

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 Сухового Марка Ігоровича
(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 Синтез та дослідження системи управління розподілом водопостачання промислових будівель
(назва за наказом ректора)

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

Дніпро
2022

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

_____ Бублік В.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

«_____» _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

студенту Суховому М. І. 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 Синтез та дослідження системи управління розподілом водопостачання промислових будівель

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 – 30.10.21
Синтез системи	Провести синтез системи та її дослідження із використанням методів та інструментів, що обґрунтовані та створені у теоретичному розділі	30.10.21 – 01.11.21
Експериментальний	Розробка програмного забезпечення системи керування на підставі обраного регулятора та його налаштувань	01.11.21 – 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)

проф. Ткачов В.В.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі _____

01.09.2021

Дата подання до атестаційної комісії _____

31.12.2021

Прийнято до виконання _____

(підпис студента)

Суховий М. І.

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: __ с., __ рис., __ табл., __ додатків, __ джерел.

Об'єкт дослідження: система автоматичного керування розподілом водопостачання промислових будівель.

Мета роботи: підвищення якості процесу розподілу водопостачання промислових будівель за рахунок вдосконалення алгоритму автоматичного керування тиском води у водопровідній системі.

Вдосконалення алгоритму автоматичного керування забезпечується через визначення діапазонів зміни параметрів регулятора тиску води за умови введення обмеження на швидкість зміни у часі керуючого впливу, при яких на виході системи керування забезпечується монотонний перехідний процес із заданими критеріями якості.

З урахуванням особливостей технологічного процесу, критеріями якості роботи системи автоматичного керування тиском води у водопровідній системі є час повернення тиску води на заданий рівень при дії збурення, та відсутність перевищення швидкістю зміни у часі керуючого сигналу максимального допустимого рівня.

У кваліфікаційної роботи магістра отримані наступні результати:

- створена імітаційна модель системи автоматичного керування тиском води у водопровідній системі будівлі;

- проведений синтез системи автоматичного керування тиском води з урахуванням обґрунтованих критеріїв якості протікання перехідних процесів на виході системи, та здійснені дослідження залежностей цих критеріїв від параметрів регулятора тиску води при різних навантаженнях на водопровідну систему будівлі;

- розроблене програмне забезпечення системи автоматичного керування тиском води у водопровідній системі будівлі.

**ВОДОПРОВІДНА СИСТЕМА БУДІВЛІ, ТИСК ВОДИ, СИНТЕЗ, РЕГУЛЯТОР,
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	16
1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування	17
1.4 Структура системи керування	19
1.5 Формулювання завдань дослідження	22
1.6 Висновки по розділу	23
2 Теоретичний розділ. визначення моделі об'єкта керування та критеріїв ефективності роботи системи автоматичного керування	25
2.1 Модель об'єкта керування	25
2.3 Визначення критеріїв якості роботи системи автоматичного керування	29
2.3 Висновки до розділу	31
3 Розділ 3 синтез і дослідження системи автоматичного керування	32
3.1 Синтез та дослідження системи керування	32
3.2 Висновки до розділу	41
4 Експериментальний розділ	43
4.1 Цифрова модель об'єкта керування	43
4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування	47
4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу	49
4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення	53
4.5 Висновки до розділу	54

	5
5 Економічна частина	55
5.1 Загальні відомості	55
5.2 Техніко-економічне обґрунтування розробки	55
5.2 Розрахунок капітальних витрат	56
5.3 Техніко-економічне обґрунтування створення і використання програмного продукту	61
5.4 Визначення трудомісткості розробки програмного продукту	61
5.5 Розрахунок затрат на створення програмного продукту	65
5.6 Визначення річних експлуатаційних витрат в загальному вигляді	66
5.7 Висновок по розділу	72
6 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	73
6.1 Аналіз умов праці на ділянці водопостачання	73
6.2 Розрахунок освітлення на ділянці водопостачання	75
6.3 Ергономічний аналіз роботи слюсаря з обслуговування водозабірної арматури	78
6.4 Безпека у надзвичайних ситуаціях	81
6.7 Висновок	84
Висновки	85
Список літератури	89
Додаток А	92
Додаток Б	96

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

САК	1.	Система автоматичного керування;
	–	
ЛМІ		Людино-машинний інтерфейс;
ПК	–	Персональний комп'ютер;
ПІД	–	Пропорційно-інтегрально-диференційний (регулятор)
ПЗ	–	Програмне забезпечення
ОУ	–	Об'єкт управління
ОК	–	Об'єкт керування

ВСТУП

Актуальність теми. Сфера водопостачання для будь якої держави з оглядом на життєву необхідність цього ресурсу людині є ключовою, а питання забезпечення постачання якісною питною водою мешканців усіх населених пунктів входить у національну стратегію країни. Україна також не є виключенням – поліпшення якості питної води та послуг централізованого водопостачання й водовідведення є одним з важливих питань державної стратегії розвитку, тим паче, що більше половини обсягів води, які втрачаються, припадає на житлово-комунальну галузь (68,07% від усіх втрат).

Але, при цьому стан сфери централізованого водопостачання України постійно характеризується дефіцитом фінансових ресурсів, необхідних для належної експлуатації та обслуговування систем водопостачання, а також незадовільним технічним станом обладнання. Насосні станції у переважній більшості є морально застарілими, при цьому 24% всіх мереж використали свій термін експлуатації, оскільки експлуатуються більше 30-ти років. Про зношений стан трубопроводів свідчать показники їх високої аварійності, особливо це стосується сталевих водопроводів.

З урахуванням цього, в Україні у найближчі роки поставлене завдання модернізації систем водопостачання, у тому числі за рахунок активного використання інформаційних технологій для поліпшення контролю якості води та зменшення кількості аварій. Тож, дослідження законів керування насосними станціями з метою забезпечення необхідного тиску у водопроводах з одночасним зменшенням кількості аварій за рахунок запобігання різкої зміни у часі тиску є актуальним науковим питанням.

Мета і задачі дослідження. Мета магістерської кваліфікаційної роботи полягає у підвищенні якості процесу розподілу водопостачання промислових будівель за рахунок вдосконалення алгоритму автоматичного керування тиском води у водопровідній системі. Головними критеріями якості роботи системи автоматичного керування є мінімізація часу повернення тиску води на заданий

рівень при дії збурення, та відсутність перевищення швидкістю зміни у часі тиску води у водопроводі максимального допустимого рівня.

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

- створена імітаційна модель системи автоматичного керування тиском води у водопровідній системі будівлі;

- проведений синтез системи автоматичного керування тиском води з урахуванням обґрунтованих критеріїв якості протікання перехідних процесів на виході системи, та здійснені дослідження залежностей цих критеріїв від параметрів регулятора тиску води при різних навантаженнях на водопровідну систему будівлі.

Об'єкт дослідження – система автоматичного керування розподілом водопостачання промислових будівель.

Предмет дослідження – закони та алгоритми автоматичного керування розподілом водопостачання промислових будівель.

Методи дослідження. Для дослідження системи автоматичного керування тиском води у водопроводі будівлі використані методи теорії автоматичного керування. Дослідження проведені на основі обчислювальних експериментів з використанням комп'ютеризованих методів синтезу систем автоматичного керування. Оцінювання ефективності процесу автоматичного керування здійснене з використанням методів математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

Встановлено, що динамічні властивості водопровідних труб довжиною до 100 м практично не впливають на перехідний процес на виході системи автоматичного керування тиском у трубах незалежно від місця замірювання тиску.

Позитивний ефект використання штучного обмеження швидкості зміни у часі керуючого сигналу має місце тільки за умови налаштування неперервного ПІД-регулятор, при якому час перехідного процесу є сумірним з часом

досягнення тиском заданого значення за умови його лінійної зміни у часі зі швидкістю, що відповідає максимально допустимому рівню.

Виявлено, що позитивний ефект використання дискретного регулятора з нелінійною статичною характеристикою сумісно з інтегруючою ланкою має місце при зоні нечуттєвості статичної характеристики у діапазоні значень від 0,042 до 0,06 атм.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Галузь промисловості

Сфера водопостачання для будь якої держави з оглядом на життєву необхідність цього ресурсу людині є ключовою, а питання забезпечення постачання якісною питною водою мешканців усіх населених пунктів входить у національну стратегію країни. Україна також не є виключенням – поліпшення якості питної води та послуг централізованого водопостачання й водовідведення є одним з важливих питань державної стратегії розвитку [1].

В Україні запаси прісної води у 8,5 разів менші від світового показника (в перерахунку на 1 мешканця) і дорівнюють 1,04 тис. м³. Природний режим багатьох річок було змінено штучними водоймами – водосховищами і ставками, що займають площу майже 12 тис. км² і вміщують 58,6 км³ води, при цьому основна частина цих об'єктів припадає на економічно розвинені регіони лісостепової і степової зон [2].

Втрати при транспортуванні на власні потреби склали 1143 млн м³ води (11,54% від забраної). Більше половини обсягів води, які втрачаються, припадає на житлово-комунальну галузь країни (778,0 млн м³ води, або 68,07% від усіх втрат).

Обсяги реалізації готової продукції суб'єктами господарювання водопровідно-каналізаційного господарства зростають з кожним роком. Так, у 2017 році цей показник становив 29720 млн грн, що на 9343 млн грн більше, ніж у 2010 році. Таку ж тенденцію мають усі статті за показниками, зокрема: забір, очищення та постачання води зріс на 4992 млн грн, каналізація, відведення й очищення стічних вод – на 1318 млн грн.

Але, стан сфери централізованого водопостачання України постійно характеризується дефіцитом фінансових ресурсів, необхідних для належної експлуатації та обслуговування систем водопостачання, а також незадовільним технічним станом обладнання. Насосні станції у переважній більшості є морально застарілими, при цьому 24% всіх мереж використали свій термін

експлуатації, оскільки експлуатуються більше 30-ти років [3]. Про зношений стан трубопроводів свідчать показники їх високої аварійності, особливо це стосується сталевих водопроводів. Так, при середній аварійності водопровідних трубопроводів у 116 аварій на 100 км на рік, аварійність сталевих водопроводів в Україні більш як утричі перевищує цей показник (367 аварій на 100 км на рік).

З урахуванням цього, в Україні у найближчі роки поставлене завдання модернізації систем водопостачання [1], у тому числі за рахунок активного використання інформаційних технологій для поліпшення контролю якості води та зменшення кількості аварій.

Тож, дослідження законів керування насосними станціями з метою забезпечення необхідного тиску у водопроводах з одночасним зменшенням кількості аварій за рахунок запобігання різкої зміни у часі тиску є актуальним науковим питанням.

1.2 Технологічний процес

Технологія процесу водопостачання будівель місць водою визначається відповідною схемою (рис. 1.1) [4].

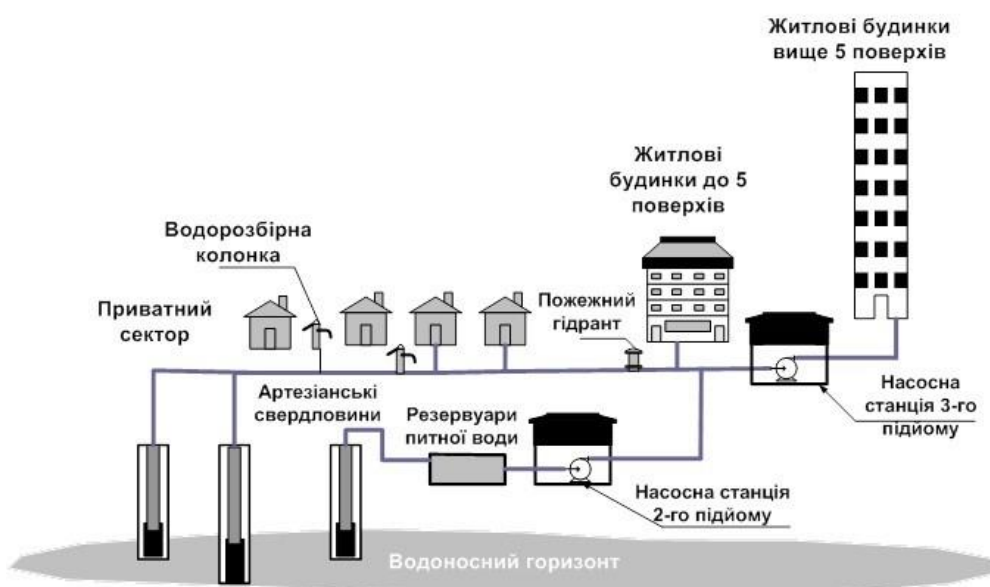


Рисунок 1.1 – Схема водопостачання на прикладі Шосткинського міського водопроводу

Водопостачальна система міста є дуже складною, що має кілька сотень компонентів. Наприклад, на території міста Шостка розташовані (рис.1.1):

- 26 артезіанських свердловин глибиною від 80 до 280 метрів загальною потужністю 42 тис. м³/добу;
- 3 насосних станції 2-го підйому;
- 16 насосних станцій 3-го підйому.

Крім того, на водорозподільних мережах міста розміщені водорозбірні колонки загальною чисельністю 335 шт. і 187 шт. пожежних гідрантів.

Насосні станції 2-го підйому призначені для накопичення води і рівномірного розподілу її в міську водопровідну мережу.

Станції 2-го підйому в нічний час накопичують артезіанську воду в спеціальні резервуари об'ємом до 6000 м³, а в денний час рівномірно подають її в водопровідну мережу міста.

Насосні станції 3-го підйому призначені для підвищення тиску у водопровідній мережі з метою подачі питної води на верхні поверхи окремих багатоповерхових будинків.

Для нашого випадку, коли стоїть задача підтримки тиску води у декількох точках водопровідної системи будинку, керування здійснюється насосами насосної станції 3-го підйому. При цьому приймається, що ця насосна станція здійснює водопостачання одного великого багатоповерхового будинку, та розташована недалеко від нього.

1.3 Об'єкт керування

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – водопостачальна система багатоповерхового будинку. Цільовим продуктом є послуги з водопостачання.

1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

Наведемо загальну характеристику насосної станції 3-го підйому як одного з основних елементів водопровідної системи для водопостачання багатоповерхового будинку на прикладі Насосної станції «Світязь» [5].

Функції насосної станції:

1. автоматична підтримка заданого тиску на виході;
2. послідовне управління кожним насосом в групі;
3. захист від «стрибків» електроживлення, від перегріву, від "сухого ходу" та ін;
4. включення резервного насоса у разі відмови основного;
5. періодична зміна насосів для забезпечення рівномірного вироблення ресурсу;
6. плавний пуск / зупинка насосів.

Основні характеристики станції наведені у табл.1.1.

Таблиця 1.1 – Характеристики станції «СВІТЯЗЬ» - 4 - 61 - 52 - ВС - 3×380

Найменування	«СВІТЯЗЬ»
Кількість насосів	4
Максимальний напір (м)	61
Максимальна витрата (м ³ / год)	52
Тип щита управління: НД, ВР, ВЧ, ВРЧ, ПР	ВС
Напруга електроживлення (В)	3*380
Тип насоса	CR 10-06

Технічні дані:

7. витрата: від 0,8 до 600 м³ / год.;
8. напір: від 10 до 145 м (на великий напір - за запитом);

9. кількість насосів: від 2 до 6 (однакові або різні по продуктивності, включаючи резервні насоси);
10. температура рідини: від 0°C до + 40°C (більше 40 ° - за запитом);
11. температура навколишнього середовища: від +5 ° до + 40°C;
12. максимальний робочий тиск: 16 бар;
13. спеціальне виконання: 25 бар;
14. макс. підпір: 6 бар (при нульовій подачі, сума підпору і напору не повинна перевищувати макс. робочій тиск 16 бар);
15. частота обертання двигуна насоса: 2900 оборотів в хвилину (можливе застосування насосів з регулюванням частоти обертання двигуна);
16. мережеве напруга: 3x400 В / 50 Гц + 6% / 10%;
17. пуск: до 3 кВт включно, прямий від 4 кВт і вище - Y / Δ;
18. клас захисту: IP 54 (Для однофазних MGE двигунів <1,1 кВт нейтральний провід повинен бути обраний з урахуванням величини струму повного навантаження).

Щити керування насосної станції розроблені і виготовлені з метою координування роботи всіх вузлів станції. Їх зовнішній вигляд показаний на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Щит керування насосної станції «СВІТЯЗЬ»

Завдання щитів керування – стабільно зберігати тиск в системі. Дані пристрої, зчитуючи сигнали, що надходять від датчиків тиску, управляють запуском і зупинкою насосів, і одночасно задають частоту обертання таким чином, щоб добитися необхідного тиску рідини в системі.

Зовнішній вигляд насосної станції 3-го підйому показаний на рис. 1.3.



Рисунок 1.3 – Насосна станція 3-го підйому

Схема системи водопровідних труб, як другого основного елемента водопостачальної системи будинку, показана на рис. 1.4.

На схемі на рис. 1.4 пунктирною лінією показане одне з місць стабілізації тиску води. Такими місцями прийняті місця після розгалуження магістрального водопроводу на нульовому поверсі будинку. Таким чином, пропонується проводити стабілізацію за окремими точками у водопровідній системі, в яких спостерігається найбільші падіння тиску. Як правило, такими точками є точки

розгалуження, де спостерігається найбільший відбір води (споживання води великою групою споживачів, наприклад, окремого під'їзду будинку).

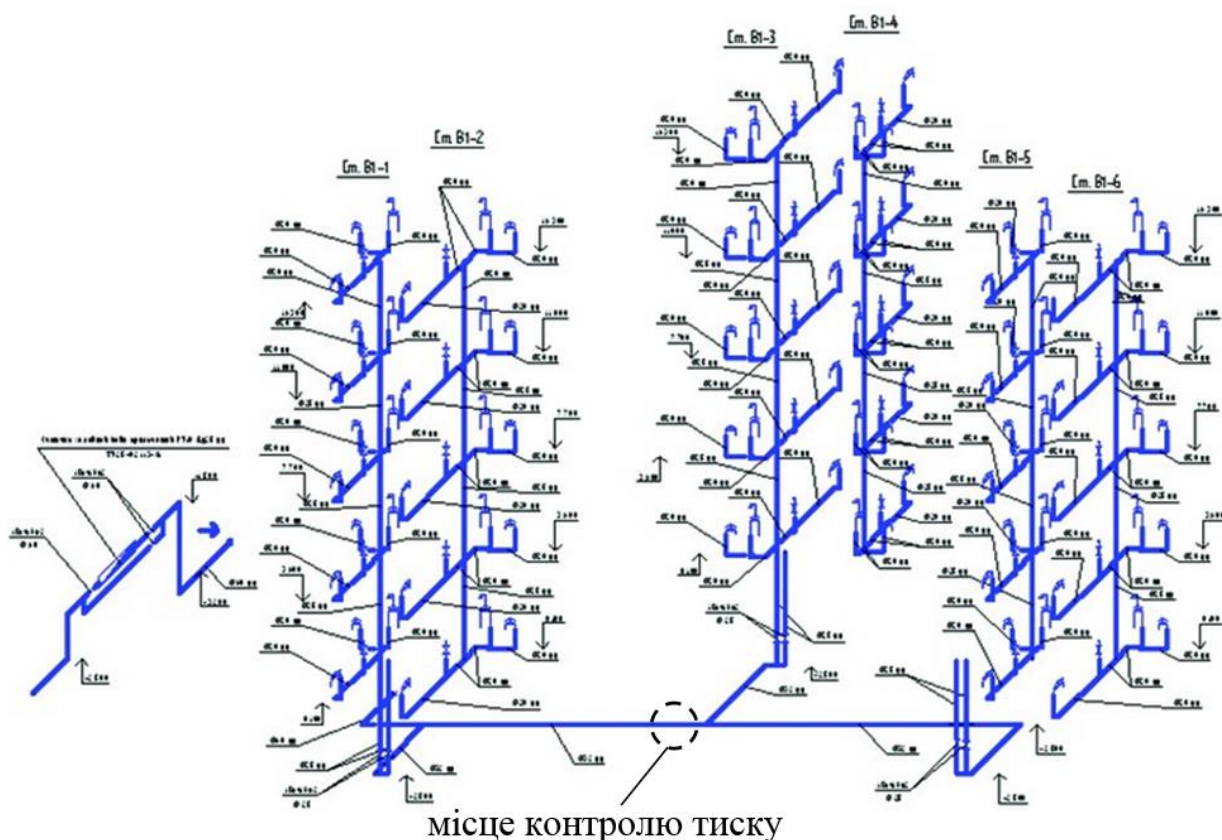


Рисунок 1.4 – Схема системи водопровідних труб багатоповерхового будинку

Уставка тиску води за умови його стабілізації у декількох точках водопровідної системи будинку визначається оператором, або приймається за мінімальну допустиму згідно стандарту. Керована величина для системи стабілізації тиску приймається для тієї точки, де спостерігається мінімальний тиск води.

1.3.2 Структура об'єкту керування

Згідно з аналізом технологічного процесу та об'єкту керування, він є одномірним з одним керуючим входом (керуючий сигнал на блок керування перетворювачем частоти), та одним керованим виходом (тиск води у водопровідній системі будинку).

Структурна схема об'єкту керування показана на рис. 1.5.

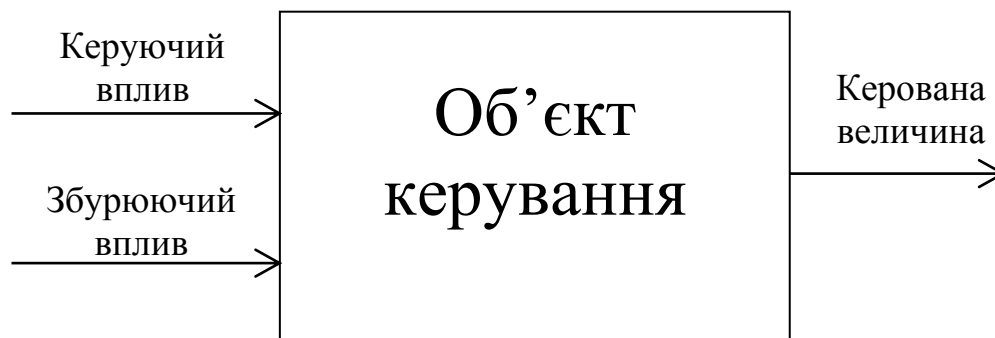


Рисунок 1.5 – Структурна схема об'єкта керування

На керуючий вхід, з урахуванням того, що виконавчим органом фактично є блок керування перетворювача частоти, подається неперервний сигнал у вигляді команди щодо уставки продуктивності насосу. Керованою величиною є тиск води у заданій точці контролю у водопровідній системі будинку.

Збурюючим впливом для процесу автоматичного керування тиском води у водопровідній системі будинку є навантаження на цю систему (падіння тиску, що еквівалентне кількості води, яку споживають користувачі у точці розгалуження водопроводу).

1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування

Розглянемо принцип функціонування об'єкта керування на основі аналізу існуючих автоматизованих систем керування насосними станціями 3-го підйому.

Основними функціями станції управління 3-го підйому є:

1. підтримка заданого значення тиску на виході групи насосних агрегатів;
2. контроль над роботою насосів і перемикання на резервний насос при аварії робочого;
3. підключення додаткових насосів;
4. контроль над роботою електрозасувки;
5. контроль над роботою перетворювача частоти;

6. контроль над роботою пристрою плавного пуску;
7. автоматичне чергування насосів, що працюють від перетворювача частоти (ПЧ), через задані інтервали часу для забезпечення рівномірного завантаження насосів;
8. можливість дистанційного контролю і управління станцією з автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора;
9. можливість запуску і зупинки кожного насоса кнопками в ручному режимі з панелі управління прямим пуском від мережі або з пристрою плавного пуску (ППП) (пуска-налагоджувальний режим);
10. можливість занесення в журнал подій всіх технологічних параметрів і аварійних ситуацій з подальшою вдачею звіту за поточний період;
11. можливість занесення в журнал подій усіх дій оператора.

Режими роботи системи керування:

Підключення додаткового насоса. Якщо в процесі роботи регульований насос досягне максимальних оборотів або замкнеться контакт нижнього рівня електро-контактного модулю (ЕКМ), то через деякий час відбудеться підключення додаткового насоса через ППП. Після виходу на повну потужність, додатковий насосний агрегат переключасться на роботу від мережі. Відключення додаткового насоса відбувається через деякий інтервал часу при зниженні робочої частоти перетворювача до мінімального показника або коли спрацьовує контакт верхнього рівня ЕКМ.

Автоматичне чергування насосів. Для насосів передбачений режим автоматичного чергування. Перехід на роботу в режим автоматичного чергування здійснюється переключенням перемикача "Вибір основного насоса" в положення "0". Станція автоматично чергуватиме насосні агрегати, керовані від ПЧ через заданий інтервал часу. Режим чергування відключається при виході з ладу одного з основних насосних агрегатів, а також у тому випадку, коли в автоматичному режимі знаходиться один з насосних агрегатів. Насос вважатиметься основним, якщо він вибраний даним перемикачем. Вибраний насос постійно працюватиме від ПЧ, а інші підключатися як додаткові.

Основні вхідні дані та вихідні сигнали станції управління третього підйому наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Вхідні дані і вихідні сигнали станції керування 3-го підйому

Опис сигналу	Примітка
Тиск води	Датчик тиску на виході групи насосних агрегатів (4-20мА)
Сигнал завдання швидкості (0-10В або 4-20мА)	На аналоговий вхід перетворювача частоти
Основний насос	Вибір основного насоса що працює від ПЧ
Автоматичне управління	Перемикач "Автомат - Викл - Ручний"
Датчик тиску	Сигналізатор наявності тиску на вході насосного агрегату
Датчик тиску	Манометр електроконтакта на виході групи насосних агрегатів (НУ і ВУ тиску)
Висока температура електродвигуна	За наявності вбудованого термореле або термоопору
Контроль мережі	Відмова мережі електроживлення
Аварія ПЧ	Аварійний стан частотного перетворювача
Аварія УПП	Аварійний стан пристрою плавного пуску
Електрозасувка відкрита	Положення електрозасувки Відкрито/закрито
Електрозасувка закрита	Положення електрозасувки Відкрито/закрито
Аварія електрозасувки	Несправність електрозасувки
Пуск ПЧ	Сигнал пуску перетворювача частоти
Пуск УПП	Сигнал пуску пристрій плавного пуску
Робота НА від ПЧ	Насосний агрегат включений від перетворювача частоти
Робота НА від УПП	Насосний агрегат включений від пристрою плавного пуску
Робота НА від мережі	Насосний агрегат включений від мережі
Електрозасувку відкрити	Команда на відкриття електрозасувки

1.4 Структура системи керування

В об'єкті керування, що розробляється, у якості основного виступає контур регулювання тиском води у водопровідній системі будівлі. Вхідним параметром об'єкта є командний сигнал щодо уставки тиску води на блок керування перетворювачем частоти. Вихідним параметром об'єкта керування є тиск води у водопроводі. Основним завданням розроблюваної системи автоматичного керування є підтримка заданого тиску води у водопроводі при різному навантаженні на водопровідну систему будівлі.

Локальна система автоматичного керування тиском води у водопроводі містить датчик тиску, виконавчий пристрій, яким фактично є блок керування перетворювачем частоти, пристрій управління, що формує команду перетворювачу частоти на підставі вимірюного значення тиску води, і пульт оператора, за допомогою якого задається режим роботи системи (рис. 1.6) .

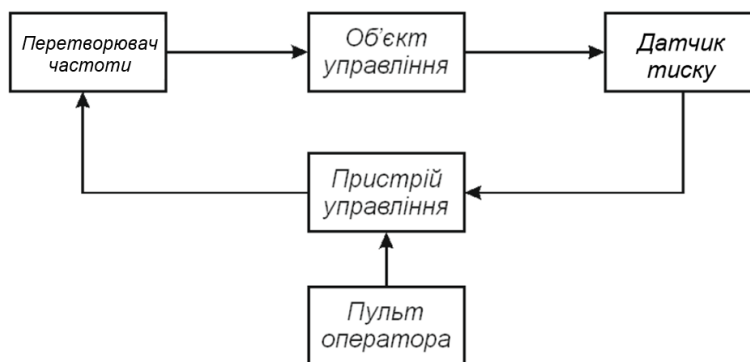


Рисунок 1.6 – Структурна схема системи автоматичного керування

Комплекс керування технологічним обладнанням складається з пристроїв збору інформації (датчики тиску), еталонів і станів обладнання (установка тиску води у водопроводі будинку), системи контролю стану обладнання, програми керування, що реалізують формування керуючого впливу (рис. 1.7).

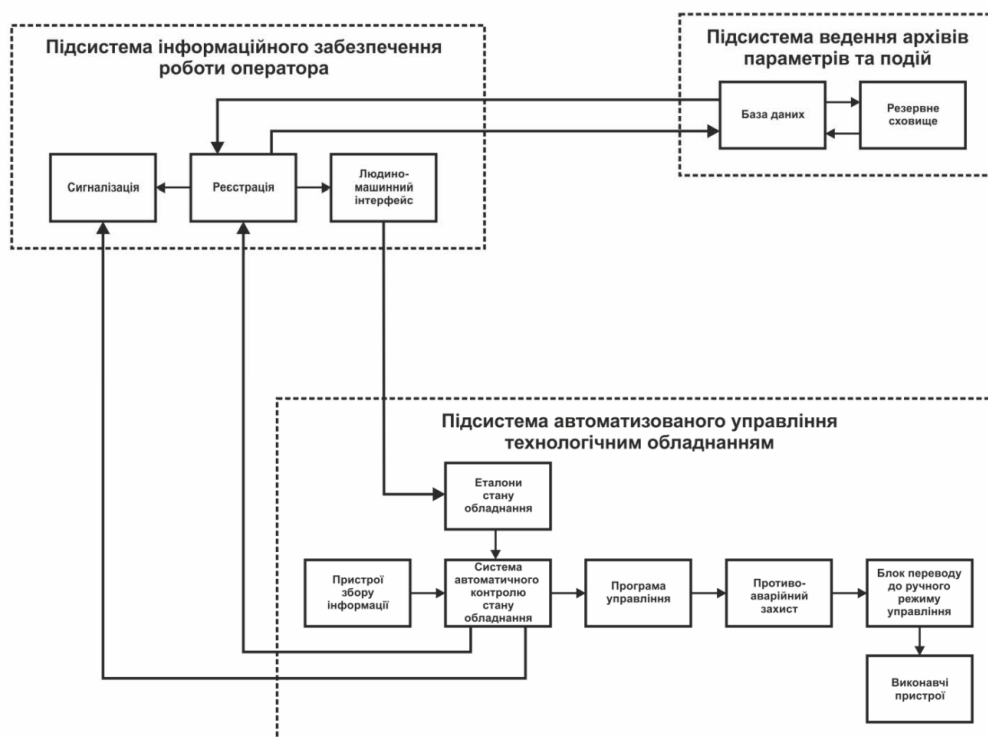


Рисунок 1.7 – Структурна схема інформаційних потоків

Оскільки система повинна забезпечувати візуалізацію і контроль за перебігом технологічного процесу, вона має містити підсистему

інформаційного забезпечення роботи оператора. Ця підсистема складається з людино-машинного інтерфейсу, реєстрації параметрів процесів і сигналізації досягнення параметрами заданих значень.

Крім того, система повинна забезпечуватися архівуванням параметрів технологічних процесів, що відбуваються. Тому в ній має бути присутня підсистема ведення архівів параметрів і подій, що включає базу даних та резервне сховище. З урахуванням цього, розроблена структурна схема інформаційних потоків (рис. 1.7).

Структура на рис. 1.7 забезпечує підтримку заданого тиску у водопроводі будівлі, збір інформації про перебіг технологічного процесу, її реєстрацію, візуалізацію, збереження в базі даних і створення резервних копій. Крім того, використана структура забезпечує контроль за обладнанням і сигналізацію досягнення параметрами управління заданих значень.

Підсистема інформаційного забезпечення роботи оператора представлена як апаратно-програмний комплекс на базі персонального комп'ютера з операційною системою сімейства Microsoft Windows і SCADA системою Zenon, що виконує функції пульта оператора.

Підсистемою ведення архівів параметрів і подій є окремі програмні модулі SCADA системи Zenon.

Зв'язок між перерахованими апаратними комплексами відповідно до вимог забезпечується за допомогою локальної комп'ютерної мережі підприємства, а між програмним забезпеченням за допомогою стандартних протоколів.

Для системи автоматичного керування тиском води у водопроводі будівлі була розроблена функціональна схема автоматизації (рис. 1.8).

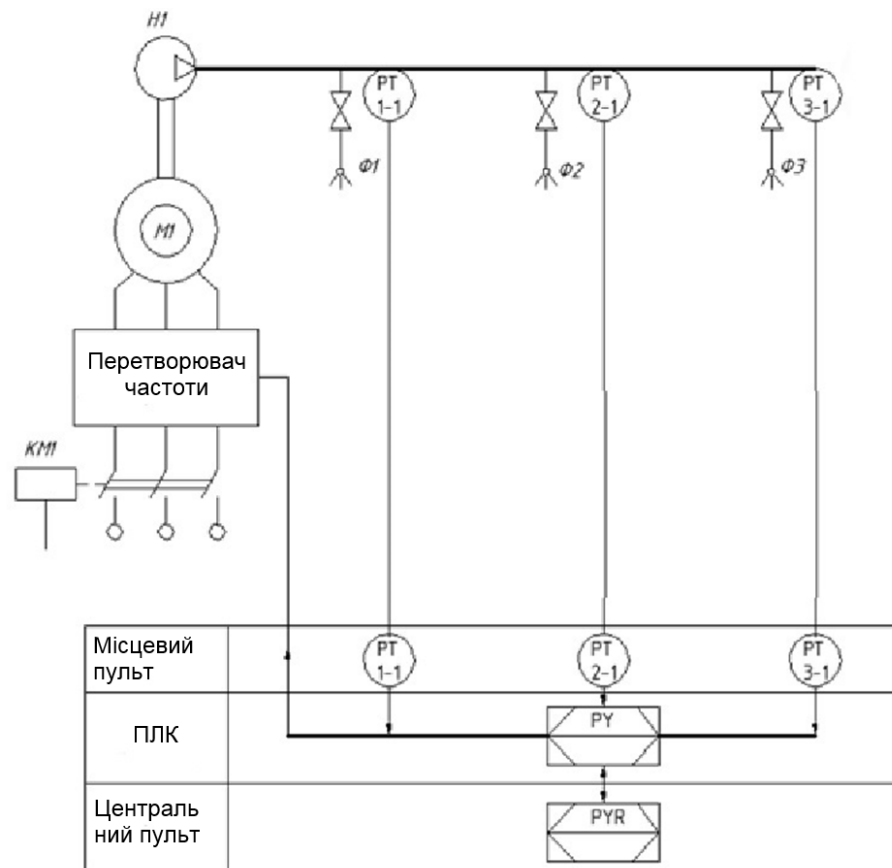


Рисунок 1.8 – Функціональна схема автоматизації

1.5 Формулювання завдань дослідження

Для досягнення основної мети – забезпечення оптимальних значень критеріїв якості роботи системи автоматичного керування тиском у водопроводі будівлі при змінному навантаженні на водопровідну систему необхідно виконати наступні завдання дослідження:

1. для проведення обчислювальних експериментів створити імітаційну модель системи автоматичного керування тиском води у водопроводі будівлі;
2. обґрунтувати метод синтезу системи автоматичного керування з урахуванням особливостей роботи об'єкта керування та визначених критеріїв якості роботи системи, та згідно з ним провести розрахунок регулятора тиску води у водопроводі будівлі;

3. провести дослідження залежностей критеріїв якості роботи системи керування від параметрів регулятора тиску води при різних навантаженнях на водопровідну систему будівлі.

1.6 Висновки по розділу

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – система водопостачання багатоповерхової будівлі. Об'єктом дослідження є одна з локальних систем автоматичного керування водопостачальної системи будівлі, завданням керування якої є забезпечення заданого тиску води у водопроводі згідно уставці. Предметом дослідження є закони автоматичного керування тиском води у водопроводі будівлі.

Особливість водопровідної системи будівлі як об'єкта автоматичного керування полягає в дуже різному характері основного збурюючого впливу, яким є навантаження на водопровідну систему. Тому дослідження ефективності запропонованих законів й алгоритмів автоматичного керування потрібно проводити для різних характеристик збурюючого впливу на систему керування.

Система автоматичного керування тиском води у водопроводі будівлі є одною з локальних систем керування водопостачальної системи, що виконує завдання стабілізації тиску води у водопроводі. Отже, основною задачею для системи автоматичного керування є якомога швидке реагування на зміну навантаження на водопостачальну систему й повернення тиску на заданий рівень, але не перевищуючи при цьому максимальну допустиму швидкість зміни у часі тиску води у водопроводі.

Об'єкт керування є неперервним та одномірним з одним керуючим входом (команда щодо уставки швидкості обертання валу двигуна приводу насоса на блок керування перетворювачем частоти) та одним керованим виходом (тиск води у водопроводі), але складний характер навантаження на водопровідну систему й обмеження щодо швидкості зміни у часі тиску води у водопроводі робить об'єкт управління складним для керування.

Отже, необхідно провести дослідження залежностей критеріїв якості роботи системи керування від параметрів регулятора тиску води при різних способах автоматичного керування й навантаженнях на водопровідну систему будівлі. Це дозволить для кожного характеру навантаження на водопровідну систему будівлі визначити найбільш ефективні спосіб керування та настройки регулятора.

2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ. ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ ТА КРИТЕРІЇВ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

2.1 Модель об'єкта керування

З урахуванням поставлених у першому розділі завдань досліджень у даному розділі створюється модель об'єкта керування як інструмент дослідження, де вхідною величиною є керуючий сигнал на перетворювач частоти приводу насоса, а вихідною – тиск води на виході насоса, та у місцях розгалуження водопровідної системи. При цьому розглядається магістральна водопровідна мережа будівлі (як правило, на рівні нульового поверху). Приймається, що насосна станція розташована поблизу будівлі, та має насос з частотно-регульованим приводом. При цьому розглядаються наступні можливі точки замірювання й контролю тиску у водопровідній мережі: на виході насоса, а також після першого, другого та третього розгалужень магістрального водопроводу.

Для дослідження алгоритмів автоматичного керування тиском у водопроводі системи водопостачання будівлі у додатку Simulink математичного пакету MATLAB створена імітаційна модель системи автоматичного керування тиском на виході насоса (рис. 2.1).

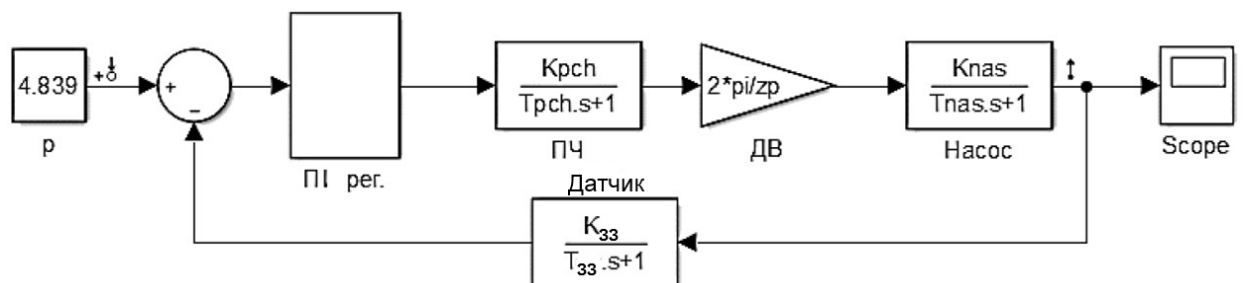


Рисунок 2.1 – Схема динамічної моделі системи автоматичного керування тиском води на виході насоса

При цьому використані відомі методики розрахунку параметрів динамічної моделі приводу насосу.

На рис.2.1: коефіцієнт підсилення перетворювача частоти приймається $K_{ПЧ} = 1$; постійна часу перетворювача частоти: $T_{ПЧ} = 1/5000 = 0,0002$ с; коефіцієнт підсилення насосу: $K_{НАС} = P_{ном}/\omega_{об} = 4,32/3000 = 0,01408$; постійна часу насосу приймається $T_{нас} = 0,1$ с; $Z_p = U_n/f^2 = 220/50^2 = 0,088$; коефіцієнт підсилення та постійна часу датчика тиску приймаються: $K_{ДТ} = 1$ та $T_{ДТ} = 0,1$ с.

На основі структурної схеми на рис. 2.1 у додатку Simulink математичного пакету MATLAB розроблена динамічна модель системи автоматичного керування тиском води на виході насосу (рис. 2.2).

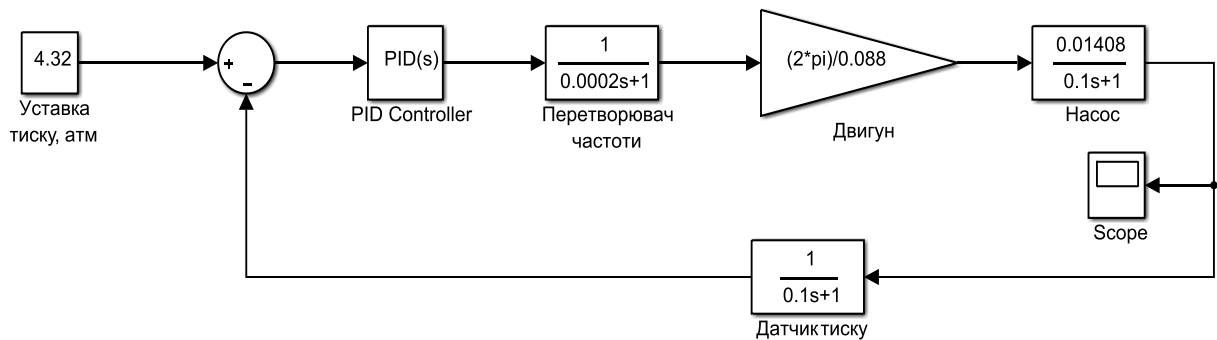


Рисунок 2.2 – Схема динамічної моделі системи автоматичного керування тиском на виході насосу, що реалізована у додатку Simulink математичного пакету MATLAB

Модель на рис. 2.2 не дозволяє дослідити зміни тиску у водопровідній системі, тож для встановлення динамічних властивостей водопровідної труби при її різній довжині щодо тисків води на вході й виході у додатку Simulink з використанням бібліотеки Simscape розроблена імітаційна модель водопровідної системи (рис. 2.3).

За допомогою уточненої моделі об'єкта керування з урахуванням інерційності водопровідної системи отримані експериментальні криві розгону за умови різкого відкриття заслінок у місцях розгалуження магістрального водопроводу (тобто, у місці розгалуження імітується різкий відбір води).

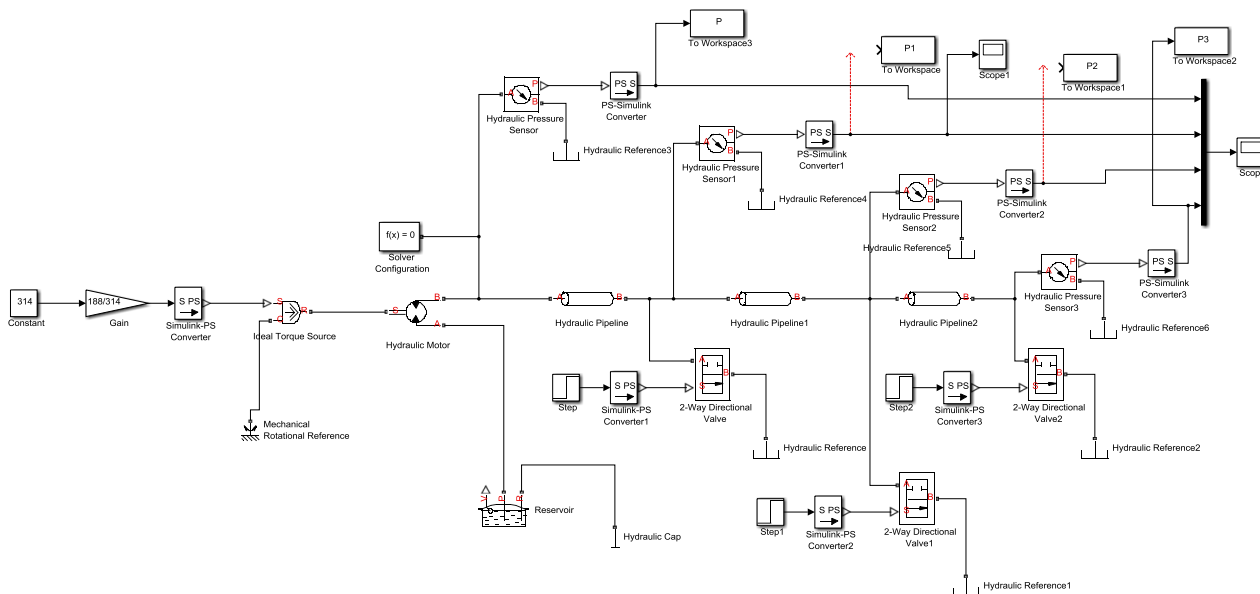


Рисунок 2.3 – Схема імітаційної моделі об'єкта керування, що реалізована у додатку Simulink пакету MATLAB за допомогою бібліотеки Simscape

На рис. 2.4 показаний результат параметричної ідентифікації водопровідної труби як складового елемента моделі об'єкта керування за тиском при замірюванні тиску після першого розгалуження магістрального водопроводу (відстань до насосу – 50 м).

З оглядом на незначну відстань, було прийнято, що труба не впливає на рівень тиску, а лише додає інерційності при його зміні у часі. Для першої точки контролю у ході ідентифікації у додатку «Control and Estimation Tool Manager» отримана постійна часу 0,00667 с.

Аналогічним чином для другої точки розгалуження (80 м до насосу) отримана постійна часу 0,00692 с. (результат ідентифікації наведений на рис. 2.5).

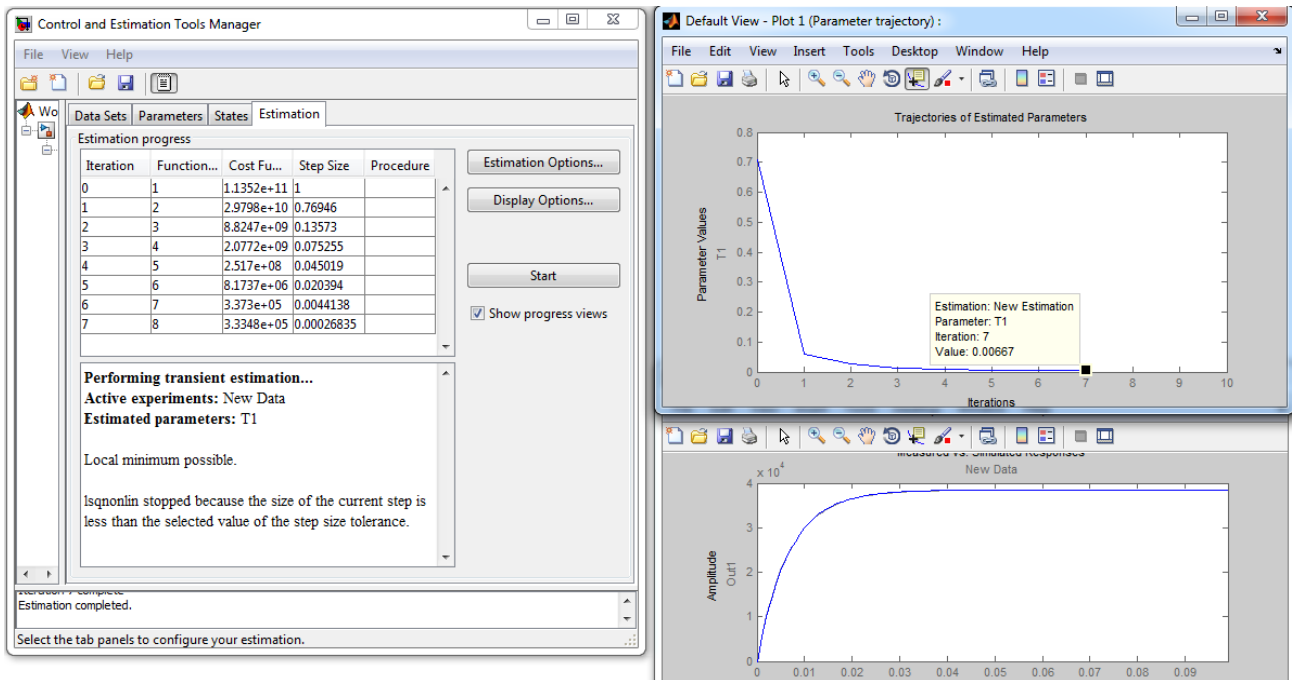


Рисунок 2.4 – Результат параметричної ідентифікації у додатку «Control and Estimation Tool Manager» водопровідної труби як об'єкта керування (відстань від насоса до точки відгалуження на першу секцію – 50 м)

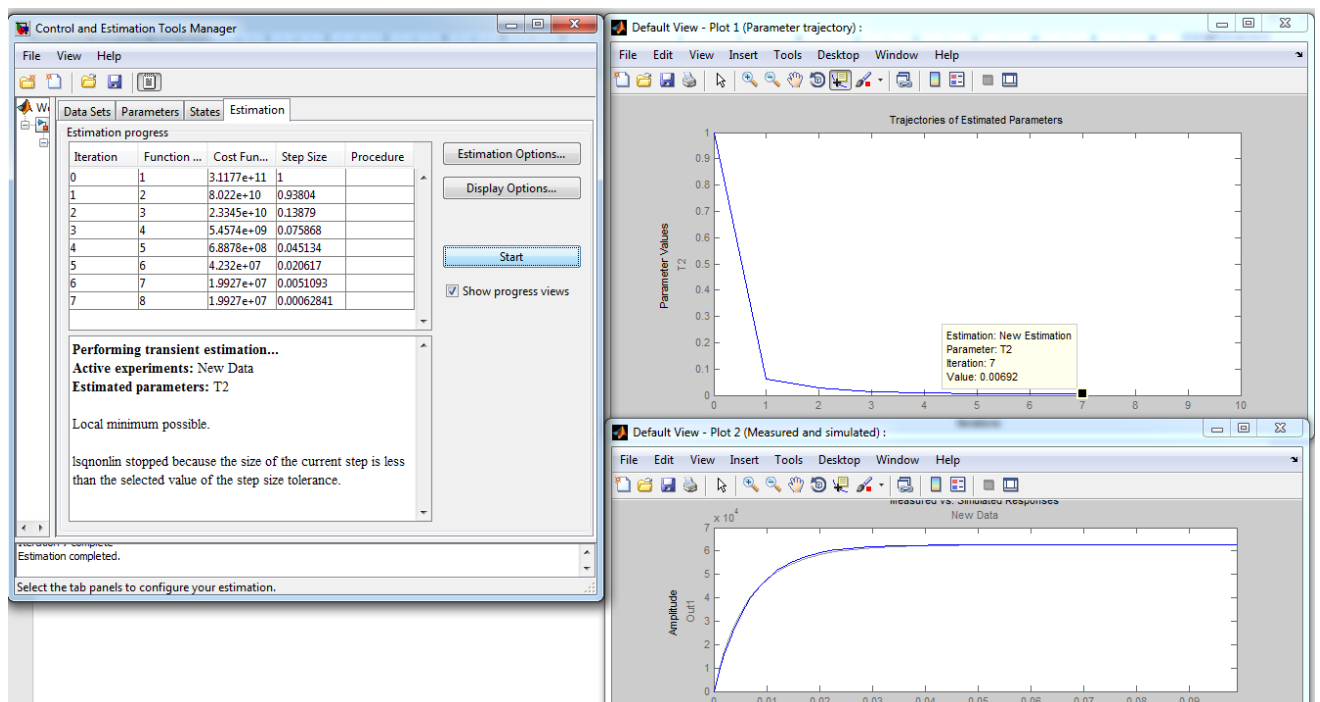


Рисунок 2.5 – Результат параметричної ідентифікації у додатку «Control and Estimation Tool Manager» водопровідної труби як об'єкта керування (відстань від насоса до точки відгалуження на другу секцію – 80 м)

З використанням аналогічного підходу для третьої точки розгалуження (110 м до насосу) отримана постійна часу 0,00629 с (рис. 2.6). Таким чином, можна зробити висновок, що при довжині трубопроводу до 110 м для усіх його ділянок характерна приблизно однакова інерційність щодо зміни тиску води, при цьому вона на порядок менше інерційності самого насосу, тож суттєво не впливає на перехідний процес на виході системи автоматичного керування.

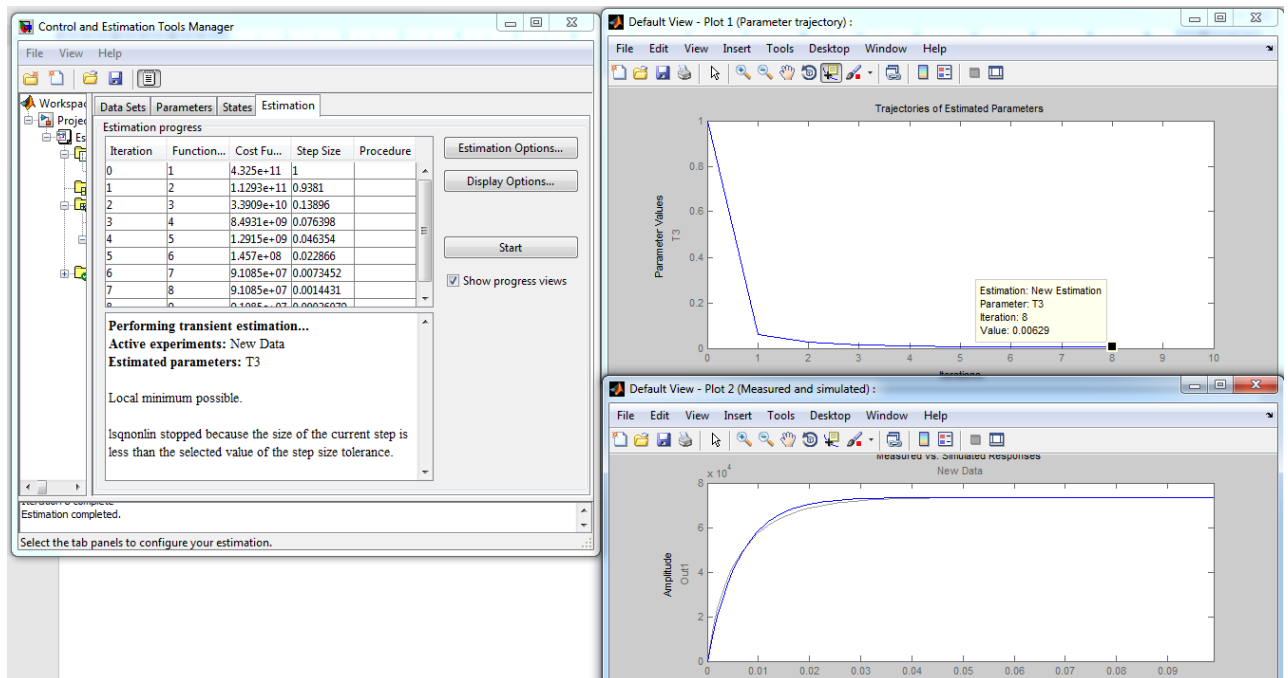


Рисунок 2.5 – Результат параметричної ідентифікації у додатку «Control and Estimation Tool Manager» водопровідної труби як об'єкта керування (відстань від насосу до точки відгалуження на третю секцію – 110 м)

Далі проведемо обґрунтування критеріїв якості роботи системи автоматичного керування тиском води у водопровідній системі багатоповерхового будинку.

2.3 Визначення критеріїв якості роботи системи автоматичного керування

Для якісного керування тиском води у трубах водопровідної системи будинку необхідно з максимальною швидкістю компенсувати перепади тиску

через початок або закінчення відбору води. У нашому випадку річ йде про стабілізацію тиску води після місць розгалуження на нульовому поверсі будинку. Тобто, якщо почався різкий відбір води першим під'їздом, тиск води повинен залишитися на заданому рівні для всіх наступних під'їздів будинку.

У такому разі ідеальною картиною буде миттєва компенсація перепадів тиску, але це неможливо через інерційність приводу насосу та водопровідної системи.

Крім того, при регулюванні тиску в трубах вкрай небажані різкі зміни в часі тиску як на виході насоса, так і в трубах. Тобто, є обмеження на швидкість зміни цих параметрів (за нормами максимальний допустимий диференціал тиску за часом повинен дорівнювати 0,33 атм/с). Крім того, двигун і насос також мають обмеження щодо розгону. Тому використання критеріїв якості, які направлені на забезпечення якомога меншого перехідного процесу на виході системи керування є недоцільним, як і використання оптимального за швидкодією регулятора.

З урахуванням описаних вимог до тиску води у водопровідній системі будинку сформулюємо наступні критерії якості роботи системи автоматичного керування:

1. за умови компенсації збурення у вигляді різкого відбору води у місці розгалуження водопровідної системи відхилення фактичного тиску води від заданого рівня (за нормами – 4,32 атм.) повинне бути якомога менше, але без перевищення максимального допустимого диференціалу тиску за часом 0,33 атм/с при відпрацюванні системою збурення;
2. за умови компенсації збурення час повернення фактичного тиску на заданий рівень повинен бути якомога менше, але без перевищення максимального допустимого диференціалу тиску за часом 0,33 атм/с при відпрацюванні системою збурення.

2.3 Висновки до розділу

Динамічна модель об'єкта керування складається з моделі перетворювача частоти, асинхронного електродвигуна, насоса, труб. При цьому перетворювач частоти приймається безінерційним елементом. Також, опір переміщенню води, що створюється різними гідравлічними елементами в трубах, приймається незмінним.

Для створення динамічної моделі привода насосу і самого насосу використані відомі методики розрахунку параметрів динамічної моделі приводу з асинхронним електродвигуном.

Встановлено, що при довжині трубопроводу до 110 м для усіх його ділянок характерна приблизно однакова інерційність щодо зміни тиску води, при цьому вона на порядок менше інерційності самого насосу, тож суттєво не впливає на перехідний процес на виході системи автоматичного керування.

З урахуванням вимог до регулювання тиску води у водопровідній системі будинку сформовані наступні критерії якості роботи системи автоматичного керування:

1. за умови компенсації збурення у вигляді різкого відбору води у місці розгалуження водопровідної системи відхилення фактичного тиску води від заданого рівня (за нормами – 4,32 атм.) повинне бути якомога менше, але без перевищення максимального допустимого диференціалу тиску за часом 0,33 атм/с при відпрацюванні системою збурення;
2. за умови компенсації збурення час повернення фактичного тиску на заданий рівень повинен бути якомога менше, але без перевищення максимального допустимого диференціалу тиску за часом 0,33 атм/с при відпрацюванні системою збурення.

3 РОЗДІЛ 3 СИНТЕЗ І ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

3.1 Синтез та дослідження системи керування

На основі визначеної у другому розділі моделі об'єкта керування у додатку Simulink математичного пакету MATLAB створена динамічна модель системи автоматичного керування (рис. 3.1).

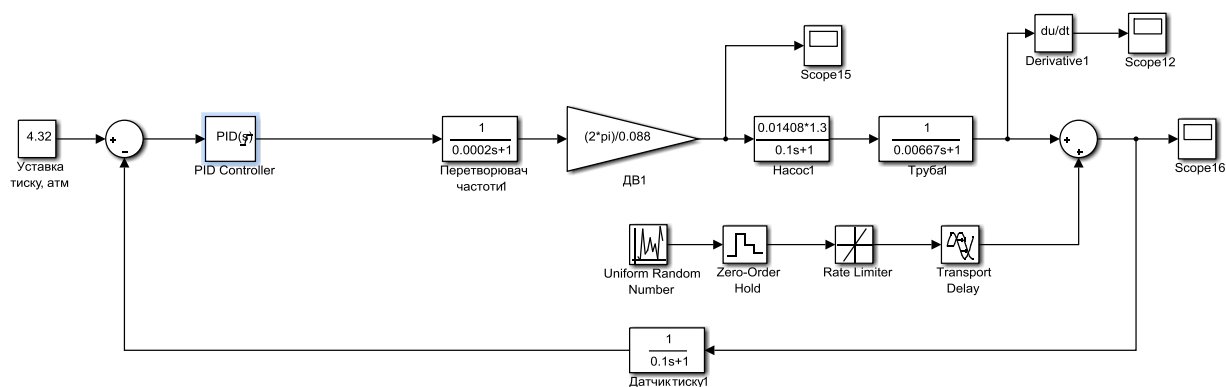


Рисунок 3.1 – Схема моделі системи автоматичного керування на основі класичного ПІД-контролера

У моделі на рис. 3.1 додана модель імітації зміни у часі навантаження на водопостачальну систему, що є збурюючим впливом та призводить до зміни тиску води після місць розгалуження у водопровідній системі. Випадкову зміну у часі відбору води мешканцями під'їздів імітує генератор випадкових чисел “Uniform Random Number” на рис. 3.1. Блок “Rate Limiter” дозволяє задавати різну динаміку відбору води, а за допомогою блоку “Transport Delay” враховується затримка щодо зміни тиску у зоні вимірювання, що знаходиться на відстані від точки розгалуження. Параметри блоків моделі імітації зміни у часі навантаження на водопостачальну систему визначені за результатами статистичного аналізу водоспоживання мешканцями багатоповерхового будинку.

За умови синтезу системи автоматичного керування тиском у магістральному водопроводі з урахуванням вимог, встановлених у другому розділі, спочатку використаємо спеціалізований інструмент «PID Tuner». При цьому в даному інструменті, з оглядом на вимогу щодо допустимої швидкості зміни у часі тиску $0,33$ атм/с, а також з урахуванням малої інерційності об'єкта керування, задаймо мінімальний рівень швидкодії системи керування (рис. 3.2).

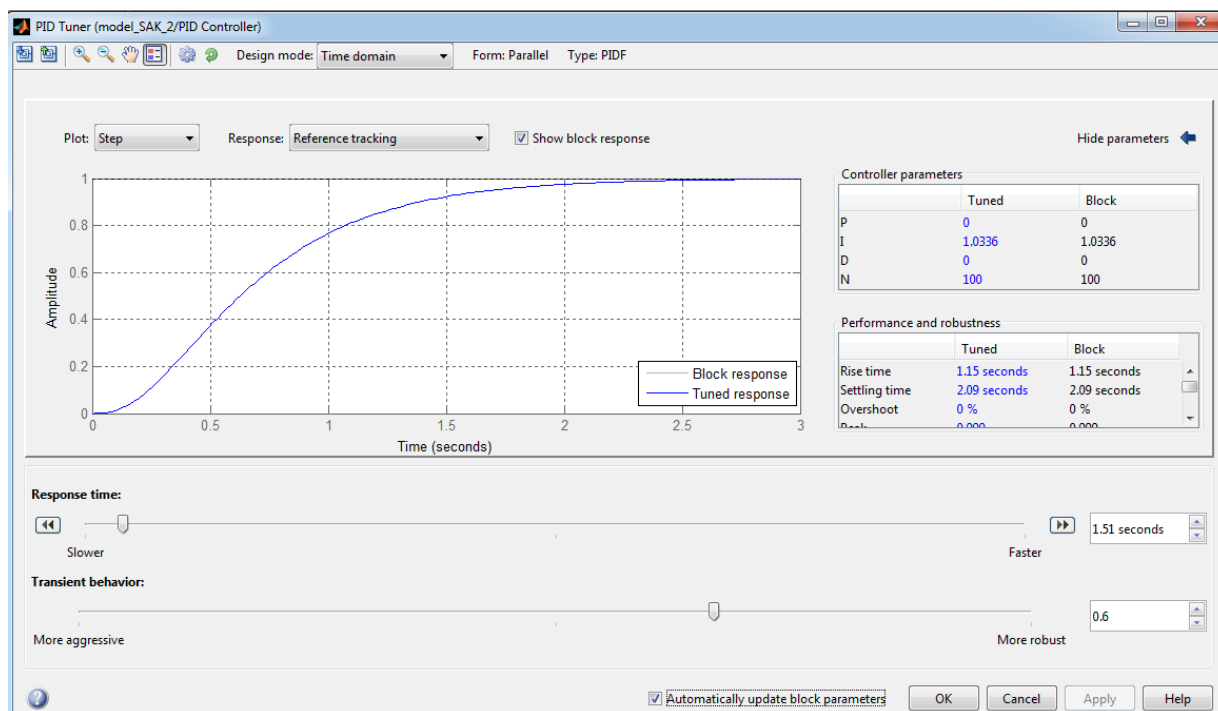


Рисунок 3.2 – Налаштування ПІД-контролера на мінімальну швидкодію за допомогою додатку «PID Tuner»

Але, результати моделювання показали, що навіть при мінімально заданому рівні швидкодії системи автоматичного керування при її синтезі за допомогою додатку «PID Tuner» маємо суттєве перевищення диференціалом тиску за часом свого допустимого рівня $0,33$ атм/с (рис. 3.3).

З рис. 3.3 видно, що навіть за умови налаштувань з мінімальною швидкодією маємо суттєве перевищення диференціалу тиску допустимого рівня.

Тому в регулятор введемо обмеження щодо швидкості зміни у часі керуючого сигналу на відповідному рівні за допомогою блоку “Rate Limiter” (рис. 3.4).

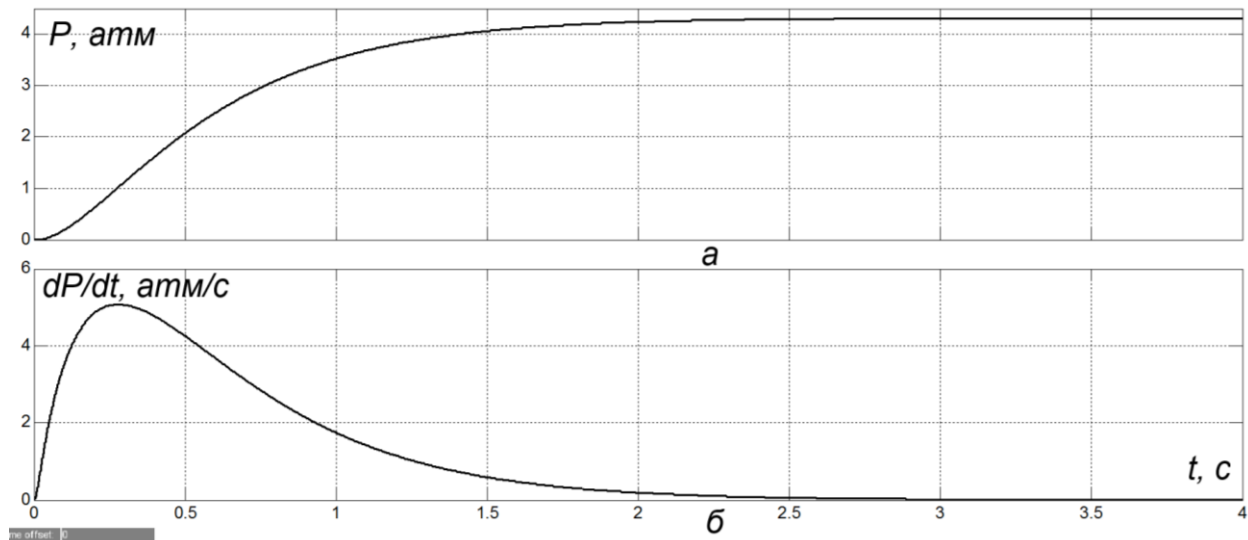


Рисунок 3.3 – Зміна у часі тиску води (а) та його диференціалу за часом (б)

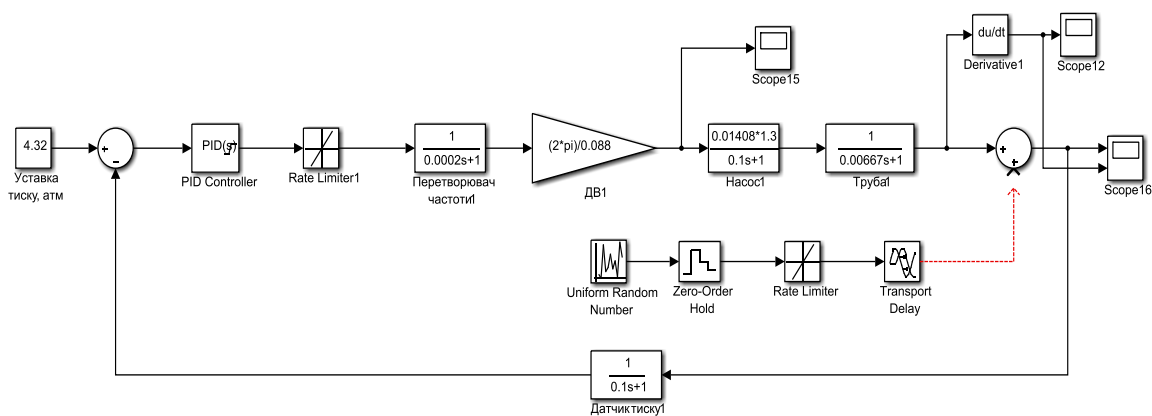


Рисунок 3.4 – Схема динамічної моделі САК з ПІД-регулятором та обмеженням щодо швидкості зміни у часі керуючого сигналу

Але, як показали результати досліджень системи керування на рис. 3.5, навіть при наявності цього обмеження при значному рівні швидкодії системи керування, який задається при її синтезі, також маємо суттєве перевищення диференціалом тиску за часом свого допустимого рівня.

У ході досліджень встановлено, що позитивний ефект використання штучного обмеження швидкості зміни у часі керуючого сигналу має місце тільки за умови налаштування неперервного ПІД-регулятора, при якому час перехідного процесу є сумірним з часом досягнення тиском заданого значення за умови його лінійної зміни у часі зі швидкістю, що відповідає максимально допустимому рівню.

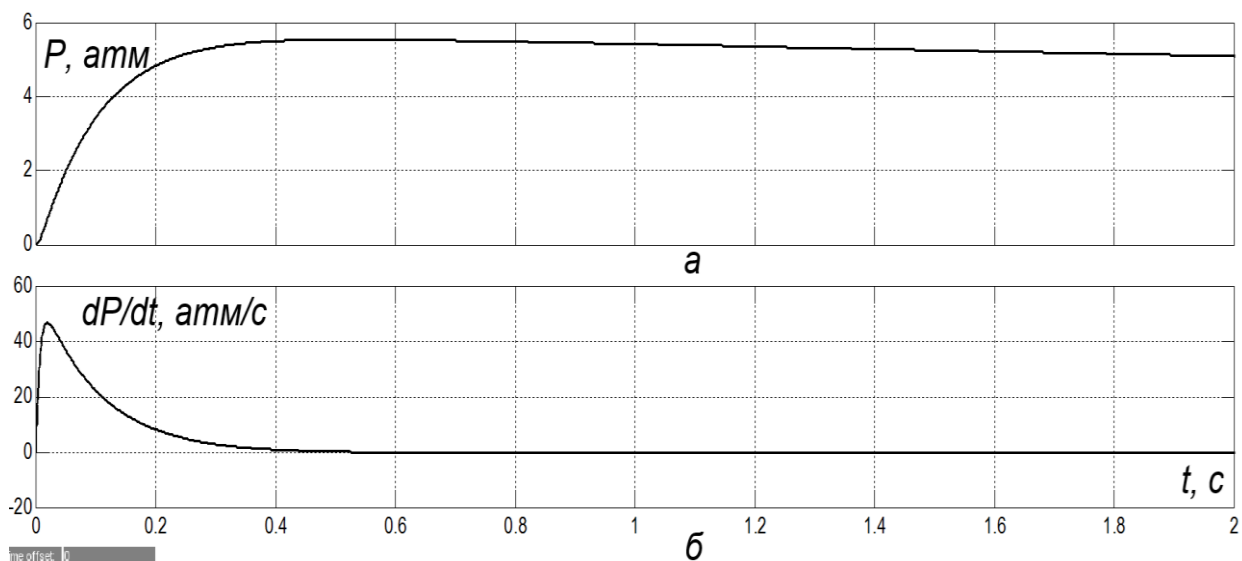


Рисунок 3.5 – Динаміка для ПІД-регулятора з обмеженням керуючого сигналу, що налаштований на високу швидкодію

Але, навіть при коректному завданні швидкодії системи при її синтезі, з рис.3.6 а ми бачимо, що за умови різкої зміни навантаження на водопостачальну систему при такому регуляторі має місце перерегулювання до 15%. Диференціал тиску за часом при цьому не перевищує свого допустимого рівня, що видно з рис.3.6 б.

Тож, запропонований ще один нестандартний дискретний регулятор, що поєднаний з інтегруючою ланкою, зі статичною характеристикою виду, який показаний на рис. 3.7.

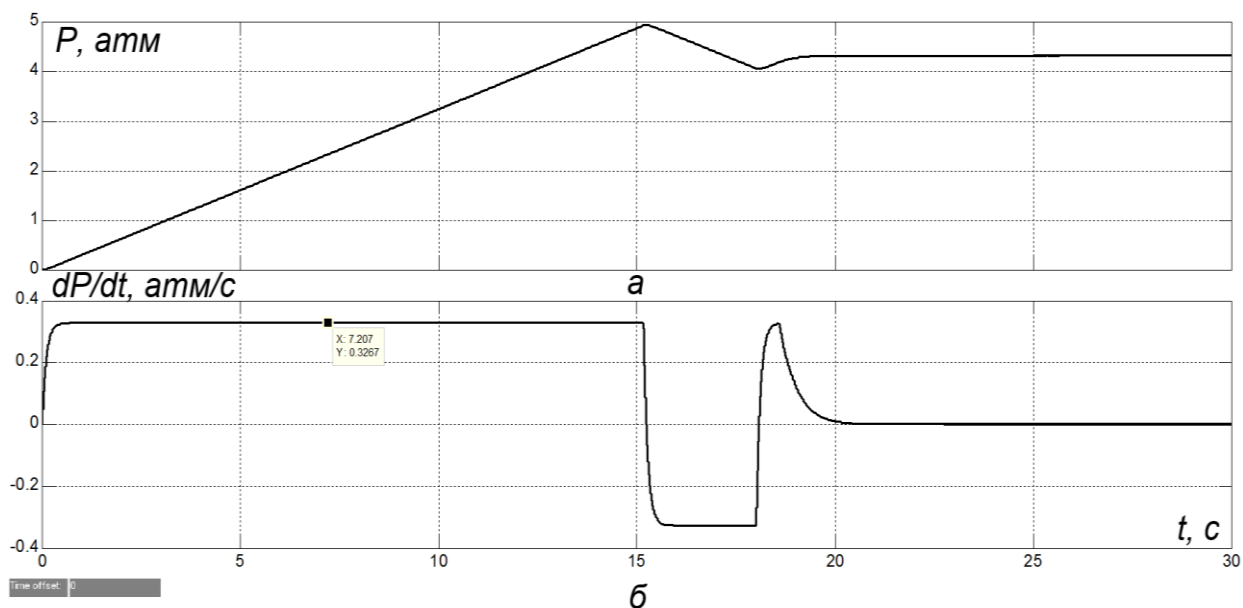


Рисунок 3.6 – Динаміка для ПІД-регулятора з обмеженням керуючого сигналу, що налаштований на мінімальну швидкодію, як показано на рис. зверху

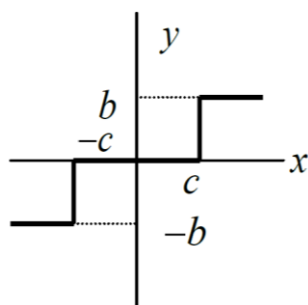


Рисунок 3.7 – Статична характеристика дискретної складової запропонованого дискретного регулятора

Схема моделі системи автоматичного керування тиском води з запропонованим дискретним регулятором показана на рис. 3.8.

З результатів моделювання роботи системи керування з дискретним регулятором ми бачимо, що при використанні такого регулятора спостерігається незначна статична похибка до 1%, але перерегулювання при цьому відсутнє (рис.3.9 а). Диференціал тиску води також не перевищує свій допустимий рівень (рис.3.9 б).

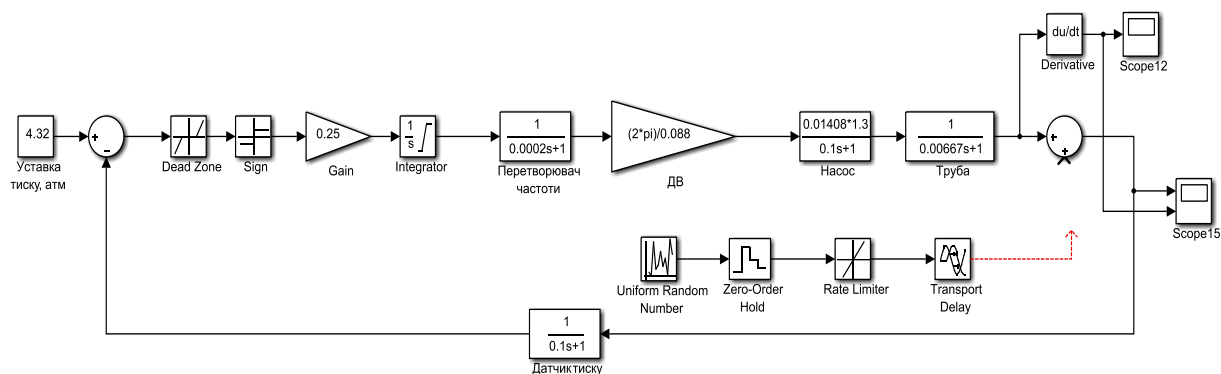


Рисунок 3.8 – Динамічна модель системи автоматичного керування з дискретним регулятором з нелінійною статичною характеристикою

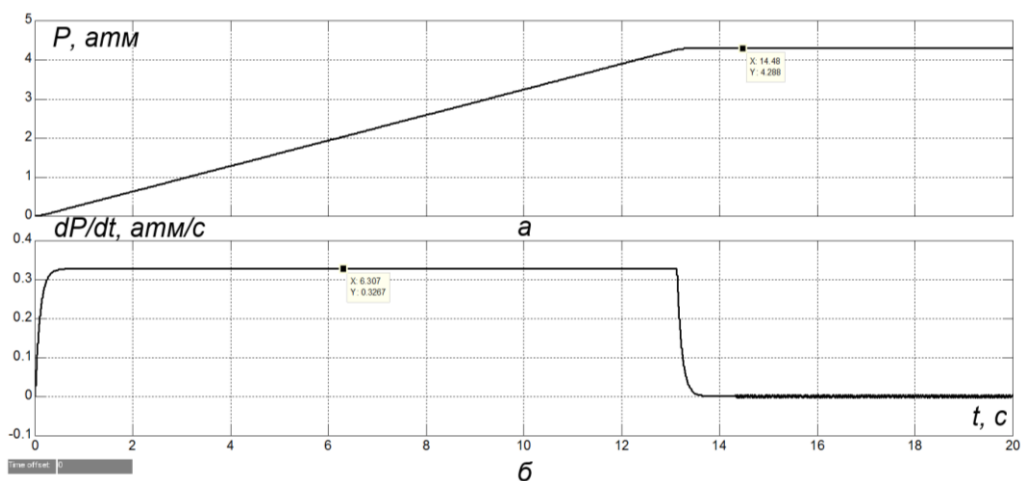


Рисунок 3.9 – Результати моделювання роботи системи автоматичного керування з дискретним регулятором з нелінійною статичною характеристикою

Дослідження показали, що є граничний рівень зони нечуттєвості статичної характеристики дискретного регулятора, нижче якого опускатися не рекомендовано, оскільки з'являються коливання керованої величини (рис.3.10), яка минає зону нечуттєвості через занадто малу її ширину. У ході досліджень встановлено, що ця гранична ширина зони нечуттєвості становить 0,042 атм.

Щоб оцінити, який з запропонованих регуляторів й методів синтезу системи керування є ефективнішим, розроблені суміщені динамічні моделі системи автоматичного керування з різними запропонованими регуляторами (рис. 3.11).

При цьому за критерій ефективності керування прийнятий інтеграл модуля відхилень фактичного значення тиску води у водопроводі від заданого рівня.

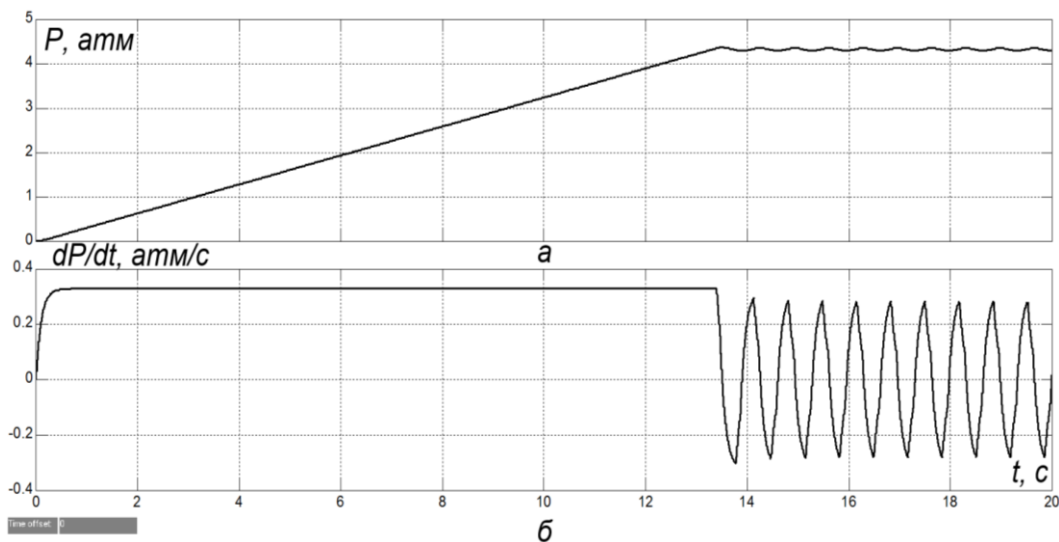


Рисунок 3.10 – Результат моделювання системи керування з дискретним регулятором з нелінійною статичною характеристикою з незначною зоною нечуттєвості

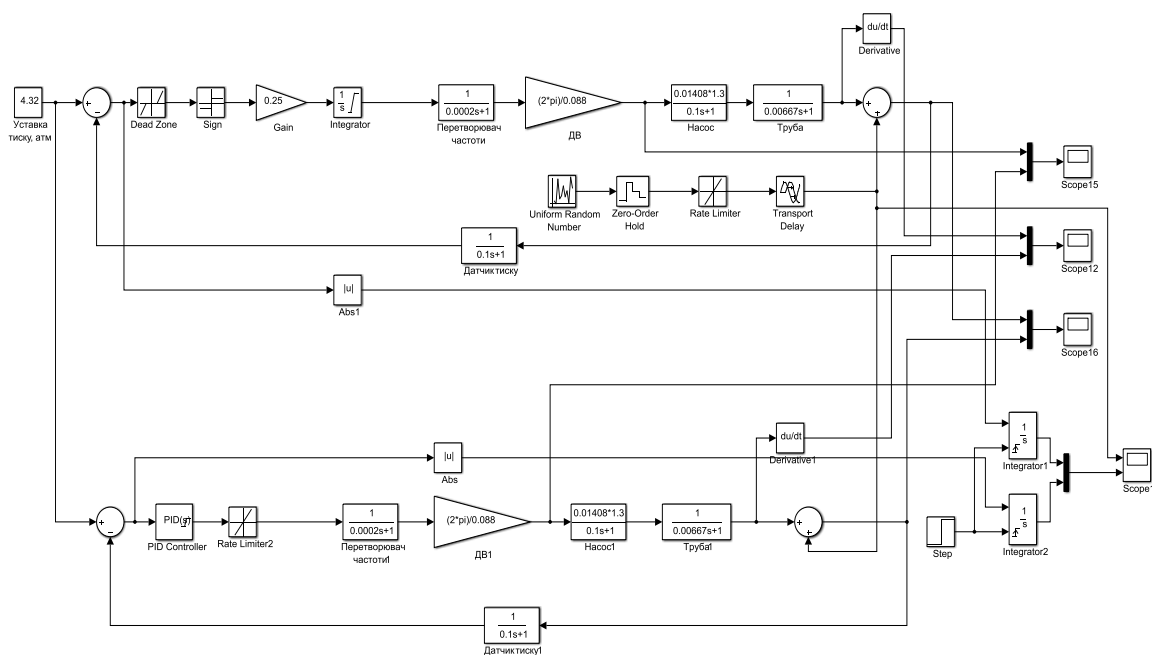


Рисунок 3.11 – Суміщені динамічні моделі систем автоматичного керування з різними запропонованими регуляторами

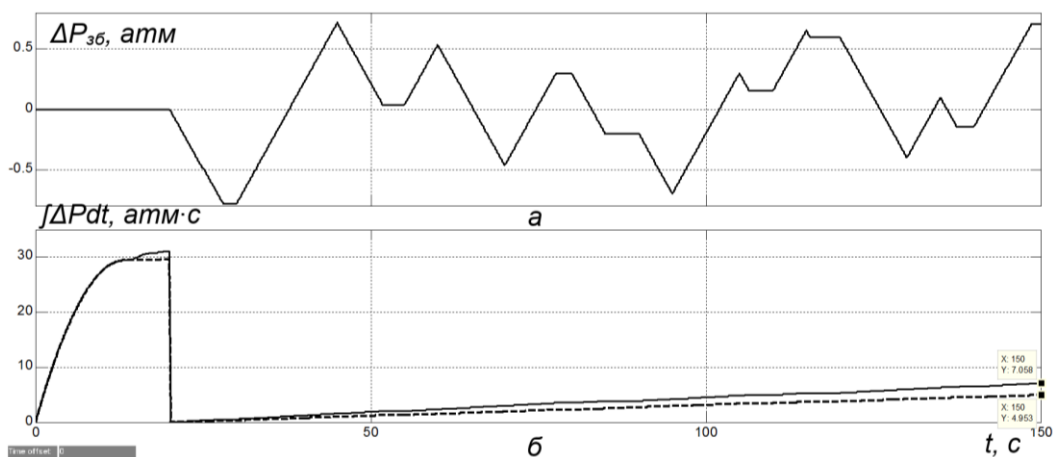


Рисунок 3.12 – Динаміка збурюючого впливу та інтегралів статичної похибки керування при динаміці зміни навантаження 0,1 атм/с при різних регуляторах (пунктирна лінія – дискретний регулятор)

З результатів моделювання на рис. 3.12 ми бачимо, що за умови значної динаміки збурюючого впливу (тобто, навантаження на водопостачальну систему) 0,1 атм/с ефективніше працює дискретний нелінійний регулятор, оскільки маємо меншу інтегральну похибку керування при стабілізації тиску води.

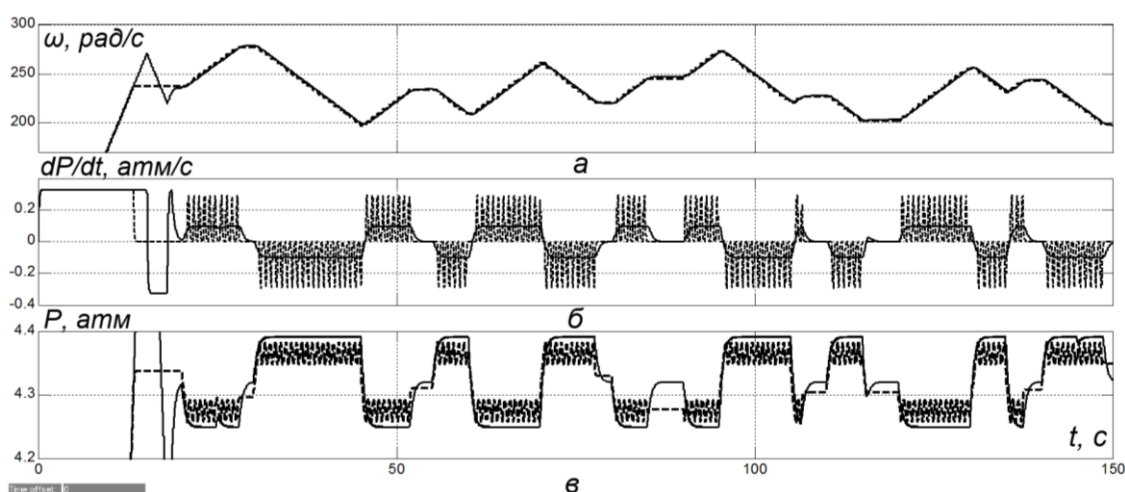


Рисунок 3.13 – Результат моделювання систем керування – зміна у часі обертання валу насоса (а), диференціалу тиску води (б) та тиску води (в) у водопроводі при швидкій зміні у часі навантаження на водопостачальну систему

Також з результатів моделювання на рис. 3.13 ми бачимо, що за умови роботи дискретного нелінійного регулятора спостерігаються незначні періодичні коливання як тиску води у трубі, так і його диференціалу за часом через те, що по мірі зміни у часі навантаження керуючий вплив змінюється регулятором східчасто. Але, відносна амплітуда цих коливань не перевищує 0,05%, тому це не позначається на якості подачі води до споживачів.

Також з рис. 3.13 в видно, що при використанні ПІД-регулятора відбуваються більші відхилення тиску від свого заданого рівня 4,32 атм., але не набагато більше, ніж у випадку використання дискретного нелінійного регулятора (на 0,02 атм., що менше 0,1%).

В обох випадках маємо відсутність перевищення диференціалу тиску за часом допустимого рівня 0,33 атм/с. (рис.3.13 б).

З отриманих для інших навантажень на водопостачальну систему результатів моделювання на слайді ми бачимо, що за умови незначної (у десять разів меншої інтенсивності) динаміки збурюючого впливу 0,01 атм/с (рис.3.14 а) ефективніше працює ПІД регулятор з обмеженням швидкості зміни у часі керуючого впливу, оскільки маємо меншу інтегральну похибку керування при стабілізації тиску (рис.3.14 б).

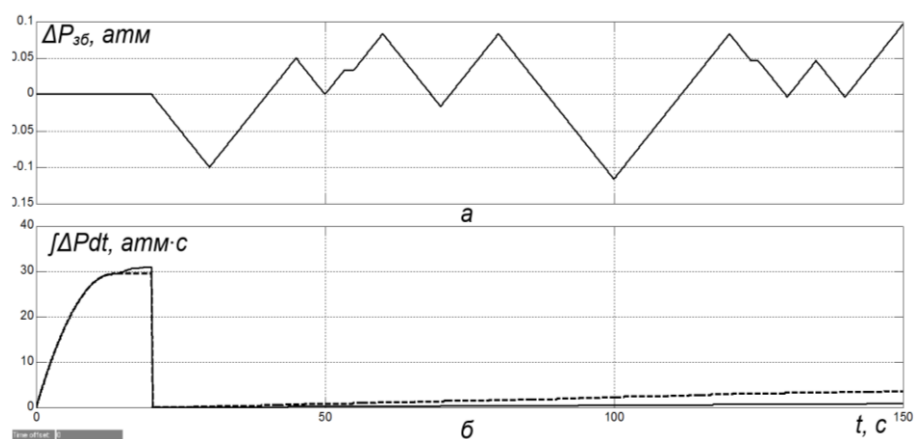


Рисунок 3.14 – Динаміка збурюючого впливу та інтегралів статичної похибки керування при динаміці зміни навантаження 0,01 атм/с при різних регуляторах (пунктирна лінія – дискретний регулятор)

З результатів моделювання роботи систем керування на рис.3.15 ми бачимо, що за рахунок зменшення динамічності навантаження на водопостачальну систему ми маємо значно менші коливання тиску у випадку використання дискретного регулятора (рис.3.15,в), але тиск при цьому відхиляється від заданого рівня на значно більшу величину, ніж у випадку використання ПД-регулятора.

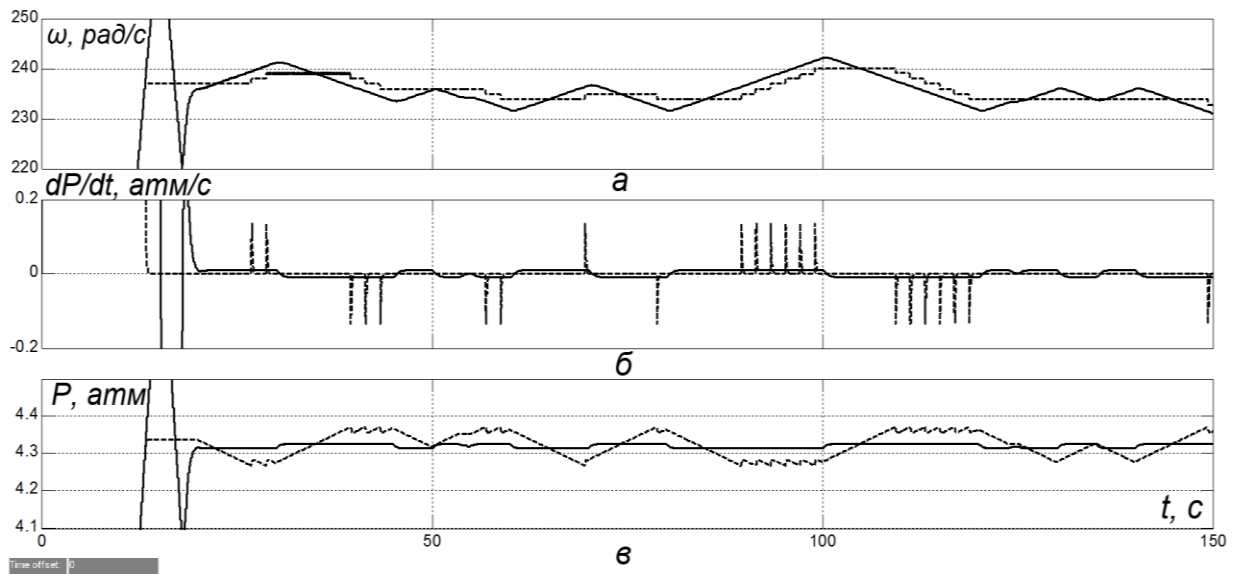


Рисунок 3.15 – Результат моделювання систем керування – зміна у часі обертання валу насоса (а), диференціалу тиску води (б) та тиску води (в) у водопроводі при повільній зміні у часі навантаження на водопостачальну систему

В обох випадках маємо відсутність перевищення диференціалу тиску за часом допустимого рівня 0,33 атм/с (рис. 3.15).

3.2 Висновки до розділу

Позитивний ефект використання штучного обмеження швидкості зміни у часі керуючого сигналу має місце тільки за умови налаштування неперервного ПД-регулятор, при якому час перехідного процесу є сумірним з часом досягнення тиском заданого значення за умови його лінійної зміни у часі зі швидкістю, що відповідає максимально допустимому рівню.

Виявлено, що позитивний ефект використання дискретного регулятора з нелінійною статичною характеристикою сумісно з інтегруючою ланкою має місце при зоні нечуттєвості статичної характеристики у діапазоні значень від 0,042 до 0,06 атм.

Отримані результати досліджень дозволили визначити область ефективного використання запропонованих регуляторів. Неперервний ПІД-регулятор з обмеженням швидкості зміни у часі керуючого сигналу доцільно використовувати за умови навантаження на водопостачальну систему, що змінюється у часі повільно (до 0,01-0,03 атм/с), а дискретний регулятор з нелінійною статичною характеристикою сумісно з інтегруючою ланкою доцільно використовувати при динамічній зміні навантаження (більше 0,05 атм/с).

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Цифрова модель об'єкта керування

Вихідними даними для експериментального розділу є система автоматичного керування, що синтезована у третьому розділі кваліфікаційної роботи (рис. 4.1).

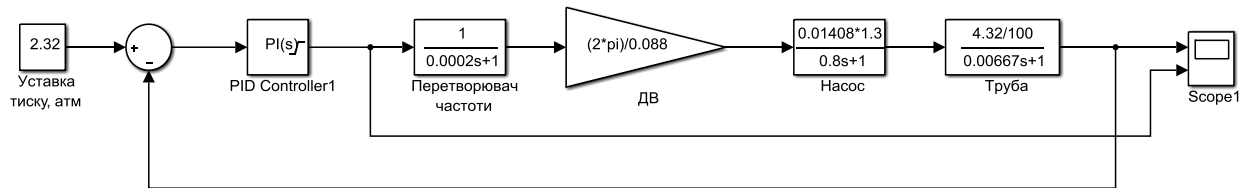


Рисунок 4.1 – Імітаційна модель синтезованої неперервної системи автоматичного керування

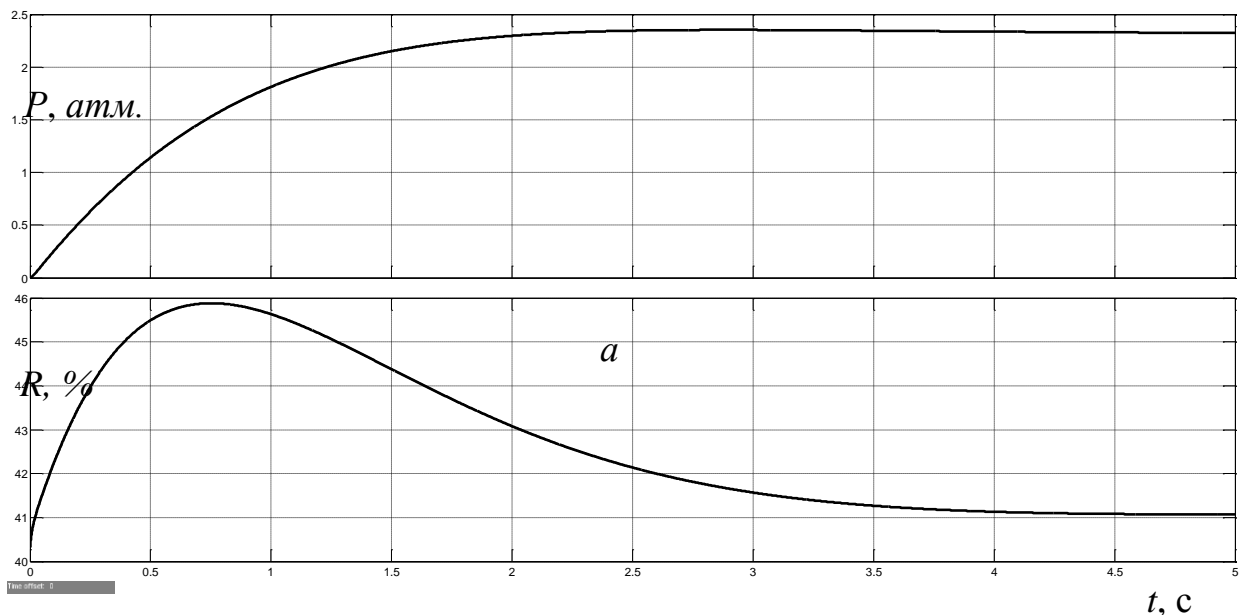


Рисунок 4.2 – Результати моделювання синтезованої неперервної системи автоматичного керування (*a* – керована величина, *б* – керуюча) при завданні уставки 2,32 атм.

З метою створення програмного забезпечення для системи автоматичного керування отримаємо цифрову модель об'єкта керування. Для цього виконаємо заміну неперервних елементів об'єкта керування на цифрові. Для перетворення

неперервних аперіодичних ланок розроблена програма на мові програмування MATLAB (програма 4.1).

Програма 4.1 Перетворення неперервної моделі об'єкта керування на цифрову

```
%Перетворення у цифрову форму аперіодичної ланки
wa1=tf([(2*pi)/0.088]*0.01408*1.3*(4.32/100), [0.8 1]);
wa1z=c2d(wa1, 0.1);
[a_a1, b_a1]=tfdata(wa1z);
a_a1=cell2mat(a_a1)
b_a1=cell2mat(b_a1)
```

Результат роботи програми 4.1:

a_a1 =

0 0.006634012187270

b_a1 =

1.0000000000000000 -0.882496902584595

За результатами роботи програми 4.1, нехтуючи дуже малими інерційностями перетворювача частоти приводу насосу й водопровідної труби, сформуємо цифрову модель об'єкта керування (рис.4.3) та системи автоматичного керування у цілому (рис.4.4), задавши крок квантування за часом 0,1 с.

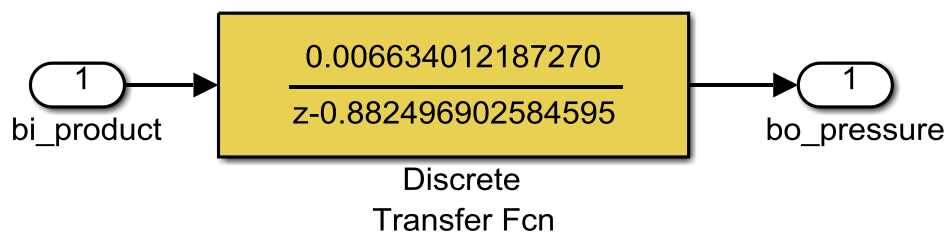


Рисунок 4.3 – Цифрова модель об'єкта керування

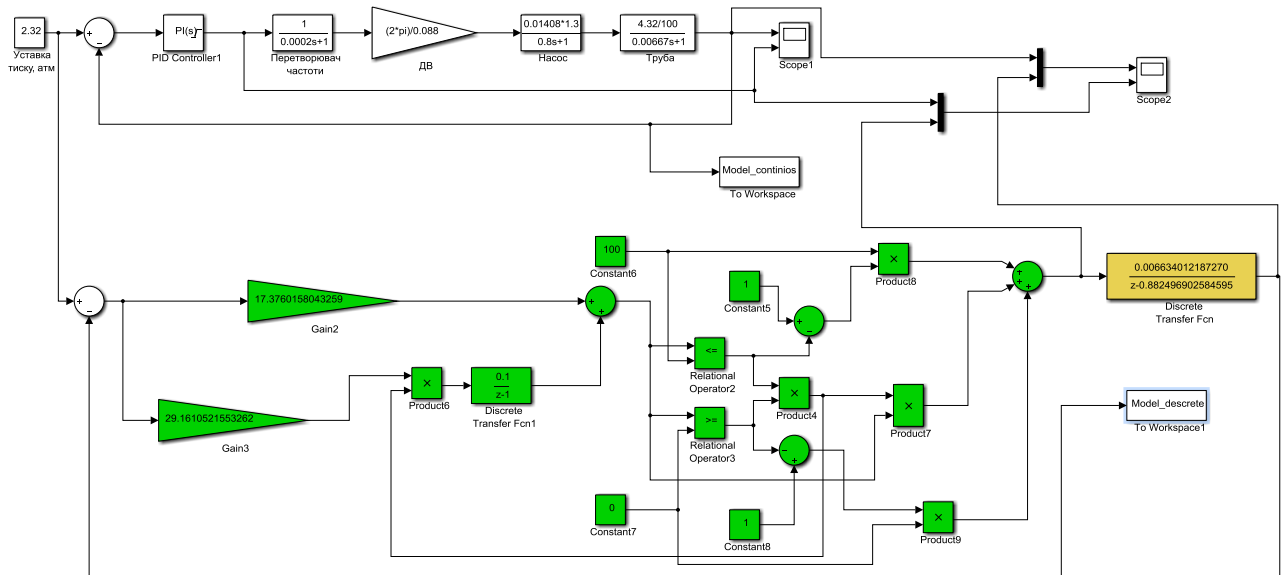


Рисунок 4.4 – Неперервна та цифрова моделі системи автоматичного керування

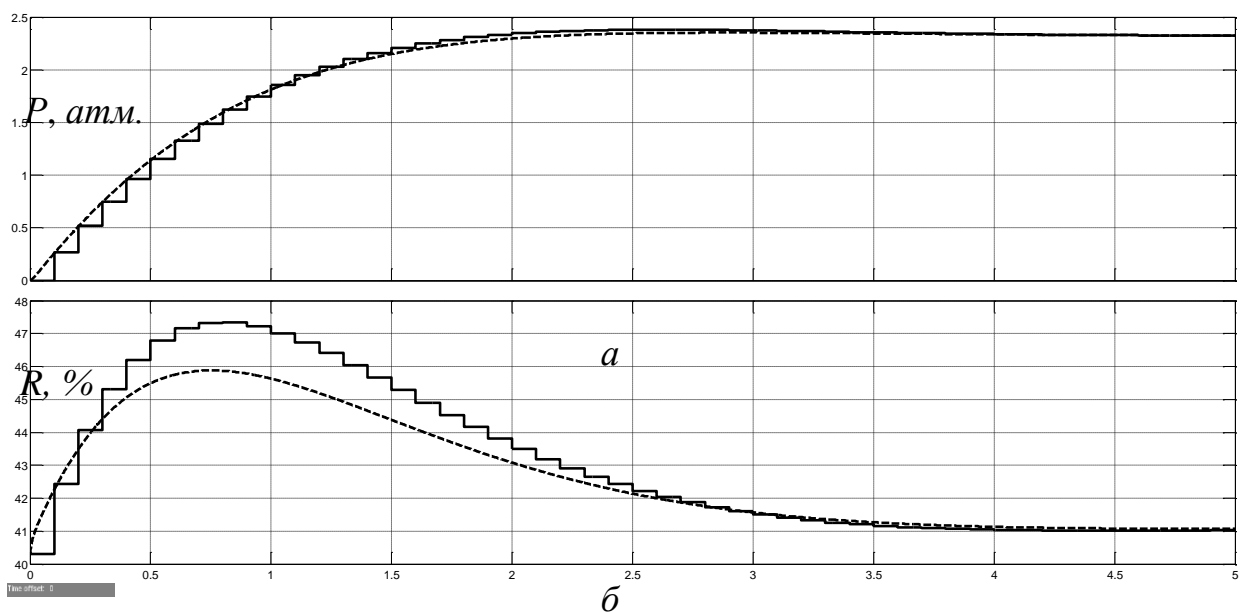


Рисунок 4.5 – Результати моделювання: а – керована величина; б – керуюча величина (пунктирна лінія – неперервна модель; суцільна – цифрова)

З рис. 4.5 можемо бачити, що графіки як керованої величини, так і керуючої для випадків неперервної та цифрової САК досить близькі один до одного. Розходження графіків пояснюється недостатньо малим кроком квантування за часом. Здійснимо більш точне оцінювання збіжності цих графіків за нормованим середньо-квадратичним відхиленням між точками кривих зміни у часі керованої та керуючої величин для неперервної та цифрової

моделей, підтвердивши таким чином адекватність цифрової моделі системи автоматичного керування по відношенню до неперервної моделі.

```
>> goodnessOfFit(Model_continuos,Model_descrete, 'NRMSE')*100
ans =
    94.639819009979945
```

Як видно за результатами оцінювання, маємо досить високий відсоток відповідності цифрової моделі системи автоматичного керування неперервній моделі по відношенню до керованої величини.

Згрупуємо модель цифрової САК за підсистемами (рис.4.6), одною з яких є регулятор, а іншою – об’єкт керування.

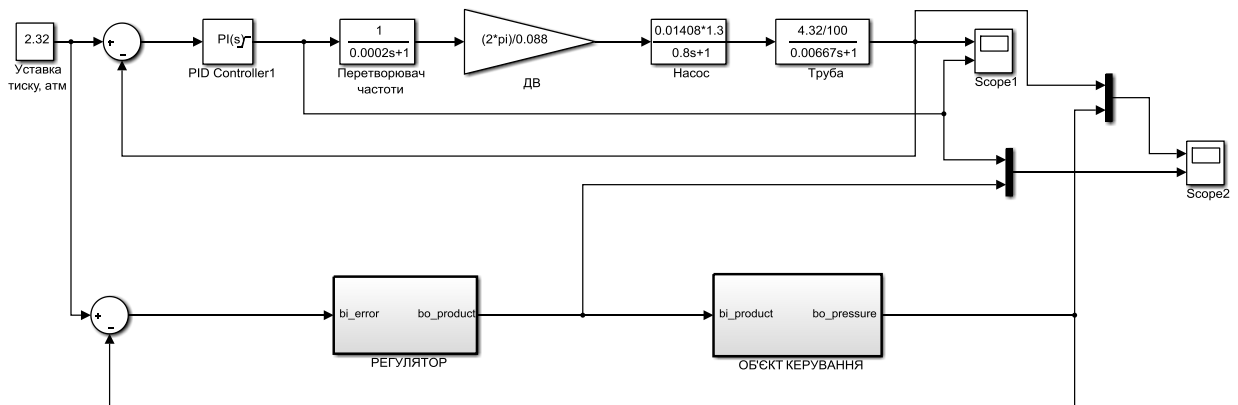


Рисунок 4.6 – Схема системи керування з групуванням за підсистемами. Вміст підсистеми “Об’єкт керування” представлений на рис.4.3, а вміст підсистеми “Регулятор” – на рис.4.4 (блоки з зеленою заливкою).

На рис. 4.6 цифрова модель ПІД-регулятора представлена підсистемою з відповідною назвою. В цій підсистемі, окрім основних складових регулятора, реалізовані обмеження керуючого сигналу за діапазоном від 0 до 100% та захист від перенасичення інтегруючої складової регулятора.

На основі цифрової моделі системи автоматичного керування згенеровані програмні модулі, що представлені у додатку А.

4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування

Програмне забезпечення системи автоматичного керування умовно поділено на дві частини у вигляді двох окремих програмних блоків – регулятора та об'єкта керування.

Програмне забезпечення регулятора створено під програмований логічний контролер zenon Logic, що входить до складу SCADA системи zenon. Програмне забезпечення об'єкта керування створено як програмне забезпечення (ПЗ) перевірки функціонування системи автоматичного керування для драйверу пристрою керування.

З метою розробки ПЗ об'єкта керування створений драйвер пристрою керування з настройками, що наведені на рис. 4.7.

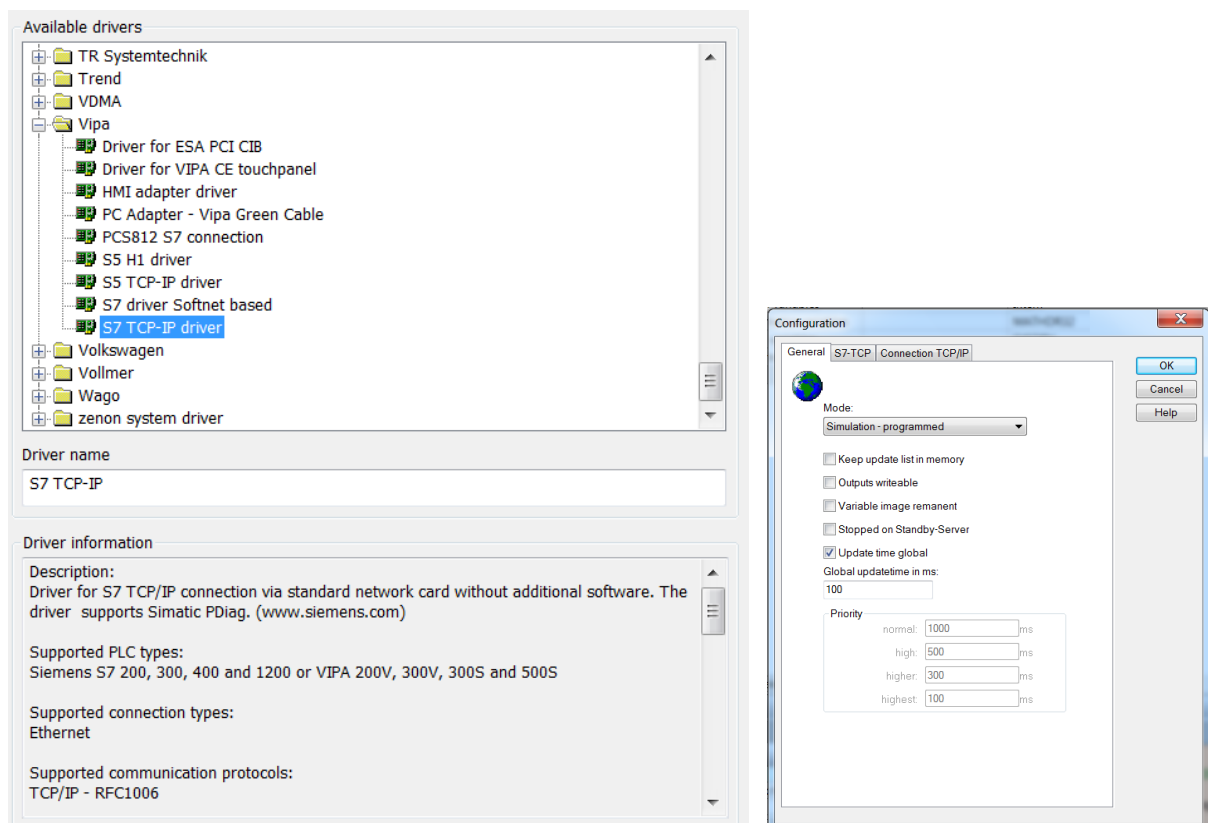
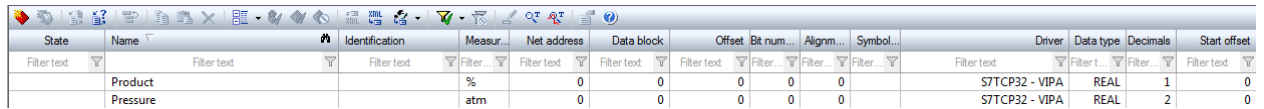


Рисунок 4.7 – Вибір драйверу пристрою керування та його настройка

Для драйвера пристрою керування створені відповідні змінні, що забезпечують доступ до входів та виходів об'єкта керування (рис. 4.8).



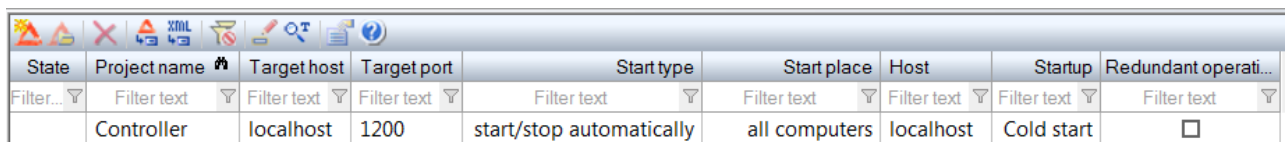
State	Name	Identification	Measur...	Net address	Data block	Offset	Bit num...	Alignm...	Symbol...	Driver	Data type	Decimals	Start offset
Filter text	Filter text	Filter text	Filter...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter...	Filter...	Filter...	Filter text	Filter t...	Filter...	Filter text
	Product		%	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	1	0
	Pressure		atm	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	2	0

Рисунок 4.8 – Змінні драйверу об'єкту керування

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

Більш детально список програм, змінних та драйверів для програмного забезпечення об'єкта керування наведені у додатку Б.1.

З метою реалізації програмного забезпечення регулятора створений проект регулятора (рис. 4.9).

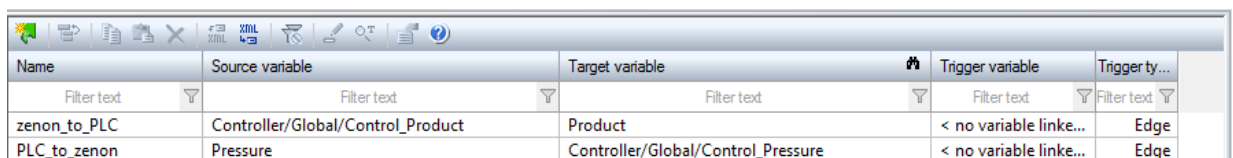


State	Project name	Target host	Target port	Start type	Start place	Host	Startup	Redundant operati...
Filter...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Controller	localhost	1200	start/stop automatically	all computers	localhost	Cold start	<input type="checkbox"/>

Рисунок 4.9 – Проект регулятора

Крім того, створені змінні регулятора, що відповідають уставці тиску води у водопроводі, фактичному значенню тиску води та керуючому впливу (додаток Б2).

Зв'язок між програмним забезпеченням регулятора та об'єкта керування створений через механізм розподілу «Allocations» (рис. 4.10).



Name	Source variable	Target variable	Trigger variable	Trigger ty...
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
zenon_to_PLC	Controller/Global/Control_Product	Product	< no variable linke...	Edge
PLC_to_zenon	Pressure	Controller/Global/Control_Pressure	< no variable linke...	Edge

Рисунок 4.10 – Механізм розподілу «Allocations»

Отже, створені два розподіли – перший, що копіює значення тиску води у водопроводі до регулятора, та другий – для передачі значення продуктивності насосу з регулятора до об’єкту керування. Більш детально список програм, змінних та драйверів для програмного забезпечення регулятора наведені у додатку Б2.

4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу

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

Щоб забезпечувати повноцінне функціонування системи автоматичного керування, людино-машинний інтерфейс повинний виконувати наступні функції:

1. моніторинг протікання перехідного процесу;
2. моніторинг зміни параметрів об’єкта керування;
3. моніторинг стану технологічного процесу з оповіщенням виникнення аварійних подій.

Отже, можна сформулювати основні вимоги до людино-машинного інтерфейсу:

4. мінімальне розширення екрану 1024x920 px;
5. кількість зображень: 5 – зображення з кнопками, що дозволяють переходити між різними зображеннями – технологічної схеми, графіку перехідного процесу, списку подій та списку тривог.

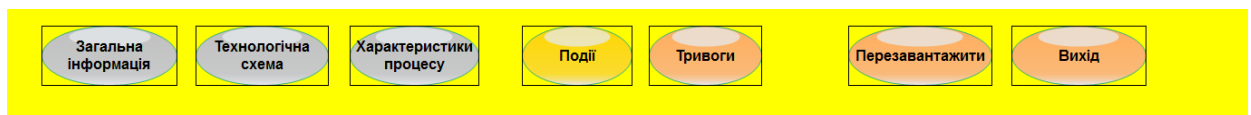


Рисунок 4.11 – Зображення кнопок

На рис. 4.11 представлено зображення кнопок що були створені для ЛМІ. Кожна з кнопок виконує свою функцію:

6. «Об'єкт керування» - при натисненні цієї кнопки здійснюється перехід до зображення технологічної схеми, на якій показане розташування датчиків та виконавчих пристроїв (рис. 4.12). Реалізація роботи цієї кнопки виконана з використанням функції switch screen, що дозволяє перейти на наступне зображення;

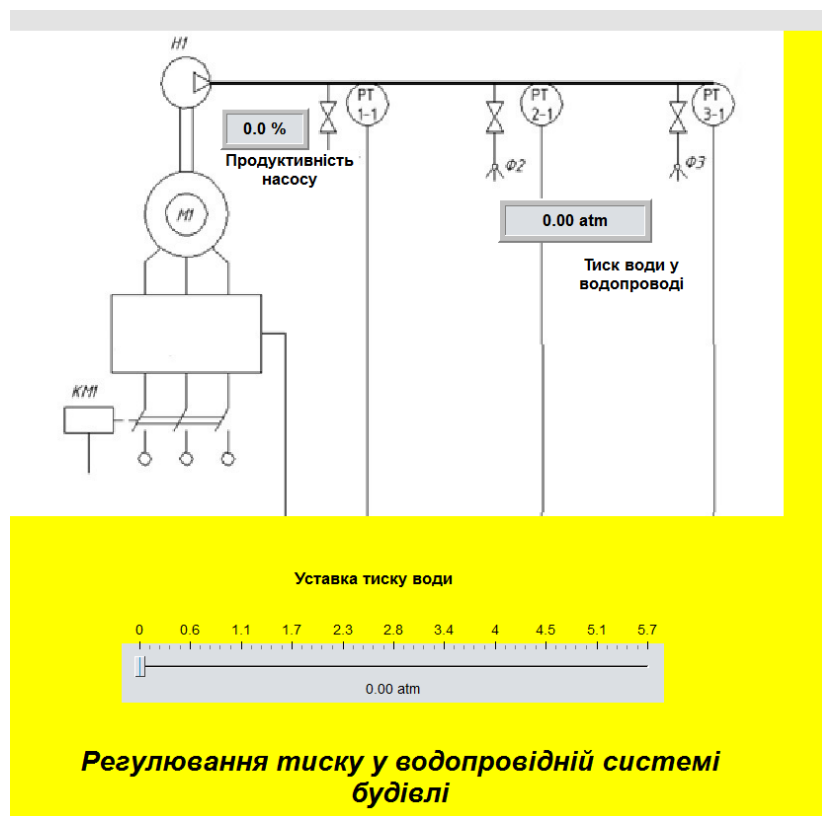


Рисунок 4.12 – Зображення технологічної схеми

1. кнопки «Діаграма зміни параметрів», «Список тривог» та «Список подій», що реалізовані аналогічно. Вони дозволяють перейти на зображення, що відповідають назвам кнопок, та які наведені на рис. 4.13, рис. 4.14 й рис. 4.15 відповідно.
2. кнопки «Вихід» та «Перезавантажити» створені за допомогою функцій «exit runtime» та «reload project» відповідно.



Рисунок 4.13 – Зображення графіку перехідного процесу

Час отримання	Текст	Ім'я змінної	Знач...	Одн...	Користувач п...
23.12.2021 16:38:17	System was started				SYSTEM
23.12.2021 16:38:38	System was stopped				SYSTEM
23.12.2021 16:52:43	System was started				SYSTEM
23.12.2021 16:53:58	Modify spontaneous value: (3.98 atm)	Controller/Global/Control_53	58	atm	SYSTEM
23.12.2021 16:54:13	Modify spontaneous value: (2.19 atm)	Controller/Global/Control_52	19	atm	SYSTEM
23.12.2021 16:54:13	Modify spontaneous value: (2.19 atm)	Controller/Global/Control_52	19	atm	SYSTEM
23.12.2021 16:54:27	Modify spontaneous value: (4.94 atm)	Controller/Global/Control_54	94	atm	SYSTEM
23.12.2021 16:55:22	System was stopped				SYSTEM
23.12.2021 16:58:08	System was started				SYSTEM
23.12.2021 16:58:19	Modify spontaneous value: (4.12 atm)	Controller/Global/Control_54	12	atm	SYSTEM
23.12.2021 16:58:38	Modify spontaneous value: (1.43 atm)	Controller/Global/Control_51	43	atm	SYSTEM
23.12.2021 16:58:59	Modify spontaneous value: (0.85 atm)	Controller/Global/Control_50	85	atm	SYSTEM
23.12.2021 16:59:13	Modify spontaneous value: (4.18 atm)	Controller/Global/Control_54	18	atm	SYSTEM
23.12.2021 16:59:52	System was stopped				SYSTEM
23.12.2021 17:03:39	System was started				SYSTEM
23.12.2021 17:03:47	Modify spontaneous value: (3.36 atm)	Controller/Global/Control_53	36	atm	SYSTEM
23.12.2021 17:04:07	Modify spontaneous value: (1.07 atm)	Controller/Global/Control_51	07	atm	SYSTEM
23.12.2021 17:04:25	Modify spontaneous value: (3.98 atm)	Controller/Global/Control_53	98	atm	SYSTEM
23.12.2021 17:04:40	Modify spontaneous value: (2.76 atm)	Controller/Global/Control_52	76	atm	SYSTEM

Рисунок 4.14 – Зображення списку подій

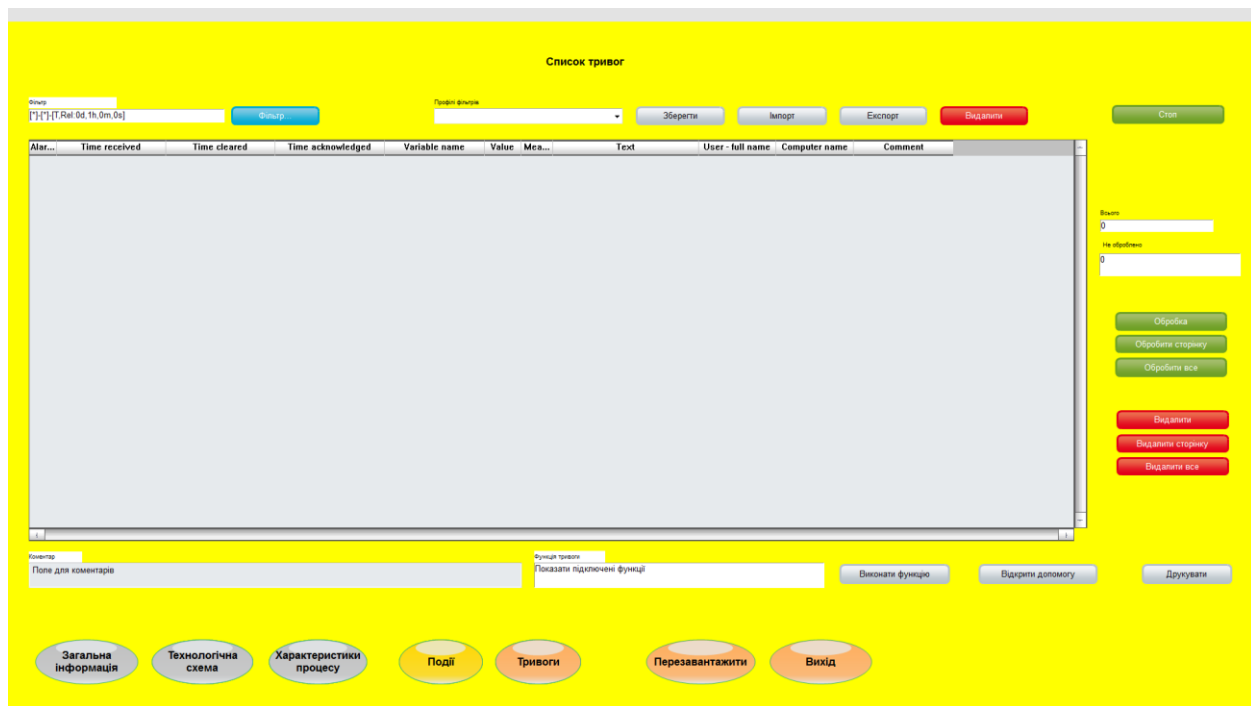


Рисунок 4.15 – Зображення списку тривог

Всі зображення ЛМІ розташовані згідно з шаблоном на рис.4.16.

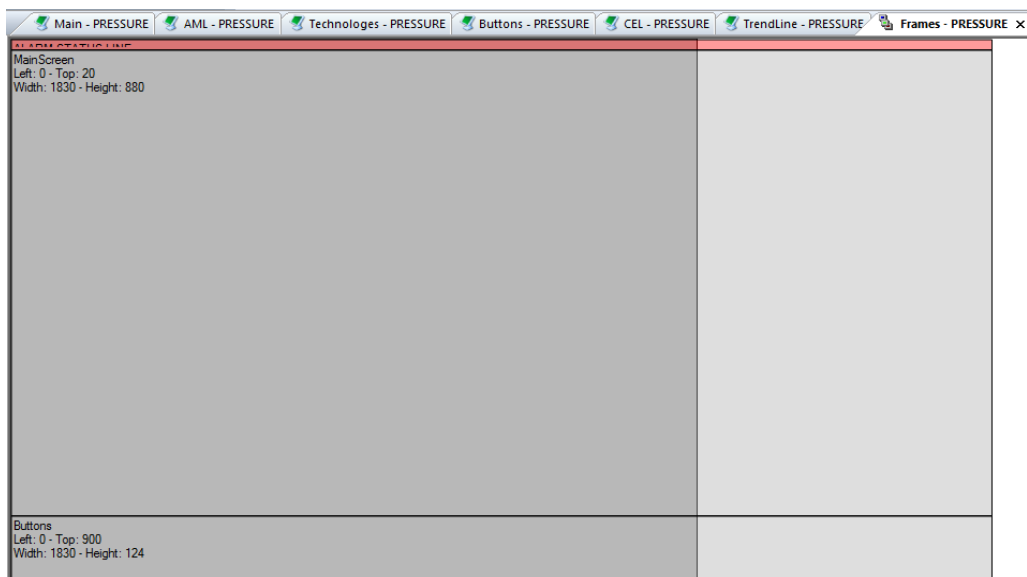


Рисунок 4.16 – Шаблон зображень

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

Розроблене програмне забезпечення ЛМІ більш детально представлено в додатку В.

4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Перевірка функціонування програмного забезпечення відбувалася шляхом подачі декількох значень уставки тиску води у водопровідній системі будинку.

З аналізу рис. 4.17 можна зробити висновок, що об'єкт керування та регулятор працюють адекватно, при цьому виконуються усі вимоги щодо якісної роботи системи автоматичного керування.

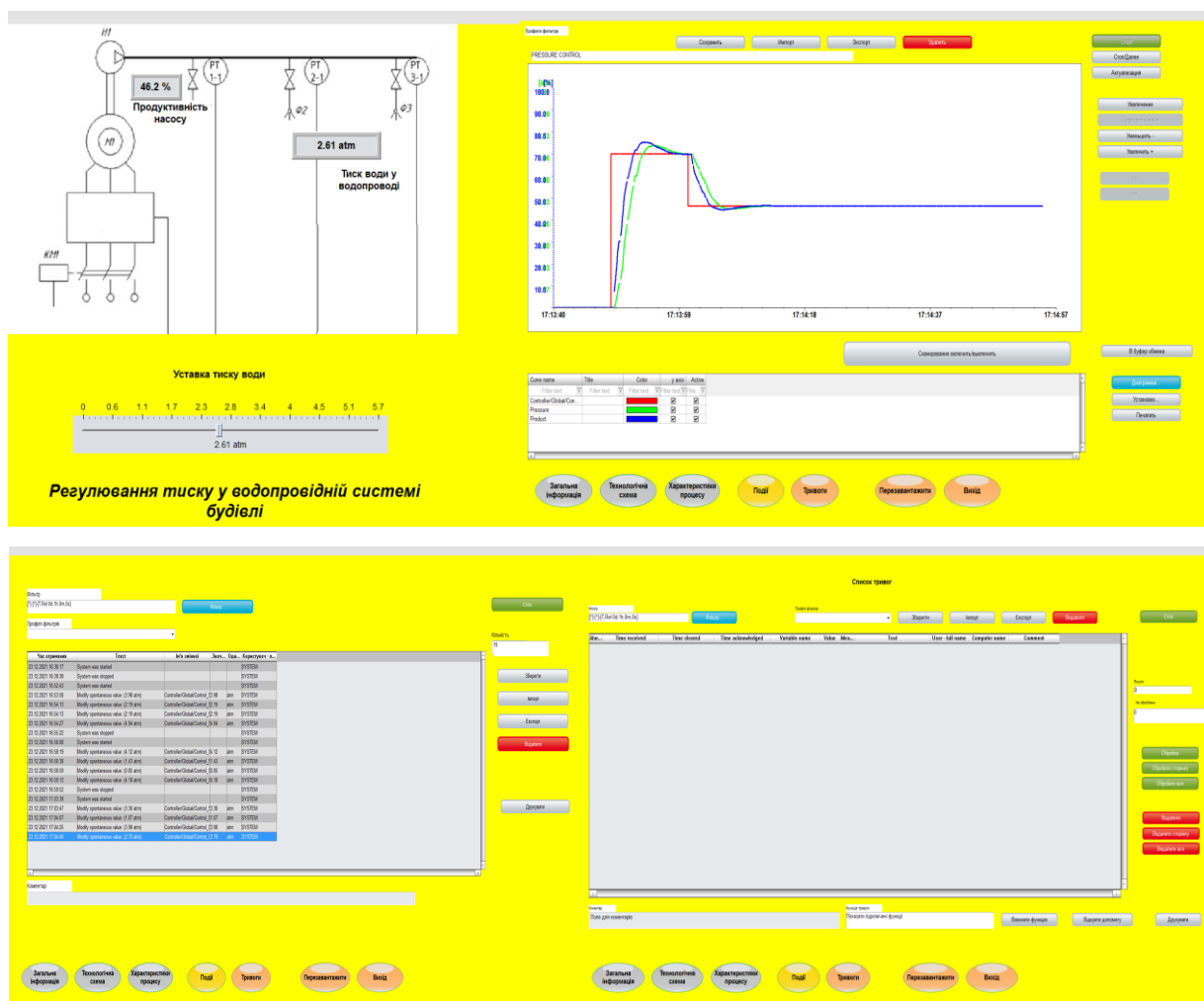


Рисунок 4.17 – Перевірка функціонування програмного забезпечення системи автоматичного керування

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

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

4.5 Висновки до розділу

В експериментальному розділі кваліфікаційної роботи розроблене програмне забезпечення об'єкта керування, регулятора, та програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу. При цьому здійснена перевірка функціональності роботи системи автоматичного керування та людино-машинного інтерфейсу, яка підтвердила, що програмне забезпечення об'єкта керування, регулятора та інтерфейсу працює коректно, та згідно з вимогами до системи автоматичного керування тиском води у водопровідній системі будівлі.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Загальні відомості

У господарство житлового і промислового будівництва, у тому числі і системи автоматики і зв'язку, щорічно вкладаються великі кошти. Правильно визначити їх напрям, вибрати економічно найбільш доцільний варіант - завдання великої важливості. У зв'язку з цим при проектуванні нових систем автоматики і зв'язку техніко-економічному обґрунтуванню надається велике значення.

При проектуванні будь-якого пристрою обов'язковою умовою являється економічне обґрунтування прийнятих технічних рішень. Під техніко-економічним обґрунтуванням розуміється розгляд усіх вирішуваних питань не лише з технічного боку, але і сточування зору їх економічної ефективності.

Техніко-економічне обґрунтування означає по-перше, що проєктований об'єкт повинен відповідати певним технічним вимогам (нормам, стандартам, спеціальним вказівкам і інструкціям), що визначають нормальну роботу об'єкту в заданих умовах, і, по-друге, задовольняти економічним вимогам за одноразовими витратами, експлуатаційними витратами (собівартості продукції), надійністю, споживанням електроенергії і тому подібне

Мета техніко-економічних обґрунтувань - довести доцільність проєктованого будівництва, пристроїв, апаратури, приладів і тому подібне

5.2 Техніко-економічне обґрунтування розробки

Розроблена система керування електроустаткуванням призначена для автоматизованого управління електроустаткуванням системи водопостачання.

При впровадженні системи очікується економічний ефект за рахунок:

- зниження капітальних витрат на придбання і монтаж технічних засобів за рахунок застосування дешевшої панелі управління і контролера;
- зниження витрат на розробку і наладку системи.

Для визначення витрат на розробку системи, а також визначення економічної доцільності при впровадженні цієї системи управління, зробимо розрахунок капітальних витрат, визначимо і проаналізуємо показники економічної ефективності проекту.

5.2 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні вкладення (інвестиції в основні засоби, у тому числі витрати на нове будівництво, розширення, реконструкцію і технічне переозброєння діючих підприємств. Перелік і вартість устаткування, необхідного для створення проектової системи, представлені в табл. 5.1. А для аналогічної системи (в табл. 5.2, спроектованої в 2004 р. у м. Харків державним заводом «Хартрон» на контролері серії Siemens Simatic S5. На сьогоднішній день це морально застарілий і дорогий контролер.

Таблиця 5.1 - Зведення капітальних витрат для проектової системи

№ п/п	Найменування	Маркіровка	К-ть, шт.	Ціна за ед. продукції, грн	Загальна вартість, грн	Транспортно-заготівельні і складські витрати, грн(5%)	Монтаж на-налагоджувальні і роботи, грн(10%)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Набір модулів введення-виведення	АКОН WAD - BUS	1	10 428,0	10 428,0	521,4	1 042,8
2	Панель НМІ	MT8070iH	1	3 600,0	3 600,0	180	360,0
3	Автоматичний вимикач	TD2-C 3P 16A	2	87,90	175,80	8,79	17,58
4	Автоматичний вимикач	TD2-C 1P 3A	1	35,27	35,27	1,76	3,53
5	Автоматичний вимикач	TD2-C 1P 1A	1	40,7	40,7	2,04	4,07
6	Трансформатор радіо	60 Вт, TDTR060/DD V	1	194,95	194,95	9,75	19,5
7	Кнопка з підсвічуванням червона	8 LM2T BL104	1	26,58	26,58	1,33	2,66

Продовження таблиця 5.1

8	Монтажна пластинка до кнопки	8 LM2T AU120	2	8,57	17,14	0,86	1,71
1	2	3	4	5	6	7	8
9	Контакт закритий	8 LM2T C01	1	10,09	10,09	0,50	1,01
10	Контакт відкритий	8 LM2T C10	1	12,11	12,11	0,61	1,21
11	Лампотримач на 415 В	8 LM2T EL400	2	10,93	21,86	1,09	2,19
12	Лампочка	BA9s T10X28 24 V 50mA(1.2 W)	2	1,94	3,89	0,19	0,39
13	Кнопка з підсвічуванням зелена	8 LM2T BL103	1	26,58	26,58	1,33	2,66
14	Моноблок із захистом контактів	8 LP2TILB4 зелений 24В AC/DC 22 мм	1	11,22	11,22	0,56	1,12
15	Моноблок із захистом контактів	8 LP2TILB4 червоний 24В AC/DC 22 мм	3	11,22	33,66	1,68	3,37
16	Реле	RM85 - 2011- 35-5024	2	10,81	21,62	1,08	2,16
17	Реле	R15 на 4 групи	1	33,73	33,73	1,69	3,37
18	Колодка	GZ 80(ES50)	2	12,41	24,82	1,24	2,48
19	Колодка	GZ14U	1	23,22	23,22	1,16	2,32
20	Кінцевий утримувач	9708/2S35	4	3,54	14,16	0,71	1,42
21	Клема	WK4/U/V0	9	2,95	26,57	1,33	2,66
22	Клема	WK2, 5/U/V0	55	2,83	155,76	7,79	15,58
23	Кабель-канал	-	3	12,41	37,22	1,86	3,72
24	DIN- рейка	-	1	13,46	13,46	0,67	1,35
25	Розподільний щит	ЩРП-2	1	336,0	336,0	16,8	33,6
26	Наконечники	-	1,5	14,4	21,6	1,08	2,16
Виносні елементи							
27	Датчик температури повітря	СТ - 03	4	101,26	405,02	20,25	40,5
28	Датчик зворотного теплоносія	СТа - 01	1	132,0	132,0	6,6	13,2
29	Дифманометр	DBL - 205B	2	156,0	312,0	15,60	31,2

Продовження таблиця 5.1

30	Термостат захисту від замерзання	RANCO	1	367,2	367,2	18,36	36,72
31	Привід повітряної заслінки з пружинним поверненням(16 Nm)	M9216 - BGA - 1	2	874,43	1 748,86	87,44	174,89
1	2	3	4	5	6	7	8
32	Привід повітряної заслінки 0.10 V(16 Nm)	M9116 - GGA	2	775,2	1 550,4	77,52	155,04
33	Клапан бронзовий сідельний DN40 Kvs25+привід клапана	VG7802RT+ VA - 7152-1001	1	1 992,6	1992,6	99,63	199,26
34	Клапан 3-ход. змішуючий DN25 +привід клапана	VG7802NT+ VA-7152-1002	1	1 058,6	1 058,6	52,93	105,86
Всього				17 377,91	18 554,83	1 145,63	1 248,49

Таблиця 5.2 - Зведення капітальних витрат для альтернативної системи

№ п/п	Найменування	Маркіровка	К-ть, шт.	Ціна за ед. продукції, грн	Загальна вартість, грн	Транспортно-заготівельні і складські витрати, грн(5%)	Монтажно-налагоджувальні роботи, грн(10%)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Контролер і модулі введення виведення	Siemens Simatic S5 6ES5 102-8MA02	1	27 070,0	27 070,0	1 353,5	2 707,0
2	Панель введення інформації	Siemens Simatic TD17	1	22 150,0	22 150,0	1 107,5	2 215,0
3	Автоматичний вимикач	6048353P/16 AC	2	128,0	256,0	12,80	25,60
4	Автоматичний вимикач	LR 604802 1B/3A C	1	35,69	35,69	1,78	3,57
5	Автоматичний вимикач	LR 604801 1B/1AC	1	41,90	41,90	2,10	4,19

Продовження таблиця 5.2

6	Трансформатор радіо	60 Вт, TDTR060/DD V	1	194,95	194,95	9,75	19,5
7	Кнопка з підсвічуванням червона	8 LM2T BL104	1	26,58	26,58	1,33	2,66
8	Монтажна пластинка до кнопки	8 LM2T AU120	2	8,57	17,14	0,86	1,71
9	Контакт закритий	8 LM2T C01	1	10,09	10,09	0,50	1,01
10	Контакт відкритий	8 LM2T C10	1	12,11	12,11	0,61	1,21
1	2	3	4	5	6	7	8
11	Лампотримач на 415 В	8 LM2T EL400	2	10,93	21,86	1,09	2,19
12	Лампочка	BA9s T10X28 24V 50mA(1.2 W)	2	1,94	3,89	0,19	0,39
13	Кнопка з підсвічуванням зелена	8 LM2T BL103	1	26,58	26,58	1,33	2,66
1	2	3	4	5	6	7	8
14	Моноблок із захистом контактів	8 LP2TILB4 зелений 24В AC/DC 22 мм	1	11,22	11,22	0,56	1,12
15	Моноблок із захистом контактів	8 LP2TILB4 червоний 24В AC/DC 22 мм	3	11,22	33,66	1,68	3,37
16	Реле	RM85 - 2011- 35-5024	2	10,81	21,62	1,08	2,16
17	Реле	R15 на 4 групи	1	33,73	33,73	1,69	3,37
18	Колодка	GZ 80(ES50)	2	12,41	24,82	1,24	2,48
19	Колодка	GZ14U	1	23,22	23,22	1,16	2,32
20	Кінцевий утримувач	9708/2S35	4	3,54	14,16	0,71	1,42
21	Клема	WK4/U/V0	9	2,95	26,57	1,33	2,66
22	Клема	WK2, 5/U/V0	55	2,83	155,76	7,79	15,58
23	Кабель-канал	-	3	12,41	37,22	1,86	3,72
24	DIN- рейка	-	1	13,46	13,46	0,67	1,35
25	Розподільний щит	ЩРП-2	1	336,00	336,00	16,80	33,60
26	Наконечники	-	1,5	14,40	21,60	1,08	2,16
Виносні елементи							
27	Датчик температури повітря	QAC2010	4	298,50	1194,00	59,70	119,40

Продовження таблиця 5.2

28	Датчик зворотного теплоносія	QAC1015	1	212,30	212,30	10,62	21,23
29	Дифманометр	DBL - 205B	2	156,00	312,00	15,60	31,20
30	Термостат захисту від замерзання	QAF81.3	1	540,40	540,40	27,02	54,04
31	Привід повітряної заслінки з пружинним поверненням(16 Nm)	GMA126.1E	2	1 077,23	2154,46	107,72	215,45
32	Привід повітряної заслінки 0.10V(16 Nm)	M9116-GGA	2	775,20	1550,40	77,52	155,04
1	2	3	4	5	6	7	8
33	Клапан бронзовий сідельний DN40 Kvs25+привід клапана	VG7802RT+VA - 7152-1001	1	1 992,60	1992,60	99,63	199,26
34	Клапан 3-ход. змішуючий DN25 +привід клапана	VG7802NT+VA - 7152-1002	1	1 058,60	1058,60	52,93	105,86
Всього				55 239,14	59 634,59	2 981,73	5 963,48

Отже, капітальні витрати, необхідні для придбання комплектуючих виробів для проектованої (5.1) і альтернативної (5.2) системи, складуть:

$$K_{\text{Пр}} = Z_{\text{К}} + Z_{\text{З.С.}} + Z_{\text{М.Р.}}, \text{ грн.} \quad (5.1)$$

$$K_{\text{А}} = Z_{\text{К}} + Z_{\text{З.С.}} + Z_{\text{М.Р.}}, \text{ грн.}, \quad (5.2)$$

де $K_{\text{Пр}}$ – капітальні витрати на проектовану систему, грн.;

$K_{\text{Пр}}$ – капітальні витрати на альтернативну систему, грн.;

$Z_{\text{К}}$ – витрати на комплектуючі системи, грн.;

$Z_{\text{З.С.}}$ – транспортно-заготівельні і складські витрати, грн.;

$Z_{\text{З.С.}}$ – монтажна-налагоджувальні роботи, грн.

$$K_{\text{Пр}} = 18\,554,83 + 1\,145,63 + 1\,248,49 = 20\,948,95 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{А}} = 59\,634,59 + 2\,981,73 + 5\,963,48 = 68\,579,8 \text{ грн.}$$

До статей капітальних витрат також відносяться витрати на розробку програмного забезпечення.

5.3 Техніко-економічне обґрунтування створення і використання програмного продукту

У складі системи управління особливе місце займає програмне забезпечення. ПЗ розробляється для НМІ панелі.

Ефективність будь-якого програмного забезпечення визначається якістю і ефективністю процесу його розробки і документованого супроводу. Якість програмного продукту визначається наступними складовими частинами:

- з точки зору користувача ПО;
- з позиції використання ресурсів і їх оцінки, а також виконання вимог на програмний продукт.

Оцінка якості програмного забезпечення з точки зору користувача визначається необхідністю на стадії проектування об'ємом необхідного пристрою (ОЗУ), що оперативна-запам'ятовує, витратами машинного часу, пропускною спроможністю каналів передачі даних. Оцінка використання ресурсів на стадії створення програмного продукту включає визначення трудомісткості, часу обробки і вартості його створення. У зв'язку з цим, техніко-економічні розрахунки повинні містити:

- розрахунок витрат на створення програмного продукту;
- оцінку витрат машинного часу, необхідного для відлагодження і рішення поставленого завдання, і необхідного об'єму оперативної пам'яті ЕОМ.

5.4 Визначення трудомісткості розробки програмного продукту

У зв'язку з творчим характером праці програмістів, нормування праці в процесі створення ПО, істотно ускладнено. Тому трудомісткість розробки ПЗ може бути розрахована на основі системи моделі з різної точки оцінки:

$$t = t_o + t_{и} + t_a + t_{п} + t_{отл} + t_{д, \text{чел.-ч.}}, \quad (5.3)$$

де t_o – час на підготовку і опис поставленого завдання, чел.-г.;

$t_{и}$ – витрати праці на дослідження алгоритму рішення задачі, чел.-ч.;

$t_{а}$ – витрати праці на відробіток блок-схеми алгоритму, чол.-г.;

$t_{п}$ – витрати праці на програмування по готовій блок-схемі, чол.-г.;

$t_{отл}$ – витрати праці на відлагодження програми на ЕОМ, чол.-г.;

$t_{д}$ – витрати праці на підготовку документації за завданням, чол.-г.

Складові частини витрат праці визначаються з умовної кількості операторів записаних в програмному коді. До їх числа входять ті оператори, яких необхідно написати в процесі роботи над програмою з урахуванням можливих уточнень в постановці завдання і удосконалення алгоритму.

Умовна кількість операторів в програмі:

$$Q = q \cdot c \cdot (1 + p), \text{ операторів,} \quad (5.4)$$

де q – кількість операторів, яка допускається, од.;

c – коефіцієнт складності програми;

p – коефіцієнт корекції програми в процесі її розробки.

Коефіцієнт складності c визначає відносну складність програми по відношенню до типового завдання, складність якого дорівнює 1. Діапазон зміни: 1,25-2, приймаємо рівний 1,65, а для аналогічної системи рівний 1,8.

Коефіцієнт корекції p визначає збільшення об'єму робіт за рахунок внесення змін до алгоритму або програми внаслідок уточнення постановки завдання. Величина p знаходиться в межах 0,05-0,1, що відповідає внесенню 3-5 корекцій, що спричиняють за собою переробку 5-10% готової програми. При програмуванні коефіцієнт корекції програми p дорівнюватиме 0,05.

Кількість операторів q для проектованої системи, виконаної на НМІ панелі MT8070iH, рівне 734, а для аналогічної, виконаної на НМІ панелі Siemens Simatic TD17 - 867. Звідси умовна кількість операторів в програмі:

$$Q_{пр} = 734 \cdot 1,65 \cdot (1 + 0,05) = 1278,66 \cong 1279 .$$

$$Q_a = 467 \cdot 1,65 \cdot (1 + 0,05) = 809,08 \cong 809.$$

Витрати праці на підготовку і опис завдання залежить від конкретних умов і визначається на основі експертних оцінок:

$$t_o = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85) \cdot k}, \text{ чел.-ч.}, \quad (5.5)$$

де B – коефіцієнт збільшення витрат праці, лежить в межах 1,2–1,5;

k – коефіцієнт кваліфікації програміста, який визначається залежно від стажу роботи за фахом (до 2 років – 0,8).

Приймаємо для проектованої і для аналогічної системи $B=1,4$, а $k=0,8$.

Витрати праці на вивчення і описи завдання складуть:

$$t_{o \text{ пр}} = \frac{579 \cdot 1,4}{80 \cdot 0,8} = 12,67 \text{ чол.-г.},$$

$$t_{o \text{ а}} = \frac{809 \cdot 1,4}{80 \cdot 0,8} = 17,7 \text{ чол.-г.}$$

Витрати праці на відробіток алгоритму рішення завдання:

$$t_a = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k}, \text{ чел.-ч.}, \quad (5.6)$$

$$t_{a \text{ пр}} = \frac{579}{25 \cdot 0,8} = 28,95 \text{ чол.-г.};$$

$$t_{a \text{ а}} = \frac{809}{25 \cdot 0,8} = 40,45 \text{ чол.-г.}$$

Витрати праці на створення програми по готовій блок-схемі:

$$t_{\Pi} = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k}, \text{ чел.-ч.}, \quad (5.7)$$

$$t_{n \text{ пр}} = \frac{579}{25 \cdot 0,8} = 28,95 \text{ чол.-г.};$$

$$t_{n \text{ а}} = \frac{809}{25 \cdot 0,8} = 40,45 \text{ чол.-г.}$$

Витрати праці на відлагодження програми на ЕОМ:

$$t_{\text{отл}} = \frac{Q}{(4...5) \cdot k}, \text{ чел.-ч;} \quad (5.8)$$

$$t_{\text{отл_пр}} = \frac{579}{5 \cdot 0,8} = 144,75 \text{ чол.-г.};$$

$$t_{\text{отл_а}} = \frac{809}{5 \cdot 0,8} = 202,25 \text{ чол.-г.}$$

Витрати праці на підготовку документації за завданням:

$$t_{\text{д}} = t_{\text{др}} + t_{\text{до}}, \text{ чел.-ч.}, \quad (5.9)$$

де $t_{\text{др}}$ - трудомісткість підготовки матеріалів по рукопису (5.11), чол.-г.;

$t_{\text{до}}$ - трудомісткість редагування, і оформлення документації (5.10), чол.-г.

$$t_{\text{до}} = 0,75 \cdot t_{\text{др}}, \text{ чел.-ч;} \quad (5.10)$$

$$t_{\text{др}} = \frac{Q}{(15...20) \cdot k}, \text{ чел.-ч;} \quad (5.11)$$

$$t_{\text{др пр}} = \frac{579}{20 \cdot 0,8} = 36,19 \text{ чол.-г.};$$

$$t_{\text{др а}} = \frac{809}{20 \cdot 0,8} = 50,56 \text{ чол.-г.};$$

$$t_{\text{до пр}} = 0,75 \cdot 36,19 = 27,14 \text{ чол.-г.};$$

$$t_{\text{до а}} = 0,75 \cdot 50,56 = 37,92 \text{ чол.-г.}$$

Витрати праці на підготовку документації за завданням складуть:

$$t_{\text{д пр}} = 36,19 + 27,14 = 63,33 \text{ чол.-г.}$$

$$t_{\text{д а}} = 50,56 + 37,92 = 88,48 \text{ чол.-г.}$$

Згідно (5.3) визначимо трудомісткість відробітку ПО:

$$t_{\text{пр}} = 12,67 + 28,95 + 28,95 + 144,75 + 63,33 = 278,65 \text{ чол.-г.},$$

$$t_{\text{а}} = 17,7 + 40,45 + 40,45 + 202,25 + 88,48 = 389,33 \text{ чол.-г.}$$

5.5 Розрахунок затрат на створення програмного продукту

Витрати на створення програмного продукту включають витрати на заробітну плату програміста $Z_{з.п}$ і вартість машинного часу, необхідного на відладку програми на ЕОМ $Z_{м.в}$.

Витрати на зарплату програміста:

$$Z_{з.п} = C_{пр} \cdot t, \text{ грн.}, \quad (5.12)$$

де t - трудомісткість відробітку ПЗ, який визначається по формулі 5.3, чел.-ч.;

$C_{пр}$ - середня годинна зарплата програміста, грн/ч. ($C_{пр} = 50$ грн/г.).

$$Z_{з.п пр} = 278,65 \cdot 50 = 5573 \text{ грн.},$$

$$Z_{з.п а} = 389,33 \cdot 50 = 7\,786,6 \text{ грн.}$$

Вартість машинного часу, необхідного для наладки програми на ЕОМ:

$$Z_{м.в} = t_{отл} \cdot C_{м.в}, \text{ грн.}, \quad (5.13)$$

де $t_{отл}$ - трудомісткість наладки програми на ЕОМ, розрахована по (5.8), чол.-г.;

$C_{м.в}$.

$$Z_{м.в пр} = 144,75 \cdot 15 = 723,75 \text{ грн.},$$

$$Z_{м.в а} = 202,25 \cdot 15 = 1\,011,25 \text{ грн.}$$

Сумарні витрати на розробку ПЗ складуть

$$K_{п.о} = Z_{з.п} + Z_{м.в}, \text{ грн.} \quad (5.14)$$

$$K_{п.о пр} = 5\,573 + 723,75 = 6\,296,75 \text{ грн.},$$

$$K_{п.о а} = 7\,786,6 + 1\,011,25 = 8\,797,85 \text{ грн.}$$

Очікувана тривалість розробки ПО:

$$T = \frac{t}{B_k \cdot F_p}, \text{ місяців} \quad (5.15)$$

де V_k - число розробників ($V_k = 1$), чол.;

F_p - місячний фонд робочого часу ($F_p = 176$ г.).

$$T_{\text{пр}} = \frac{278,65}{1 \cdot 176} = 1,58 \text{ місяців.}$$

$$T_a = \frac{389,33}{1 \cdot 176} = 2,21 \text{ місяців.}$$

Капітальні вкладення на проектувану систему для альтернативного варіанту, з урахуванням витрат на розробку необхідного ПО, складуть:

$$K_{\text{пр}} = K + K_{\text{ПО}}, \text{ грн.} \quad (5.16)$$

$$K_{\text{пр}} = 18\,554,83 + 6\,296,75 = 24\,851,58 \text{ грн.},$$

$$K_A = 59\,634,59 + 8\,797,85 = 68\,432,44 \text{ грн.}$$

Виходячи з розрахунку, економія капітальних витрат складе:

$$\Delta K = K_A - K_{\text{пр}}, \text{ грн.} \quad (5.17)$$

$$\Delta K = 68\,432,44 - 24\,851,58 = 43\,580,86 \text{ грн.}$$

5.6 Визначення річних експлуатаційних витрат в загальному вигляді

Коли склад експлуатаційних витрат визначений, розрахунок економії $\Delta \text{Э}$ ведеться шляхом визначення різниці експлуатаційних витрат за відповідними статтями для проектуваної і аналогічної апаратури.

До складу експлуатаційних витрат входять:

- заробітна плата обслуговуючого персоналу;
- відрахування на соціальні заходи;
- амортизаційні відрахування;
- витрати на поточний ремонт;
- вартість споживаної енергії;
- інші витрати.

Розрахунок річного фонду заробітної плати виробничих робітників здійснюється відповідно до форми, приведеної в табл. 5.3.

Як у обслуговуванні проектованої системи, так і в обслуговування аналогічної системи, братимуть участь дві людини: провідник і черговий електромеханік потягу.

Номинальний річний фонд робочого часу складає:

$$F_H = (N_{\Gamma} - N_{\text{Вых.}} - N_{\text{Отп.}} - N_{\text{Пр.}}) \cdot t_{\text{См.}}, \text{ ч.}, \quad (5.18)$$

де N_{Γ} – кількість днів;

$N_{\text{Вых.}}$ – кількість вихідних днів;

$N_{\text{Отп.}}$ – кількість днів для відпустки;

$N_{\text{Пр.}}$ – кількість святкових днів;

$t_{\text{См.}}$ – тривалість робочої зміни, г.

$$F_H = (365 - 104 - 21 - 10) \cdot 8 = 230 \cdot 8 = 1\,840 \text{ ч.}$$

Таблиця 5.3 - Розрахунок річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу при експлуатації проектованої і альтернативної систем

№ з/п	Найменування професій	Число працюючих, чол.		Годинна тарифна ставка, грн	Ном. рік. фонд раб. часу, ч	Разом основна з.п., грн	Доплати, грн(5%)	Премія	Разом річний фонд з/п, грн
		Яв.	Сп						
1	Провідник	1	1	22	1 840	40 480	2 024	1 300	43 804
2	Черговий електромеханік потягу	1	1	25	1 840	46 000	2 300	2 000	50 300
Всього									94 104

Додаткова заробітна плата обслуговуючого персоналу визначається у розмірі 10% від основної заробітної плати, і складатиме:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot 0,1, \text{ грн.} \quad (5.19)$$

$$Z_{\text{доп}} = 94\,104 \cdot 0,1 = 9\,410,4 \text{ грн.}$$

Таким чином, загальна величина річного фонду заробітної плати складає:

$$C_z = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \text{ грн.} \quad (5.20)$$

$$C_z = 94\,104 + 9\,410,4 = 103\,514,4 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальні заходи складають 37% від основної заробітної плати.

$$C_c = C_3 \cdot 0,37, \text{ грн.} \quad (5.21)$$

Для альтернативного варіанту відрахування на соціальні заходи складатимуть таку ж суму, як і для проектного варіанту:

$$C_{c_Пр} = C_{c_а} = 103\,514,4 \cdot 0,37 = 38\,300,33 \text{ грн.}$$

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

$$H_A = 2 \cdot \left(1 - \sqrt[n]{\frac{B_L}{B_P}}\right), \quad (5.22)$$

де H_A – коефіцієнт амортизації, долі одиниць;

n – термін експлуатації устаткування, років;

B_L – ліквідаційна вартість;

B_P – первинна вартість устаткування, грн.

Для проектного варіанту $B_{P_Пр} = K_{Пр} = 18\,263,31$ грн., для аналогічного варіанту $B_{P_А} = K_A = 25\,152,09$ грн.

Термін експлуатації устаткування для проектного варіанту $n_{Пр} = 7$ лет, а грн., для аналогічного варіанту $n_A = 4$ года.

Ліквідаційна вартість устаткування B_L для проектного, для аналогічного варіантів приймається на рівні 20 % від первинної вартості устаткування B_P , т.ч.:

$$B_{L_Пр} = 0,2 \cdot B_{P_Пр}, \text{ грн.} \quad (5.23)$$

$$B_{L_А} = 0,2 \cdot B_{P_А}, \text{ грн.} \quad (5.24)$$

$$B_{L_Пр} = 0,2 \cdot 18\,263,31 = 3\,652,66 \text{ грн.}$$

$$B_{L_А} = 0,2 \cdot 25\,152,09 = 5\,030,42 \text{ грн.}$$

$$H_{A_Пр} = 2 \cdot \left(1 - \sqrt[7]{\frac{3\,652,66}{18\,263,31}}\right) = 2 \cdot (1 - 0,7945) = 0,2054, \text{ т.е. } 20,54\%.$$

$$H_{A_А} = 2 \cdot \left(1 - \sqrt[4]{\frac{5\,030,41}{25\,152,09}}\right) = 2 \cdot (1 - 0,669) = 0,663, \text{ т.е. } 66,3\%$$

Розрахунок суми амортизаційних відрахувань виконаний за формою, приведеною в табл. 5.4 і 5.5.

Таблиця 5.4 - Розрахунок амортизаційних відрахувань для проектного варіанту

№ п./п.	Найменування	К-ть, шт.	Балансова вартість устаткування, грн	Норма амортизації, %	Сума амортизаційних відрахувань, грн
1	Устаткування розробленої системи управління	1	18 554,83	20,54	3 811,16
2	Програмне забезпечення	1	6 296,75	20,54	1 293,35
Всього			24 851,58		5 104,51

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного устаткування і мереж включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтним робітникам(визначуваний укрупненим методом).

Таблиця 5.5 - Розрахунок амортизаційних відрахувань для аналогічного варіанту

№ п./п.	Найменування	К-ть, шт.	Балансова вартість устаткування, грн	Норма амортизації, %	Сума амортизаційних відрахувань, грн
1	Устаткування альтернативної системи управління	1	59 634,59	66,3	39 537,74
2	Програмне забезпечення	1	8 797,25	66,3	5 832,58
Всього			68 432,44		45 370,32

Річні витрати на технічне обслуговування по проектному варіанту складуть 1% від капітальних витрат на устаткування:

$$C_p = 0,01 \cdot K_{пр}, \text{ грн.} \quad (5.22)$$

$$C_{p_Пр} = 0,1 \cdot 18 554,83 = 1 855,48 \text{ грн.}$$

Річні витрати на технічне обслуговування по альтернативному варіанту складуть 1% від вартості устаткування:

$$C_{p_a} = 0,1 \cdot 59\,634,59 = 5\,963,46 \text{ грн.}$$

Вартість електроенергії, споживана апаратурою протягом року, визначається:

$$Z_3 = W_r \cdot a = M \cdot F_p \cdot a, \text{ грн.}, \quad (5.23)$$

де W_r – кількість електроенергії, споживана апаратурою за рік, кВт-г;

a – тариф на електроенергію, грн/кВт-г (для промислових підприємств за тарифом 2,93 грн/кВт-г, ціни на електроенергію вказані без ПДВ);

M – встановлена потужність апаратури, кВт; (сумарна споживана потужність складе $M \approx 82 \text{ Вт} \approx 0,082 \text{ кВт}$, панель, контролер);

F_p – річний фонд робочого часу апаратури, г (365 днів \times 24 години = 8 760 годин).

Витрати на електроенергію, споживану проектованою системою і альтернативною апаратурою, умовно приймемо рівними, і які складуть:

$$Z_{3,пр} = 0,082 \cdot 8760 \cdot 2,93 \cdot 1,2 = 710,02 \text{ грн.}$$

Інші витрати по експлуатації об'єкту проектування включають витрати по охороні праці, на спецодяг і ін. Згідно з практикою, ці витрати визначаються у розмірі 4 % від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу:

$$C_{пр} = C_3 \cdot 0,04, \text{ грн.} \quad (5.24)$$

Оскільки річний фонд заробітної плати обслуговуючого персоналу при експлуатації проектованої системи і річний фонд заробітної плати обслуговуючого персоналу при експлуатації альтернативної системи рівні, інші витрати складатимуть:

$$C_{пр_Пр} = C_{пр_a} = 103\,514,4 \cdot 0,04 = 4\,140,58 \text{ грн.};$$

Таблиця 5.6 - Розрахунок експлуатаційних витрат на зміст апаратури

№ п./п.	Найменування статей витрат	Сума витрат, тис. грн	
		Проектована апаратура	Аналогічна апаратура
1	Заробітна плата	103 514,4	103 514,4
2	Відрахування на соц. заходи	38 300,33	38 300,33
3	Амортизаційні відрахування	5 104,51	45 370,32
4	Витрати на поточний ремонт	1 196,66	1 635,48
5	Витрати на електроенергію	710,02	710,02
6	Інші витрати	4 140,58	4 140,58
Всього витрат		152 966,5	193 671,13

Річна економія експлуатаційних витрат складе:

$$\Delta C = C_a - C_{np} = 193\,671,13 - 152\,966,5 = 40\,704,63 \text{ грн.}$$

Коефіцієнт ефективності(доходності) капітальних витрат E_p показує, скільки гривень додаткового прибутку (економії) приносить одна гривна капітальних витрат:

$$E_p = \Delta C / K, \quad (5.25)$$

де ΔC – загальна річна економія від впровадження об'єкту проектування;

K – капітальні витрати, що викликали економію.

$$\Delta C = \Delta C = 40\,704,63 \text{ грн.}$$

$$K = K_{np} = 24\,851,58 \text{ грн.},$$

Коефіцієнт ефективності складає:

$$E_p = 40\,704,63 / 24\,851,58 = 1,64.$$

Таким чином, одна гривна капітальних витрат приносить 0,16 грн економії.

Розрахуємо термін окупності проектного варіанту:

$$T_{ок} = K / \Delta C, \text{ лет} \quad (5.26)$$

$$T_{ок} = 24\,851,58 / 40\,704,63 \approx 0,61 \text{ лет.}$$

У звідній табл. 5.7 приведені підсумкові техніко-економічні показники для системи, що розробляється, і альтернативного варіанту.

Таблиця 5.7 - Порівняння техніко-економічних показників

№ з/п	Найменування показника	Ед. виміри	Значення показника по варіанту		Зміна показника(+/-)	
			Проектний	Аналогічний	грн	%
1	Капітальні витрати, всього у тому числі:	грн	24 851,58	68 432,44	-43 580,86	-63,68
	- витрати на комплектуючі вироби;	грн	18 554,83	59 634,59	-41 079,76	-68,89
	- витрати на програмне забезпечення.	грн	6 296,75	8 797,25	-2 500,50	-28,43
2	Експлуатаційні витрати	грн	152 966,5	193 671,13	-40 704,63	-21,02

5.7 Висновок по розділу

В результаті розрахунків встановлено, що в порівнянні з альтернативною системою, проектована система є економічно ефективною. Капітальні витрати для проектованої системи складуть до 25 тис. грн, що менше на 43,5 тис. грн, чим для альтернативного варіанту. Експлуатаційні витрати складуть до 153 тис. грн, що менше на 40,7 тис. грн, чим для альтернативного варіанту. Коефіцієнт ефективності капітальних витрат дорівнює 1,64. Термін окупності проектного варіанту 0,61 року.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз умов праці на дільниці водопостачання

Виявлення небезпек є початковим й найважливішим етапом оцінки ризиків, що враховує недоліки в охороні праці, які можуть заподіяти шкоду здоров'ю та безпеці людей. При цьому необхідно знайти відповіді на такі питання:

- які небезпеки виникають в роботі?
- що є причинами небезпеки ?
- де проявляється небезпека?
- хто схильний до небезпеки?
- у яких ситуаціях працівники можуть наразитися на небезпеку?

Виявлення небезпек передбачає визначення та облік небезпеки для здоров'я працівників, виходячи з характеру трудової діяльності, виробничого приміщення, інших робочих зон і умов праці. Необхідно враховувати раніше виявлені небезпеки, а також такі фактори небезпеки, котрі можуть заподіяти шкоду в силу особистих особливостей працівників і факторів трудової діяльності.

Для визначення вихідних даних для розрахунку можна використовувати подібні інформаційні джерела:

- матеріали проведеної атестації робочих місць за умовами праці та факторами трудового процесу;
- результати проведення перевірок;
- звіти про контроль робочих місць органами охорони здоров'я;
- перелік хімічних речовин та інформація про їх безпечне використання;
- статистика нещасних випадків;
- анкетування серед працівників.

Для оцінки виробничого ризику працівників спробуємо ідентифікувати небезпеки:

1. Фізичні фактори:

- температура повітря робочого середовища;
- перепад температури повітря на робочих місцях;
- виробничий шум;
- вібрація

2. Фактори, обумовлені ергономікою:

- знаходження в незручній робочій позі;
- переміщення у просторі;
- нахили тулуба.

3. Хімічні та біологічні фактори ризику:

- вуглецю пили;
- газ метан.

Таблиця 6.1 - Зведена таблиця фізичних факторів

	Фактор небезпеки			
	Вібрація	Освітлення	Температура повітря робочої зони	Перепад температури повітря
Опис ситуації	підсумований термін дії локальної вібрації протягом зміни – 151 хв при перевищенні ГДР на 6 дБ (перевищення норми на 30 хв	підсумований термін дії освітлення на протязі зміни (8 годин) – 480 хв призводить до захворювання погіршення зору, рівень освітлення 100 лк, відповідно ДСН до 400 лк	температура повітря на робочому місці слюсаря – 27 °С (перевищення ГДР при швидкості повітря 0,51-1,0 м/с, категорії робіт	перепади температури повітря на робочому місці слюсаря – 12 °С
Наслідки	середньої тяжкості	середньої тяжкості	легкі	середньої тяжкості
Ймовірність ризику	середня	висока	середня	середня
Рівень ризику	помірний 3	значний 4	помірний 3	помірний 3

В результаті проведеного аналізу встановлена необхідність розрахунку освітлення.

6.2 Розрахунок освітлення на ділянці водопостачання

Розрахувати загальне штучне освітлення приміщення за методом коефіцієнта використання світлового потоку для приміщень розмірами, що наведені: Розміри ділянки – $15 \times 8 \times 4,5$ a – довжина, м; b – ширина, м; h – висота приміщення, м.

Керуючись ДБН В.2.5-28-2018 "Природне і штучне освітлення", вибрати джерело світла для заданого приміщення і кількості ламп в одному світильнику. Потрібно:

1. Вибрати джерело світла і тип світильника;
2. Вибрати тип лампи, що забезпечує нормовану освітленість при прийнятій нижче (в подальших розрахунках) їхній кількості, аргументувати необхідний світловий потік однієї лампи;
3. Обґрунтувати норму освітленості робочих поверхонь у заданому приміщенні;
4. Залежно від індексу приміщення та співвідношення коефіцієнтів відбиття визначити коефіцієнт використання світлового потоку;
5. Розрахувати кількість світильників й кількість ламп в одному світильнику;
6. Вибрати схему розташування світильників (подати графічно).

Вказівки до розв'язання завдання: Розрахунок ведуть методом загального рівномірного штучного освітлення за коефіцієнтом використання. Залежно від розмірів і призначення приміщення, а також враховуючи варіантні вихідні дані, намічають принципову конструкцію освітлюваної установки, тип джерел світла в ній та ін.

На рис. 6.1 наведено 3D вигляд кімнати.

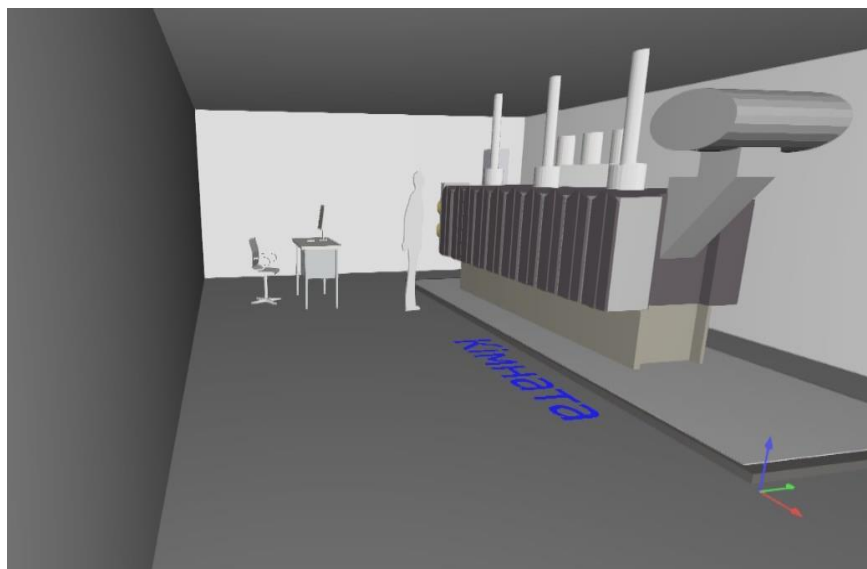


Рисунок 6.1 – 3D вигляд робочої зони

Визначають необхідний світловий потік однієї лампи Φ л, що забезпечує нормовану освітленість. За ДБН В.2.5-28-2018 /табл. 1/ визначають норму освітленості для заданого приміщення E_n , лк залежно від його функціонального призначення).

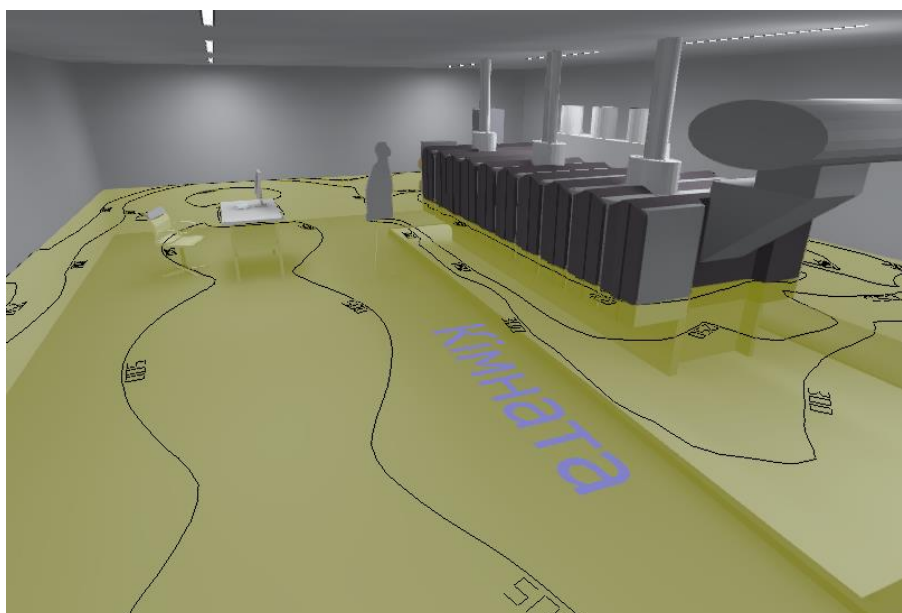


Рисунок 6.2 - Розрахунок освітлення робочої зони

PROXIMA – це лінійний світильник, який підходить для комерційного освітлення, будинків та офісів відповідно до сучасних методів проектування,

його можна встановлювати на поверхню або вбудовувати або підвісити різної довжини та форми.

Технічні характеристики наведені на рис. 6.4.

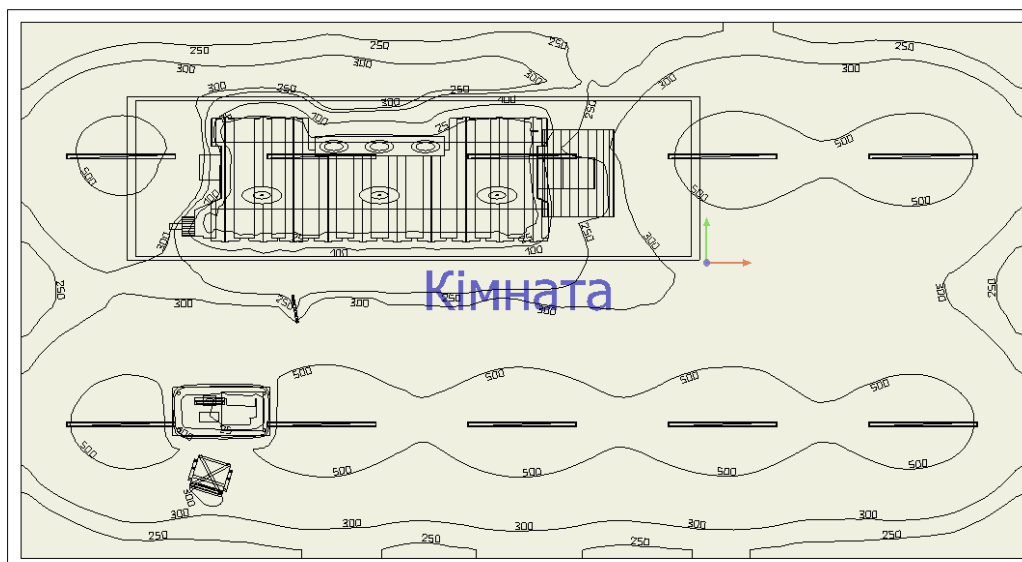
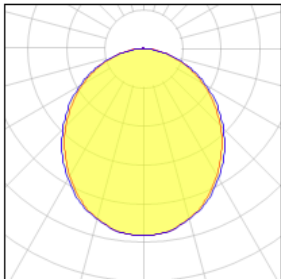


Рисунок 6.3 - Освітленість на робочому місці слюсаря

Світловіддача 1						
Наявне обладнання	Номінальна потужність лампи	Потік лампи	Світлова ефективність	CCT	CRI	
1 x світлодіодний модуль	60 Вт	64 лм	1 лм/Вт	5000 тис	80	
				LOR:	101%	
				Загальний потік:	64 лм	
				Загальна потужність:	60 Вт	



Режим монтажу

Кулон

Форма і виміри

Довжина: 1687 мм

Ширина: 60 мм

Висота: 78 мм

Регульованість

Регульована висота

Електричний

Потужність системи: 60 Вт

Клас приладу: I

Охорона

IP: 42

Рисунок 6.4 - Технічні характеристики світильників

6.3 Ергономічний аналіз роботи слюсаря з обслуговування водозабірної арматури

Ергономічна оцінка ризику на робочому місці (WERA) – це спеціальний інструмент для визначення впливу робочої пози, контактного навантаження, умов праці та тривалості роботи на виникнення захворювань опорно-рухового апарату (MSD), зокрема плечового суглобу, зап'ястя, м'язів спини, шиї, ніг.

Порядок використання WERA.

Для оцінки ергономічного ризику необхідно виконати п'ять кроків.

1. Визначте поведінку працівника під час виконання виробничого завдання (бажано зафіксувати його рухи за допомогою фотоапарату).
2. Встановіть фактори небезпеки чи дискомфорту (повторювальні операції, незручна робоча поза, зусилля)
3. Оцініть рівень ризику за допомогою 9 пунктів (таблиця розділена на частину А в якій розглядається вплив на частини тіла і частину В – що характеризує умови праці)
4. Розрахуйте величину ризику (відповідно до підказок таблиці оцініть вклад кожного небезпечного фактору і розрахуйте загальний підсумковий результат)

Визначте рівень ергономічного ризику (при 18-27, низький рівень ризику; 28-44, середній рівень ризику; 45-54, високий рівень ризику).



Рисунок 6.5 - Аналіз ергономічних ризиків слюсаря

В результаті було встановлено, що рівень ризику травмування низький (рис. 6.6).

WORKPLACE ERGONOMIC RISK ASSESSMENT (WERA)				RISK LEVEL																							
PHYSICAL RISK FACTOR		LOW	MEDIUM	HIGH	SCORING SYSTEM																						
1. Shoulder	1a. Posture				<table border="1"> <tr><th>Risk Level</th><th>LOW</th><th>MED</th><th>HIGH</th></tr> <tr><th>1a. POSTURE</th><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><th>LOW</th><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><th>MED</th><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><th>HIGH</th><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr> </table>		Risk Level	LOW	MED	HIGH	1a. POSTURE				LOW	2	3	4	MED	3	4	5	HIGH	4	5	6	Score 1 3
	Risk Level	LOW	MED	HIGH																							
1a. POSTURE																											
LOW	2	3	4																								
MED	3	4	5																								
HIGH	4	5	6																								
1b. Repetition	Light movement with more pauses	Moderate movement with some pauses	Heavy movement with no rest																								
2. Wrist	2a. Posture				<table border="1"> <tr><th>Risk Level</th><th>LOW</th><th>MED</th><th>HIGH</th></tr> <tr><th>2a. POSTURE</th><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><th>LOW</th><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><th>MED</th><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><th>HIGH</th><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr> </table>		Risk Level	LOW	MED	HIGH	2a. POSTURE				LOW	2	3	4	MED	3	4	5	HIGH	4	5	6	Score 2 4
	Risk Level	LOW	MED	HIGH																							
2a. POSTURE																											
LOW	2	3	4																								
MED	3	4	5																								
HIGH	4	5	6																								
2b. Repetition	0-10 times per minute	11-20 times per minute	Over 20 times per minute																								
3. Back	3a. Posture				<table border="1"> <tr><th>Risk Level</th><th>LOW</th><th>MED</th><th>HIGH</th></tr> <tr><th>3a. POSTURE</th><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><th>LOW</th><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><th>MED</th><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><th>HIGH</th><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr> </table>		Risk Level	LOW	MED	HIGH	3a. POSTURE				LOW	2	3	4	MED	3	4	5	HIGH	4	5	6	Score 3 5
	Risk Level	LOW	MED	HIGH																							
3a. POSTURE																											
LOW	2	3	4																								
MED	3	4	5																								
HIGH	4	5	6																								
3b. Repetition	0-3 times per minute	4-8 times per minute	9-12 times per minute																								
4. Neck	4a. Posture				<table border="1"> <tr><th>Risk Level</th><th>LOW</th><th>MED</th><th>HIGH</th></tr> <tr><th>4a. POSTURE</th><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><th>LOW</th><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><th>MED</th><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><th>HIGH</th><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr> </table>		Risk Level	LOW	MED	HIGH	4a. POSTURE				LOW	2	3	4	MED	3	4	5	HIGH	4	5	6	Score 4 2
	Risk Level	LOW	MED	HIGH																							
4a. POSTURE																											
LOW	2	3	4																								
MED	3	4	5																								
HIGH	4	5	6																								
4b. Repetition	Light movement with more pauses	Moderate movement with some pauses	Heavy movement with no rest																								
5. Leg	5a. Posture				<table border="1"> <tr><th>Risk Level</th><th>LOW</th><th>MED</th><th>HIGH</th></tr> <tr><th>5a. POSTURE</th><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><th>LOW</th><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><th>MED</th><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><th>HIGH</th><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr> </table>		Risk Level	LOW	MED	HIGH	5a. POSTURE				LOW	2	3	4	MED	3	4	5	HIGH	4	5	6	Score 5 4
	Risk Level	LOW	MED	HIGH																							
5a. POSTURE																											
LOW	2	3	4																								
MED	3	4	5																								
HIGH	4	5	6																								
5b. Repetition																											
FINAL SCORE 27																											
Job/Task :		Date :		Observer :		<table border="1"> <tr><th colspan="4">Action Level</th></tr> <tr><th>Risk Level</th><th>Final Score</th><th>Action</th><th>Tick</th></tr> <tr><td>LOW</td><td>18-27</td><td>Task is acceptable</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>MED</td><td>28-44</td><td>Task is need to further investigate & required change</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>HIGH</td><td>45-54</td><td>Task is not accepted, immediately change</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> </table>		Action Level				Risk Level	Final Score	Action	Tick	LOW	18-27	Task is acceptable	<input checked="" type="checkbox"/>	MED	28-44	Task is need to further investigate & required change	<input type="checkbox"/>	HIGH	45-54	Task is not accepted, immediately change	<input type="checkbox"/>
Action Level																											
Risk Level	Final Score	Action	Tick																								
LOW	18-27	Task is acceptable	<input checked="" type="checkbox"/>																								
MED	28-44	Task is need to further investigate & required change	<input type="checkbox"/>																								
HIGH	45-54	Task is not accepted, immediately change	<input type="checkbox"/>																								
6. Forceful		7. Vibration		8. Contact stress		9. TASK DURATION																					
 Lifting the load 0-5kg		 Occasional used of vibration tool WITH 1-4hrs per day		 Hard/sharp shape of tool handle OR Using a half cover of hand gloves		 < 2hrs per day, 2-4hrs per day, > 4hrs per day																					
Score 6 2		Score 7 2		Score 8 2		Score 9 3																					

Рисунок 6.6 - Оцінка ергономічних ризиків слюсаря

Однак в якості рекомендацій для унеможливлення травмування розроблено алгоритм безпечної праці який наведено на рис. 6.7.

Для покращення ергономіки робочих місць запроваджуємо ротацію як модель проектування роботи полягає в переміщенні працівника з однієї роботи на іншу і відповідно надання йому можливості виконувати більш різноманітні функції:

- збагачення роботи на практиці означає додавання до виконуваної індивідом роботі функцій або завдань, що дозволяють підвищити відповідальність виконавця за планування, організацію, контроль і оцінку своєї власної роботи
- розпланувати роботу за етапами, операціями, прийомами та переходами;
- ідентифікуйте (визначить) фактори ризику для кожної операції, прийому, переходу та можливі негативні наслідки для персоналу та довкілля в процесі виконання запланованої роботи;
- встановіть як кожна задача впливає на фактори ризику та вкажіть на заходи, необхідні для надійного захисту від джерел небезпеки.

ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ			
Завдання	Безпечно		Небезпечно
	✓		✗
Область			
Безпека водопостачання	1	Використання відповідного індивідуального захисного обладнання для вказаної роботи.	Не здійснювати ремонт, очищення, регулювання або змащення вімкненого обладнання
	2	Тримайте місце роботи в чисті і вільним від зайвого обладнання та інших перешкод	Невикористовуйте пошкоджене обладнання
	3	Тримайте ручний інструмент в чистоті	Не перевантажуйте електрообладнання
	4	Своєчасно видаляйте відходи і бруд на робочому місці	Не дозволяйте знаходитися під робочою платформою
	5	Незабувайте про обслуговування обладнання	Не ремонтуйте вімкнений електроінструмент
	6	Перевіряйте обладнання перед початком роботи	Невикористовуйте пошкоджене обладнання
	7	Для уникнення травмування перевіряйте електричні з'єднання і проводку	
	8	Забезпечте відповідну освітленість на робочому місці	
	9	Забезпечте тимчасове робоче місце спеціальною платформою висотою 1,5 м.	

Рисунок 6.7 - Вигляд інструкції для слюсаря

Важливо забезпечити працівників ергономічними інструментами, які зменшать м'язову напругу під час виконання виробничих завдань.

6.4 Безпека у надзвичайних ситуаціях

У розділі проводилось моделювання вибуху балону з етилгексанолом, вхідні дані та результати моделювання наведені на рис. 6.8.

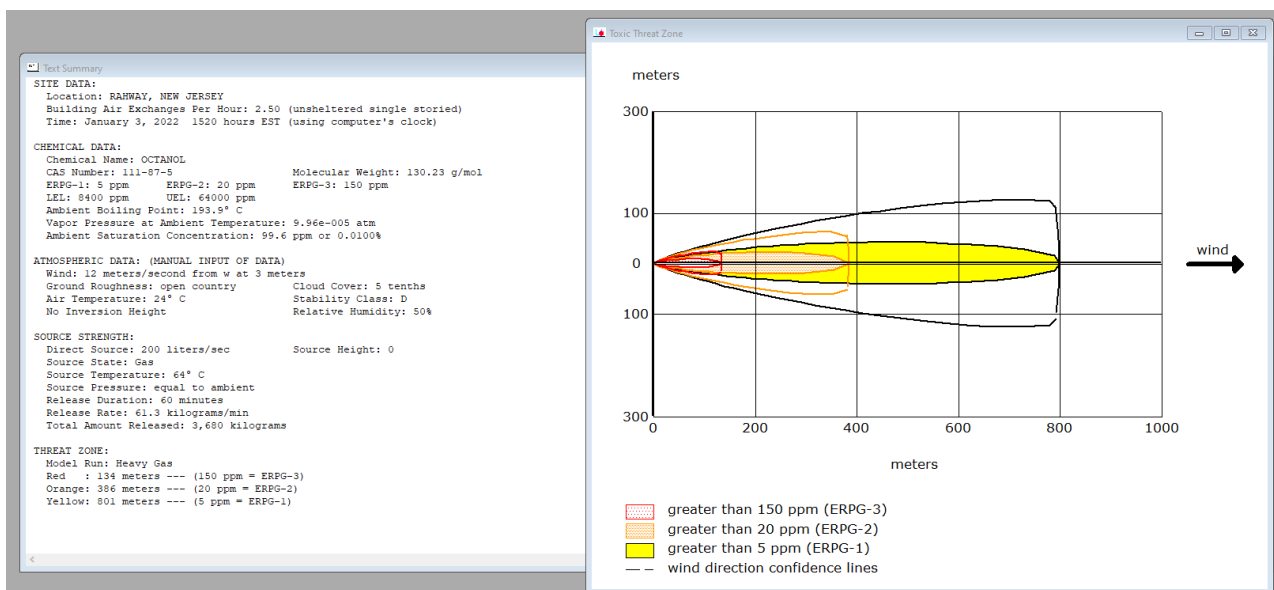


Рисунок 6.8 - Оцінка вибухової хвилі балону з етилгексанолом

Наступний етап передбачав візуалізацію вибухової хвилі на 3 д мапі, яка наведена на рис. 6.9.

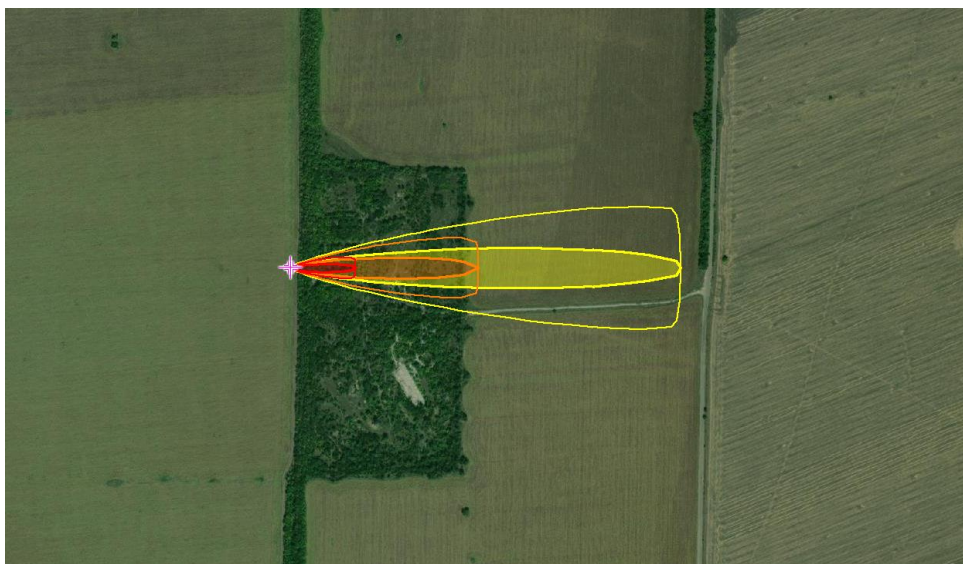


Рисунок 6.9 - Вибухова хвиля

Характеристики етілгексанолу наведені на рис.6.10.


2-ЕТИЛГЕКСАНОЛ		ICSC : 0890 (Червень 2019)	
CAS #: 104-76-7		EINECS #: 203-234-0	
ПОЖЕЖА І ВИБУХ	ОСОБЛИВІ НЕБЕЗПЕКИ	ПРОФІЛАКТИЧНІ ЗАХОДИ	ТУШНІННЯ ПОЖЕЖІ
	Пальне. При температурі, що перевищує 73°C, можуть утворюватися вибухонебезпечні суміші пари з повітрям.	НЕ використовуйте відкритий вогонь. При температурі понад 73°C застосовувати замкнуту систему, вентиляцію та вибухозахищене електричне обладнання.	Використовувати розпилену воду, спиртову піну, сухий порошок, двоокис вуглецю.
НЕ ДОПУСКАТИ ОСВІТИ ТУМАНУ!			
	СИМПТОМИ	ПРОФІЛАКТИЧНІ ЗАХОДИ	ПЕРША ДОПОМОГА
Вдихання	Кашель. Запаморочення. Головний біль. Болі у горлі. Слабкість.	Застосовувати вентиляцію, місцеву витяжку чи засоби захисту органів дихання.	Свіже повітря, спокій. Звернутися за медичною допомогою.
Шкіра	Почервоніння. Сухість шкіри.	Захисні рукавички.	Зняти забруднений одяг. Обполоснути і потім промити шкіру водою з милом.
Очі	Почервоніння. Біль. Помутніння зору.	Використовувати захисні окуляри або засоби захисту очей у комбінації із засобами захисту органів дихання.	Насамперед промити великою кількістю води протягом декількох хвилин (зняти контактні лінзи, якщо це можливо зробити без труднощів), потім звернутися за медичною допомогою.
Проковтування	Нудота. Далі Див. вдихання.	Не приймати їжу, напої та курити під час роботи.	Прополоскати рота. Звернутися за медичною допомогою.
ЛІКВІДАЦІЯ ВИТОКІВ		КЛАСИФІКАЦІЯ ТА МАРКУВАННЯ	
Індивідуальний захист: респиратор з фільтром для органічних газів та пари, що підходить для концентрації речовини у повітрі. НЕ допускати потрадання цієї хімічної речовини у навколишнє середовище. Якінайшвидше зібрати проливу рідину в ємності, що закриваються. Віддалити рідину, що залишилася, за допомогою піску або інертного абсорбенту. Потім зібрати та утилізувати відповідно до місцевих правил.		Згідно з критеріями GHS ООН	
ЗБЕРІГАННЯ		 ОБЕРЕЖНО	
Окремо від сильних окислювачів та сильних основ. Зберігати в місцях, що не мають зливів або доступу до каналізації/вентиляції вздовж підлоги.			
Упаковка		Транспортування Класифікація ООН	

Рисунок 6.10 - Характеристики етілгексанолу наведені на

На рис. 6.11. Наведені фізичні властивості етілгексанолу а також симптоми дії його на організм.

2-ЕТИЛГЕКСАНОЛ		ICSC : 0899
ФІЗИЧНІ ТА ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ		
Агрегатний стан: ЗОВНІШНІЙ ВИГЛЯД: БЕЗВІЛЬНА РІДИНА З ХАРАКТЕРНИМ ПАХОМ. Фізичні небезпеки Хімічні небезпеки Інтенсивно реагує з сильними окислювачами та сильними основами. Розкладається при нагріванні та при горінні.	Формула: $C_{10}H_{22}O$ / $CH_3(CH_2)_4CH_2CH_2OH$ Молекулярна маса: 130,2 Температура кипіння: 152°C Температура плавлення: < -79°C Относительная плотность (вода = 1): 0,83 Розчинність у воді: г/100 мл при 20°C: 0,11 (слабка) Паровий тиск при 20°C: 48 Парова щільність (повітря = 1): 4,5 Точка спалювання: 73°C cc Температура спалювання: 270°C Межа вибуховості: % в об'ємі повітря: 0,88-9,7 Відносна щільність суміші пари та повітря при 20°C (повітря = 1): 1,00 В'язкість: 12,0 mPa/s при 20°C Коэффициент растворимости октанол-вода (Log Pow): 2,3-3,1	
ВПЛИВ НА ОРГАНІЗМ І ЕФЕКТИ ВІД ВПЛИВУ		
Шляхи впливу Речовина може проникати в організм при вдиханні парів, прийомі внутрішньо і через шкіру. Ефекти від короточасного впливу Речовина впливає на очі, шкіру та дихальні шляхи. Речовина може вплинути на центральну нервову систему. При проковтуванні речовина може спричинити оповання і призвести до аспіраційного пневмоніту.	Ризик вдихання Небезпечний рівень забруднення повітря може бути досягнутий досить швидко при випаровуванні цієї речовини при 20°C значно швидше при розпльєнні. Ефекти від тривалої або повторюваної дії Речовина знежирює шкіру, що може спричинити сухість або розтріскування.	
Гранично-припустимі концентрації		
EU-OEL: $5,4 \text{ mg/m}^3$, 1 ppm як TWA МАК: 54 mg/m^3 , 10 ppm; категорія обмеження пікової дії: I(1); група ризику для вартності: C		
ДОВКІЛЛЯ		
Речовина є небезпечною для водних організмів.		

Рисунок 6.11 - Фізичні та хімічні властивості

Враховуючи симптоми необхідно застосувати наступні заходи першої допомоги (відповідно паспорту безпеки):

Вдихання: Виведіть людину на свіже повітря. Якщо він (вона) не дихає, викликайте бригаду першої допомоги або швидку, потім застосуйте штучне дихання. При диханні рот у рот користуйтеся засобом захисту для рятувальника (кишеньковою маскою і т. п.). Викликайте працівника токсикологічного центру або лікаря, щоб отримати лікарську допомогу.

Контакт зі шкірою: Зніміть забруднений одяг. Промийте шкіру великою кількістю води з милом протягом 15–20 хвилин. Викликайте працівника токсикологічного центру або лікаря, щоб отримати лікарську допомогу. Випріть одяг для наступного використання. Черевики та інші шкіряні предмети, які не можуть бути знезаражені, необхідно зняти та утилізувати належним чином.

Контакт з очима: Не закривайте очі та повільно і м'яко ополіскуйте водою впродовж 15–20 хвилин. Після перших 5 хвилин зніміть контактні лінзи, якщо носите, а потім продовжуйте промивати очі. Викликайте працівника токсикологічного центру або лікаря, щоб отримати лікарську допомогу. Спеціальне обладнання для промивання очей має бути доступним у робочій зоні.

6.7 Висновок

У цьому розділі кваліфікаційній роботі розглянуто питання з охорони праці та безпеки для робочого персоналу.

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз потенційних небезпек, розроблені заходи щодо охорони праці під час обслуговування обладнання та виконання профілактичних робіт для обслуговування обладнання, розглянуті і питання з цивільного захисту у надзвичайних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – система водопостачання багатоповерхової будівлі. Об'єктом дослідження є одна з локальних систем автоматичного керування водопостачальної системи будівлі, завданням керування якої є забезпечення заданого тиску води у водопроводі згідно уставці. Предметом дослідження є закони автоматичного керування тиском води у водопроводі будівлі.

Особливість водопровідної системи будівлі як об'єкта автоматичного керування полягає в дуже різному характері основного збурюючого впливу, яким є навантаження на водопровідну систему. Тому дослідження ефективності запропонованих законів й алгоритмів автоматичного керування потрібно проводити для різних характеристик збурюючого впливу на систему керування.

Система автоматичного керування тиском води у водопроводі будівлі є одною з локальних систем керування водопостачальної системи, що виконує завдання стабілізації тиску води у водопроводі. Отже, основною задачею для системи автоматичного керування є якомога швидке реагування на зміну навантаження на водопостачальну систему й повернення тиску на заданий рівень, але не перевищуючи при цьому максимальну допустиму швидкість зміни у часі тиску води у водопроводі.

Об'єкт керування є неперервним та одномірним з одним керуючим входом (команда щодо уставки швидкості обертання валу двигуна приводу насоса на блок керування перетворювачем частоти) та одним керованим виходом (тиск води у водопроводі), але складний характер навантаження на водопровідну систему й обмеження щодо швидкості зміни у часі тиску води у водопроводі робить об'єкт управління складним для керування.

Отже, необхідно провести дослідження залежностей критеріїв якості роботи системи керування від параметрів регулятора тиску води при різних способах автоматичного керування й навантаженнях на водопровідну систему будівлі. Це дозволить для кожного характеру навантаження на водопровідну

систему будівлі визначити найбільш ефективні спосіб керування та настройки регулятора.

Динамічна модель об'єкта керування складається з моделі перетворювача частоти, асинхронного електродвигуна, насоса, труб. При цьому перетворювач частоти приймається безінерційним елементом. Також, опір переміщенню води, що створюється різними гідравлічними елементами в трубах, приймається незмінним.

Для створення динамічної моделі привода насосу і самого насосу використані відомі методики розрахунку параметрів динамічної моделі приводу з асинхронним електродвигуном.

Встановлено, що при довжині трубопроводу до 110 м для усіх його ділянок характерна приблизно однакова інерційність щодо зміни тиску води, при цьому вона на порядок менше інерційності самого насосу, тож суттєво не впливає на перехідний процес на виході системи автоматичного керування.

З урахуванням вимог до регулювання тиску води у водопровідній системі будинку сформовані наступні критерії якості роботи системи автоматичного керування:

3. за умови компенсації збурення у вигляді різкого відбору води у місці розгалуження водопровідної системи відхилення фактичного тиску води від заданого рівня (за нормами – 4,32 атм.) повинне бути якомога менше, але без перевищення максимального допустимого диференціалу тиску за часом 0,33 атм/с при відпрацюванні системою збурення;
4. за умови компенсації збурення час повернення фактичного тиску на заданий рівень повинен бути якомога менше, але без перевищення максимального допустимого диференціалу тиску за часом 0,33 атм/с при відпрацюванні системою збурення.

Позитивний ефект використання штучного обмеження швидкості зміни у часі керуючого сигналу має місце тільки за умови налаштування неперервного ПД-регулятор, при якому час перехідного процесу є сумірним з часом досягнення тиском заданого значення за умови його лінійної зміни у часі зі швидкістю, що відповідає максимально допустимому рівню.

Виявлено, що позитивний ефект використання дискретного регулятора з нелінійною статичною характеристикою сумісно з інтегруючою ланкою має місце при зоні нечуттєвості статичної характеристики у діапазоні значень від 0,042 до 0,06 атм.

Отримані результати досліджень дозволили визначити область ефективного використання запропонованих регуляторів. Неперервний ПД-регулятор з обмеженням швидкості зміни у часі керуючого сигналу доцільно використовувати за умови навантаження на водопостачальну систему, що змінюється у часі повільно (до 0,01-0,03 атм/с), а дискретний регулятор з нелінійною статичною характеристикою сумісно з інтегруючою ланкою доцільно використовувати при динамічній зміні навантаження (більше 0,05 атм/с).

В експериментальному розділі кваліфікаційної роботи розроблене програмне забезпечення об'єкта керування, регулятора, та програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу. При цьому здійснена перевірка функціональності роботи системи автоматичного керування та людино-машинного інтерфейсу, яка підтвердила, що програмне забезпечення об'єкта керування, регулятора та інтерфейсу працює коректно, та згідно з вимогами до системи автоматичного керування тиском води у водопровідній системі будівлі.

В результаті розрахунків встановлено, що в порівнянні з альтернативною системою, проектована система є економічно ефективною. Капітальні витрати для проектованої системи складуть до 25 тис. грн, що менше на 43,5 тис. грн, чим для альтернативного варіанту. Експлуатаційні витрати складуть до 153 тис.

грн, що менше на 40,7 тис. грн, чим для альтернативного варіанту. Коефіцієнт ефективності капітальних витрат дорівнює 1,64. Термін окупності проектного варіанту 0,61 року.

Розглянуті питання з охорони праці та безпеки для робочого персоналу, проведено аналіз потенційних небезпек, розроблені заходи щодо охорони праці під час обслуговування обладнання та виконання профілактичних робіт для обслуговування обладнання, розглянуті і питання з цивільного захисту у надзвичайних ситуаціях.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Крилова І.І. Аналіз сучасного стану сфери водопостачання та водовідведення України / І.І. Крилова // Державне управління. Інвестиції: практика та досвід. – 2018. – №23. – С. 118-125. URL: http://www.investplan.com.ua/pdf/23_2018/23.pdf
2. Sokol L.M. (2009), "Analysis of water use in Ukraine for compliance with consistent approaches", *Ekolohichna bezpeka*, pp. 49-55.
3. Гіпп Т.Р. Технічний стан систем централізованого водопостачання та водовідведення / Т.Р. Гіпп, // Український центр водно-екологічних проблем: [сайт]. – Режим доступу: <https://cleanwater.org.ua/tehnichnyj-stan-system-tsentralizovanoho-vodopostachannya-ta-vodovidvedennya/> (дата звернення 20.10.2021)
4. Централізоване водопостачання міста / «Водоканал» м. Шостка: Інженерні споруди [сайт]. – Режим доступу: <https://vodoksh.jimdofree.com/%D1%96%D0%BD%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%96-%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%B8/>
5. Насосні станції «Світязь» – технічні характеристики / «Теплоенерго» [сайт]. – Режим доступу: <http://teploenergo.com.ua/ua/catalog/nasosnye-stantsii-svityaz/nasosnye-stantsii-svityaz/#v-3>
6. <https://cleanwater.org.ua/tehnichnyj-stan-system-tsentralizovanoho-vodopostachannya-ta-vodovidvedennya/>
7. http://www.investplan.com.ua/pdf/23_2018/23.pdf
8. <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/12/99.1.-DBN-V.2.5-642012.-Vnutrishniy-vodoprovid-ta-kanali.pdf>
9. Міждержавний стандарт ГОСТ 12.0.003-74 (1999) ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
10. ДСН 3.3.6.042-99 „Державні санітарні норми параметрів мікроклімату” - К.: МОЗ України, 2000.

11. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.
12. ДСТУ Б.А.3.2-12:2009. Система стандартів безпеки праці. Системи вентиляційні. Загальні вимоги
13. ДНАОП 0.03-33.14-85. Санітарні норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях.
14. Правила улаштування електроустановок Мінпаливвугілля України. – 2017 – 617с.
15. «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості на небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». № 528 - 2001.
16. Голінько В.І., Фрундін В.Ю. Охорона праці в галузі електротехніки та електромеханіки – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2011. – 235с
17. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями, затверджені наказом Мінсоцполітики від 14.02.2018 № 207.
18. Охорона праці в галузі. Конспект лекцій для студентів Інституту електроенергетики. / Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. - Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2013. – 86 с.
19. Методичні рекомендації з виконання заходів стосовно охорони праці при роботі з ПЕОМ та розрахунку освітлення у дипломних проектах студентів усіх спеціальностей/ Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. - Дніпропетровськ: ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2013.- 12 с.
20. ДСанПіН 3.3.2-007-98 Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин
21. ДСТУ 7234:2011 Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки

22. ДСТУ 7950:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце під час виконання робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги.
23. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги
24. ДСТУ 3191-95 (ГОСТ 12 2.137-96) Обладнання для кондиціонування повітря та вентиляції. Загальні вимоги безпеки.
25. Методичні рекомендації до практичних занять з розрахунку промислової вентиляції з дисципліни «Охорона праці в галузі» та дипломного проектування для студентів усіх спеціальностей / В.І. Голінько, Я.Я. Лебедєв, С.О. Алексеєнко, В.Г. Марченко. – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2013. – 34 с
26. ДСП 173-96. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів (2375)
27. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою
28. НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні
29. 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 управління

A.1 Модуль об'єкта управління

```
(*
*
* File: model_SAK_subsys.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for
subsystem "model_SAK_subsys/ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ"
*
* Model name                : model_SAK_subsys
* Model version              : 1.31
* Model creator              : w
* Model last modified by    : w
* Model last modified on    : Wed Dec 22 19:10:41 2021
* Model sample time         : 0s
* Subsystem name            : model_SAK_subsys/ОБ'ЄКТ
КЕРУВАННЯ
* Subsystem sample time     : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on     : Wed Dec 22 19:11:53 2021
*
* Target IDE selection      : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included       : No
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_product: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_pressure: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn_states: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:
        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn:
'<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)
        DiscreteTransferFcn_states := 0.0;
    SS_STEP:
        (* Outport: '<Root>/bo_pressure ' incorporates:
```

```

*)
    * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn'
    bo_pressure := 0.00663401218727 *
DiscreteTransferFcn_states;

    (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete
Transfer Fcn' incorporates:
    * Update for Inport: '<Root>/bi_product' *)
    DiscreteTransferFcn_states := bi_product - (-
0.882496902584595 * DiscreteTransferFcn_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: model_SAK_subsys.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for
subsystem "model_SAK_subsys/РЕГУЛЯТОР"
*
* Model name : model_SAK_subsys
* Model version : 1.31
* Model creator : w
* Model last modified by : w
* Model last modified on : Wed Dec 22 19:10:41 2021
* Model sample time : 0s
* Subsystem name :
model_SAK_subsys/РЕГУЛЯТОР
* Subsystem sample time : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on : Wed Dec 22 19:11:12 2021
*
* Target IDE selection : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_error: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_product: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn1_states: LREAL;

```

```

END_VAR
VAR_TEMP
    rtb_Sum1: LREAL;
    rtb_RelationalOperator2: BOOL;
    rtb_Product4: UINT;
    temp1: DINT;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:

        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn:
        '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
        DiscreteTransferFcn1_states := 0.0;
        SS_STEP:

            (* Sum: '<S1>/Sum1' incorporates:
            * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
            Fcn1'
            * Gain: '<S1>/Gain2'
            * Inport: '<Root>/bi_error' *)
            rtb_Sum1 := (17.3760158043259 * bi_error) + (0.1 *
            DiscreteTransferFcn1_states);

            (* RelationalOperator: '<S1>/Relational Operator2'
            incorporates:
            * Constant: '<S1>/Constant6' *)
            rtb_RelationalOperator2 := rtb_Sum1 <= 100.0;

            (* Product: '<S1>/Product4' incorporates:
            * Constant: '<S1>/Constant7'
            * RelationalOperator: '<S1>/Relational Operator3'
            *)
            IF rtb_RelationalOperator2 THEN
                temp1 := BOOL_TO_DINT(rtb_Sum1 >= 0.0);
            ELSE
                temp1 := 0;
            END_IF;
            rtb_Product4 := DINT_TO_UINT(temp1);

            (* Outport: '<Root>/bo_product' incorporates:
            * Constant: '<S1>/Constant5'
            * Constant: '<S1>/Constant6'
            * Product: '<S1>/Product7'
            * Product: '<S1>/Product8'
            * Sum: '<S1>/Sum10'
            * Sum: '<S1>/Sum8' *)
            bo_product := ((1.0 -
            BOOL_TO_LREAL(rtb_RelationalOperator2)) *
            100.0) +
            (UINT_TO_LREAL(rtb_Product4) * rtb_Sum1);

```

```

      (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete
Transfer Fcn1' incorporates:
      * Gain: '<S1>/Gain3'
      * Inport: '<Root>/bi_error'
      * Product: '<S1>/Product6' *)
      DiscreteTransferFcn1_states := ((29.1610521553262 *
bi_error) *      UINT_TO_LREAL(rtb_Product4)) -      (      -
DiscreteTransferFcn1_states);
      END_CASE;
      END_FUNCTION_BLOCK
      VAR_GLOBAL CONSTANT
          SS_INITIALIZE: SINT := 0;
          SS_STEP: SINT := 1;
      END_VAR
      VAR_GLOBAL
      END_VAR

```

ДОДАТОК Б

Програмне забезпечення системи управління

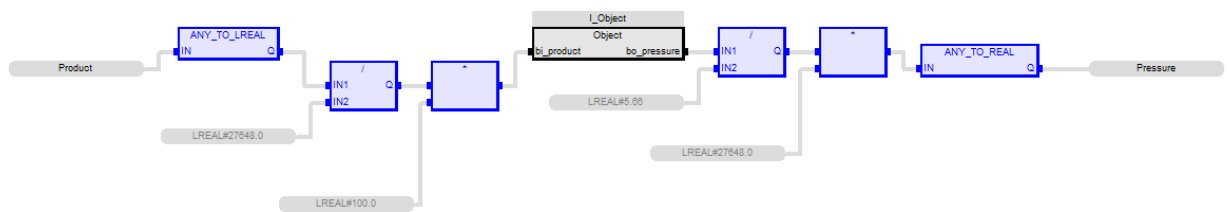
Б.1 Програмне забезпечення об'єкта

Б.1.1 Список програм

[FBD] Main

[ST] Object

Б.1.2 Основна програма



Б.1.3 Користувальницький функціональний блок

(* Output: '<Root>/bo_pressure' incorporates:

* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)

bo_pressure := LREAL#0.00663401218727 *

DiscreteTransferFcn_states;

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' incorporates:

* Update for Inport: '<Root>/bi_product' *)

DiscreteTransferFcn_states := bi_product - (LREAL#-0.882496902584595 * DiscreteTransferFcn_states);

Б.1.4 Перелік змінних

```
VAR_INPUT
  bi_product : LREAL ;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  bo_pressure : LREAL ;
END_VAR
```



```

VAR
  DiscreteTransferFcn_states : LREAL ;
END_VAR

```

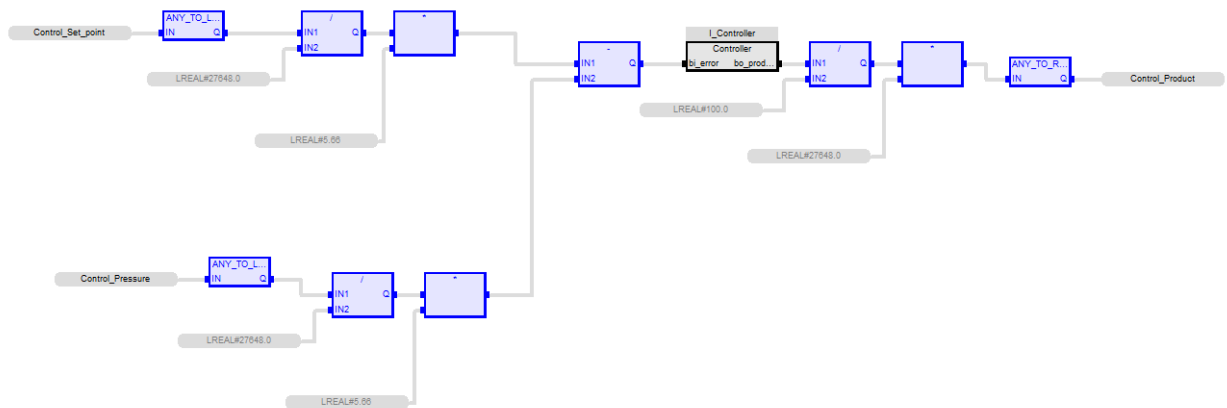
Б.2 Програмне забезпечення регулятора

Б.2.1 Список програм

[FBD] Main

[ST] Controller

Б.2.2 Основна програма



Б.2.3 Користувальницький функціональний блок

(* Sum: '<S1>/Sum1' incorporates:

- * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1'
- * Gain: '<S1>/Gain2'
- * Inport: '<Root>/bi_error' *)

```

rtb_Sum1 := (LREAL#7.3760158043259 * LREAL#0.25 * bi_error) +
(LREAL#0.1 * DiscreteTransferFcn1_states);

```

(* RelationalOperator: '<S1>/Relational Operator2' incorporates:

- * Constant: '<S1>/Constant6' *)

```

rtb_RelationalOperator2 := rtb_Sum1 <= 100.0;

```

(* Product: '<S1>/Product4' incorporates:

```

* Constant: '<S1>/Constant7'
* RelationalOperator: '<S1>/Relational Operator3' *)
IF rtb_RelationalOperator2 THEN
    temp1 := BOOL_TO_DINT(rtb_Sum1 >= 0.0);
ELSE
    temp1 := 0;
END_IF;
rtb_Product4 := DINT_TO_UINT(temp1);

```

(* Output: '<Root>/bo_product' incorporates:

```

* Constant: '<S1>/Constant5'
* Constant: '<S1>/Constant6'
* Product: '<S1>/Product7'
* Product: '<S1>/Product8'
* Sum: '<S1>/Sum10'
* Sum: '<S1>/Sum8' *)

```

```

bo_product := ((LREAL#1.0 -
BOOL_TO_LREAL(rtb_RelationalOperator2)) * LREAL#100.0) +
(UINT_TO_LREAL(rtb_Product4) * rtb_Sum1);

```

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' incorporates:

```

* Gain: '<S1>/Gain3'
* Inport: '<Root>/bi_error'
* Product: '<S1>/Product6' *)

```

```

DiscreteTransferFcn1_states := ((LREAL#29.1610521553262 *
LREAL#0.25 * bi_error) * UINT_TO_LREAL(rtb_Product4)) - (
DiscreteTransferFcn1_states);

```

Б.2.4 Перелік змінних

```
VAR_INPUT
  bi_error : LREAL ;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  bo_product : LREAL ;
END_VAR
VAR
  DiscreteTransferFcn1_states : LREAL ;
  rtb_Sum1 : LREAL ;
  rtb_RelationalOperator2 : BOOL ;
  rtb_Product4 : UINT ;
  temp1 : DINT ;
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 t...	Filter...	Filter text
	Product		%	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	1	0
	Pressure		atm	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	2	0
	Controller/Global/Control_Set_point		atm	0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...	REAL	2	0
	Controller/Global/Control_Product		%	0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...	REAL	1	0
	Controller/Global/Control_Pressure		atm	0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...	REAL	2	0

В.3 Шаблони зображень



В.4 Функції

State	Name	Type	Parameter
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	ExitRuntime	Exit Runtime	
	ReloadProject	Reload project onli...	changed objects
	SwitchTrendScreen	Screen switch	TrendLine (Extended Trend) - PROC...
	SwitchProcessScre...	Screen switch	Technologies (Standard)
	SwitchCELScreen	Screen switch	CEL (Chronological Event List) - [*][*]...
	SwitchButtonScreen	Screen switch	Buttons (Standard)
	SwitchAMLScreen	Screen switch	AML (Alarm Message List) - [*][*]-[...]
	SwitchMain	Screen switch	Main (Standard)

В.5 Зображення

State	Name	Screen type	Frame	Background color	Start function	End function
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	AML	Alarm Message List	MainScreen	#FFFF00	< no function l...	< no function l...
	Technologies	Standard	MainScreen	#FFFF00	< no function l...	< no function l...
	Buttons	Standard	Buttons	#FFFF00	< no function l...	< no function l...
	CEL	Chronological Event List	MainScreen	#FFFF00	< no function l...	< no function l...
	TrendLine	Extended Trend	MainScreen	#FFFF00	< no function l...	< no function l...
	Main	Standard	MainScreen	#FFFF00	SwitchButtonS...	< no function l...

