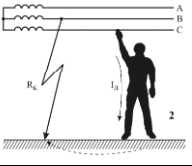
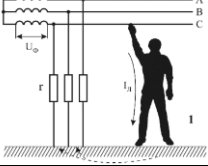
Робітникам рекомендовано носити одягу з природних матеріалів або з комбінованих - природних і штучних волокон. Для зняття електростатичних зарядів з одягу слід використовувати антистатики побутового призначення.

Згідно ПУЕ і НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» приміщення, у якому знаходяться пристрої, належить до приміщень без підвищеної небезпеки ураження електричним струмом.

Оцінювання небезпек під час експлуатації автоматичного керування температурою у кімнаті при електричному опаленні зводиться до моделей наведених в табл. 6.1.

Досліджуване приміщення має систему заземлення TN – C (без захисного провідника PE). Схема підключення пристрою захисного відключення до електроустановок наведена на рис. 6.1.

Табл. 6.1 Аналіз ураження електричним струмом

Двополюсний дотик	Однополюсний дотику в аварійному режимі	Однополюсний дотик
		
$I_{л} = \frac{U_{л}}{R_{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\Phi}}{R_{л}};$ $I_{л} = \frac{380}{1000} = 0,38 \text{ A} = 380 \text{ mA}.$	$I_{л} = \frac{U_{л}}{R_{л} + R_{к}};$ $I_{л} = \frac{U_{л}}{R_{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\Phi}}{R_{л}};$ $I_{л} = \frac{380}{1000} = 0,38 \text{ A} = 380 \text{ mA};$	$I_{л} = \frac{U_{\Phi}}{R_{л} + \frac{r}{3}};$ $I_{л} = \frac{220}{1000 + \frac{90000}{3}};$ $I_{л} = 0,0071 \text{ A} = 7,1 \text{ mA};$
Струм протікає за верхньою стандартною петлею	Струм протікає через людину у землю і до місця замикання на землю другого полюса. Небезпека експлуатації таких мереж полягає в тому, що при дотику до не пошкодженого фазного дроту людина попадає під лінійну напругу	Дотик людини до однієї з фаз порушує цю симетрію, зумовлюючи перекіс фаз

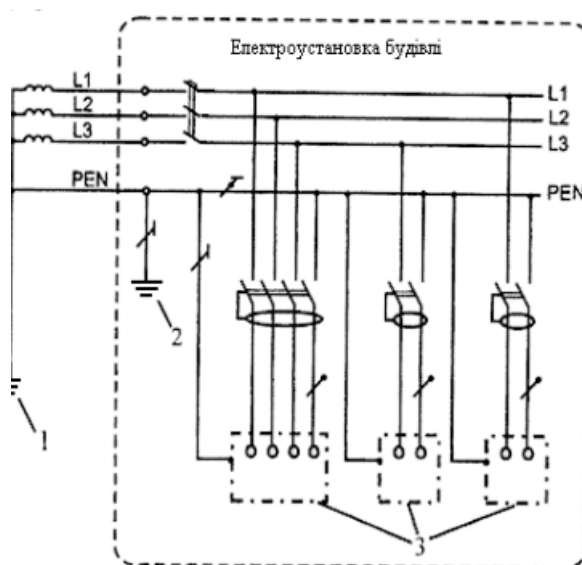


Рис. 6.1 Застосування пристрою захисного відключення у системі TN – С.

- 1–заземлення джерела живлення;
- 2– захисне заземлення електроустановки будинку;
- 3–відкриті провідні частини

Відповідно при пробою ізоляції на корпус електроприймача у випадку, якщо цей корпус не заземлений, тоді пристрій захисного відключення, ввімкнений в коло живлення електроприймача, не спрацюватиме, тому що немає кола протікання струму витoku і диференціального струму не виникає. Тобто на корпусі електроприймача з'явиться небезпечний потенціал щодо землі, і при дотику людини до корпусу електроприймача та протіканні через її тіло струму на землю, що перевищує номінальний диференціальний струм, пристрій захисного відключення зреагує і відключить електроустановку від мережі.

У розглянутому випадку існує період часу, з моменту виникнення на корпусі електроприймача електричного потенціалу і до моменту відключення дефектного кола від мережі - це період потенційної небезпеки ураження людини. Однак застосування пристрою захисного відключення в електроустановках із системою заземлення TN – C також виправдане, оскільки цей пристрій забезпечує ефективний захист від ураження електричним струмом. В такому випадку рекомендація щодо підключення приміщення наведена на рис. 6.3.

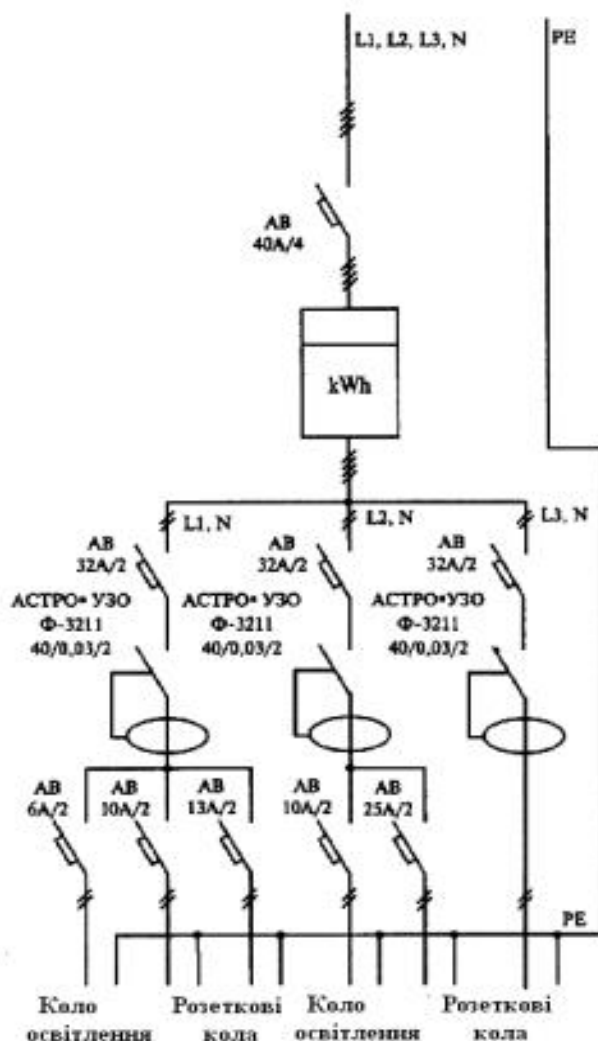


Рис. 6.3 Рекомендована схема підключення до трифазного вводу

З метою визначення стану електрообладнання та виявлення дефектів проводяться профілактичні випробування відносно до ПУЕ та ДБН. Профілактичні випробування включають: контроль ізоляції, контроль з'єднання дротів, вимірювання опору заземлюючих пристроїв, перевірку спрацювання лінії захисту і запобіжних пристроїв.

### 6.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці

Приміщення оператора знаходиться на 1 поверсі двох поверхового цегельного будинку. Загальна площа приміщення складає  $69 \text{ м}^2$  (рис.6.6). Висота приміщення – 2,8 м. У операторській постійно працює 6 чоловік.

Використовуючи, ці данні можна зробити висновок, що на одного працівника приходить 10 м<sup>2</sup> площі.

У приміщенні верхня частина стіни обшиті ДВП панелями, підлога покрита кахлем, стеля білого кольору. Інтер'єр приміщення оформлений відповідно з вимогами, без надмірності (рис. 6.4). Приміщення прикрашено великою кількістю кімнатних рослин та рекламними плакатами.



Рис. 6.4 Загальний вигляд інтер'єру приміщення

У приміщенні відділу температура повітря в холодну пору складає 22...24°C, а в перехідний період – 21...24°C, відносна вологість складає 40...60%, швидкість руху повітря – 0,1...0,2 м/с, що цілком відповідає стандартам, при яких людина добре себе почуває.

Для забезпечення чистоти повітря і підтримки метеорологічних умов у приміщенні відділу використовується комбінована вентиляція.

Природна вентиляція створює необхідний обмін повітря за рахунок різниці щільності теплого повітря, що знаходиться в приміщенні, і більш холодного повітря зовні, а також за рахунок вітру. Також, для створення автоматичної підтримки у відділі незалежно від зовнішніх умов постійної температури і вологості, установлений кондиціонер типу «Samsung».

Рівень шуму в приміщенні відповідає встановленим стандартам і дорівнює 70...60 дБ. Основними джерелами шуму є комп'ютери і принтери.

Працівники операторської використовують шість персональних комп'ютерів, два лазерні принтери Canon MF-211 та Canon LBP-2900, що

мають невеликі габарити: монітор – 60x40x5 см, системний блок – 42x34x18 см, клавіатура – 46x15x2 см, принтер – 31x26x27 см. Зазначені пристрої живляться від мережі змінного струму напругою 220 В із застосуванням спеціального подовжувача – мережного фільтра, що стабілізує перепади напруги. Комп'ютери перебувають в експлуатації 4 роки; принтери – 5 років.

Небезпека падіння з висоти при розташуванні робочого місця на значній висоті щодо поверхні землі або рівня підлоги повністю відсутня.

У будівлі також є побутові приміщення – туалет, умивальник – розташовані в окремих кімнатах та кухня. Санітарний стан приміщення добрий: чисто, стіни оброблені плиткою, мається дзеркало. Також у приміщенні маються шафи для зберігання власних речей. Вони добре поєднуються з інтер'єром і мають відповідне розташування щоб не заважати переміщенню.

Загальні параметри умов праці в приміщенні відділу приведені в табл. 6.2, де вони порівнюються з затвердженими нормами і стандартами.

Табл.6.2 Характеристика санітарно-гігієнічних умов праці

Параметр	Фактичне значення	Норматив по Держстандарту	Відповідність параметра Держстандарту
Шум, дБ	50–40	50–40	відповідає
Температура повітря, °С:			
холодного періоду	22–24	23–25	відповідає
перехідного періоду	21–24	22–24	відповідає
Швидкість руху повітря, м/с	0,1–0,2	0,1–0,2	відповідає
Відносна вологість повітря, %	40–60	40–60	відповідає

Згідно з ДБН В.2.5-28:2018 про освітлення приміщень виробничих і складських будівель:

Для освітлення приміщень використовувати найбільш економічні розрядні джерела світла та світлодіодні лампи та світильники. Використання ламп розжарювання для загального освітлення допускається тільки у випадках неможливості або техніко-економічної недоцільності використання розрядних ламп, або світлодіодних джерел світла.

Освітленість робочої поверхні, створена світильниками загального освітлення в системі комбінованого, повинна складати не менше ніж 10 % нормованої для комбінованого освітлення при любых джерелах світла, які застосовуються для місцевого освітлення. При цьому освітленість повинна бути не менше ніж 250...300 лк.

#### 6.4 Штучне освітлення

При проведенні розрахунків штучного освітлення треба розробити модель кімнати у програмному забезпеченні Dialux та виконати розрахунок освітлення. У разі недостатньої освітленості обрати систему освітлення, яка відповідає вимогам.

Виконання розрахункової частини виконувалось у декілька поді етапів.

Розробка моделі кімнати відповідно до її габаритних розмірів, розміщуємо вікна та двері. Розставляємо робочі місця операторів ПК (рис. 6.5).



Рис. 6.5 Модель приміщення з розставленими робочими місцями

Визначаємо фактичний стан рівня освітленості при використанні ламп LED Bulb Filament 3W 1800K у кількості 6 шт.



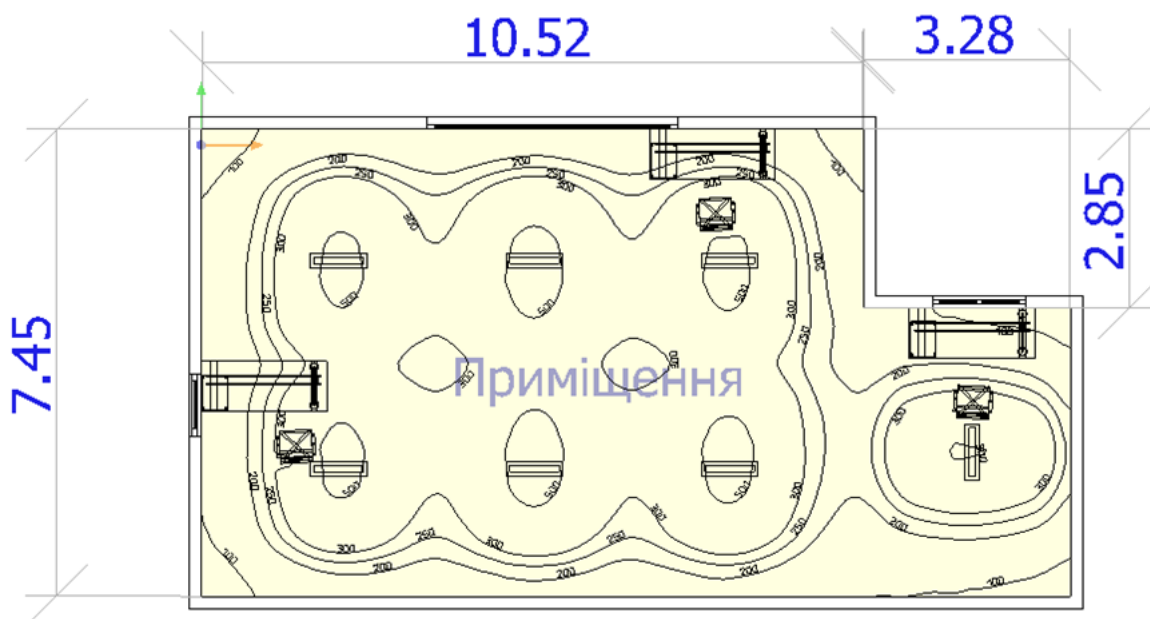


Рис. 6.6 Результат розрахунків освітленості

Як видно з розрахунків освітленість у робочій зоні сягає 70...100 лк. За нормами у безпосередній близькості до робочого місця значення повинно бути не менше 250 лк, отже необхідно обрати освітлення, яке б відповідало цим вимогам.

Обираємо інші джерела освітлення та проводимо розрахунок для оптимізації світло-технічних параметрів на робочому місці.

Було обрано світильники NORKA ERFURT 2X39W, ECG та проведено розрахунки освітленості.

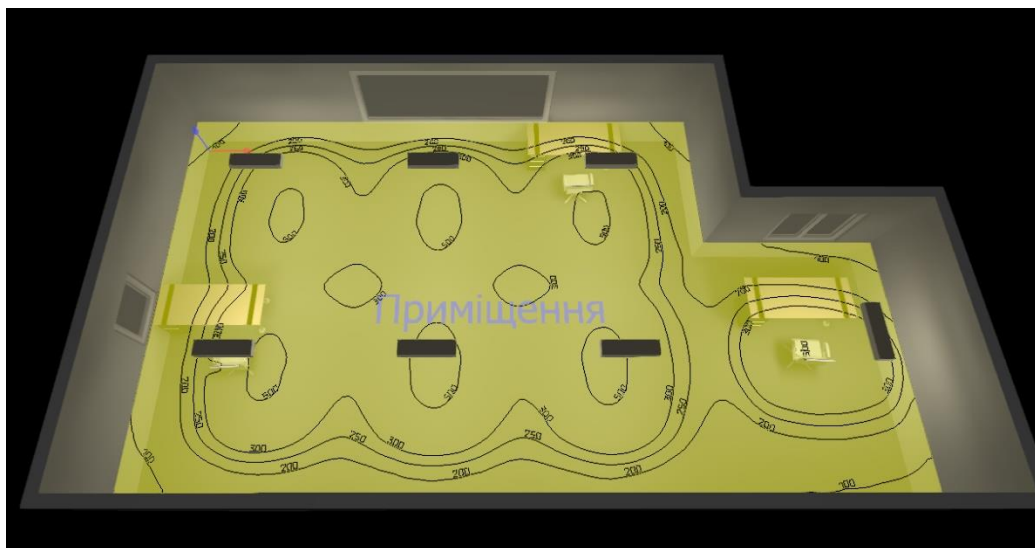


Рисунок 6.7 Результат розрахунків освітленості

Як видно з розрахунків освітленість у робочій зоні сягає 250...300 лк. За нормами у безпосередній близькості до робочого місця значення повинно бути не менше 250 лк, отже обране освітлення відповідає нормам и може використовуватись у якості штучного освітлення.

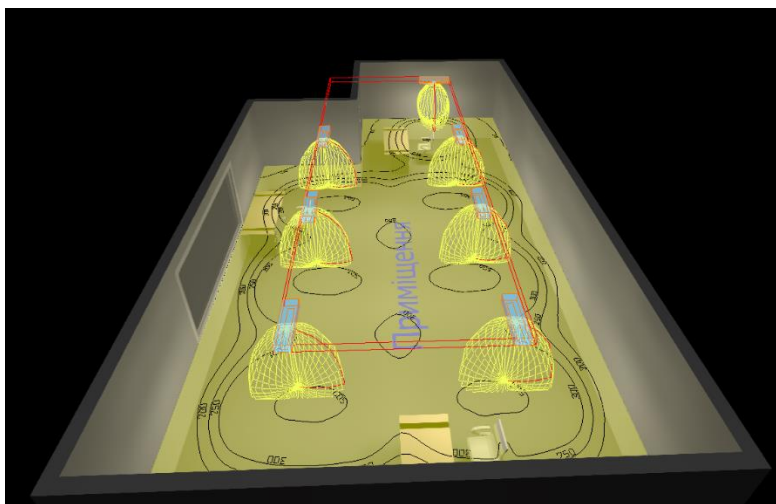


Рис. 6.7 Крива сили світла для світильників

За рахунок підбору під кожне робоче місце розташування ламп, вони були розміщені так, щоб кут освітлення був максимальним.

У результаті маємо систему штучного освітлення, яка відповідає нормам.

### 6.5 Пожежна профілактика

Згідно діючого законодавства керівнику підприємства необхідно виконати ряд організаційно-технічних заходів направлених на створення пожежобезпечних умов у всіх структурних підрозділах підприємства. Основними з них є:

- розробка і затвердження положень, інструкцій, інших нормативних актів, що діють в межах підприємства, а також здійснення постійного контролю за їх дотриманням;

- забезпечення дотримання протипожежних вимог, стандартів, норм, правил, а також виконання вимог приписів органів державного пожежного нагляду;
- утримання у справному стані засобів протипожежного захисту і зв'язку, пожежну техніку, обладнання та інвентар;
- здійснення заходів щодо впровадження автоматичних засобів виявлення та гасіння пожеж.

Загальновідомі наслідки пожеж. На основі статистичних даних основними причинами виникнення пожеж на виробництві є:

- незадовільний стан електротехнічних пристроїв та порушення правил їх монтажу та експлуатації;
- порушення режимів технологічних процесів;
- несправність опалювальних приладів та порушення правил їх експлуатації;
- невиконання вимог нормативних документів з питань охорони праці.

Пожежі через виникнення коротких замикань, перевантаження електродвигунів, освітлювальних та силових мереж внаслідок великих місцевих опорів, роботу несправних або залишених без нагляду електронагрівальних приладів складають більше 25% випадків.

Для запобігання пожежі від великих перехідних опорів мідні проводи та кабелі з'єднують скручуванням жил, а потім спаюють їх оловом без застосування кислоти. Алюмінієві кабелі з'єднують гільзами. В якості профілактичного необхідно застосовувати такий захід, як щорічні лабораторні випробування електропроводки на опір ізоляції, а заземлюючий пристрій на опір розтікання струму.

Необхідно передбачити систему евакуації працюючих на випадок виникнення пожежі. При цьому потрібно дотримуватись таких основних принципів:

- евакуаційні виходи в приміщенні повинні розташовуватись зосереджено;

- число евакуаційних виходів повинне бути не менше двох;
- двері на шляхах евакуації повинні відчинятися в напрямку виходу з приміщень (будівель), допускається влаштування дверей з відчиненням всередину приміщень в разі одночасного перебування в ньому не більше 15 людей;
- мінімальна ширина шляхів евакуації - не менше 1 м, дверей - 0,8 м;

Важливим елементом пожежної безпеки є наявність і справність засобів гасіння. Виробничі приміщення повинні мати зовнішнє і внутрішнє протипожежне водопостачання. Необхідний тиск води створюється стаціонарними пожежними насосами, які забезпечують подання компактних струменів на висоту не менше 10 м.

Для приміщень на поверхні шахти більш доцільним буде застосування внутрішнього водопостачання, яке здійснюється пожежними кранами на висоті 1,35 м від підлоги всередині приміщень біля виходів, у коридорах, на сходових клітинах. Кожний пожежний кран споряджається прогумованим рукавом та пожежним стволом. Довжина рукава – 10...20 м. продуктивність кожного крана повинна бути не меншою, ніж 2,5 л/с.

Із усього різноманіття існуючих вогнегасників найбільш раціональним буде використання вуглекислотних, порошкових і пінних. При цьому слід враховувати особливості кожного виду. Так вуглекислотні вогнегасники ефективні при гасінні електрообладнання, що знаходиться під напругою до 1 000 В, а також горючих рідин і твердих речовин. Не можна гасити спирт і ацетон, які розчиняють вуглекислоту та матеріали, які горять без доступу повітря (терміт, целулоїд). В приміщеннях треба розмістити ручні вуглекислотні вогнегасники типу ОУ-5, ОУ-8.

Надійним і швидким засобом повідомлення про пожежу є електрична пожежна сигналізація автоматичної і ручної дії, які доцільно встановлювати у виробничих приміщеннях.

## 6.6 Заходи з цивільного захисту

При виявленні надзвичайної ситуації кожен працівник зобов'язаний:

- негайно сповістити про це в пожежну охорону (у випадку пожежі);
- повідомити про надзвичайну ситуацію керівника чи відповідну компетентну посадову особу та (або) чергового по об'єкту;
- прийняти (за можливості) заходи щодо евакуації людей, гасіння і схоронності матеріальних цінностей.

Посадова особа об'єкта, що прибула до місця надзвичайної ситуації зобов'язана:

- випадку загрози життю людей негайно організувати їх евакуацію, використовуючи для цього наявні сили і засоби;
- вивести за межі небезпечної зони всіх працюючих, незв'язаних з ліквідацією надзвичайної ситуації;
- за необхідності відключити електроенергію ( за винятком систем протипожежного захисту), зупинити транспортуючі пристрої, агрегати, апарати, перекрити сировинні, газові, парові і водяні комунікації, зупинити систему вентиляції в аварійному і суміжних з ним приміщеннях ( за винятком пристроїв протидимового захисту).

Моделювання надзвичайної ситуацій виконано у програмному забезпеченні для оцінки надзвичайних ситуацій, параметри навколишньої середовища вказані за середніми показниками на території України, обрано вибух сферичного резервуару з амонієм об'ємом 106 м<sup>3</sup> на території промислового об'єкту.

На рис. 6.8 відображені зони загрози для цього сценарію що оцінює розповсюдження вибухової хвилі показана червона зона загрози, яка буде розширюватися на 50 м за вітром, помаранчева на 100 метрів та жовта на 200 м. У межах червоної зони потужність вибуху може перевищувати 10 кВт/м<sup>2</sup>. Зони загрози завжди відображаються з напрямком підвітряного боку вправо.

Зона загрози є область, в якій концентрація газу на рівні землі перевищує рівень небезпеки в будь-який час. Концентрація забруднюючої речовини

залежить як від місця розташування, так і від часу. Щоб створити зону загрози, програма обчислює пікову концентрацію як функцію часу для всіх точок в просторі.

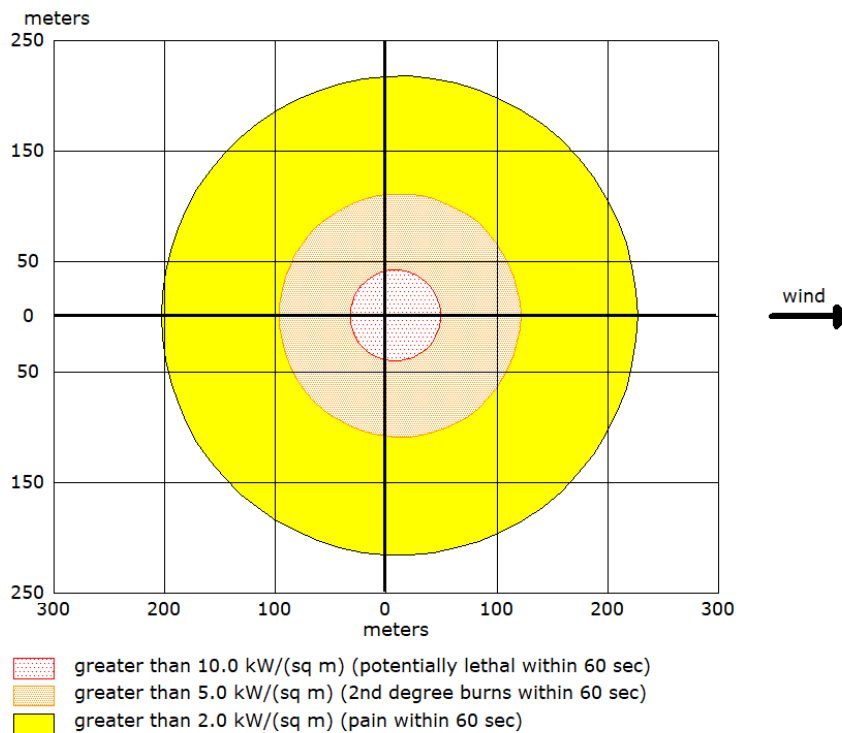


Рис. 6.8 Побудова зон ураження від вибуху

Отримані зони загроз також нанесені на карту за допомогою програми Google. Результат накладання зон загрози в програмі Google на рис. 6.9.

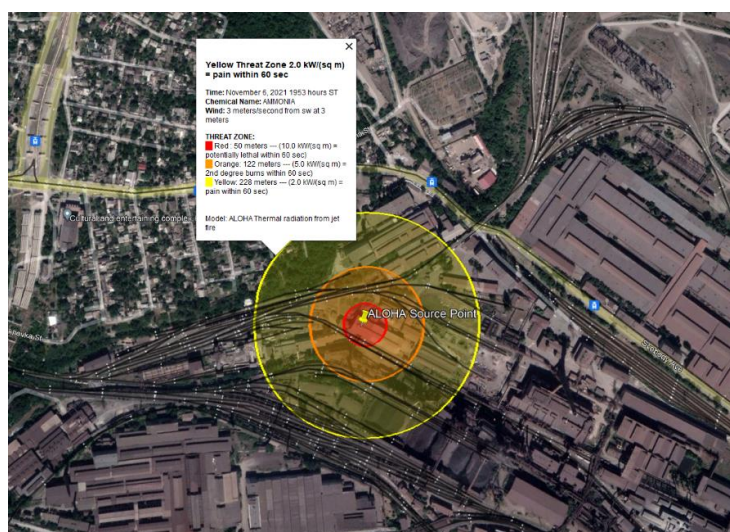


Рис. 6.9 Комбіноване зображення в Google

## **6.7 Висновок**

У цьому розділі кваліфікаційній роботі розглянуто питання з охорони праці та безпеки під час проведення робіт у шахтному водозбірнику, та у приміщенні користувача ПК.

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз потенційних небезпек, розроблені заходи щодо охорони праці під час обслуговування обладнання та виконання профілактичних робіт для обслуговування водозбірника та експлуатації ПК, розроблені заходи з виробничої санітарії і гігієни праці, та розглянута пожежна профілактика і заходи з цивільного захисту у надзвичайних ситуаціях.

## ВИСНОВОК

Об'єкт керування є дискретно-неперервним з декількома дискретними керуючими величинами (увімкнення/вимкнення двигунів приводів насосів), та одною керованою величиною (рівень води у шахтному водозбірнику). За умови використання декількох насосів з некерованими двигунами їх приводів, він є багатомірним й нелінійним об'єктом керування, складним для управління. Крім того, процес керування ускладнюється непередбачуваним характером зміни у часі притоку ґрунтових вод.

Таким чином, поставлене наукове завдання через дослідження роботи системи керування на основі імітаційного моделювання визначити ефективний алгоритм керування з урахуванням складних властивостей насосної установки як об'єкта керування.

У ході досліджень системи керування отримані наступні наукові результати:

1. Аналіз роботи системи автоматичного керування рівнем води у водозбірнику за існуючим алгоритмом показав, що керування тільки за двома рівнями призводить до суттєвої кількості часових інтервалів, на яких мають місце наступні комбінації увімкнених насосів: 0/2, 0/3 та 1/3, що призводить до збільшення дисперсії сумарної потужності, що споживають насоси. З метою зменшення даного критерію ефективності роботи системи керування запропоновані експертні правила, що реалізують ідею забезпечення зміни сумарної потужності якомога довше у незмінному й мінімальному діапазоні значень за умови перебування притоку води у водозбірник у певному діапазоні.

2. Для цього весь діапазон зміни об'єму води у водозбірнику розбивається умовно на середній, підвищений, високий, надвисокий, занижений, низький та наднизький рівні. Задачею є тримати рівень води між підвищеним та заниженим рівнями за рахунок забезпечення якомога довше незмінної комбінації активних насосів 0/1, 1/2 або 2/3, а діапазони між підвищеним й



високим, а також між заниженим й низьким рівнями використати для переходу до іншої з означених вище комбінацій за кількістю активних насосів.

Таким чином, на більшій кількості часових інтервалів різниця кількості активних насосів не буде перевищувати одного, що є умовою зменшення дисперсії сумарної потужності, що споживається насосами.

3. Обчислювальні експерименти на основі створеної імітаційної моделі системи автоматичного керування рівнем води у водозбірнику показали, що перехід від існуючого алгоритму керування насосами до запропонованого експертного алгоритму зменшує дисперсію сумарної потужності, що споживається насосами, у 2,27 разів.

У роботі розраховані капітальні витрати, пов'язані з виготовленням та впровадженням системи управління, та доведена економічна ефективність її впровадження.

Також розглянуто питання з охорони праці та безпеки під час проведення робіт у шахтному водозбірнику, та у приміщенні користувача ПК.

## Перелік посилань

1. Вугільна галузь: скільки в Україні та світі працює шахт / Аналітичний портал «Слово і діло» [сайт]. – 2021. Режим доступу: <https://www.slovoidilo.ua/2020/08/27/infografika/ekonomika/vuhilna-haluz-skilky-ukrayini-ta-sviti-pracyuye-shaxt>
2. Що чекає на українські шахти: електронні ресурси інформаційного агентства «Радіо свобода» [Електронний ресурс] / М. Немчинов // Міністерство енергетики та вугільної промисловості України — 2018. — Режим доступу до ресурсу : <https://www.radiosvoboda.org/a/svoboda-v-detalyah/29458040.html>
3. Стан розвитку паливно-енергетичного комплексу України за 11 місяців 2017 року (за фактичними даними) [Електронний ресурс] // Міністерство енергетики та вугільної промисловості України — 2018. — Режим доступу до ресурсу : <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245265701>
4. Концепція розвитку вугільної промисловості [Електронний ресурс] // Урядовий портал. Дата звернення: 27.12.2021. Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/npas/18609693>
5. Автоматизація технологічних процесів підземних гірничих робіт: підручник / А.В. Бубліков, М.В. Козарь, С.М. Проценко та ін.; під заг. ред. В.В. Ткачова. – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 304 с.
6. 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.
7. Шаруда В.Г., Ткачов В.В., Бубліков А.В. Дослідницька частина в кваліфікаційній роботі магістра : навч. посіб. – Д.: Національний гірничий університет, 2015. – 487 с.
8. 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.

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

10. «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості на небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». № 528 - 2001.

11. Голінько В.І., Фрундін В.Ю. Охорона праці в галузі електротехніки та електромеханіки – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2011. – 235с

12. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою

13. НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні

14. ДБН В.2.5-13-98\*. Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд. Зі зміною № 1 (укр).

## Додаток А

### Програмні модулі системи керування

#### A.1 Модуль об'єкта керування

```

(*)
*
* File: SAK_model_group.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"SAK_model_group/ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ"
*
* Model name           : SAK_model_group
* Model version        : 1.21
* Model creator        : WORK
* Model last modified by   : VLAD
* Model last modified on   : Mon Jan 03 09:02:04 2022
* Model sample time      : 0s
* Subsystem name        : SAK_model_group/ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ
* Subsystem sample time   : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on    : Mon Jan 03 09:11:07 2022
*
* Target IDE selection    : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included     : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_control: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_level: LREAL;
END_VAR
VAR
    _states: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:

        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn: '<S1>/насос' *)
        _states := 0.0;
    SS_STEP:

        (* Output: '<Root>/bo_level' incorporates:
        * DiscreteTransferFcn: '<S1>/насос' *)

```

```

bo_level := 0.1 * _states;

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/насос' incorporates:
 * Constant: '<S1>/Притік води1'
 * Gain: '<S1>/нормування'
 * Update for Inport: '<Root>/bi_control'
 * Sum: '<S1>/Sum3' *)
_states := (0.027777777777777776 - (0.083333333333333329 * bi_control)) - ( -
_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_model_group.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"SAK_model_group/РЕГУЛЯТОР"
*
* Model name           : SAK_model_group
* Model version        : 1.21
* Model creator        : WORK
* Model last modified by : VLAD
* Model last modified on : Mon Jan 03 09:02:04 2022
* Model sample time    : 0s
* Subsystem name       : SAK_model_group/РЕГУЛЯТОР
* Subsystem sample time : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on  : Mon Jan 03 09:10:36 2022
*
* Target IDE selection  : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included   : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    bi_error: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_control_signal: LREAL;
END_VAR
VAR
    Relay1_Mode: BOOL;
END_VAR
VAR_TEMP
END_VAR
(* Relay: '<S1>/Relay1' incorporates:
* Inport: '<Root>/bi_error' *)
IF bi_error >= 0.15 THEN
    Relay1_Mode := TRUE;
ELSIF bi_error <= -0.15 THEN
    Relay1_Mode := FALSE;
END_IF;
IF Relay1_Mode THEN
    (* Output: '<Root>/bo_control_signal' *)
    bo_control_signal := 0.0;
ELSE
    (* Output: '<Root>/bo_control_signal' *)
    bo_control_signal := 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 керування

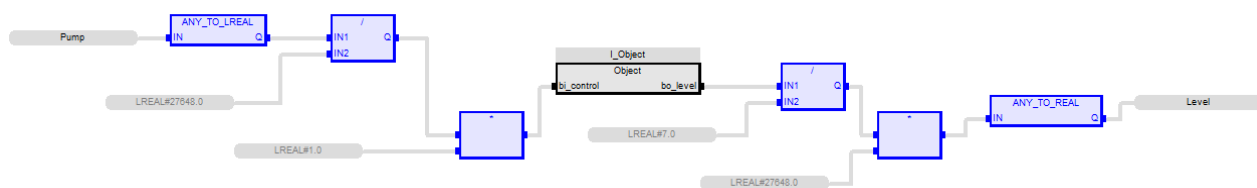
### Б.1 Програмне забезпечення об'єкта керування

#### Б.1.1 Список програм

[FBD] Object (\* Основна програма \*)

[ST] Main\_object (\* Об'єкт керування \*)

#### Б.1.2 Основна програма



#### Б.1.3 Користувачський функціональний блок

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

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

\* Constant: '<S1>/Притік води1'

\* Gain: '<S1>/нормування'

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

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

$\_states := (LREAL\#0.027777777777777776 - (LREAL\#0.083333333333333329 * bi\_control)) - (-\_states);$

#### Б.1.4 Перелік змінних

VAR\_INPUT

bi\_control : LREAL ;

END\_VAR

VAR\_OUTPUT

bo\_level : LREAL ;

END\_VAR

VAR

\_states : LREAL ;

END\_VAR



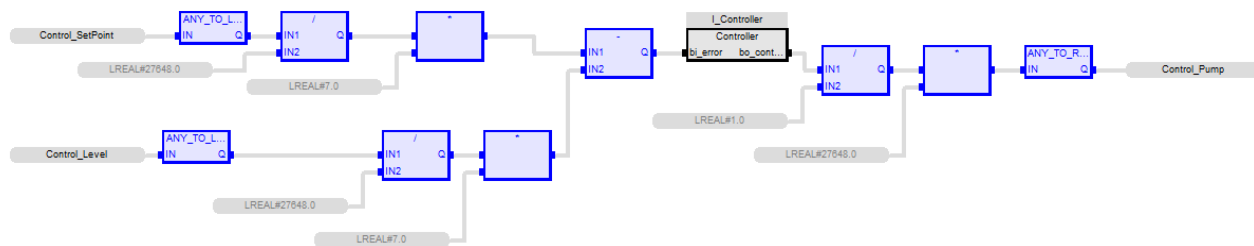
## Б.2 Програмне забезпечення регулятора

### Б.2.1 Список програм

[FBD] Main (\* Основна програма \*)

[ST] Controller (\* Контролер \*)

### Б.2.2 Основна програма



### Б.2.3 Користувачький функціональний блок

```
(* Relay: '<S1>/Relay1' incorporates:
 * Inport: '<Root>/bi_error' *)
IF bi_error >= LREAL#0.15 THEN
  Relay1_Mode := TRUE;
ELSIF bi_error <= LREAL#-0.15 THEN
  Relay1_Mode := FALSE;
END_IF;
IF Relay1_Mode THEN
  (* Output: '<Root>/bo_control_signal' *)
  bo_control_signal := 0.0;
ELSE
  (* Output: '<Root>/bo_control_signal' *)
  bo_control_signal := 1.0;
END_IF;
```

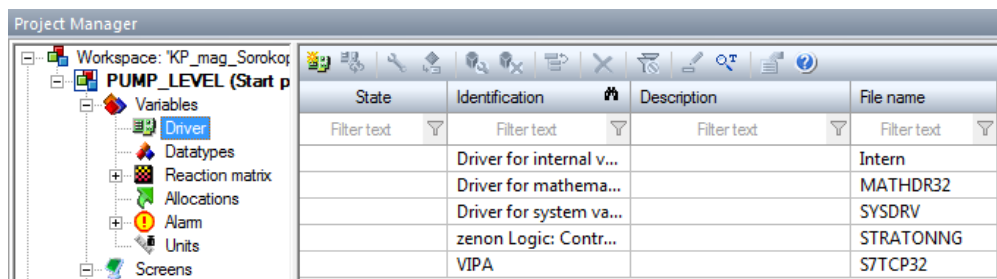
### Б.2.4 Перелік змінних

```
VAR_INPUT
  bi_error : LREAL ;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  bo_control_signal : LREAL ;
END_VAR
VAR
  Relay1_Mode : BOOL ;
END_VAR
```

## Додаток В

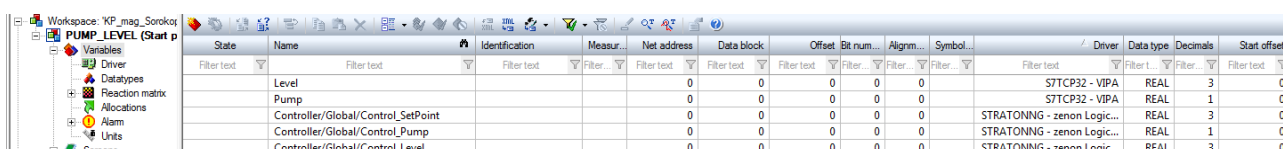
### Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу

#### В.1 Драйвера



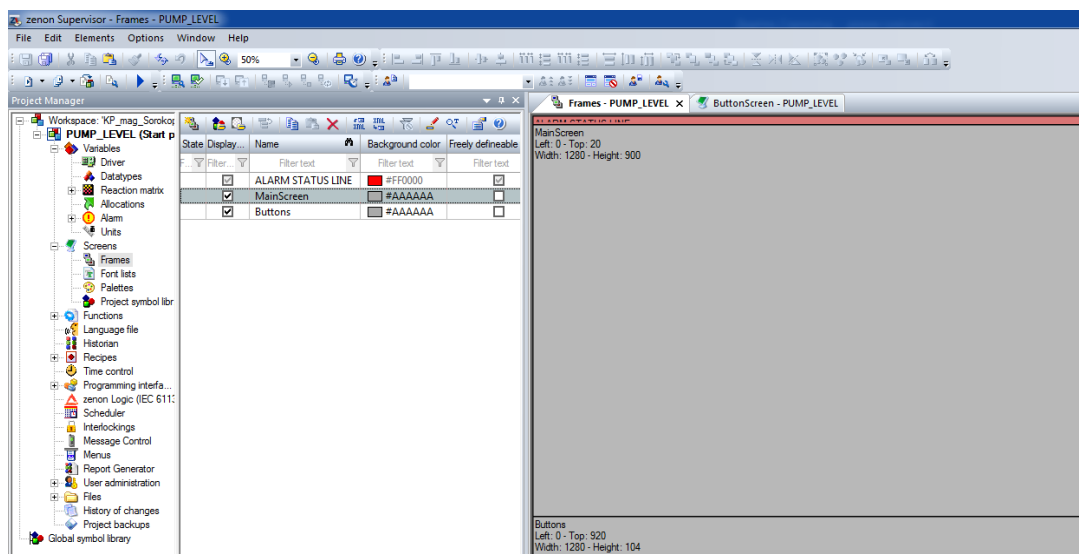
State	Identification	Description	File name
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Driver for internal v...		Intern
	Driver for mathema...		MATHDR32
	Driver for system va...		SYSDRV
	zenon Logic: Contr...		STRATONNG
	VIPA		S7TCP32

#### 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...	Filter...	Filter text
	Level			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	3	0
	Pump			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	1	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

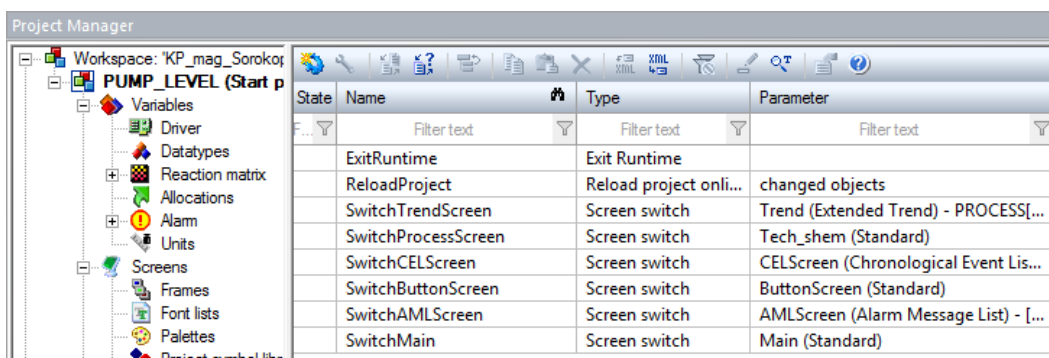


State Display	Name	Background color	Freely definable
Filter...	Filter text	Filter text	Filter text
<input checked="" type="checkbox"/>	ALARM STATUS LINE	#FF0000	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	MainScreen	#AAAAAA	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Buttons	#AAAAAA	<input type="checkbox"/>

MainScreen  
Left: 0 - Top: 20  
Width: 1280 - Height: 900

Buttons  
Left: 0 - Top: 920  
Width: 1280 - Height: 104

#### В.4 Функції



State	Name	Type	Parameter
Filter...	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

Project Manager

Workspace: KP\_mag\_Sorokod

PUMP\_LEVEL (Start p

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	#AFEEEE	< no function l...	< no function l...
	Tech_shem	Standard	MainScreen	#AFEEEE	< no function l...	< no function l...
	ButtonScreen	Standard	Buttons	#7D9EC0	< no function l...	< no function l...
	CELScreen	Chronological Event List	MainScreen	#AFEEEE	< no function l...	< no function l...
	Trend	Extended Trend	MainScreen	#AFEEEE	< no function l...	< no function l...
	Main	Standard	MainScreen	#C0C0C0	SwitchButtonS...	< no function l...

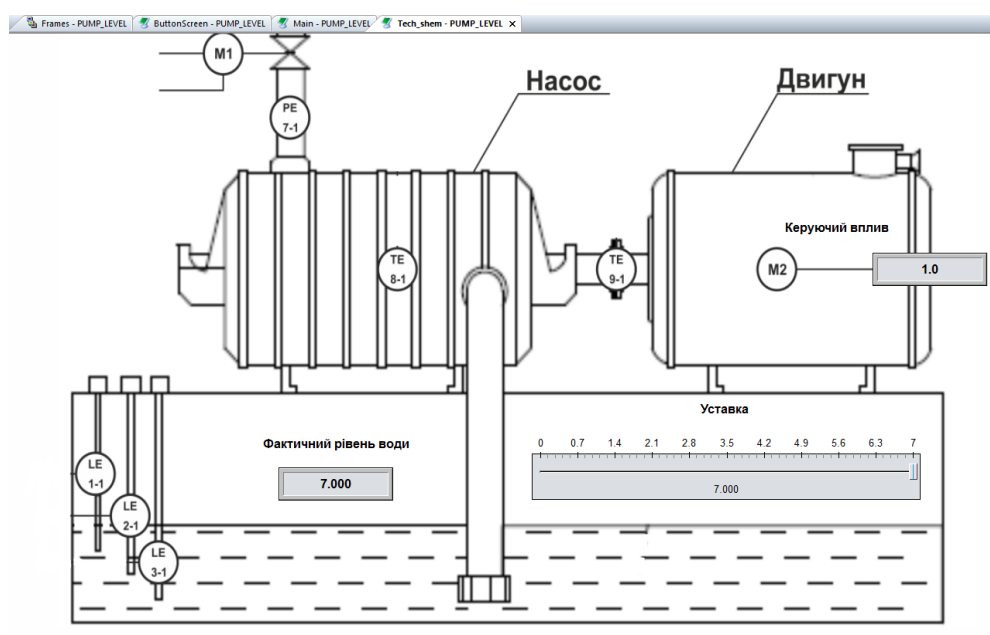
Міністерство освіти та науки України  
 Національний технічний університет  
 «Дніпровська політехніка»  
 Інститут електроенергетики  
 Електротехнічний факультет  
 Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем

**Людино-машинний інтерфейс до кваліфікаційної роботи  
 ступеню магістра**

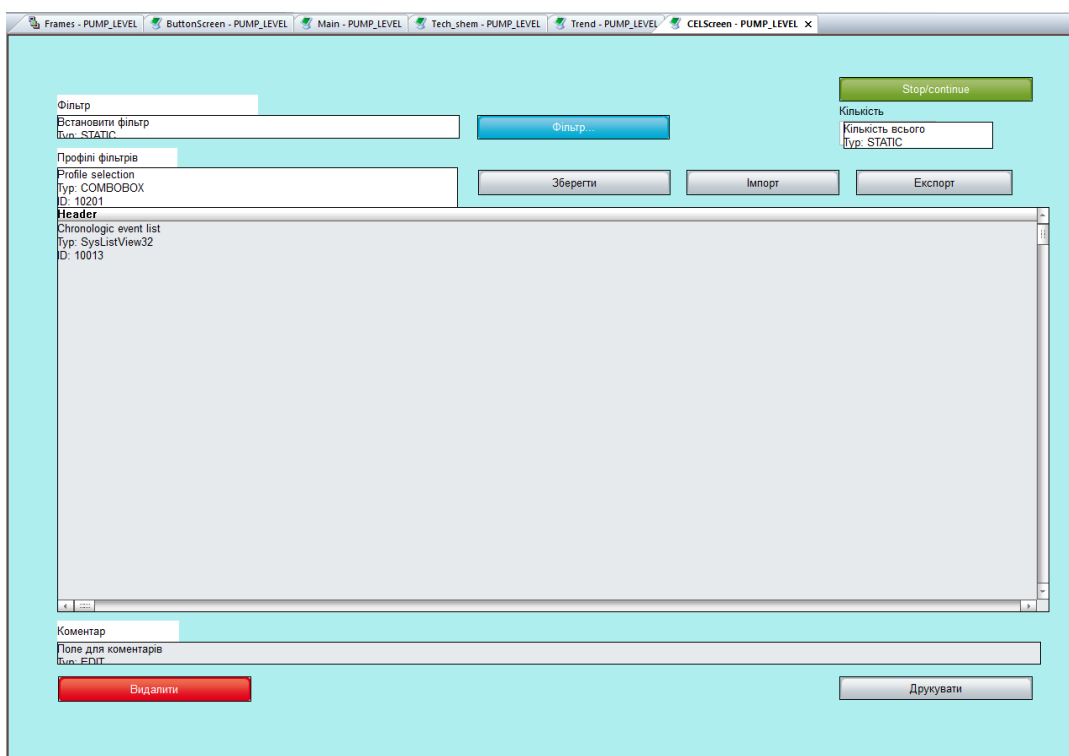
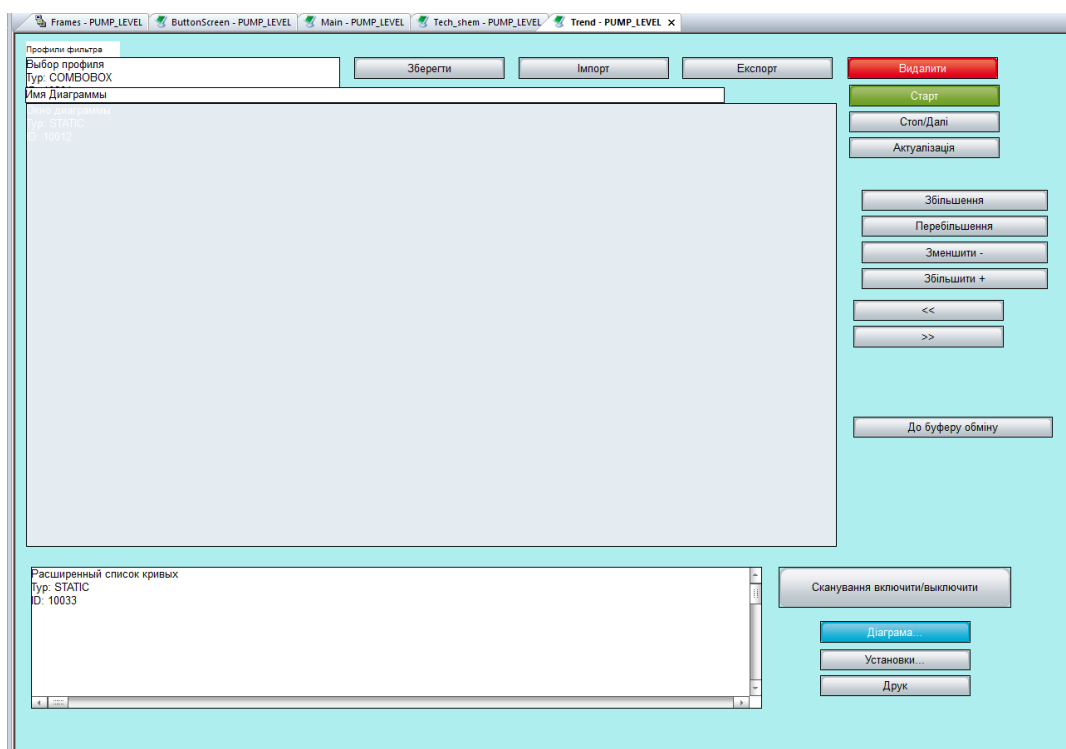
*Дослідження та синтез системи автоматичного керування рівнем води у  
 шахтному водозбірнику за критерієм мінімізації дисперсії коливань споживаної  
 потужності*

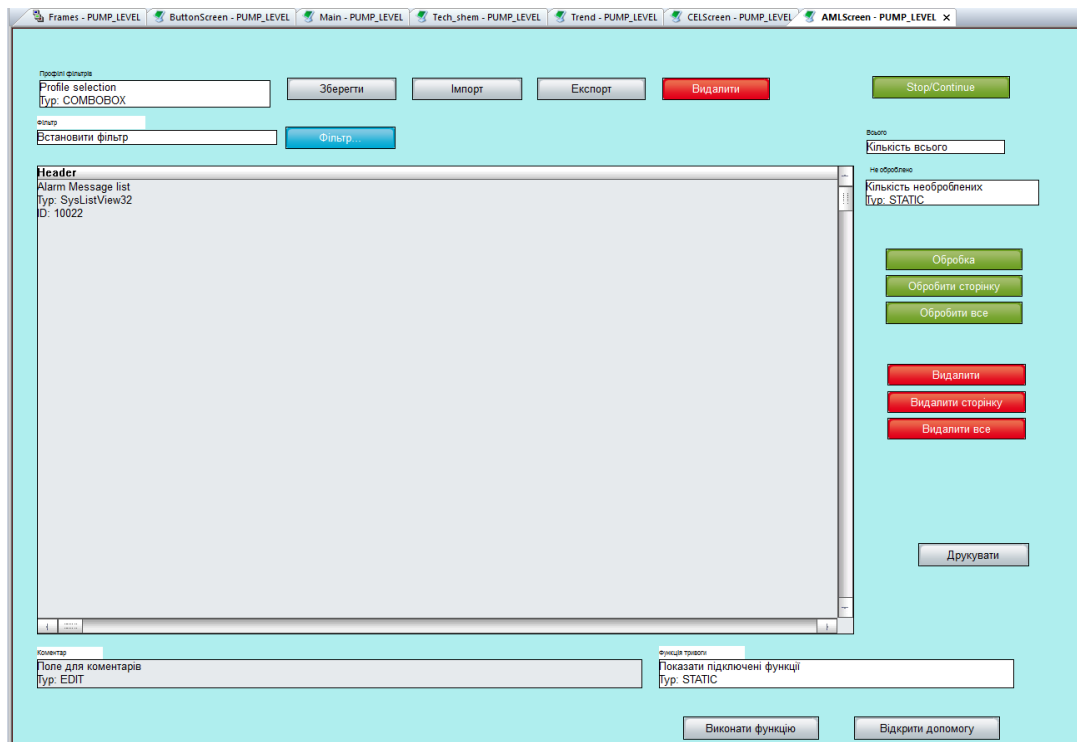
студента групи 151м-20-1  
 Сорокопуда Владислава Віталійовича

Дніпро  
 2022



Система автоматичного керування рівнем води у шахтному водозбірнику





**ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ**