

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 Куксіна Дмитра Сергійовича

(П.І.Б.)

академічної групи 151м-19-1.

(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 Автоматизація процесу керування підтримання температури в офісному приміщенні в зимовий період року

(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинг.	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	доцент Соснін К.В.			
Провідний консультант	ст.викладач Бойко О.О.			
Синтез системи керування	доц. Бубликов 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  
2020

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

\_\_\_\_\_ Ткачов В.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеня магістра**

студенту Куксін Д.С. академічної групи 151М-19-1  
(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 Автоматизація процесу керування підтримання температури в офісному приміщенні в зимовий період року,

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 20.11.2020 № 965-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання. Теоретичний розділ	Вступ. Опис технологічного процесу для об'єкта автоматизації. Огляд існуючих систем автоматизації. Стан питання. Вибір напрямку створення автоматизованої системи. Визначення моделі об'єкта керування.	12.10.2020
Синтез системи керування	Обрання структури системи керування та регулятора. Розрахунок параметрів регулятора. Дослідження функціонування системи керування на базі обраного регулятора.	02.10.2020
Експериментальний розділ	Розробка програмного забезпечення системи керування на підставі обраного регулятора та його налаштувань.	23.11.2020
Економічна частина	Економічне обґрунтування доцільності витрат на створення системи керування.	30.11.2020
Охорона праці	Розробка організаційно-технічних заходів, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи.	07.12.2020

Завдання видано \_\_\_\_\_  
(підпис п.конс.)

посада, Прізвище І.Б.  
(прізвище, ініціали)

Дата видачі 01.09.2020

Дата подання до атестаційної комісії 14.12.2020

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис студента)

Куксін Д.С.  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 106 с., 72 рис., 27 табл., 9 джерел, 3 додатки.

Об'єкт проектування: Автоматизація процесу керування підтримання температури в офісному приміщенні в зимо-вий період року.

Мета: автоматизація процесу керування припливною вентиляцією.

Регулювання температури повітря, що надходить із припливної вентиляції має велике значення для процесу підтримки параметрів мікроклімату у приміщеннях.

Для реалізації автоматизованої системи керування температурою повітря вибране наступне обладнання: датчики температури повітря, датчики вологості повітря, диференційний датчик тиску у фільтрі, регулятор потужності, пускач, контролер, блок живлення.

Для дослідження об'єкта керування – припливної вентиляції використані методи структурної ідентифікації, метод параметричної ідентифікації.

Розроблена математична модель об'єкта керування по каналу потужність калорифера - температура повітря на виході з припливної вентиляції.

Синтезовано модель системи керування припливною вентиляцією.

Розроблено модель регулятора, який можна використати для керування.

Розроблено людино-машинний інтерфейс, за допомогою якого можна задавати уставку температури, спостерігати в реальному часі за перехідним процесом.

В розділі «Економічна частина» визначена вартість придбання та монтажу системи.

В розділі «Охорона праці» визначені шкідливі та небезпечні чинники, та розроблені методи зменшення впливу або усунення впливу шкідливих та небезпечних чинників

**НАГРІВАННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЯ, ІДЕНТИФІКАЦІЯ, МОДЕЛЬ, КЕРУВАННЯ.**

## Зміст

1	СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ .....	7
1.1	Галузь промисловості .....	7
1.2	Технологічний процес .....	8
1.2.1	Вологість повітря .....	8
1.2.2	Температура в приміщенні.....	9
1.2.3	Обробка і фільтрація повітря .....	10
1.3	Об’єкт керування.....	11
1.3.1	Загальна характеристика об’єкта керування .....	12
1.3.2	Структура об’єкту керування .....	13
1.3.3	Принцип функціонування об’єкту керування.....	14
1.4	Структура системи керування .....	14
1.4.1	Вибір датчиків .....	15
1.4.2	Вибір виконавчих пристроїв .....	19
1.4.3	Вибір пристроїв керування .....	21
1.4.4	Вибір джерел живлення.....	27
1.5	Розробка функціональної схеми автоматизації .....	28
1.6	Розробка схеми електричної принципової .....	30
1.7	Формулювання задачі дослідження .....	31
2.	ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	33
2.1	Модель об’єкта керування .....	33
2.1.1	Структурна ідентифікація .....	38
2.1.2	Параметрична ідентифікація.....	41
2.1.3	Розробка моделі об’єкта керування в Simulink.....	44
2.1.4	Перевірка моделі на адекватність.....	45
2.2	Критерії якості функціонування об’єкта керування.....	46
2.3	Висновки по розділу .....	56
3	СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	57
3.1	Модель системи керування .....	57

3.2 Висновки по розділу .....	66
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	67
4.1 Цифрова модель об'єкта керування .....	67
4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування .....	70
4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу .....	73
4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення .....	76
4.5 Висновки по розділу .....	79
5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....	80
5.1 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування .....	80
5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат .....	82
5.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань .....	83
5.2.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати .....	84
5.2.3 Розрахунок відрахувань на соціальні заходи .....	86
5.2.4 Визначення річних витрат на технічне обслуговування та поточний ремонт	86
5.2.5 Розрахунок вартості спожитої електроенергії .....	86
5.2.6 Інші витрати.....	87
5.3 Визначення додаткового прибутку від впровадження системи керування	88
5.4 Висновки до розділу .....	89
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	90
6.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів проектного об'єкта, технологічного процесу, системи або пристрою .....	90
6.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці.....	92
6.3 Розрахункова частина .....	95
6.4 Пожежна профілактика.....	96
6.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях .....	98
6.6 Висновки по розділу .....	99
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	101
ДОДАТОК А.....	102

ДОДАТОК Б .....	105
ДОДАТОК В.....	107

## ВСТУП

На даний момент одним із основних завдань є підвищення ефективності суспільного виробництва. Підвищення продуктивності праці, випуск якісної продукції, покращення умов праці робітників, створення умов відпочинку – все це забезпечують системи вентиляції та кондиціонування повітря, за допомогою яких створюється мікроклімат в приміщеннях. Широке застосування систем нагріву і кондиціонування повітря обумовлено такими об'єктивними причинами:

а) Зростанням попиту до умов праці на різних видобувних та переробних підприємствах, вугільних шахтах, рудниках, заводах;

б) Розвитком нових виробництв у хімічній, машинобудівній, електротехнічній та інших галузях промисловості, яким необхідна підтримка мікроклімату в приміщенні;

в) Збільшення кількості будівель, в яких довгий час перебуває велика кількість людей.

Системи кондиціонування приміщень відрізняються між собою за протяжністю території, яку вони можуть обслуговувати, габаритами установки, кількістю обслуговуючого персоналу, технічними характеристиками.

Автоматизація припливної вентиляції підвищує надійність роботи обладнання, збільшує коефіцієнт корисної дії за рахунок меншого споживання електроенергії, яке досягається шляхом точного і стабільного збереження заданих параметрів температури в приміщенні, а також автоматизація дозволяє зменшити кількість обслуговуючого персоналу.

Також автоматизація пов'язана з проблемою оптимізації проектних рішень, мета яких полягає в створенні необхідних передумов для підвищення ефективності капіталовкладень, скорочення термінів окупності і забезпечення приросту продукції на кожну витрачену гривню.

Завдання проектування систем керування вентиляцією та кондиціонування в приміщенні визначається вибором схеми автоматизації, яка забезпечує

безперебійну роботу на всіх етапах заданого технологічного процесу при максимальному економічному ефекті, шляхом збереження ресурсів електроенергії, за рахунок точного досягнення та збереження параметрів повітря в приміщенні.



# 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

## 1.1 Галузь промисловості

Житлово-комунальне господарство (ЖКГ) - комплекс галузей економіки, що забезпечує функціонування житлових будинків, що створюють безпечно, зручне і комфортне проживання та перебування в них людей (споживач). Включає в себе також об'єкти соціальної інфраструктури для обслуговування жителів. Система житлово-комунального господарства представлена виробниками і споживачами житлово-комунальних послуг. Житлово-комунальне господарство включає в себе:

- а) Електропостачання - забезпечення поставки електроенергії, газопостачання - забезпечення поставки газу, теплопостачання - забезпечення поставки гарячої води і теплової енергії, забезпечення роботи котельень;
- б) Водопостачання та водовідведення - прокладка та ремонт водопровідних труб, водозабір, очищення та доставка води в багатоквартирні будинки і на промислові об'єкти (в тому числі для подальшого підігріву для потреб гарячого водопостачання та опалення), каналізація - відведення стічних вод;
- в) Вентиляція і централізоване кондиціонування повітря;
- г) Прибирання та санітарно-епідеміологічну обробку місць загального користування (в тому числі дератизація та дезінсекція).

Багато з цих послуг надають спеціалізованими житлово-експлуатаційними організаціями, які залучають на договірних засадах інші спеціалізовані підприємства. В містах вони входять до складу міського господарства. У багатьох містах і селищах підприємства комунального господарства обслуговують також і промислові підприємства, забезпечуючи їх водою, електроенергією, газом. Також промислові підприємства мають і власні системи теплозабезпечення, водопостачання, каналізацію, і інші споруди комунального призначення.

Облік житла ведеться за основними формами власності: державна, комунальна, колективна та приватна. А саме:

- а) Державний житловий фонд — фонд державних установ, підприємств та організацій, що належить їм на праві повного господарського володіння;
- б) Комунальний житловий фонд — фонд, що належить на праві власності територіальним громадам сіл, селищ, міст, районів у містах;
- в) Колективний житловий фонд — фонд колективних та орендних підприємств, господарських товариств (житлово-будівельних та житлових кооперативів), об'єднань, недержавних підприємств, релігійних організацій, політичних партій, об'єднань громадян тощо;
- г) Приватний житловий фонд — житлові будинки, приватизовані квартири, власниками яких є фізичні особи (громадяни).

## **1.2 Технологічний процес**

Основні параметри мікроклімату приміщень:

- а) Температура;
- б) Рівень вологості;
- в) Швидкість руху повітря;
- г) Повітрообмін;
- д) Біологічні та хімічні забруднення повітря.

### **1.2.1 Вологість повітря**

Найкомфортнішою для людини є вологість повітря на рівні 40-60%. При цьому крайні значення показника можуть варіюватися в межах від 30 до 70%. При більш низьких параметрах у людини виникає сухість слизових дихальних шляхів і шкіри. Взимку зовнішнє повітря має низьку температуру і невелику вологість.

### 1.2.2 Температура в приміщенні

У холодну пору року температура в приміщенні залежить від систем опалення. Оптимальною для мікроклімату житлових і громадських приміщень взимку вважається температура повітря 20-22 ° С. Кращий мікроклімат виробничих приміщень починається для працівників з 18 градусів.

Терморегуляція - це сукупність процесів, що забезпечує рівновагу між теплопродукцією і тепловіддачею, завдяки якому температура тіла людини залишається постійною. Слід враховувати тепловіддачу людини при регулюванні температури повітря в приміщенні. (табл. 1.1)

Таблиця 1.1 – значення тепловіддачі людини

Температура повітря, °С	Теплопродукція, Дж/с	Температура повітря, °С	Теплопродукція, Дж/с
Стан спокою		Робота середньої важкості	
10	103,7	10	332,0
18	103,7	18	334,1
28	112,1	28	354,3
35	116,2	35	359,1
45	119,7	45	354,3
Легка робота		Важка і дуже важка робота	
10	179,6	10	535,3
18	179,6	18	550,7
22	176,8	22	600,4
35	197,0	35	636,0
45	204,6	45	690,6

Розрізняють три види тепловіддачі організму людини:

- а) випромінювання (у вигляді інфрачервоних променів, що випускаються поверхнею тіла в напрямку предметів з меншою температурою);
- б) конвекція (нагрівання омиває поверхню тіла повітря);

- в) випаровування вологи з поверхні шкіри, слизових оболонок верхніх дихальних шляхів і легенів.

Процентне співвідношення між цими видами тепловіддачі людини, що знаходиться в нормальних умовах в стані спокою, виражається наступними цифрами: 45/30/25. Однак зазначене співвідношення може змінюватися в залежності від конкретних значень параметрів мікроклімату і важкості виконуваної роботи.

Тепловіддача випромінюванням відбувається тільки в тому випадку, коли температура навколишніх предметів нижче температури відкритих ділянок шкіри (32-34,5 ° С) або зовнішніх шарів одягу (27-28 ° С для легко одягненої людини і приблизно 24 ° С для людини в зимовому одязі). Основна частина випромінювання відноситься до інфрачервоного діапазону з довжиною хвилі (4 – 50) × 10<sup>-6</sup>м. При цьому втрачається організмом в одиницю часу кількість теплоти, Дж / с (1 Дж / с = 1 Вт).

### **1.2.3 Обробка і фільтрація повітря**

Повітря, перед тим як потрапити в приміщення, проходить велику кількість обробок. Після того як воно пройде через повітряну решітку, потрапляє на фільтри з різними ступенями очищення від забруднюючих елементів і сторонніх домішок. Дані фільтри будуть очищати повітря від пилу, бруду, шкідливих газів і газів, що з'явилися від шкідливих виробничих процесів. Також повітря очищається від автомобільних викидів і інших сторонніх запахів. З усього цього випливає, що така вентиляція очищає повітря від шкідливих речовин, захищає організм людини від інфекцій, бактерій і згубного впливу технічних відходів та газів.

Щоб нагріти повітря, в припливній вентиляції використовується електророзігрівач, потужністю якого можна керувати.

Комплекс технічних засобів і пристроїв, для обробки припливного повітря із заданими параметрами і підтримки в приміщеннях оптимального або заданого стану повітряного середовища (незалежно від зміни зовнішніх і внутріш-

ніх факторів), називається системою кондиціонування повітря. Система кондиціонування дозволяє автоматично підтримувати задану температуру, швидкість руху повітря, його чистоту, газовий склад, ароматичні запахи, зміст легких і важких іонів, а в ряді випадків певний барометричний тиск. У більшості житлових, громадських і промислових будівель сучасні системи кондиціонування дозволяють підтримувати тільки перші три з перерахованих параметрів.

### 1.3 Об'єкт керування

Об'єктом керування виступає офісне приміщення з припливною вентиляцією, в якому необхідно регулювати температуру взимку. (рис. 1.1)



Рисунок 1.1 – Офісне приміщення з припливною вентиляцією

### 1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування



Рисунок 1.2 - вентагрегат VENTS (ВЕНТС) МПА 3500 Е3

Таблиця 1.2 - Технічні характеристики: вентагрегат VENTS (ВЕНТС) МПА 3500 Е3

Параметр	Величина	Одиниця вимірювання
Фазність	3	~
Напруга	400	В
Частота струму	50	Гц
Максимальна потужність вентилятора	3050	Вт
Потужність електричного нагрівача	25200	Вт
Струм електричного нагрівача	36,4	А
Струм вентилятора	2,3	А
Сумарна потужність установки	28,2	кВт
Сумарний струм установки	38,4	А
Максимальна витрата повітря	3500	м <sup>3</sup> /ч
Частота обертів	1200	хв <sup>-1</sup>
Рівень звукового тиску на відстань 3 метри	53	дБ(А)
Матеріал корпусу	алюмоцинк	
Максимальна температура переміщуваного повітря	-45 +45	°С
Ізоляція	25 мм, мін. вата	
Фільтр	G4	
Розмір приєднувального повітропроводу	600x350	мм
Маса	69.3	кг
Тип нагрівача	електричний	
ЄС-мотор	ні	
Тип	припливна	
Рекуперація тепла	Ні	

Основні технологічні функції керування припливною вентиляцією реалізуються на рівні окремих установок за допомогою систем автоматичного керування (САУ). САУ - це сукупність об'єкта керування (керованого технологічно-

го процесу) і керуючих пристроїв, взаємодія яких забезпечує автоматичне протікання процесу відповідно до заданої програми. При цьому під технологічним процесом розуміється послідовність операцій, які необхідно виконати, щоб з вихідної сировини отримати готовий продукт. У разі припливної вентиляції готовим продуктом є повітря в приміщенні, що обслуговується з заданими параметрами температури, а сировиною є зовнішнє повітря, теплоносії, електроенергія та інші.

В основу функціонування систем автоматичного керування припливною вентиляцією, як і будь-якої системи керування, покладено принцип зворотного зв'язку: вироблення керуючих впливів на основі інформації про об'єкт, отриманої за допомогою датчиків, встановлених на об'єкті.

### 1.3.2 Структура об'єкту керування

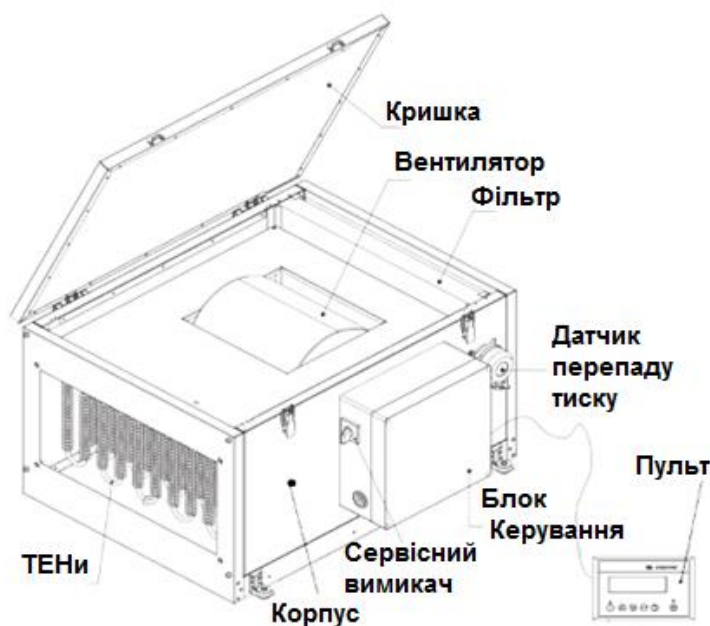


Рисунок 1.3 – Структура схема припливної вентиляції

До складу установки входять: вентилятор, фільтр, датчик перепаду тиску, блок керування, сервісний вимикач, ТЕНи, пульт, кришка, корпус.

Вентилятор - основа будь-якої системи штучної вентиляції. За допомогою нього повітря потрапляє в вентиляцію, і з неї в приміщення.

Решітка входу - через неї в систему надходить зовнішнє повітря. Ці решітки захищають систему вентиляції від потрапляння всередину крапель дощу і сторонніх предметів.

Фільтр - необхідний для захисту, як самої системи вентиляції, так і вентиляційних приміщень від пилу, пуху, комах. Для контролю забруднення фільтра можна встановити диференційний датчик тиску, який контролює різницю тиску повітря на вході і виході фільтра - при забрудненні різниця тиску збільшується.

Датчик перепаду тиску – служить для контролю рівня забрудненості фільтра.

Блок керування – дозволяє регулювати витрату и температуру повітря, а також забезпечує необхідний релейний захист установки.

Сервісний вимикач – призначений для відключення установки від електромережі.

Калорифер призначений для підігріву повітря, яке подається з вулиці в зимовий період.

### **1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування**

Принцип роботи вентиляції полягає в тому, що подача повітря з вулиці відбувається за допомогою примусового нагнітання. Для цього використовується блок з вентилятором. Він створює необхідний тиск для примусового нагнітання і подає спочатку оброблене повітря у внутрішні частини будівлі. При примусовому нагнітанні чистого повітря обладнанням створюється надлишковий тиск, який сприяє виведенню зайвого, вже використаного повітря через вікна і двері.

### **1.4 Структура системи керування**

В якості об'єкта керування виступає припливна вентиляція, для якої виконується розробка системи автоматизованого керування. Вхідними параметрами об'єкта керування є температура і вологість повітря в приміщенні, конт-



роль забруднення фільтру. Вихідними параметрами об'єкту керування є потужність калорифера, пуск вентилятора. Основним завданням розробляємої системи є підтримка заданої температури у приміщенні взимку.

Виходячи з цього, підсистема керування повинна включати датчик, які вимірюють поточну температуру у приміщенні, датчики вологості повітря, датчик тиску у фільтрі, калорифер, від вихідної потужності якого залежить температура у приміщенні, пристрій керування, який керує калорифером и вентилятором, пульт керування, за допомогою якого буде здійснюватися керування та візуалізація процесу керування (рис. 1.4).

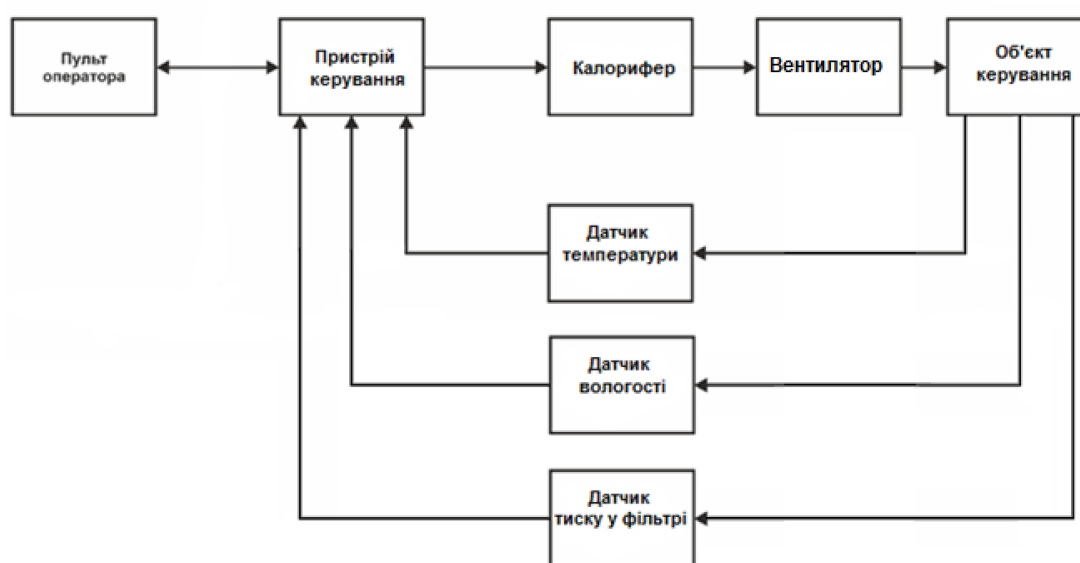


Рисунок 1.4 – Структурна схема системи керування

### 1.4.1 Вибір датчиків

Основною задачею розробляємої системи керування є підтримка заданої комфортної для людини температури у приміщенні взимку, яка може коливатися від  $+10^{\circ}\text{C}$  до  $+30^{\circ}\text{C}$ .

Підключення датчика до пристрою керування повинно здійснюватися за допомогою стандартного перешкодозахисного токового інтерфейсу 4-20 мА.

Виходячи з цього для вимірювання температури повітря в приміщенні обрано датчик ТЕРА ТСМ-1-3-50М-А-2 (рис. 1.5) який є термоелектричним перетворювачем з діапазоном вимірювання  $-50\div 150^{\circ}\text{C}$  та який має вбудований

перетворювач напруги до стандартного струмового сигналу  $4\div 20$  мА. ( табл. 1.3).



Рисунок 1.5 – Датчик температури ТЕРА ТСМ-1-3-50М-А-2

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики датчика температури ТЕРА ТСМ-1-3-50М-А-2

№	Найменування параметру	Значення
1	Тип	ТПР
2	Матеріал	платина
3	Діапазон вимірюваних температур, °С	$-50\div 150$
4	Тип корпуса	1-3
5	Вихідний сигнал, мА	$4\div 20$
6	Нелінійність перетворення, не гірше, %	$\pm(0,25 + 0,0035t)$
7	Напруга живлення, В	24
8	Споживана потужність, Вт	1

Для вимірювання вологості повітря в приміщенні потрібен датчик вологості повітря. Підключення датчика до пристрою керування повинно здійснюватися за допомогою стандартного перешкодозахисного токового інтерфейсу  $4\div 20$  мА.

Виходячи з цього для вимірювання вологості повітря в приміщенні обрано датчик ДВ УТ-02-НІН-Рt100 (рис. 1.6), який є перетворювачем вологості з діапазоном вимірювання  $0\div 100$  % та який має вбудований перетворювач напруги на виході до стандартного струмового сигналу  $4\div 20$  мА.



Рисунок 1.6 – Датчик вологості повітря ДВ УТ-02-НІН-Pt100

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики датчика вологості ДВ УТ-02-НІН-Pt100

№	Найменування параметру	Значення
1	Тип	Ємнісний
2	Робочий діапазон, %	0÷100
3	Клас точності	3
4	Температура експлуатації плати перетворювача, °С	0÷60
5	Показник інерції, хв	2÷3,5
6	Вихідний сигнал, мА	4÷20
7	Нелінійність перетворення, не гірше, %	±0,2
8	Напруга живлення, В	24
9	Споживана потужність, Вт	1

Для контролю забруднення фільтра в припливній вентиляції можна встановити диференційний датчик тиску, який контролює різницю тиску повітря на вході і виході фільтра. Підключення датчика до пристрою керування повинно здійснюватися за допомогою стандартного перешкодозахисного токового інтерфейсу 4-20 мА.

Виходячи з цього для вимірювання тиску обрано датчик MS-021-LCD (рис. 1.7), який є перетворювачем тиску з діапазоном вимірювання 0÷5 кПа та який має вбудований перетворювач напруги до стандартного струмового сигналу 4÷20 мА.



Рисунок 1.7 – Диференційний датчик тиску MS-021-LCD

Таблиця 1.5 – Технічні характеристики датчика тиску MS-021-LCD

№	Найменування параметру	Значення
1	Тип	Ємнісний
2	Максимальний робочий тиск, Па	6,9
3	Діапазон вимірювання, кПа	0÷5
4	Тип корпусу	021
5	Показатель інерції, с	0,5÷15
6	Вихідний сигнал, мА	4÷20
7	Клас точності	±0,5%
8	Напруга живлення, В	24
9	Споживана потужність, Вт	1

На підставі обраних датчиків і їх технічних характеристик складена таблиця 1.6.

Таблиця 1.6 – Датчики системи керування

№	Найменування параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон вимірювання	Точність	Значення виходу	Період оновлення	Споживана потужність
1	Температура в приміщенні	ТПР	Аналоговий	-50÷150 °С	0,0025t	4-20 мА	0,1 с	1 Вт
2	Вологість повітря в приміщенні	Ємнісний	Аналоговий	0÷100%	0,002t	4-20 мА	0,1 с	1 Вт
3	Тиск у фільтрі вентиляції	Ємнісний	Аналоговий	0-5 кПа	0,005t	4-20 мА	0,1 с	1 Вт

### 1.4.2 Вибір виконавчих пристроїв

Керування температурою здійснюється за рахунок зміни потужності калориферу. В якості регулятора потужності виступає регулятор потужності DPU33В-080-Р. Технічні характеристики регулятора наведені в таблиці 1.7.



Рисунок 1.8 – Регулятор потужності DPU33В-080-Р

Таблиця 1.7 – Технічні характеристики регулятора потужності DPU33B-080-R

№	Найменування параметру	Значення
1	Тип	Трьохфазний
2	Напруга	110/220/380/440 В~
3	Мін. Струм навантаження, А	1
4	Допустимий діапазон напруги	85-115% від номінальної напруги
5	Мінімальний виведений вихідний сигнал	Більше 2,5% від ном. струму/напр
6	Додатковий вихід	RS485 (Modbus RTU)
7	Вихідний сигнал, мА	4÷20
8	Нелінійність перетворення, не гірше,%	±0,2
9	Напруга живлення, В	24
10	Споживана потужність, Вт	10

Для подачі повітря в приміщення необхідно використовувати пристрій, який забезпечує пряме включення і відключення вентилятора. Пускач повинен забезпечувати комутацію навантаження з фазним струмом:

$$I_{\phi} = I_n / 1.73 = 6.2 \text{ А} / 1.73 = 3.58 \text{ А} \quad (1.1)$$

Де  $I_{\phi}$  – фазний струм (А),  $I_n$  – номінальний струм вентилятора.

Крім цього, пускач повинен короткочасно витримувати пусковий струм:

$$I_{\phi} = I_{\phi} \times k = 3.58 \times 7.5 = 26.85 \text{ А} \quad (1.2)$$

Де  $I_{\phi}$  – фазний пусковий струм (А),  $I_{\phi}$  – фазний струм (А),  $k$  – відношення пускового струму до номінального.

Таким чином, пускач повинен забезпечувати комутацію трьохфазної напруги ~220 В з короткочасним пусковим струмом 27 А і робочим струмом 4 А.

Висунутим вимогам відповідає трьохфазний пускач M2 P032 220 В4, який забезпечує комутацію напруги  $\sim 220$  В при короткочасному струмі навантаження 24-32 А і робочому струмі навантаження 32 А (рис. 1.9). Технічні характеристики пускача наведені в таблиці 1.8.



Рисунок 1.9 – пускач M2 P032 220 В4

Таблиця 1.8 – Технічні характеристики пускача M2 P032 220 В4

№	Найменування параметра	Значення
1	Короткочасний струм навантаження, А	24-32
2	Робочий струм навантаження, А	32
3	Потужність, кВт	15

Таблиця 1.9 – Виконавчі пристрої системи керування

№	Найменування параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон керування	Лінійність	Значення входу	Період оновлення	Споживана потужність
1	Потужність калориферу	Регулятор	Аналоговий	0÷100 %	Лінійний	0÷24 В	0,1 с	10 Вт
2	Пуск вентилятору	Напівпровідникове реле	Дискретний	ви-мк./вкл.	Лінійний	0÷24 В	0,1 с	1 Вт

### 1.4.3 Вибір пристроїв керування

Відповідно до вимог до системи керування припливної вентиляції в якості пристрою керування повинен використовуватися програмований логічний контролер компанії VIPA. Цикл роботи контролера повинен тривати не більше 100 мс, для забезпечення реакції на зміну температури в приміщенні. Крім того

контролер повинен мати не менше 1 Кбайта вільної робочої пам'яті для реалізації програми керування.

Виходячи з того, що до контролера має бути під'єднано дев'ять пристроїв з аналоговим виходом і два пристрої з дискретним виходом, контролер повинен володіти модульною структурою, щоб забезпечити підключення тільки вибраного обладнання.

Так як в структуру системи керування входить підсистема інформаційного забезпечення роботи оператора, яка відповідно до вимог до системи повинна бути реалізована на базі персонального комп'ютера, контролер повинен володіти Ethernet інтерфейсом.

Висунутим вимогам задовольняє програмований логічний контролер компанії VIPA 214-2BE03. Даний контролер має час арифметичної операції над речовим числом 40 мкс, обсяг пам'яті програм 144 Кбайта і обсяг робочої пам'яті 96 Кбайт (рис. 1.10). Технічні характеристики контролера наведені в таблиці 1.10.



Рисунок 1.10 - програмований логічний контролер VIPA 214-2BE03



Таблиця 1.10 – технічні характеристики програмованого логічного контролера VIPA 214-2BE03

№	Найменування параметру	Значення
1	Тип	CPU 214NET
2	Пам'ять, кБайт	144
3	Робоча пам'ять, кБайт	96
4	Максимальна кількість модулів, штук	32
5	Час виконання команди над бітом, мкс	0,18
6	Час виконання команди над байтом, мкс	0,78
7	Час виконання команди над словом, мкс	1,8
8	Час виконання команди надподвійним словом, мкс	40,0
9	Ethernet інтерфейс	Єсть
10	Напругаживлення, В	24
11	Споживана потужність Вт	6

Для підключення до програмованого логічного контролера датчиків температури TERA TCM-1-3-50M-A-2, датчиків вологості ДВ УТ-02-НІН-Pt100 і датчика тиску MS-021-LCD, необхідно використовувати модуль аналогового введення з діапазоном вхідного сигналу від 4 до 20 мА. Даним вимогам задовольняє модуль VIPA 231-1BD40 володіє чотирима аналоговими входами з діапазоном сигналу від 4 до 20 мА (рис. 1.11). Технічні характеристики модуля аналогового вводу наведені в таблиці 1.11.

Схема підключення модуля аналогового вводу 231-1BD40 приведена на рисунку 1.12.

У відповідності зі схемою підключення модуль володіє чотирима незалежними каналами, до кожного з яких може бути підключений джерело струму. До позитивного контакту каналу 2, 4, 6, 8 підключається позитивний вихід джерела струму, а до негативного 3, 5, 7, 9 підключається негативний вихід джерела струму.



Рисунок 1.11 – Модуль аналогового вводу 231-1BD40

Таблиця 1.11 – Технічні характеристики модуля аналогового вводу 231-1BD40

№	Найменування параметру	Значення
1	Тип	SM 231, ECO
2	Кількість входів	4
3	Тип входу	аналоговий
4	Діапазон вхідного сигналу, мА	4÷20, -20÷+20
5	Довжина екранованого провідника, м	200
6	Споживана потужність, Вт	0,6

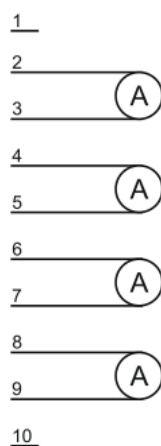


Рисунок 1.12 – Схема підключення VIPA 231-1BD40

Для підключення до програмованого логічного контролера регулятора потужності DPU33B-080-R, необхідно використовувати модуль аналогового введення з діапазоном вихідного сигналу від 4 до 20 мА. Даним вимогам задовольняє модуль VIPA 232-1BD40 володіє чотирма аналоговими виходами з діа-

пазоном сигналу від 4 до 20 мА (рис. 1.13). Технічні характеристики модуля аналогового вводу наведені в таблиці 1.12.

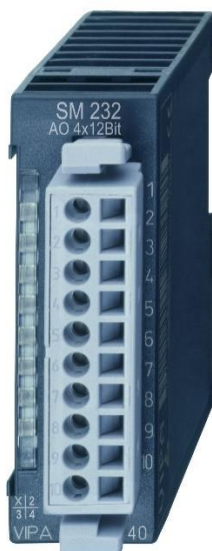


Рисунок 1.13 – Модуль аналогових виходів VIPA 232-1BD40

Таблиця 1.12 – Технічні характеристики модуля дискретних виходів 222-1BF00

№	Найменування параметру	Значення
1	Тип	SM 232, ECO
2	Кількість входів	4
3	Тип входу	аналоговий
4	Діапазон вхідного сигналу, мА	4÷20, -20÷+20
5	Довжина екранованого провідника, м	200
6	Споживана потужність, Вт	0,6

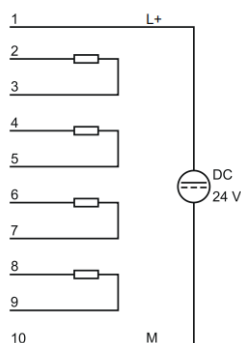


Рисунок 1.14 – Схема підключення VIPA 232-1BD40

Для підключення до програмованого логічного контролера регулятора потужності DPU33B-080-R та пускача M2 P032 220 В4, необхідно використовувати модуль дискретних виходів. Даним вимогам відповідає модуль VIPA 222-1FD10, який має 4 дискретних виходи з вихідним струмом 1 А (рис. 1.15)



Рисунок 1.15 – Модуль дискретних виходів VIPA 222-1FD10

Таблиця 1.13 – Технічні характеристики модуля дискретних виходів VIPA 222-1FD10

№	Найменування параметру	Значення
1	Тип	SM 222, ECO
2	Кількість входів	8
3	Тип входу	дискретний
4	Діапазон вхідного сигналу, мА	4÷20, -20÷+20 POFIXIT
5	Довжина екранованого провідника, м	200
6	Споживана потужність, Вт	0,6

На підставі обраного програмованого логічного контролера і його модулів складена таблиця 1.14.

Таблиця 1.14 – Пристрій керування та його модулі

№	Назва модуля	Пристрій	Напруга живлення	Потужність
1	VIPA 214-2BE03	Центральний процесорний модуль	24 В	6,00 Вт
2	VIPA 231-1BD40	Модуль аналогового вводу	24 В	0,6 Вт
		Датчик температури повітря ТЕРА ТСМ-1-3-50М-А-2	24 В	1 Вт
		Датчик вологості в приміщенні ДВ УТ-02-НІН-Рt100	24 В	1 Вт
		Датчик тиску у фільтрі MS-021-LCD	24 В	1 Вт
3	VIPA 232-1BD40	Модуль аналогового виводу	24 В	0,6 Вт
		Регулятор потужності DPU33В-080-Р	-	-
4	VIPA 222-1FD10	Модуль дискретного виводу	24 В	0,6 Вт

#### 1.4.4 Вибір джерел живлення

Програмований логічний контролер та його модулі мають напругу живлення +24 В. Загальна потужність споживання програмованого логічного контролера та його модулів, датчиків температури, датчиків вологості, датчику тиску:

$$P = 6.00 + (0.60 * 4) + (9 * 1) = 17.40 \text{ Вт} \quad (1.3)$$

Виходячи з потужності споживання контролеру, модулів та датчиків у якості джерела живлення обрано блок живлення SPD24301 з вихідною напругою +24 В та потужністю 30 Вт (рис. 1.16). Технічні характеристики блока живлення наведені в таблиці 2.14.



Рисунок 1.16 - Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301

Таблиця 1.15 – Технічні характеристики блока живлення Carlo Gavazzi SPD24301

№	Найменування параметра	Значення
1	Напруга живлення, В	~85÷~264
2	Вихідна напруга, В	24
3	Потужність, Вт	30
4	Максимальний вихідний струм, А	2,5

Схему підключення програмованого логічного контролера до блока живлення наведено на рисунку 1.17.

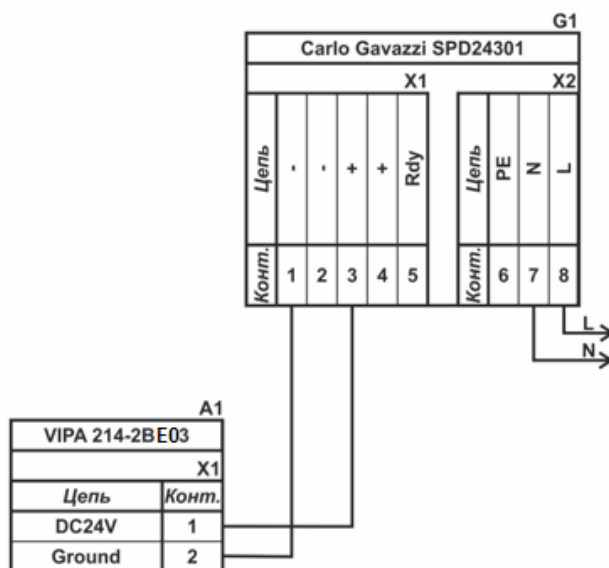


Рисунок 1.17– Схема підключення програмованого логічного до блока живлення

## 1.5 Розробка функціональної схеми автоматизації

На основі вимог до підсистеми керування температурою повітря та об'єктивного апаратного забезпечення розроблена функціональна схема автоматизації, яка наведена на рисунку 1.18.

У якості пристрою керування використовується програмований логічний контролер (UY 6 – VIPA 214-2BE03). Програмований логічний контролер підключено до системи керування припливною вентиляцією, якій відповідає контролер більш високого рівня (UY 7), зв'язок між ними реалізовано за допомогою інтерфейсу Ethernet.

Температура повітря в приміщенні вимірюється за допомогою датчиків температури (ТЕ 5-1, ТЕ 5-2, ТЕ 5-3, ТЕ 5-4 - ТЕРА ТСМ-1-3-50М-А-2), виміряне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача трансформується в стандартний струмовий сигнал  $4 \div 20$  мА.

Вологість повітря в приміщенні вимірюється за допомогою датчиків вологості (МЕ 4-1, МЕ 4-2, МЕ 4-3, МЕ 4-4 - ДВ УТ-02-НІН-Pt100), виміряне зна-

чення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача трансформується в стандартний струмовий сигнал  $4\div 20$  мА.

Тиск у фільтрі вимірюється за допомогою датчика тиску (PE 1-1 - MS-021-LCD), виміряне значення за допомогою вбудованого до датчика перетворювача трансформується в стандартний струмовий сигнал  $4\div 20$  мА.

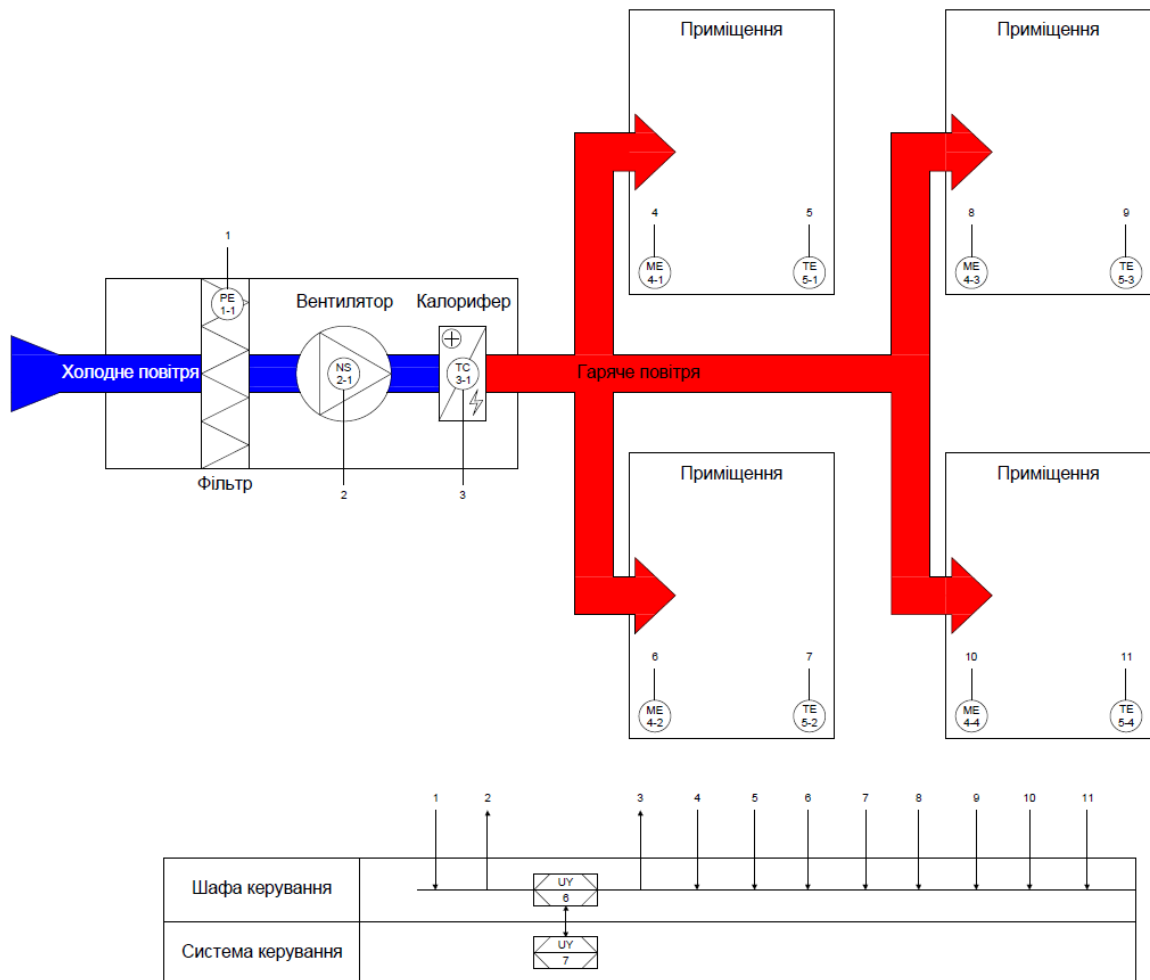


Рисунок 1.18– Функціональна схема автоматизації підсистеми керування

При старті системи керування виконується запуск приводу вентилятора за допомогою пускача (NS 2-1 - M2 P032 220 B4).

На підставі значення температури повітря в приміщенні, програмований логічний контролер (UY 6 – VIPA 214-2BE03) формує керуючий вплив, який за допомогою аналогового сигналу передається регулятору потужності (ТС 3-1 - DPU33B-080-R), який регулює потужність електрокалориферу для нагріву повітря в приміщенні.

## 1.6 Розробка схеми електричної принципової

На основі функціональної схеми автоматизації та обраного апаратного забезпечення, розроблена схема електрична принципова підсистеми керування температурою повітря в приміщенні взимку (рис. 1.19).

В підсистемі використовується блок живлення. Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G1) підключено до програмованого логічного контролеру VIPA 214-2BE03 (A1), модулю аналогового вводу VIPA 231-1BD40 (A2, A3, A4) модулю аналогового виводу VIPA 232-1BD40 (A5), модулю дискретного виводу VIPA 222-1FD10 (A6), датчиків температури повітря TERA TCM-1-3-50M-A-2 (TE1 – TE4), датчиків вологості повітря ДВ УТ-02-НІН-Pt100 (ME1 – ME4), датчика тиску у фільтрі MS-021-LCD (PE1).

Зв'язок між програмованим логічним контролером VIPA 214-2BE03 (A1) та системою керування припливною вентиляцією (A8) реалізовано за допомогою інтерфейсу Ethernet (A1 – X2). Зв'язок між контролером та регулятором потужності реалізовано за допомогою струмового сигналу  $4\div 20$  мА.

Вимірювання температури повітря виконують датчики TERA TCM-1-3-50M-A-2 (TE1 – TE4), які підключено до модулю аналогового вводу VIPA 231-1BD40 (A2) до каналів 0, 1, 2, 3 за допомогою стандартного струмового сигналу  $4\div 20$  мА.

Вимірювання вологості повітря виконують датчики ДВ УТ-02-НІН-Pt100 (ME1 – ME2), які підключено до модулю аналогового вводу VIPA 231-1BD40 (A3) до каналів 0, 1, 3, 3 за допомогою стандартного струмового сигналу  $4\div 20$  мА.

Вимірювання тиску у фільтрі виконує датчик MS-021-LCD (PE1), який підключено до модулю аналогового вводу VIPA 231-1BD40 (A3 – X4) до каналу 0 за допомогою стандартного струмового сигналу  $4\div 20$  мА.

Запуск приводу вентилятора (M1) реалізовано за допомогою пускача M2 P032 220 В4 (BK1), для запуску регулятора потужності DPU33B-080-R (A7) вхід RUN/STOP підключено до модуля дискретного виводу VIPA 222-1FD10.



Регулювання потужності реалізовано за допомогою регулятора потужності DPU33B-080-R (A7). Для передачі керуючого впливу регулятор підключено до модуля аналогового виводу VIPA 232-1BD40 (A5) до каналу 0 за допомогою стандартного струмового сигналу  $4\div 20$  мА.

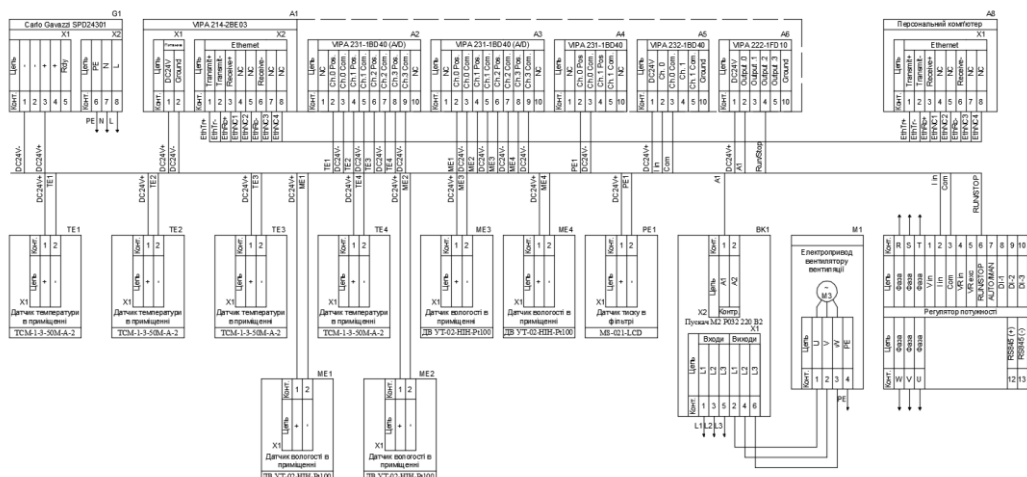


Рисунок 1.19 – Схема електрична принципова підсистеми керування

## 1.7 Формулювання задачі дослідження

Об'єктом дослідження є комп'ютеризована система керування підтримання температури в офісному приміщенні в зимовий період року.

Враховуючи основні вимоги до системи, такі як:

- Забезпечення переходу фактичної температури у приміщенні на новий рівень за мінімальний час без перерегулювання
- Підтримка температури у заданому діапазоні за умови впливу збурюючих факторів.
- Було поставлено такі задачі дослідження:
- Дослідити вплив рівня забрудненості фільтра на параметри об'єкта керування та параметри регулятора за умови забезпечення заданих показників якості керування.
- Дослідити вплив додаткового джерела тепла, в якості якого виступає сонячна енергія, яка потрапляє через вікно у приміщення, на параметри об'єкта керування та параметри регулятора за умови забезпечення заданих показників якості керування.

### **1.8 Висновки по розділу**

Об'єктом дослідження є комп'ютеризована система керування підтримання температури в офісному приміщенні в зимовий період року.

Метою цієї кваліфікаційної роботи є створення комп'ютеризованої системи керування підтримання температури в офісному приміщенні.

Автоматизація припливної вентиляції підвищує надійність роботи обладнання, збільшує коефіцієнт корисної дії за рахунок меншого споживання електроенергії, яке досягається шляхом точного і стабільного збереження заданих параметрів температури в приміщенні, а також автоматизація дозволяє зменшити кількість обслуговуючого персоналу.

## 2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Модель об'єкта керування

Методом активного експерименту було отримано динамічну характеристику, дані для побудови статичної характеристики, характеристику при П-образному керуючому впливі та перевірочні дані.

На першому етапі проведення експерименту виконано налаштування системи дослідження таким чином що керуючий вплив може знаходитися в діапазоні  $0 \div 100$  %, а значення температури в діапазоні  $10 \div 45$  °С.

На другому етапі було виконано отримання динамічної характеристики об'єкта керування (рис. 2.1). Для цього калорифер було встановлено на потужність 100 %. Після досягнення усталеного режиму експеримент було закінчено.

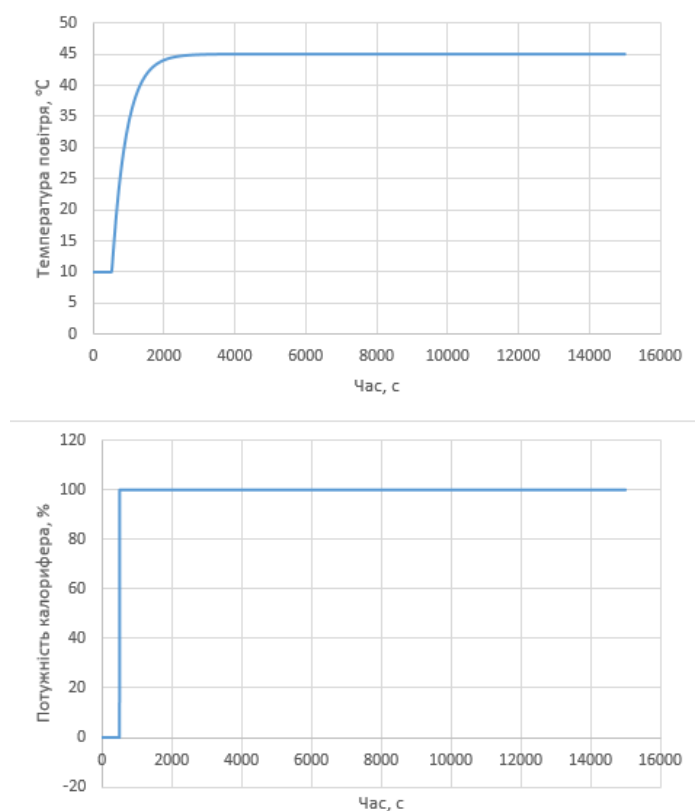


Рисунок 2.1 – Отримання динамічної характеристики

На третьому етапі було виконано отримання даних для побудови статичної характеристики (рис. 2.2). Для цього калорифер було встановлено на потужність 20 %. Після досягнення усталеного режиму калорифер було встановлено на потужність 40 %. Після досягнення усталеного режиму калорифер було

встановлено на потужність 60 %. Після досягнення усталеного режиму калорифер було встановлено на потужність 80 %. Після досягнення усталеного режиму калорифер було встановлено на потужність 100 %. Після досягнення усталеного режиму експеримент було закінчено.

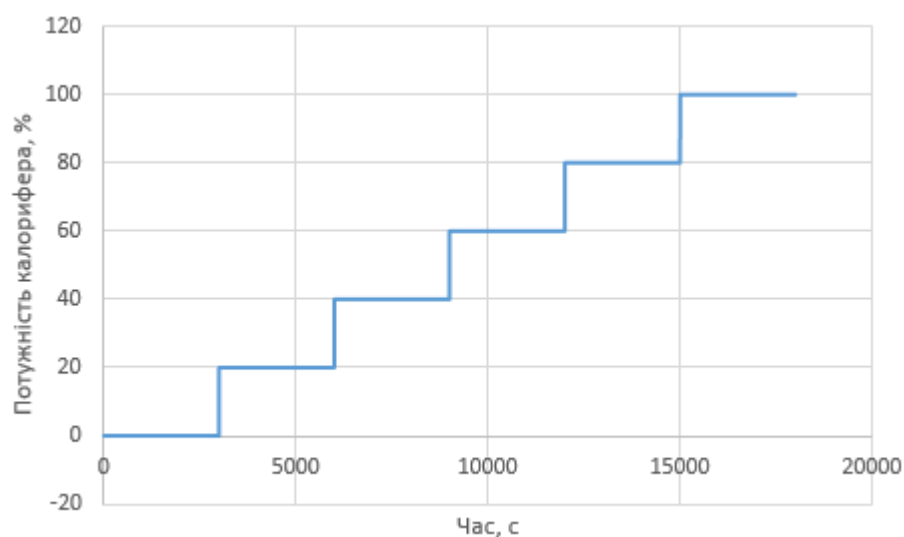
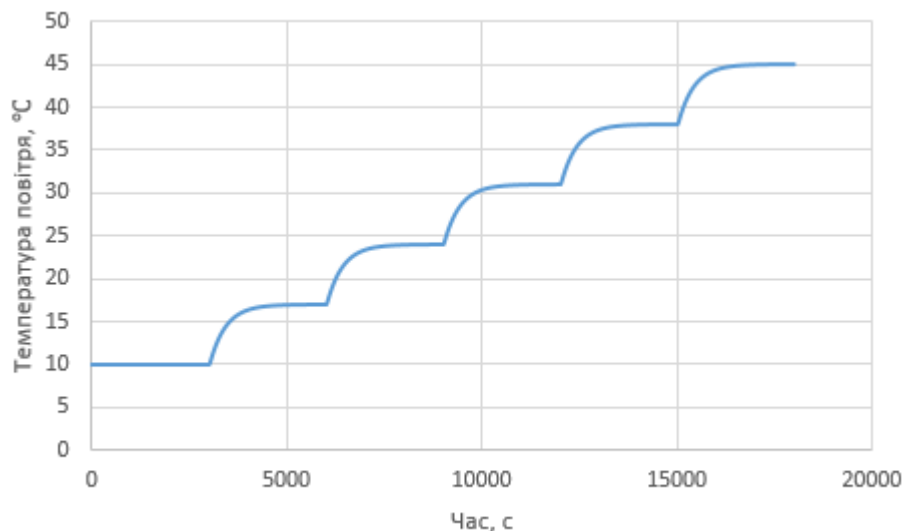


Рисунок 2.2 – Отримання даних для побудови статичної характеристики

На четвертому етапі було виконано отримання даних П-образному керуючому впливі (рис. 2.3). Для цього калорифер було встановлено на потужність 100 %. Після досягнення усталеного режиму калорифер було встановлено на потужність 0 %. Після досягнення усталеного режиму експеримент було закінчено.

На четвертому етапі було виконано отримання даних П-образному керуючому впливі (рис. 2.3). Для цього калорифер було встановлено на потужність

100 %. Після досягнення усталеного режиму калорифер було встановлено на потужність 0 %. Після досягнення усталеного режиму експеримент було закінчено.

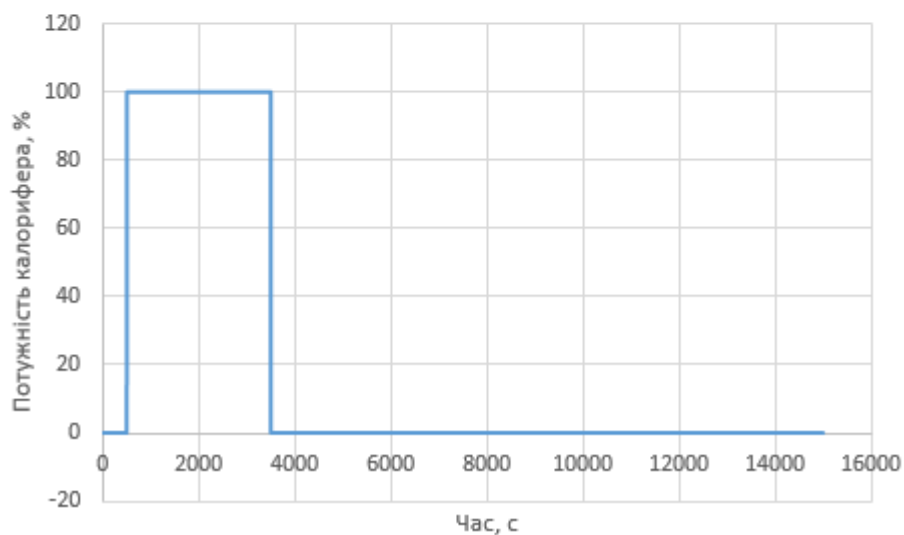
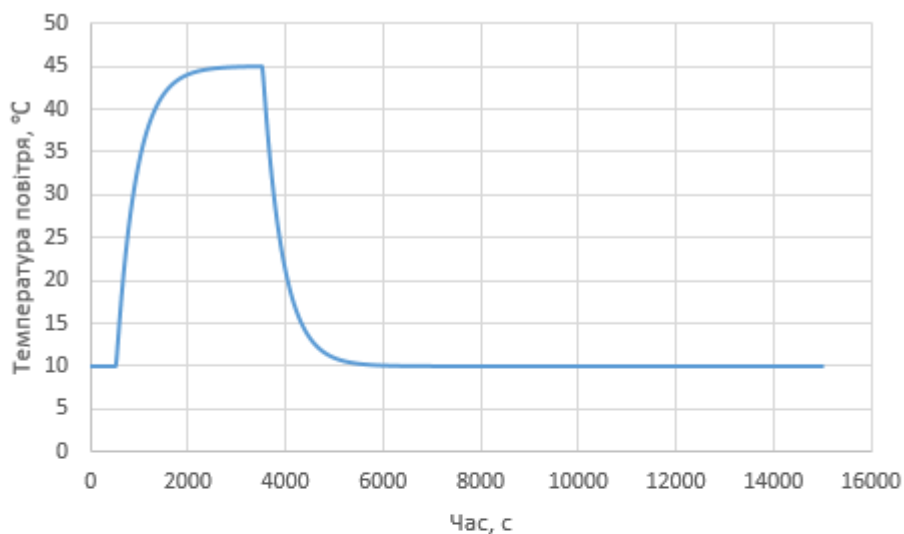


Рисунок 2.3 – Отримання даних при П-образному керуючому впливі

На п'ятому етапі було виконано отримання перевірочних даних (рис. 2.4). Для цього період псевдовипадкового впливу було налаштовано на 300 секунд. Реєстрація відбувалася на протязі 18000 секунд.

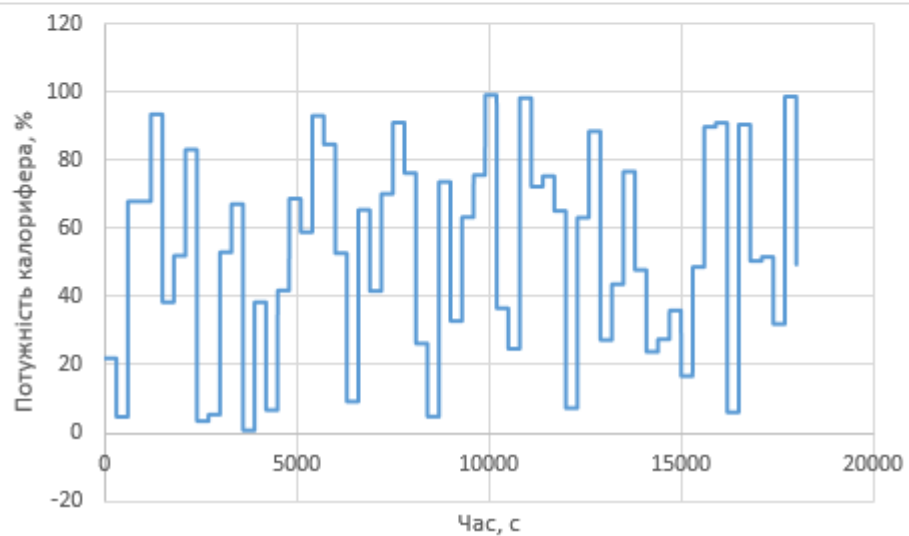
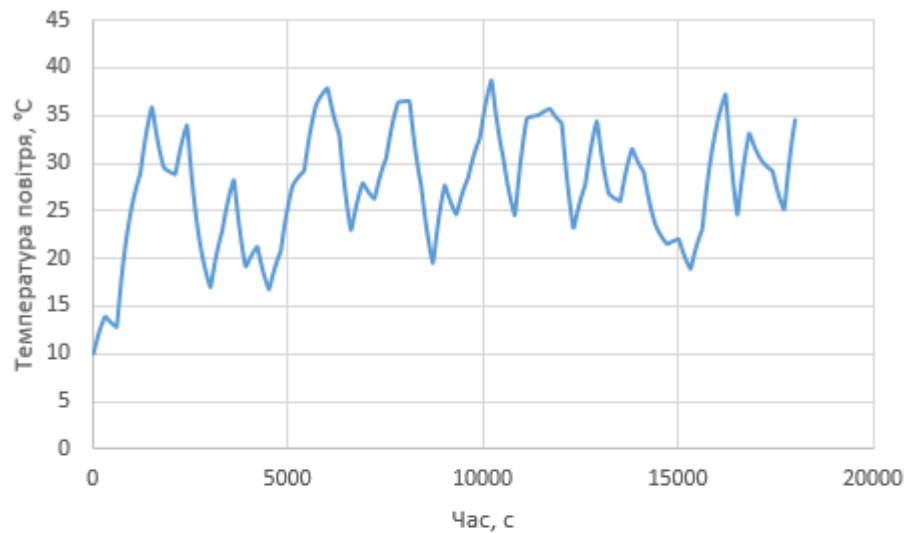


Рисунок 2.4 – Отримання перевірочних даних

У результаті виконання плану експерименту проведено всеосяжне дослідження об'єкта керування та отримані динамічна характеристика, дані для побудови статичної характеристики, дані при П-образному керуючому впливі та перевірочні дані.

Дані отримані в SCADA системі zenon було імпортовано до математичного пакета MATLAB з метою подальшої обробки (рис. 2.5). Змінні які відповідають даним динамічної характеристики “Dynamic\_Power”, “Dynamic\_Temperature”, даним для побудови статичної характеристики “Static\_Power”, “Static\_Temperature”, даним отриманим при П-образному керуючому впливі “P\_Power”, “P\_Temperature”, перевірочним даним

“Check\_Power”, “Check\_Temperature”. Суфікс “\_Power” позначає керуючий вплив, а суфікс “\_Temperature” дійсне значення.

Name ▲	Value	Min	Max
Check_Power	18001x1 double	0.7698	99.1037
Check_Temperature	18001x1 double	10	63.3002
Dynamic_Power	180001x1 double	0	100
Dynamic_Temper...	180001x1 double	10	74.9908
P_First	3000x1 double	10	74.9540
P_Power	18001x1 double	0	100
P_Second	3000x1 double	10.0447	74.9500
P_Temperature	18001x1 double	10	74.9552
Static_Power	3601x1 double	0	100
Static_Temperature	3601x1 double	10	75.0000

Рисунок 2.5– Імпортовані данні

Для спрощення подальшого аналізу дані були конвертовані до об’єктів типу “iddata”:

```
>>Dynamic =iddata(Dynamic_Temperature, Dynamic_Power, 1);
>>Static =iddata(Static_Temperature, Static_Power, 1);
>>P=iddata(P_Temperature, P_Power, 1);
>>Check =iddata(Check_Temperature, Check_Power, 1);
```

З отриманих даних була видалена статична складова:

```
>> Dynamic_Raw_Trend = getTrend(Dynamic);
>> Dynamic_Raw_Trend.OutputOffset = 10;
>> Dynamic_Raw = detrend(Dynamic_Raw_Trend, Dynamic);
>> Static_Raw_Trend = getTrend(Static);
>> Static_Raw_Trend.OutputOffset = 10;
>> Static_Raw = detrend(Static_Raw_Trend, Static);
>> P_Raw_Trend = getTrend(P);
>> P_Raw_Trend.OutputOffset = 10;
>> P_Raw = detrend(P_Raw_Trend, P);
>> Check_Raw_Trend = getTrend(Check);
>> Check_Raw_Trend.OutputOffset = 10;
>> Check_Raw = detrend(Check_Raw_Trend, Check);
```

Дані температури отримані при П-образному керуючому впливі було розділено на дві змінні. До першої змінної “P\_First” увійшли данні етапу підйому дійсного значення, а до другої змінної “P\_Second” увійшли данні етапу спаду дійсного значення.

### 2.1.1 Структурна ідентифікація

З метою оцінки структури моделі об'єкта керування проаналізуємо динамічну характеристику об'єкта керування (рис. 2.6). Після подачі керуючого впливу температура на протязі 10 секунд не змінюється, виходячи з цього можливо зробити висновок, що об'єкт володіє запізненням. Крім того на динамічній характеристиці відсутня інерція, характер перехідного процесу монотонний, а кількість перегинів дорівнює одному. На підставі цього можливо зробити висновок, що модель об'єкта керування може бути представлена у вигляді аперіодичної ланки другого порядку з запізненням.

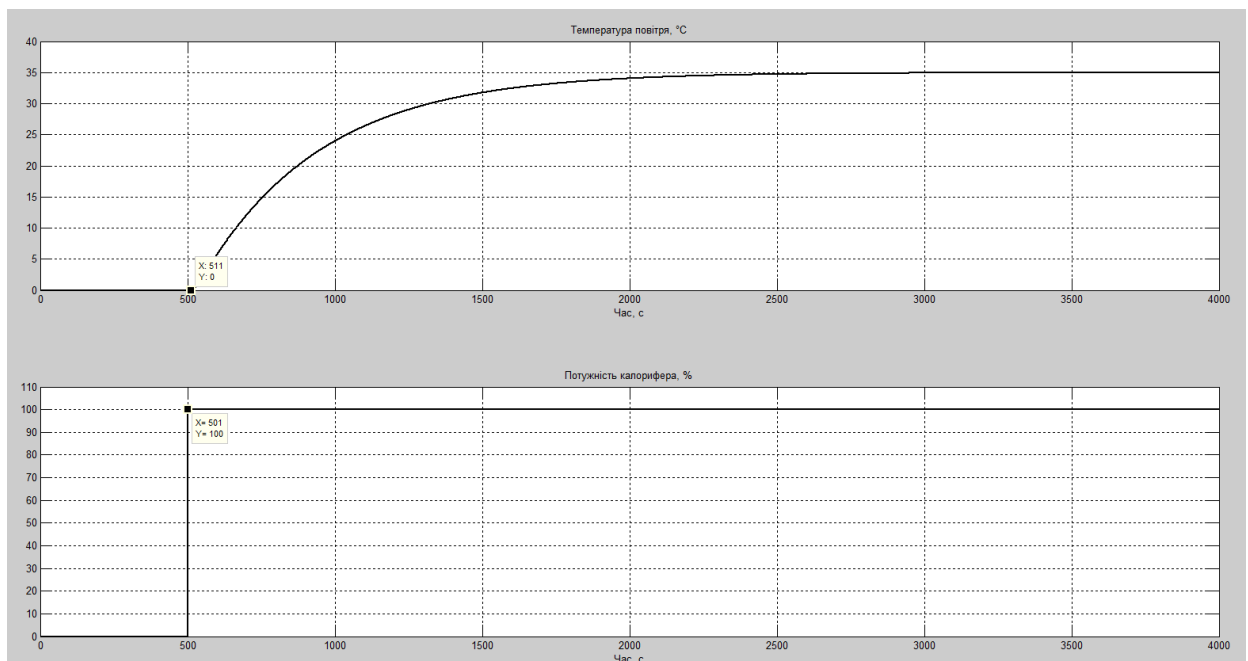


Рисунок 2.6 – Статична характеристика

Проаналізуємо об'єкт керування на лінійність для цього побудуємо його статичну характеристику (рис. 2.7):

```
>>Static_Input_Vector = [0, 20, 40, 60, 80, 100];
>>Static_Output_Vector = [0, 6.99, 13.99, 20.99, 27.99, 34.99];
>> plot(Static_Input_Vector,Static_Output_Vector, '-ok','LineWidth',3);
```



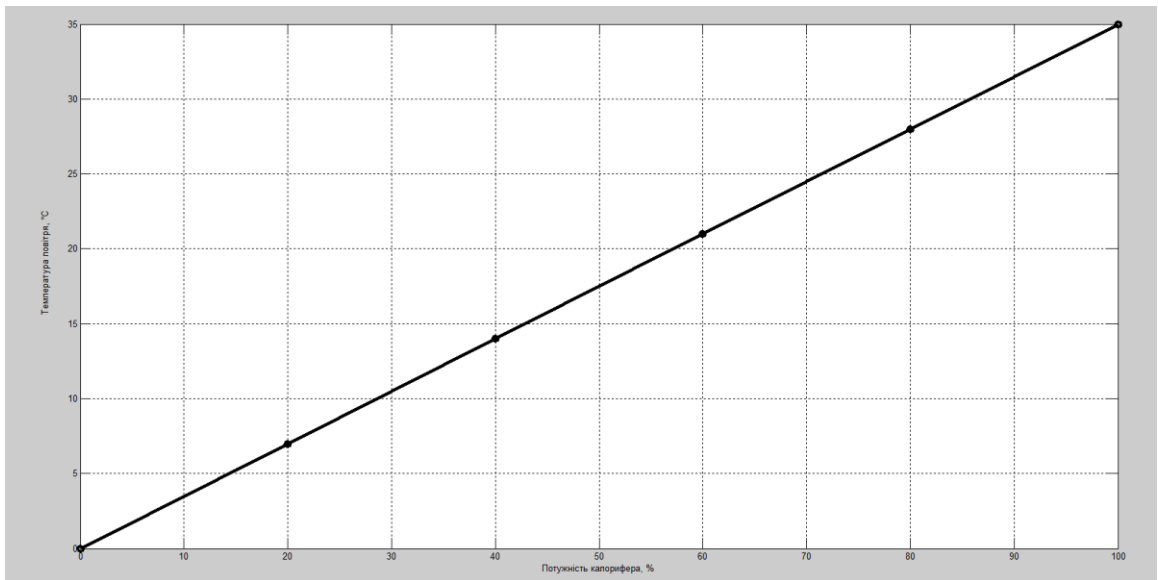


Рисунок 2.7 – Статична характеристика

Статична характеристика об'єкта керування лінійна. На підставі цього можливо зробити висновок, що об'єкт керування також є лінійним у діапазоні потужностей  $0 \div 100$  %.

Проаналізуємо характеристику отриману при П-образному керуючому впливі (рис. 2.8). Змінення потужності калорифера від 0 % до 100 % приводить до відповідного збільшення температури повітря, а зменшення потужності від 100 % до 0 % приводить до відповідного зменшення температури повітря. На підставі цього можливо зробити висновок, що об'єкт не володіє інтегруючими властивостями є об'єктом з самовирівнюванням.

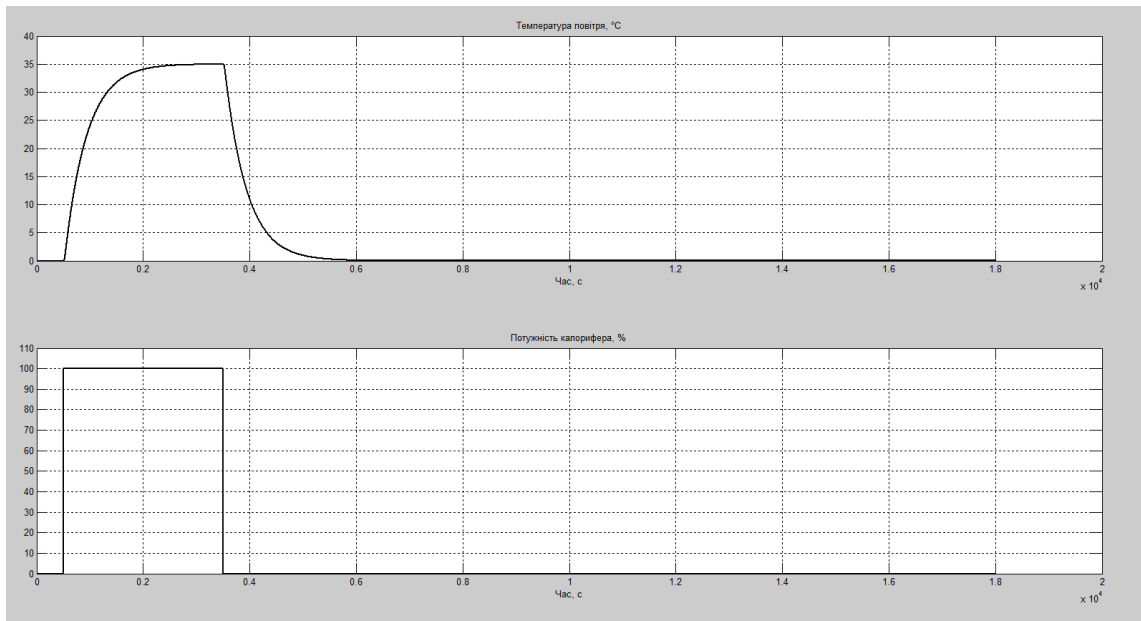


Рисунок 2.8 – Характеристика при П-образному керуючому впливі

На підставі даних отриманих при П-образному керуючому впливі виконаємо перевірку об'єкта керування на симетричність:

```
>> std (P_First) - std (P_Second)
ans =
    0.0060
```

Так як різниця стандартних відхилень етапу підйому до етапу спаду відносно діапазону зміни температури 34,99 °C становить 0.006 %, що є значно меншим ніж величина технічної похибки 10 %, об'єкт керування є симетричним.

Виходячи з проведеного аналізу експериментальних даних можливо зробити висновок, що об'єкт керування може бути представлений в виді аперіодичної ланки другого порядку або більш високого порядку з запізненням:

$$W(s) = \frac{k \times e^{-\tau s}}{(T_1 s + 1) \times (T_2 + 1)}, \quad (2.1)$$

Де  $W(s)$  – передавальна функція,  $k$  – коефіцієнт підсилення,  $k$  – постійна часу (с),  $k$  – час запізнення (с).

### 2.1.2 Параметрична ідентифікація

Так як статична характеристика являє собою пряму лінію, вона може бути описана поліномом першого порядку:

```
>> pol = polyfit(Static_Input_Vector, Static_Output_Vector, 1)
pol =
    0.3499    -0.0048
```

При аналізі динамічної характеристики було встановлено, що час запізнення 10 секунд. На підставі того, що об'єкт керування є лінійним, згідно з його статичній характеристиці розраховано коефіцієнт підсилення:

$$k = \frac{35}{100} = 0.35. \quad (2.2)$$

Подальше визначення параметрів об'єкта керування виконано за допомогою “System Identification Toolbox”, для якого у якості робочих даних використані данні динамічної характеристики “Dynamic”, а перевірочні данні “Check” для оцінки відповідності моделі об'єкта керування, так як ці данні раніше не використовувалися при ідентифікації (рис. 2.6).

Для визначення параметрів моделі об'єкта керування використано метод “Process Models”. Налаштування параметрів ідентифікації наведено на рисунку 2.9.

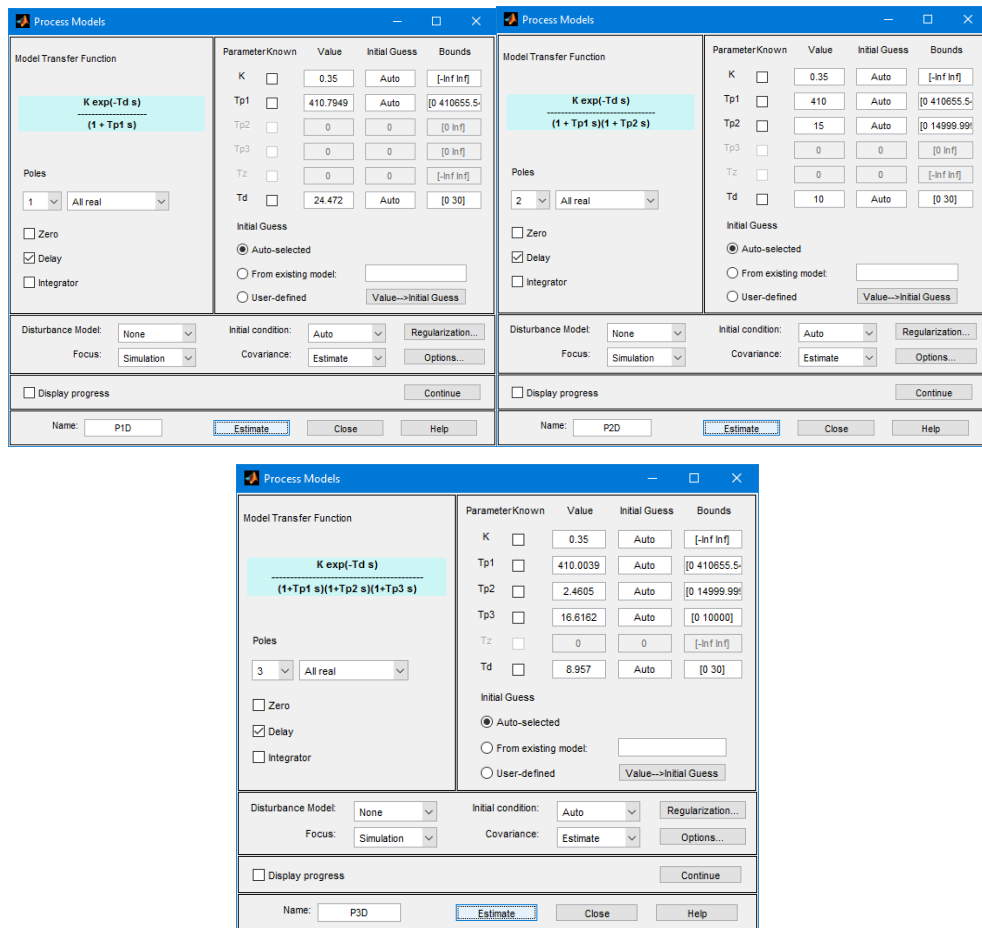


Рисунок 2.9 – Налаштування Process Models

Перевірка результатів розрахунків наведена на рисунку 2.10 та в таблиці 2.1. Отримана модель “P2D” відповідає об’єкту керування на 99.96 % за нормованим середнім квадратичним відхиленням, по перевірочним даним та на 100 % по динамічній характеристиці. Модель “P1D” відповідає об’єкта керування на 99.45 % за нормованим середнє квадратичним відхиленням, по перевірочним даним та на 99,84 % по динамічній характеристиці. Модель “P1D” відповідає об’єкта керування на 98,93 % за нормованим середнє квадратичним відхиленням, по перевірочним даним та на 99,62 % по динамічній характеристиці. Виходячи з цього для створення моделі об’єкта керування обрані параметри моделі “P2D”.



Рисунок 2.10 – Перевірка результатів розрахунків

Таблиця 2.1 – Результати розрахунків параметрів об'єктів керування

Назва параметру	P1D	P2D	P3D
$k$	0,35	0,35	0,35
$T_1, c$	410,79	410	410
$T_2, c$	-	15	2,4605
$T_3, c$	-	-	16,616
$\tau$	24,386	10	9,957
Dynamic – Динамічна характеристика			
NRMSE, %	99,84	100	99,62
FPE	0,0001135	2,719e-25	0,0007304
MSE	0,0001135	4,472e-20	0,0006589
Check – Перевірочні данні			
NRMSE, %	99,45	99,96	98,93

На підставі виконаних досліджень отримана модель об'єкта керування у виді передавальної функції:

$$W(s) = \frac{0,35 \times e^{-10s}}{(15s + 1) \times (410 + 1)} \quad (2.3)$$

### 2.1.3 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink

За результатами ідентифікації розроблена модель об'єкта керування в графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink (рис. 2.11) у вигляді передавальної функції.

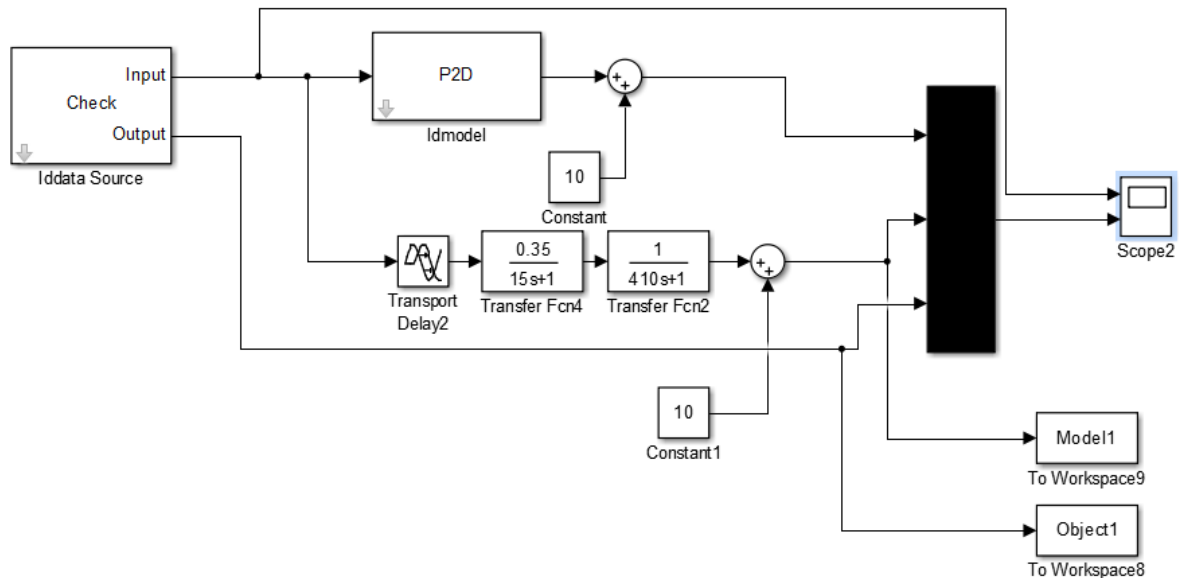


Рисунок 2.11– Модель об'єкта керування в середовищі Simulink

Результати моделювання об'єкта керування з використання перевірочних даних наведено на рисунку 2.12. Отримана модель об'єкта у вигляді передавальної функції не відрізняється від моделі об'єкта отриманої у програмному забезпеченні “System identification toolbox”. Крім того результати моделювання практично не відрізняються від перевірочних даних. Таким чином отриману модель у вигляді передавальної функції може бути використано замість моделі отриманої на етапі параметричної ідентифікації.

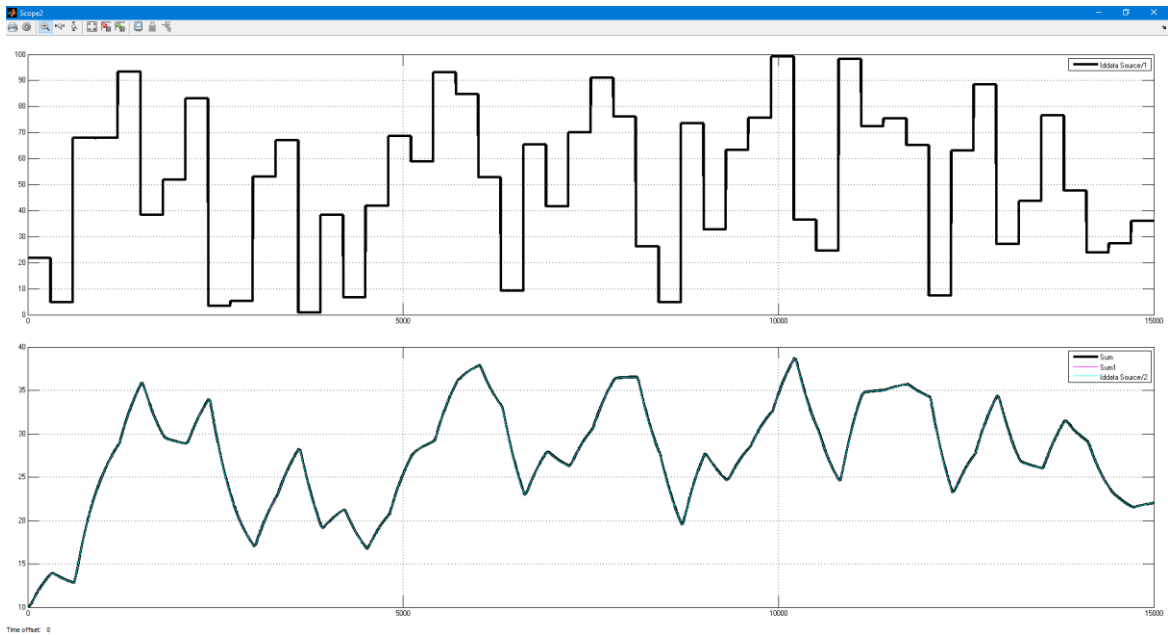


Рисунок 2.12 – Результати моделювання

#### 2.1.4 Перевірка моделі на адекватність

На підставі результатів моделювання та перевірючих даних виконано аналіз адекватності моделі об'єкта керування за методом нормованого середнього квадратичного відхилення:

```
>> nrmse = goodnessOfFit(Model1, Object1, 'NRMSE')*100.0
nrmse =
    99.9632
```

Згідно з результатами модель відповідає до об'єкта керування на 99.9632 %, а тому є адекватною та може бути використана для моделювання об'єкта керування в подальших дослідженнях.

Остаточна модель об'єкта керування наведена на рисунку 2.13, а результати моделювання на рисунку 2.14.

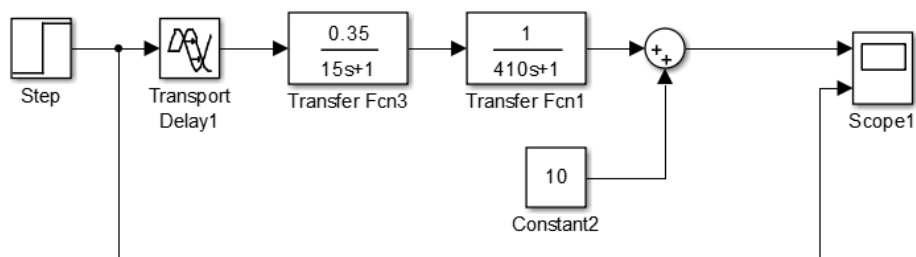


Рисунок 2.13 – Остаточна модель об'єкта керування

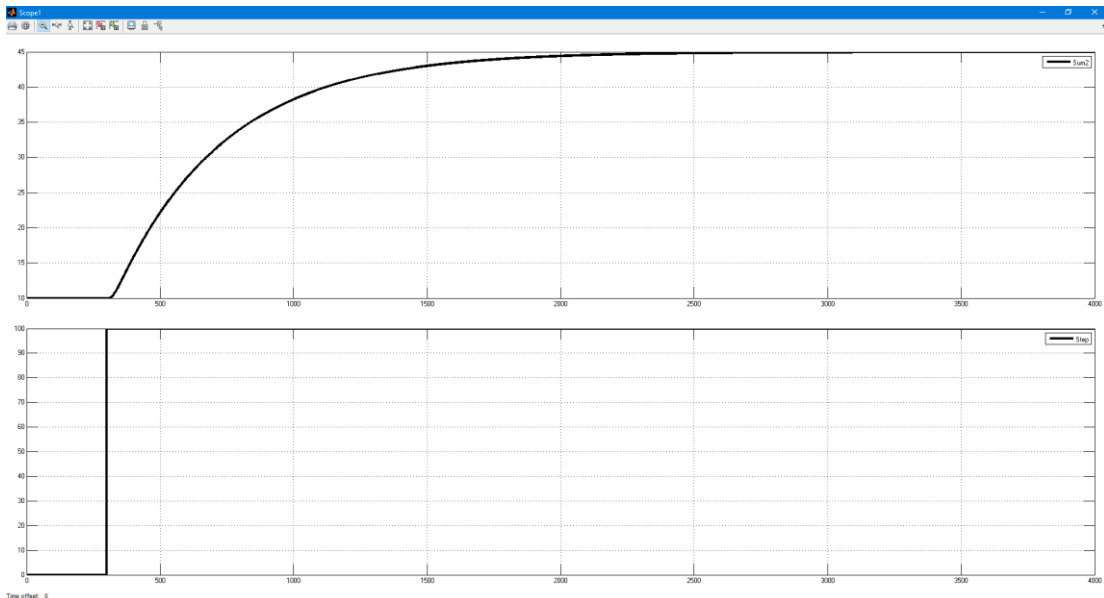


Рисунок 2.14 – Результати моделювання

## 2.2 Критерії якості функціонування об'єкта керування

На базі оптимального регулятора було розроблено модель об'єкта керування. Необхідно порівняти показники якості системи керування на базі оптимального регулятора з перехідним процесом отриманим при максимальному значенню керуючого впливу та при значенні керуючого впливу яке забезпечує стабілізацію дійсного значення на рівні уставки.

Для отриманої моделі об'єкта керування розрахуємо значення уставки:

$$R = K \times (U_{max} - U_{min}) \times \frac{60\%}{100\%}$$

$$R = 0.35 \times (100 - 0) \times \frac{60\%}{100\%} = 21$$

де – R - значення уставки, K – загальний коефіцієнт посилення об'єкта керування,  $U_{max}$  – максимальне значення керуючого впливу,  $U_{min}$  – мінімальне значення керуючого впливу.

Розрахуємо значення керуючого впливу, яке забезпечує стабілізацію дійсного значення на рівні уставки:



$$u_{\text{ст}} = \frac{R - s}{K}$$

$$u_{\text{ст}} = \frac{21 - 10}{0.35} = 31.428$$

Де  $u_{\text{ст}}$  - значення керуючого впливу, яке забезпечує стабілізацію дійсного значення на рівні уставки.

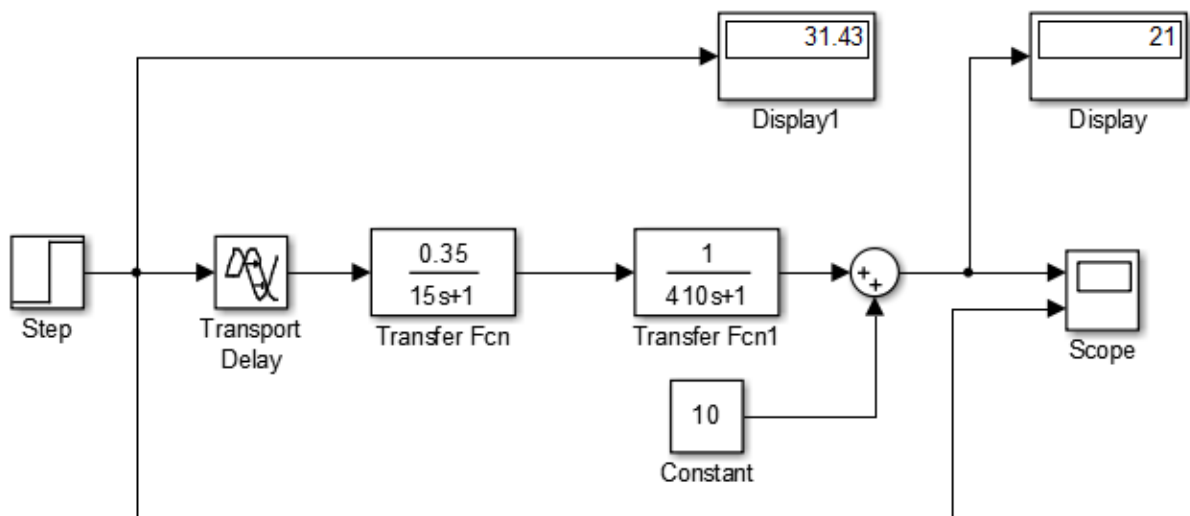


Рис. 2.15 – Модель зі значенням керуючого впливу, яке забезпечує стабілізацію дійсного значення на рівні уставки.

Розрахуємо параметри оптимального регулятора на базі принципу максимуму Понтрягіна.

```
>> secondOrderTimeDelay_Example
```

Объекта управления

```
modelObject =
```

$$\exp(-10*s) * \frac{0.35}{6150 s^2 + 425 s + 1}$$

Continuous-time transfer function.

Расчет параметров оптимального регулятора для апериодического звена второго порядка

```
t1 = 162.992130, t2 = 180.400000, u = 31.428571
```

Було проведено експеримент моделі із уставками 100%, 31.428% та із використанням оптимального регулятора:

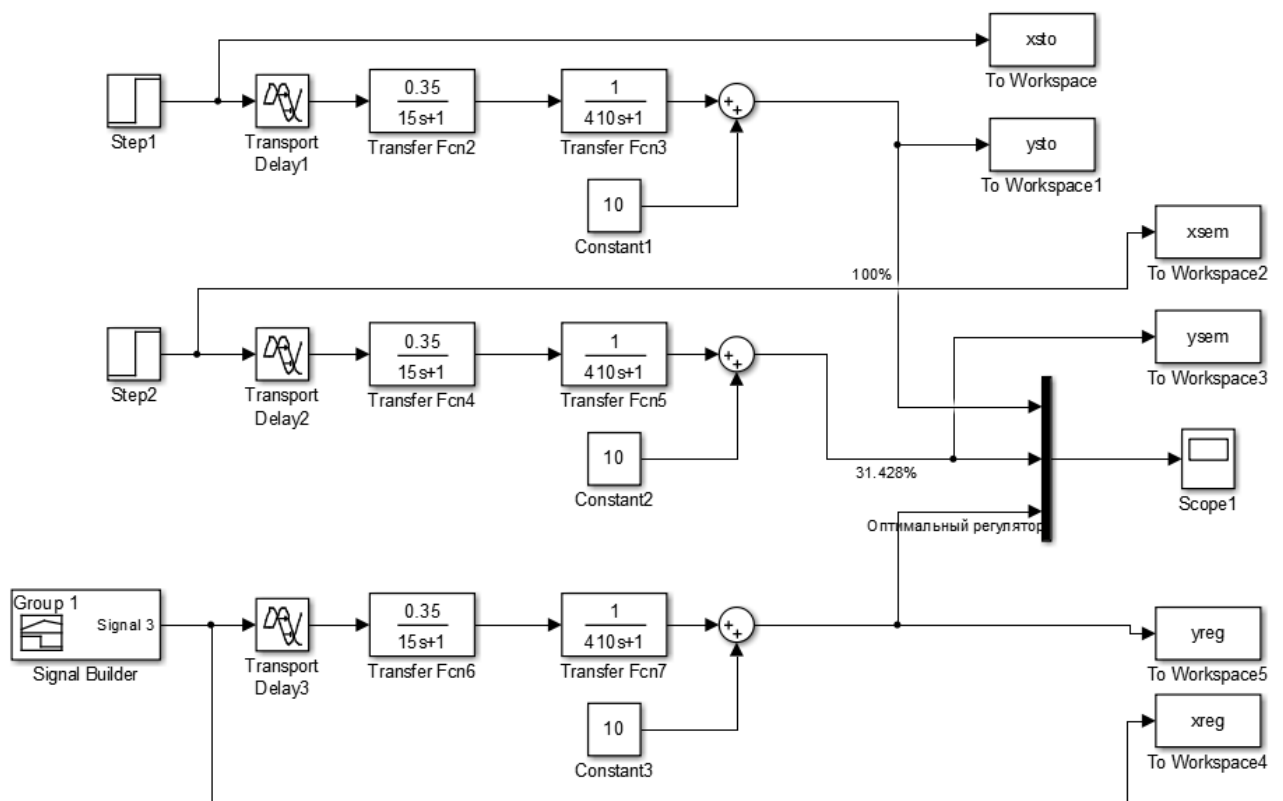


Рис. 2.16 – Моделі із різними уставками та оптимальним регулятором

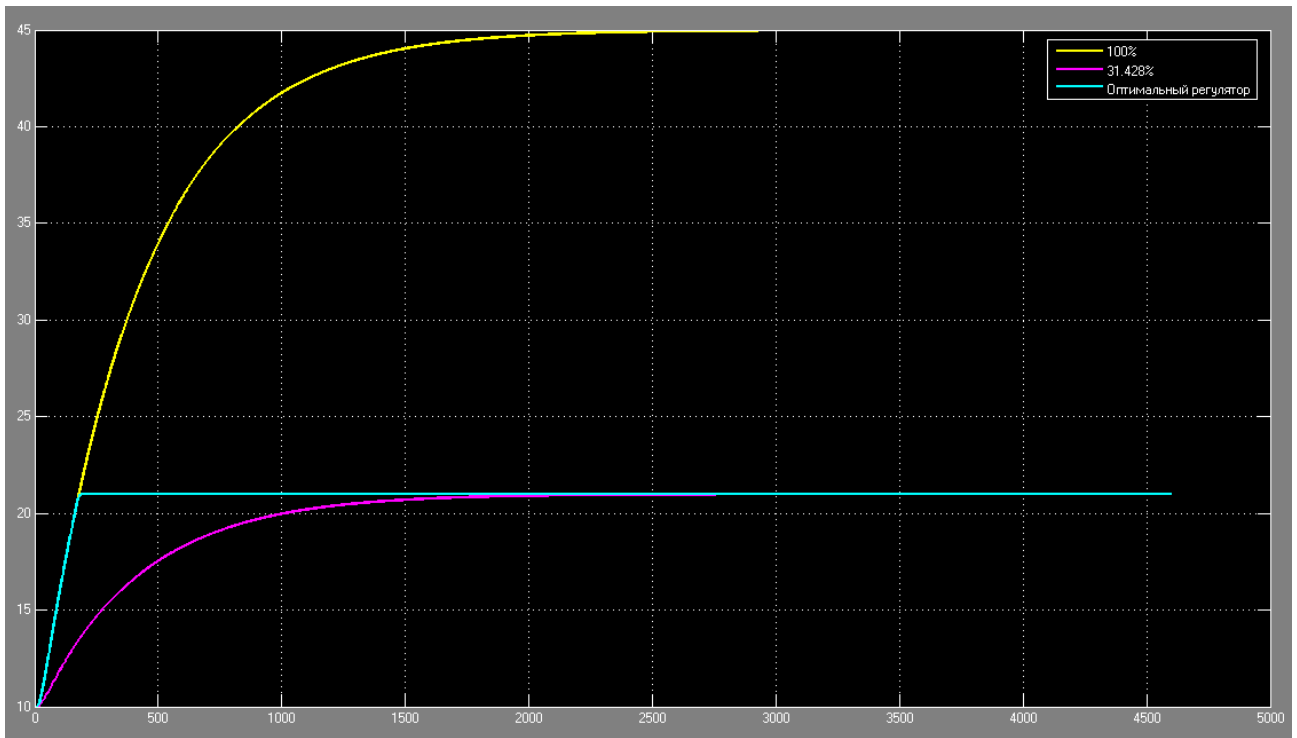


Рис. 2.17 – Результати моделювання

Розрахуємо для кожної характеристики показники якості.

**1) Для моделі з уставкою 100%:**

- Перерегулювання:

$$C_{\pi} = Y_{max} - s - R$$

$$C_{\pi} = 44.99 - 10 - 35 = -0.0005$$

де  $C_{\pi}$  – показник перерегулювання,  $Y_{max}$  – максимальне дійсне значення,  $s$  – статичний зсув дійсного значення.

- Час наростання:

$$C_{\text{чн}} = t(Y - s = R_{90\%}) - t(Y - S = R_{10\%})$$

Time	Data:1
68.2000	13.5060

$R_{10\%} = 68.2$

Time	Data:1
969.4000	41.5005

$R_{90\%} = 969.4$

$$C_{\text{чН}} = t(Y - s = R_{90\%}) - t(Y - S = R_{10\%}) = 969.4 - 68.2 = 901.2$$

- Час наростання для уставки 21:

$$C_{\text{чН}} = t(Y - s = R_{90\%}) - t(Y - S = R_{10\%})$$

Time	Data:1
35.5000	11.1044

 $R_{10\%} = 35.5$ 

Time	Data:1
161.6000	19.9002

 $R_{90\%} = 161.6$ 

$$C_{\text{чН}} = t(Y - s = R_{90\%}) - t(Y - S = R_{10\%}) = 161.6 - 35.5 = 126.1$$

де  $C_{\text{чН}}$  – показник часу наростання (с),  $t$  – час перехідного процесу (с),  $t(Y - s = R_{90\%})$  – момент досягнення дійсним значенням 90 % значення уставки (рівень кінця наростання) (с),  $t(Y - S = R_{10\%})$  – момент досягнення дійсним значенням 10 % значення уставки (рівень початку наростання) (с).

- Час встановлення:

$$C_{\text{чВ}} = t(Y - s = R_{97,5\%}) - t(Y \neq Y(t_0))$$

де  $C_{\text{чВ}}$  – показник часу встановлення (с),  $t(Y - s = R_{97,5\%})$  – момент досягнення дійсним значенням 97,5 % значення уставки (рівень встановлення) (с),  $t(Y \neq Y(t_0))$  – момент початку зміни дійсного значення (с).

Time	Data:1
1.5377e+03	44.1250

 $R_{97.5\%} = 1537.7$ 

Time	Data:1
10.2000	10.0001

Момент початку зміни дійсного значення (с)

$$C_{\text{чВ}} = t(Y - s = R_{97,5\%}) - t(Y \neq Y(t_0)) = 1537.7 - 10.2 = 1527.5$$

- Інтегральний критерій якості за помилкою керування:

$$C_{\text{ІПК}} = \int_{t(Y \neq Y(t_0))}^{t(Y-s=R_{97,5\%})} (R - Y dt)^2$$

$$\int_{10.2}^{1537.7} (45 - 44.125)^2 dt = 1.169 \times 10^3$$

Де  $C_{\text{ІПК}}$  – інтегральний критерій якості за помилкою керування.

- Інтегральний критерій якості за керуючим впливом:

$$C_{\text{ІКВ}} = \int_{t(Y \neq Y(t_0))}^{t(Y-s=R_{97,5\%})} U dt$$

$$\int_{10.2}^{1537.7} 100 dt = 1.528 \times 10^5$$

де  $C_{\text{ІКВ}}$  – інтегральний критерій якості за керуючим впливом, – керуючий вплив.

## 2) Для моделі з уставкою 21 (31.428%):

- Перерегулювання:

$$C_{\text{П}} = Y_{\text{max}} - s - R$$

$$C_{\text{П}} = 20.9996 - 21 = -0,0004$$

де  $C_{\text{П}}$  – показник перерегулювання,  $Y_{\text{max}}$  – максимальне дійсне значення,  $s$  – статичний зсув дійсного значення.

- Час наростання:

$$C_{\text{ЧН}} = t(Y - s = R_{90\%}) - t(Y - S = R_{10\%})$$

Time	Data:1
68.2000	11.1019

$$R_{10\%} = 68.2$$

Time	Data:1
969.4000	19.9000

 $R_{90\%} = 969.4$ 

$$C_{\text{ЧН}} = t(Y - s = R_{90\%}) - t(Y - S = R_{10\%}) = 969.4 - 68.2 = 901.2$$

де  $C_{\text{ЧН}}$  – показник часу наростання (с),  $t$  – час перехідного процесу (с),  $t(Y - s = R_{90\%})$  – момент досягнення дійсним значенням 90 % значення уставки (рівень кінця наростання) (с),  $t(Y - S = R_{10\%})$  – момент досягнення дійсним значенням 10 % значення уставки (рівень початку наростання) (с).

- Час встановлення:

$$C_{\text{ЧВ}} = t(Y - s = R_{97,5\%}) - t(Y \neq Y(t_0))$$

де  $C_{\text{ЧВ}}$  – показник часу встановлення (с),  $t(Y - s = R_{97,5\%})$  – момент досягнення дійсним значенням 97,5 % значення уставки (рівень встановлення) (с),  $t(Y \neq Y(t_0))$  – момент початку зміни дійсного значення (с).

Time	Data:1
1538	20.7250

 $R_{97.5\%} = 1538$ 

Time	Data:1
10.2000	10.0001

Момент початку зміни дійсного значення (с)

$$C_{\text{ЧВ}} = t(Y - s = R_{97,5\%}) - t(Y \neq Y(t_0)) = 1538 - 10.2 = 1527.8$$

- Інтегральний критерій якості за помилкою керування:

$$C_{\text{ІПК}} = \int_{t(Y \neq Y(t_0))}^{t(Y - s = R_{97,5\%})} (R - Y dt)^2$$

$$\int_{10.2}^{1538} (21 - 20.725)^2 dt = 115.54$$

Де  $C_{\text{ІПК}}$  – інтегральний критерій якості за помилкою керування.

- Інтегральний критерій якості за керуючим впливом:

$$C_{\text{ИКВ}} = \int_{t(Y \neq Y(t_0))}^{t(Y-s=R_{97,5\%})} U dt,$$

$$\int_{10.2}^{1538} 31.428 dt = 4.802 \times 10^4$$

де  $C_{\text{ИКВ}}$  – інтегральний критерій якості за керуючим впливом,  $U$  – керуючий вплив.

### 3) Для моделі з оптимальним регулятором

- Перерегулювання:

$$C_{\text{п}} = Y_{\text{max}} - s - R$$

$$C_{\text{п}} = 21.0049 - 21 = 0.0049$$

де  $C_{\text{п}}$  – показник перерегулювання,  $Y_{\text{max}}$  – максимальне дійсне значення,  $s$  – статичний зсув дійсного значення.

- Час наростання:

$$C_{\text{чН}} = t(Y - s = R_{90\%}) - t(Y - S = R_{10\%})$$

Time	Data:1
35.5000	11.1044

$R_{10\%} = 35.5$

Time	Data:1
161.6000	19.9002

$R_{90\%} = 161.6$

$$C_{\text{чН}} = t(Y - s = R_{90\%}) - t(Y - S = R_{10\%}) = 161.6 - 35.5 = 126.1$$

де  $C_{\text{чН}}$  – показник часу наростання (с),  $t$  – час перехідного процесу (с),  $t(Y - s = R_{90\%})$  – момент досягнення дійсним значенням 90 % значення уставки (рівень кінця наростання) (с),  $t(Y - S = R_{10\%})$  – момент досягнення дійсним значенням 10 % значення уставки (рівень початку наростання) (с).

- Час встановлення:

$$C_{\text{ЧВ}} = t(Y - s = R_{97,5\%}) - t(Y \neq Y(t_0))$$

де  $C_{\text{ЧВ}}$  – показник часу встановлення (с),  $t(Y - s = R_{97,5\%})$  – момент досягнення дійсним значенням 97,5 % значення уставки (рівень встановлення) (с),  $t(Y \neq Y(t_0))$  – момент початку зміни дійсного значення (с).

Time	Data:1
175.6000	20.7244

$$R_{97.5\%} = 175.6$$

Time	Data:1
10.2000	10.0001

Момент початку зміни дійсного значення (с)

$$C_{\text{ЧВ}} = t(Y - s = R_{97,5\%}) - t(Y \neq Y(t_0)) = 175.6 - 10.2 = 165.4$$

- Інтегральний критерій якості за помилкою керування:

$$C_{\text{ІПК}} = \int_{t(Y \neq Y(t_0))}^{t(Y - s = R_{97,5\%})} (R - Y dt)^2$$

$$\int_{10.2}^{175.6} (21 - 20.7244)^2 dt = 12.563$$

Де  $C_{\text{ІПК}}$  – інтегральний критерій якості за помилкою керування.

- Інтегральний критерій якості за керуючим впливом:

$$C_{\text{ІКВ}} = \int_{t(Y \neq Y(t_0))}^{t(Y - s = R_{97,5\%})} U dt$$

$$\int_{10.2}^{175.6} 31.428 dt = 5.198 \times 10^3$$

де  $C_{\text{ІКВ}}$  – інтегральний критерій якості за керуючим впливом,  $U$  – керуючий вплив.



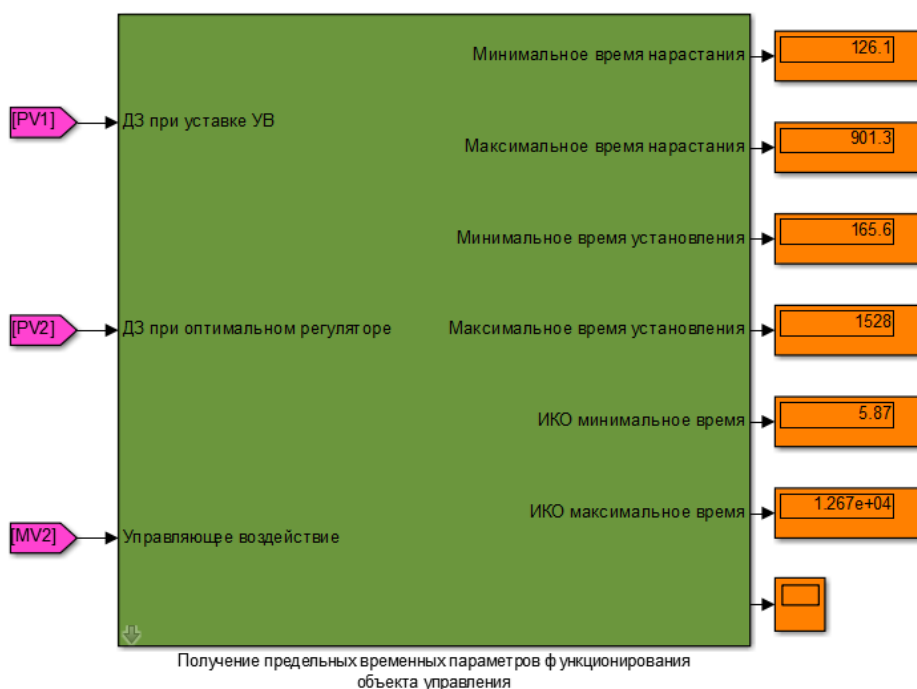


Рис. 2.18 – Отримання межових тимчасових параметрів функціонування об'єкта керування

Таблица 2.2 – Параметры об'єкта керування

Показник	100%	31.428%	з регулятором
Перерегулювання	-0.0005	-0.0004	0.0049
Час наростання	Мах - 901.2 Мін (уставка 21) – 126.1	901.2	Мін - 126.1
Час встановлення	Мах - 1527.5	1527.8	Мін – 165.4
Інтегральний критерій якості за помилкою керування	$1.169 \times 10^3$	115.54	12.563
Інтегральний критерій якості за керуючим впливом	$1.528 \times 10^5$	$4.802 \times 10^4$	$5.198 \times 10^3$

### **2.3 Висновки по розділу**

Проаналізувавши отримані показники якості можна зробити висновок, що показники якості при використанні оптимального за швидкодією регулятора дають кращий результат. Час наростання становить 126.1 с, час встановлення становить 165.4 с. Подальшим напрямком роботи є синтез системи керування та обрання конкретного типу регулятора для цієї системи.

## 3 СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

### 3.1 Модель системи керування

У результаті проведеної ідентифікації моделі, та досліджень згідно з висунутими критеріями якості розглянемо поведінку об'єкту керування з використанням декількох типів регуляторів, та перевіримо на відповідність критеріям якості.

Розрахунок параметрів для П, ПІ, ПІД регуляторів проведемо методами PIDTUNE, AMIGO які згадувалися вище.

Розрахунок параметрів ПІД регулятора за методом PIDTUNE було виконано за допомогою програмного забезпечення на мові MATLAB:

```
Object=tf([0.35],[15 1])*tf([1],[410 1])
Options=pidtuneOptions('PhaseMargin',60)
C=pidtune(Object,'PIDF',Options)
pidtool(Object,C)
Kp=C.Kp
Ti=C.Kp/C.Ki
Td=C.Kd
Td_N=C.Tf
```

Результати розрахунків параметрів регуляторів за методом PIDTUNE наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри регуляторів отримані за методом PIDTUNE

Параметр/Тип регулятора	Ti	Kp	Ki	Td=Kd	Tf
П		61.1636			
ПІ	133.88	1.39			
ПІД	241.37	4.9	0.0203	1.2	0.0045

Параметри регуляторів за методом AMIGO розраховується на підставі апроксимації моделі об'єкту керування аперіодичною ланкою першого порядку з запізненням. Для отримання параметрів апроксимованої моделі (коефіцієнта підсилення, постійної часу та часу запізнення) розроблено програмне забезпечення на мові MATLAB:

```

function result = getParameters(model)

% Аппроксимация модели объекта управления

% model - Модель объекта управления в виде передаточной функции
% Модели объектов:
% Интегрирующее звено: tf([1], [1 0])
% Интегрирующее звено с запаздыванием: tf([1], [1 0], 'ioDelay', 1)
% Аperiodическое звено: tf([1], [1 1])
% Аperiodическое звено с запаздыванием: tf([1], [1 1], 'ioDelay', 1)
% result - Результат аппроксимации
% result.K - Коэффициент усиления
% result.T - Постоянная времени, с
% result.tau - Время запаздывания, с

[y, t] = step(model);

Offset = y(1);
y = y - Offset;

fresp = evalfr(model, 0);
if isinf(fresp)
    fprintf('\nМодель соответствует интегрирующему звену\n')

    result = struct('T', [], 'tau', []);

    K = ((y(end) - y(end-1)) / (t(end) - t(end-1)));

    result.T = 1 / K;

    result.tau = (y(end) * t(end-1) - y(end-1) * t(end)) / (y(end) - y(end-
1));
    fprintf('\nT = %.3f, tau = %.3f\n\n', result.T, result.tau);
else
    fprintf('\nМодель соответствует аperiodическому звену\n')

    result = struct('K', [], 'T', [], 'tau', []);

    result.K = y(end);

    [~, ind] = max(diff(y));

    k = (y(ind+1) - y(ind)) / (t(ind+1) - t(ind));

    dy = k * t(ind+1) - y(ind+1);

    result.tau = dy / k;

    ind2 = find(y >= 0.63 * result.K, 1, 'first');
    ind1 = ind2 - 1;

    result.T = (t(ind1) + t(ind2)) / 2 - result.tau;
    fprintf('\nK = %.3f, T = %.3f, tau = %.3f\n\n', result.K, result.T, re-
sult.tau);
end
end

```

За результатами апроксимації отримані параметри моделі об'єкту керування наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Параметри апроксимованої моделі об'єкту керування

Параметр	K	Ti	Td
Значення	0.3489	413.424	11.4

З метою розрахунку параметрів регуляторів за методом AMIGO розроблено програмне забезпечення на мові MATLAB:

```
function result = methodAMIGO(K, T, tau, settings)

% Расчет параметров ПИД-регулятора по методу AMIGO
% для модели объекта управления аппроксимированной аperiodическим звеном с
запаздыванием

% K - Коэффициент усиления
% T - Время интегрирования
% tau - Запаздывание
% settings - Настройки: П, ПИ, ПИД регуляторы, 'P' - П регулятор, 'PI' - ПИ
регулятор, 'PID' - ПИД регулятор
% result - Результат расчета
% result.Kp - Коэффициент усиления
% result.Ti - Время интегрирования, с
% result.Td - Время дифференцирования, с
% result.N - Коэффициент фильтра

if nargin == 3
    result.P = controllerP(K, T, tau);
    result.PI = controllerPI(K, T, tau);
    result.PID = controllerPID(K, T, tau);
elseif strcmp(settings, 'P')
    result = controllerP(K, T, tau);
elseif strcmp(settings, 'PI')
    result = controllerPI(K, T, tau);
elseif strcmp(settings, 'PID')
    result = controllerPID(K, T, tau);
else
    fprintf('Поддерживаемые настройки: 'P', 'PI', 'PID'\n');
end
fprintf('\n');
end

function result = controllerP(K, T, tau)
    result.Kp = 0.3 * T / (K * tau);
    fprintf('\nПропорциональный регулятор\n\n');
    fprintf('Kp = %.3f\n', result.Kp);
end

function result = controllerPI(K, T, tau)
    result.Kp = 0.15 / K + (0.35 - (T * tau) / (T + tau)^2) * T / (K * tau);
    result.Ti = 0.35 * tau + (13 * tau * T^2) / (T^2 + 12 * T * tau + 7 *
tau^2);
    fprintf('\nПропорционально-интегральный регулятор\n\n');
    fprintf('Kp = %.3f, Ti = %.3f\n', result.Kp, result.Ti);
end
```

```

function result = controllerPID(K, T, tau)
    result.Kp = 1 / K * (0.2 + 0.45 * T / tau);
    result.Ti = (0.8 * T + 0.4 * tau) * tau / (0.1 * T + tau);
    result.Td = (0.5 * T * tau) / (T + 0.3 * tau);
    result.N = 10;
    fprintf('\nПропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор\n\n');
    fprintf('Kp = %.3f, Ti = %.3f, Td = %.3f, N = %.3f\n', result.Kp, result.Ti,
    result.Td, result.N);
end

```

Параметри регуляторів отримані за методом AMIGO наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Параметри регуляторів отримані за методом AMIGO

Параметр/Тип регулятора	Kp	Ti	Td=Kd	Tf
П	31.183			
ПІ	34.095	114.9		
ПІД	47.34	72.4732	5.6532	0.05632

На підставі обраної структури системи керування, типів регуляторів та їх структур і розрахованих параметрів розроблено імітаційні моделі систем керування в графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink математичного пакету MATLAB наведені на рисунках 3.1, 3.3.

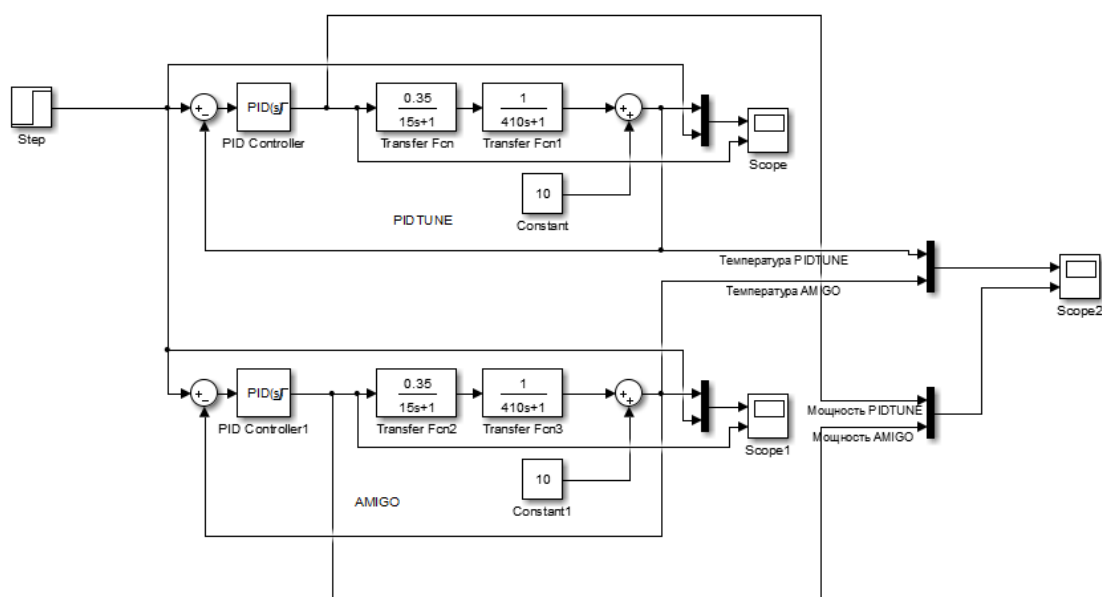


Рисунок 3.1 – Імітаційна модель системи керування на базі ПІ регулятора

Результати моделювання системи керування з ПІ регулятором параметри якого розраховані за методами PIDTUNE та AMIGO наведені на рисунку 3.2.

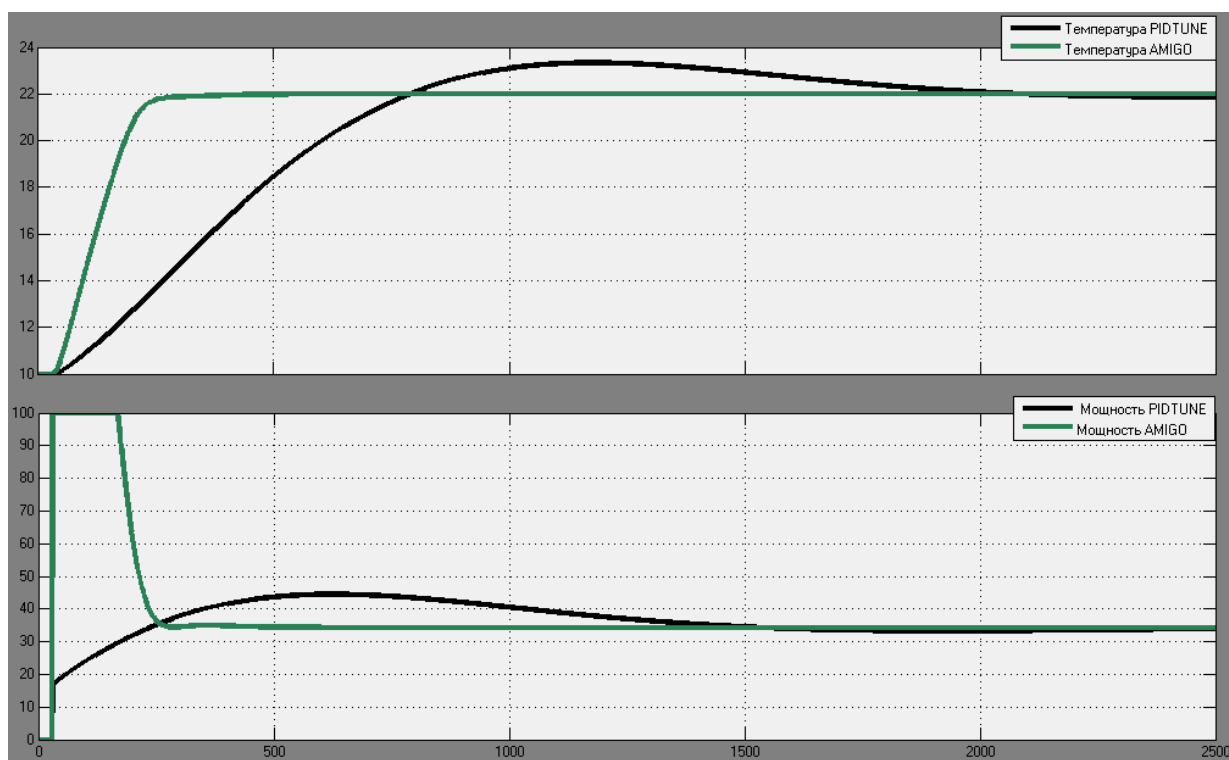


Рисунок 3.2 – Результати моделювання системи керування з ПІ регулятором

Проаналізувавши результати моделювання системи з використанням ПІ-регулятора, можна зробити висновок, що ПІ регулятор з обмеженням інтегральної складової за методом зворотного розрахунку с розрахунками за методом PIDTUNE має гіршу швидкодію, ніж регулятор з розрахунками за методом AMIGO, але регулятор з параметрами PIDTUNE забезпечує більш плавну зміну потужності обігрівача, ніж регулятор з параметрами AMIGO.

Для подальшого дослідження проаналізуємо PID регулятор.

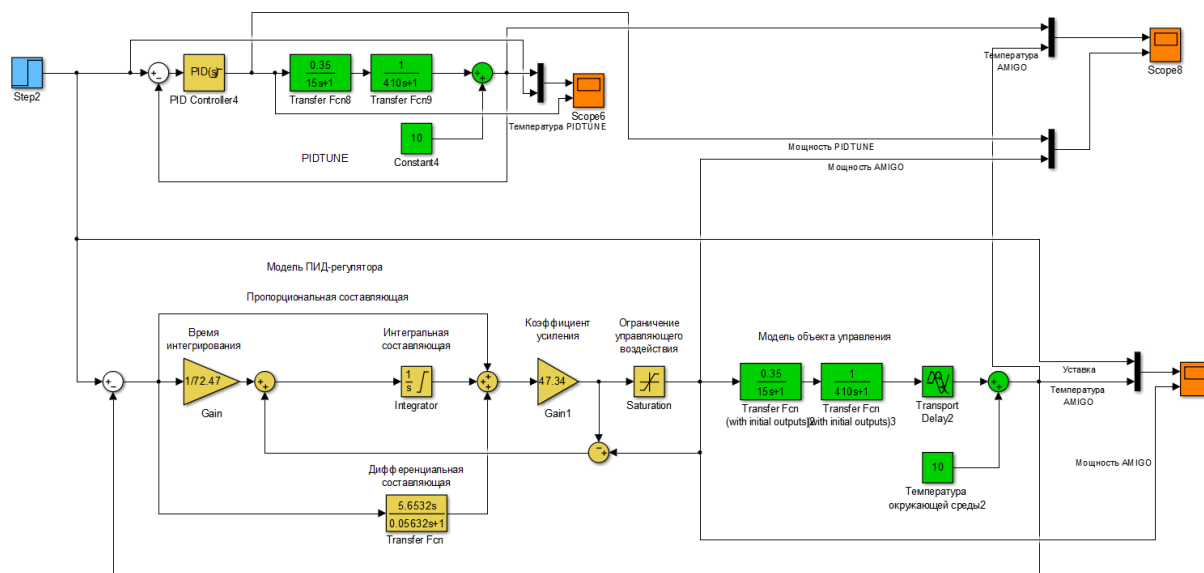


Рисунок 3.3 – Імітаційна модель системи керування на базі ПІД регулятора

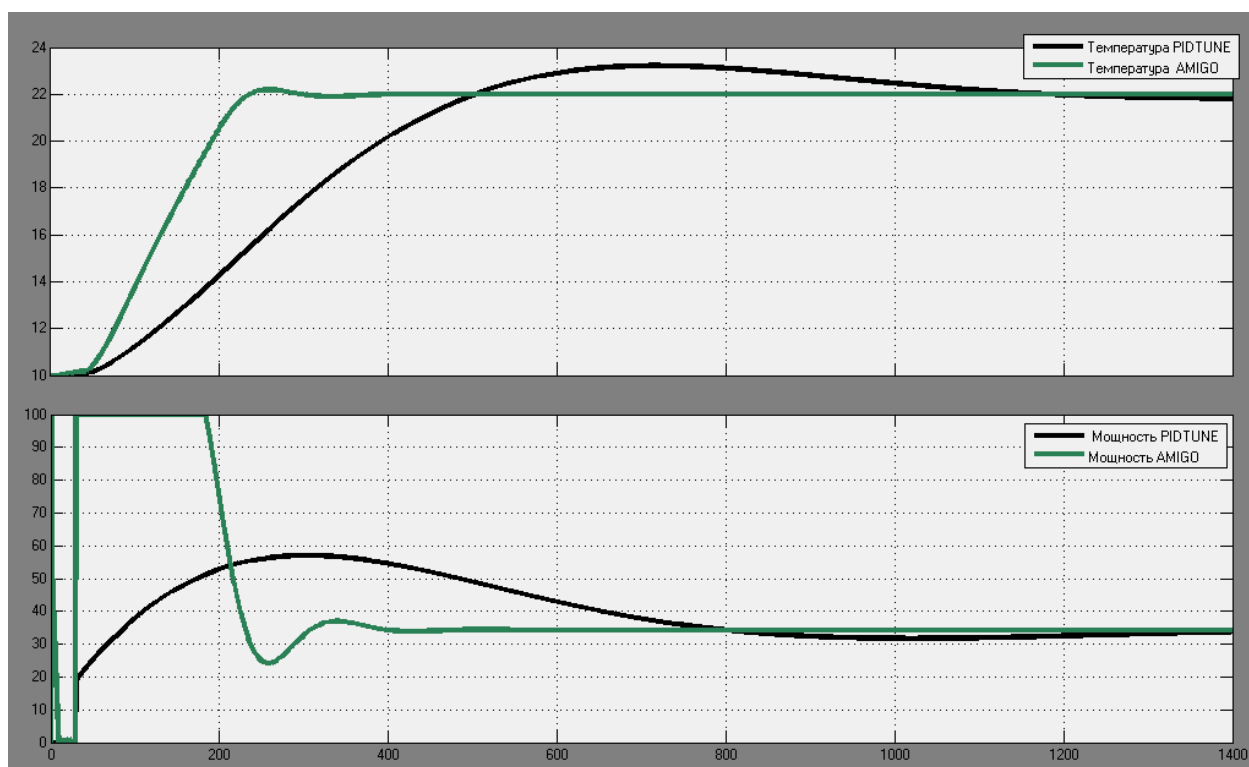


Рисунок 3.4 – Результати моделювання системи керування з ПІД регулятором

Як бачимо з результатів моделювання ПІД регулятор з обмеженням інтегральної складової, параметри якого отримані за методом PIDTUNE, дають затягнутий перехідний процес, а за методом AMIGO коливальний, але вищу швидкість.

За результатами аналізу функціонування моделей для подальших досліджень обрана імітаційна модель системи керування на базі ПІД регулятора з



обмеженням інтегральної складової за методом заціпки. Враховуючи більшу стійкість системи керування при параметрах розрахованих за методом PIDTUNE в подальших дослідження використовують їх.

Подальші дослідження системи керування направленні на отримання параметрів регулятора, які забезпечують швидкодію системи керування наближену до оптимальної.

Варіюючи коефіцієнт пропорційності та проаналізувавши результати дослідження обрано найкращий показник  $K_p=6.6$ , при якому майже відсутнє перерегулювання та забезпечується запас за часом встановлення (рис. 3.5).

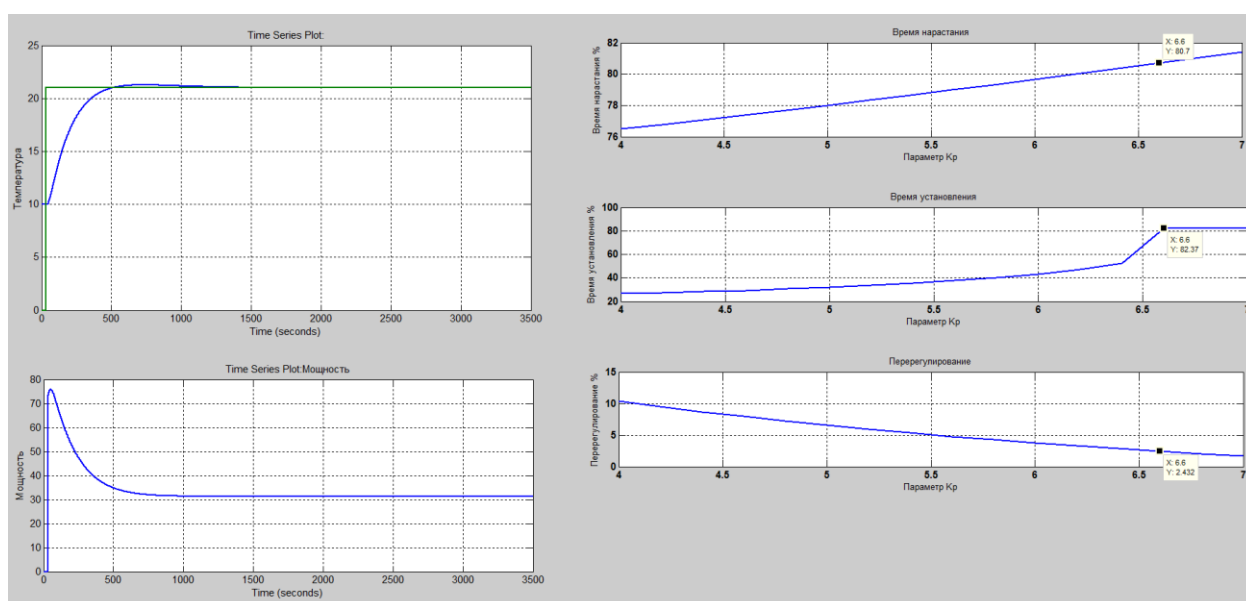


Рисунок 3.5 – Результат дослідження впливу коефіцієнту пропорційності

Варіюючи коефіцієнт  $K_i$  та проаналізувавши результати дослідження обрано найкращий показник  $K_i=0.02$ , при якому майже відсутнє перерегулювання та забезпечується запас за часом встановлення (рис. 3.6).

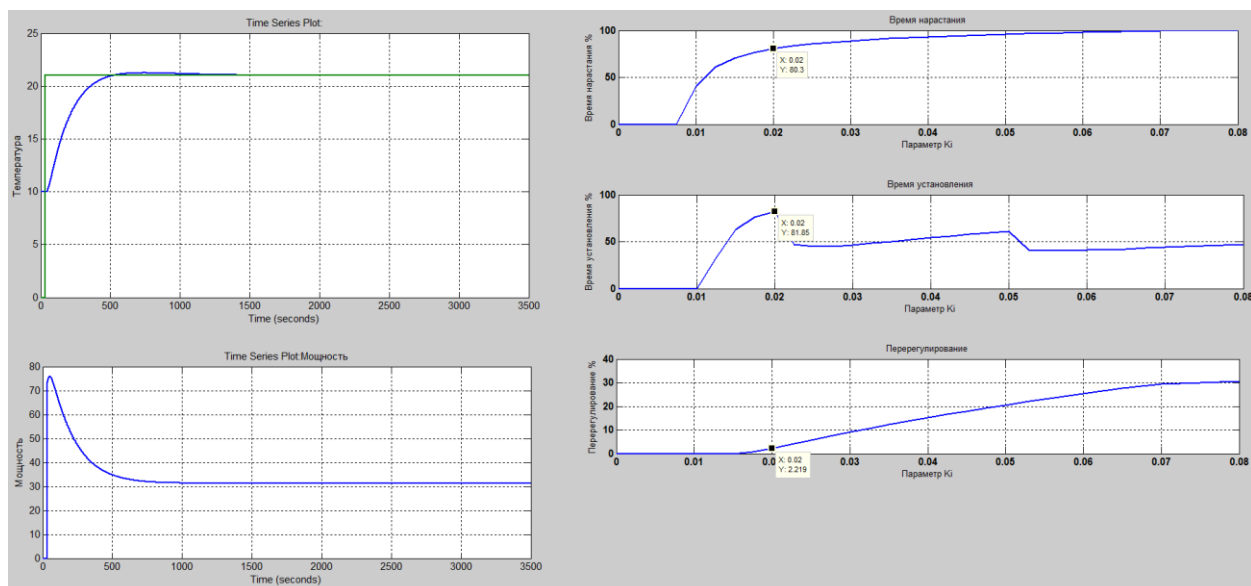


Рисунок 3.6 – Результат дослідження впливу коефіцієнта  $K_i$

Варіюючи коефіцієнт  $K_d$  та проаналізувавши результати дослідження обрано найкращий показник  $K_d=5$ , при якому майже відсутнє перерегулювання та забезпечується запас за часом встановлення (рис. 3.7)

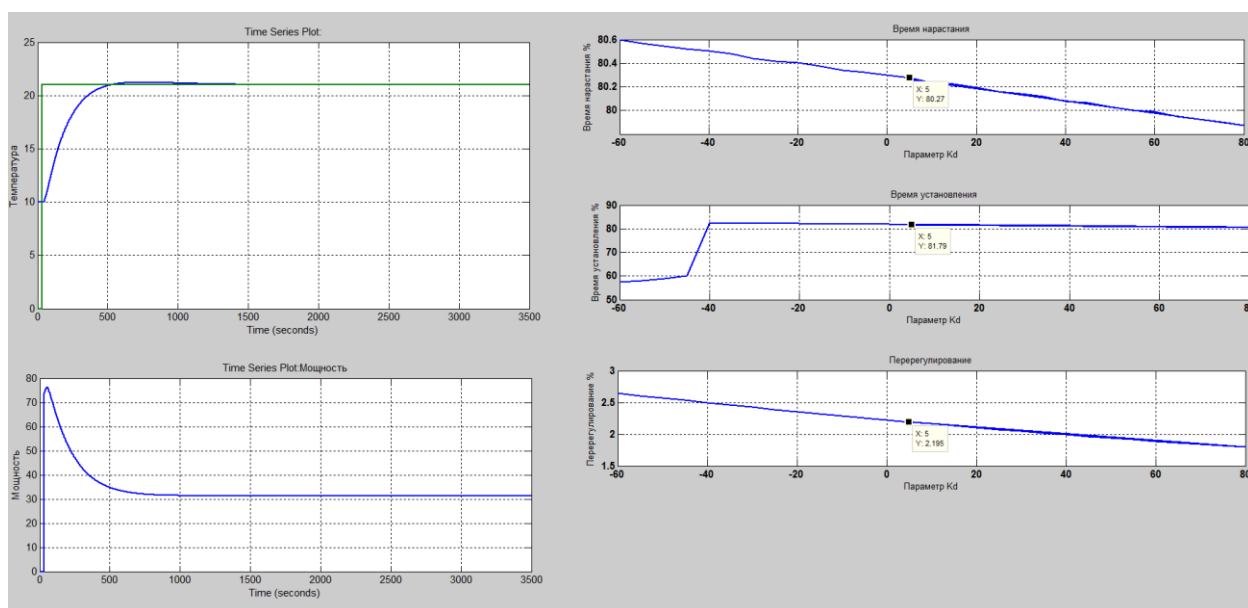


Рисунок 3.7 – Результат дослідження впливу часу диференціювання

Варіюючи коефіцієнт фільтра та проаналізувавши результати дослідження обрано найкращий показник  $N=0,01$  при якому майже відсутнє перерегулювання та забезпечується запас за часом встановлення (рис. 3.8)

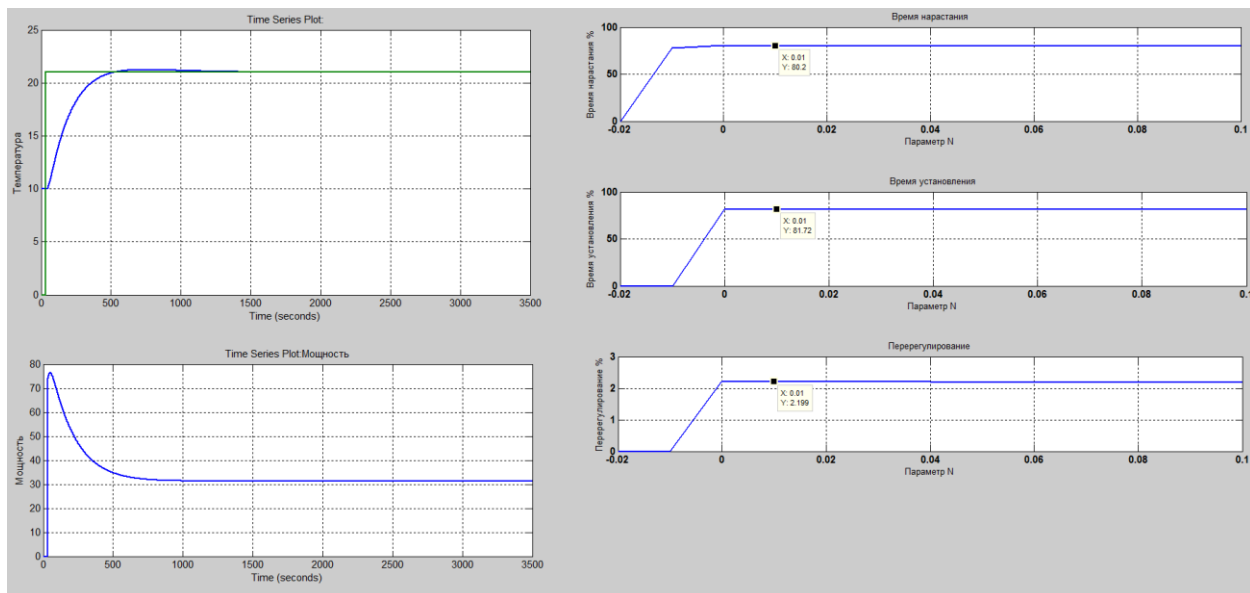


Рисунок 3.8 – Результат дослідження впливу коефіцієнта фільтра

За результатами дослідження послідовно були визначення параметри регулятора наближені до оптимальних: коефіцієнту підсилення ( $K=6.6$ ), коефіцієнт інтегрування ( $K_i = 0.02$ ), часу диференціювання ( $K_d = 5$ ) та коефіцієнту фільтра ( $N=0,01$ ).

Подальшим завданням буде дослідження впливу перепаду напруги в мережі до 15% від номінальної напруги на роботу системи керування та об'єкта керування.

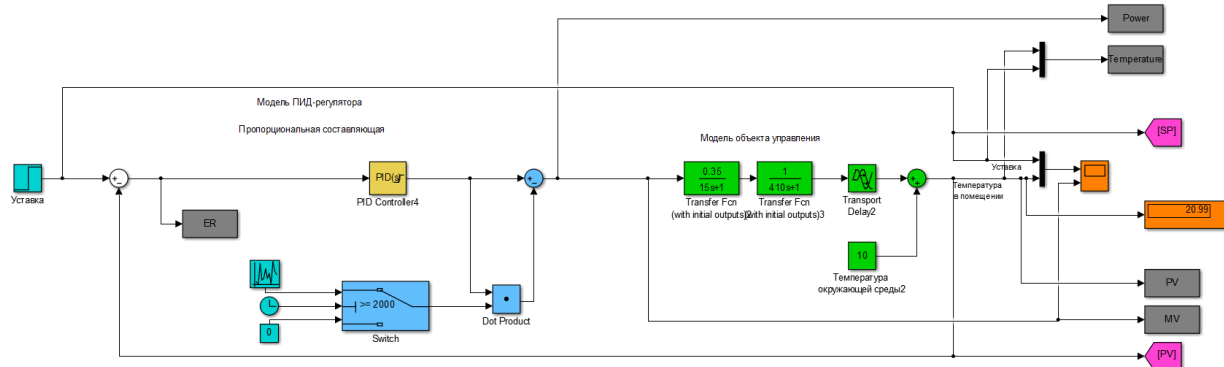


Рисунок 3.9 – Імітаційна модель системи керування на базі ПІД регулятора з додатковим збурюючим впливом у вигляді перепаду напруги

Після закінчення перехідного процесу відбувається процес подачі збурюючого впливу.



Рисунок 3.10 – Результати моделювання системи керування з ПІД регулятором та збурюючим впливом

В результаті перепаду напруги в діапазоні 0-15% відбувається зменшення та перепад потужності нагрівача. Внаслідок цього температура зменшується на 0.2 градуса, система реагує на це і підвищує потужність нагрівача для підтримки температури на рівні заданої уставки.

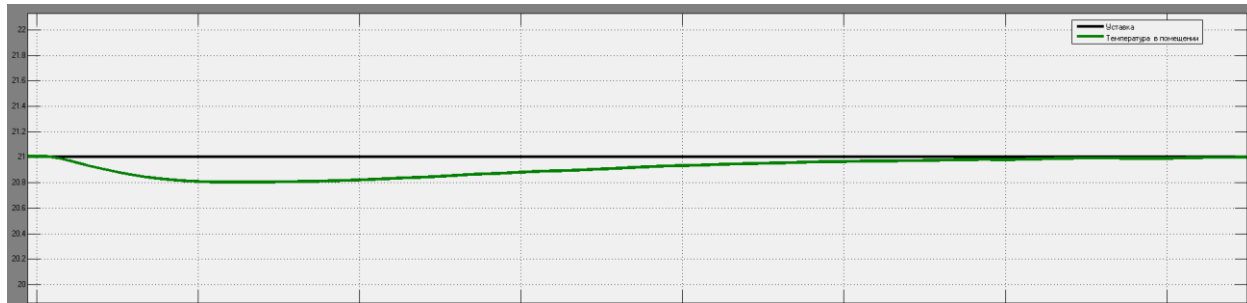


Рисунок 3.10 – Наслідок збурюючого впливу

### 3.2 Висновки по розділу

Після проведення всіх досліджень було синтезовано модель системи керування, обрано відповідний регулятор та підібрано параметри регулятора для його максимальної швидкодії. Було досліджено роботу системи при наявності збурюючого впливу у вигляді перепаду напруги до 15% від номінальної напруги. Подальшим напрямком роботи є розробка людинно-машинного інтерфейсу для системи керування.

## 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### 4.1 Цифрова модель об'єкта керування

Згідно з завданням необхідно розробити програмне забезпечення системи керування та людино-машинний інтерфейс для SCADA системи zenon Supervisor 7.10. Для цього необхідно отриману модель системи керування замінити на цифрову, розподілити її на 2 підсистеми – модель регулятора та модель об'єкта керування.

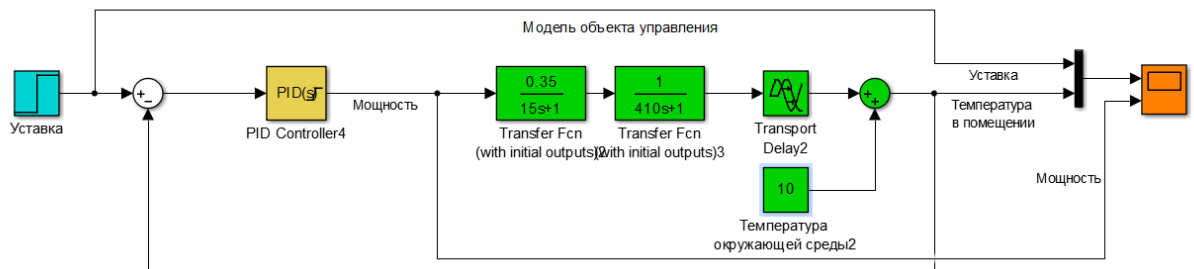


Рисунок 4.1 – Безперервна модель системи керування

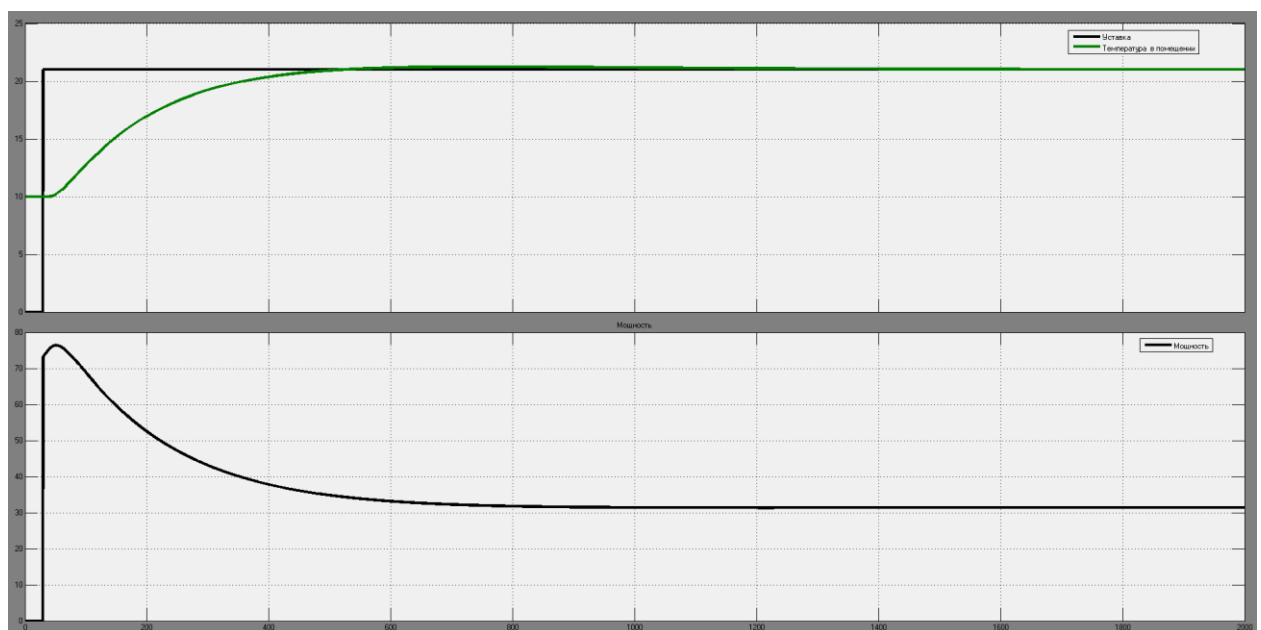


Рисунок 4.2 – Результати моделювання

Розрахуємо коефіцієнти для цифрових блоків системи керування:

```
>> [b, a] = tfzFOTF(0.35, 15, 0.1)
```

```
b0 = 0.00232557281074, a0 = -0.99335550625503
```

```
>> [b, a] = tfzFOTF(1, 410, 0.1)
```

```
b0 = 0.00024387269724, a0 = -0.99975612730276
```

```
>> [delayLength] = tfzD(10, 0.1)
```

```
Delay length = 100.000
```

Після розрахування необхідно замінити безперервні елементи моделі на цифрові. Модель виглядає наступним чином:

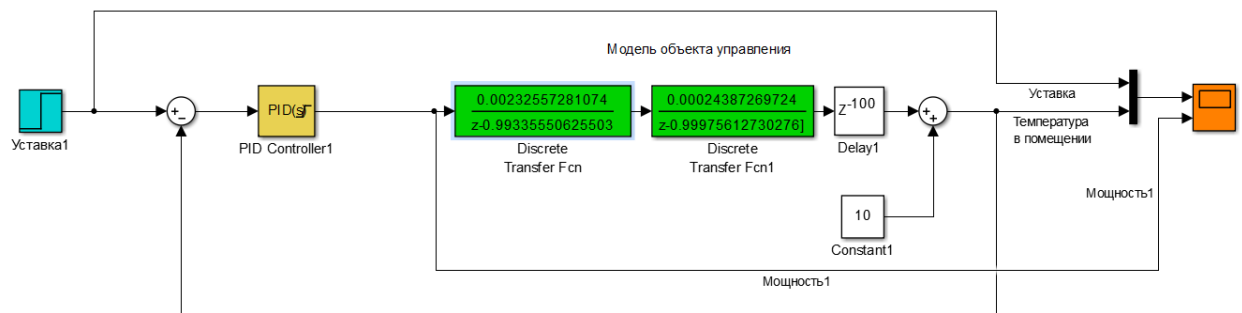


Рисунок 4.3 – Цифрова модель системи керування

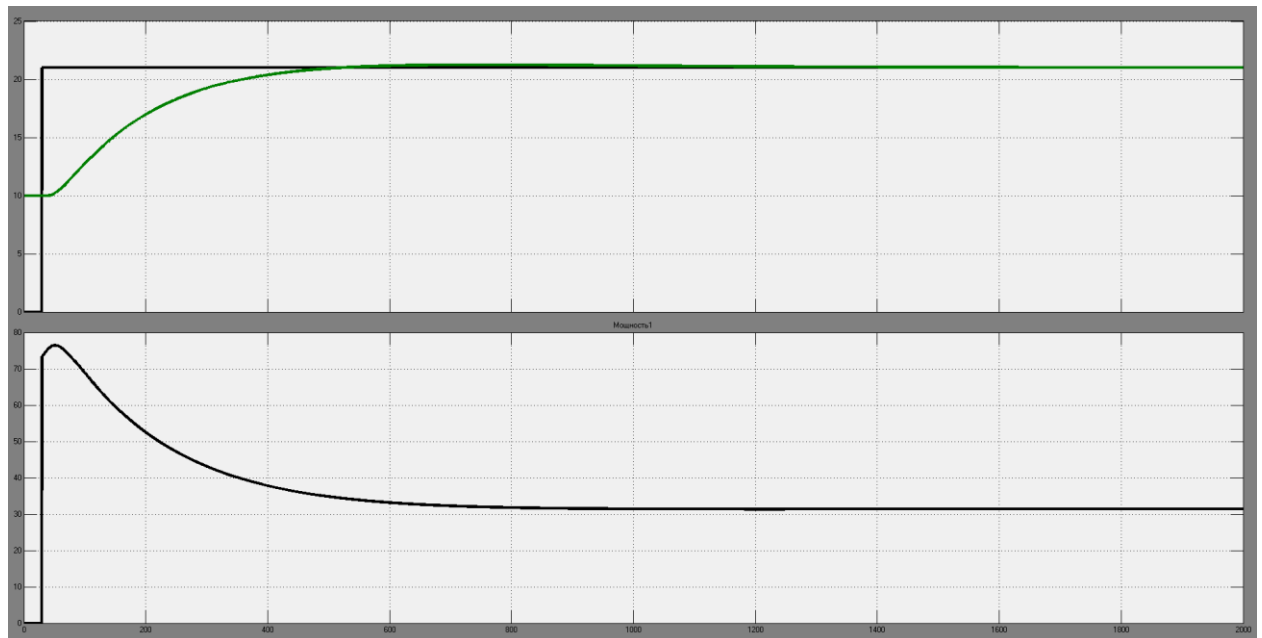


Рисунок 4.4 – Результати моделювання

За нормованим середньо-квадратичним відхиленням оцінимо відповідність цифрової моделі системи керування безперервній моделі.

```
>> goodnessOfFit(ModelZ, ModelC, 'NRMSE')*100
```

ans =

99.9586

Згідно з результатами цифрова модель відповідна до безперервної моделі на 99.9586 %, а тому є адекватною та може бути використана для розробки програмного забезпечення системи керування та людино-машинного інтерфейсу для SCADA системи zenon Supervisor 7.10

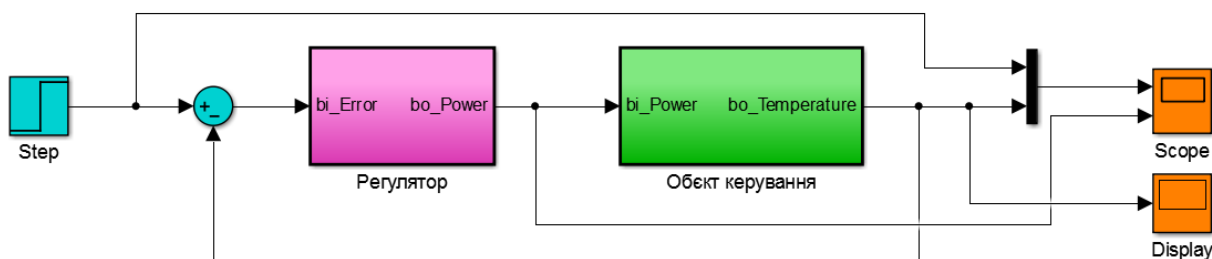


Рисунок 4.5 – Модель системи керування з підсистемами регулятора та об'єкта керування

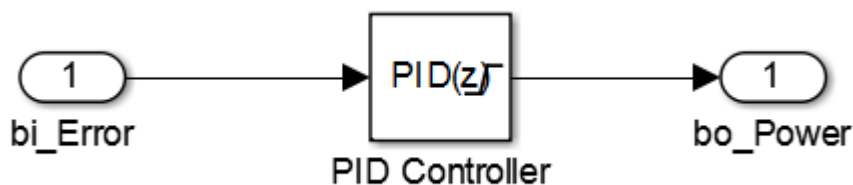


Рисунок 4.6 – Модель регулятора

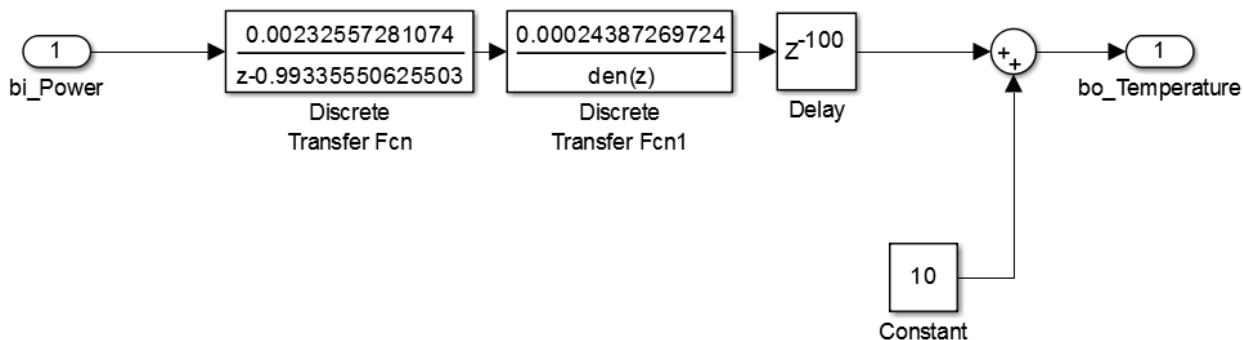


Рисунок 4.7 – Модель об'єкта керування

## 4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування

Відповідно до завдання необхідно розробити програмне забезпечення яке реалізує об'єкт керування та програмне забезпечення яке реалізує регулятор. Спочатку буде розроблено програмне забезпечення яке реалізує об'єкт керування. Для цього в SCADA системі zenon додамо драйвер "S7 TCP-IP driver" для підключення до програмованого логічного контролеру "VIPA 314- 2AG12" за допомогою інтерфейсу Ethernet, а також відповідні змінні які наведені на рисунку 4.8.

Name	Measuring unit	Driver	Data type
Filter text	Filter text	s	Filter text
PowerKwt	Вт	S7TCP32 - VIPA	UINT
Power	%	S7TCP32 - VIPA	UINT
Temperature	°C	S7TCP32 - VIPA	UINT

Рисунок 4.8 – Змінні програмованого логічного контролеру

Програмне забезпечення об'єкта керування буде функціонувати на програмному програмованому логічному контролері zenon Logic який в режимі симуляції буде реалізувати програмований логічний контролер VIPA та об'єкт керування. На базі отриманого тексту програми з математичного пакету MATLAB розроблено користувацький функціональний блок "Object". Текст програми якого розроблено на мові програмування Structured Text:

```
(* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)
DiscreteTransferFcn := LREAL#0.00232557281074 * DiscreteTransferFcn_states;
(* Outport: '<Root>/bo_Temperature' incorporates:
* Constant: '<S1>/Constant'
* Delay: '<S1>/Delay'
* Sum: '<S1>/Sum1' *)
bo_Temperature := Delay_DSTATE[0] + LREAL#10.0;
(* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:
* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
FOR k := 0 TO 98 DO
    Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];
END_FOR;
Delay_DSTATE[99] := LREAL#0.00024387269724 * DiscreteTransferFcn1_states;
```



```
(* End of update for Delay: '<S1>/Delay' *)
(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' in-
corporates:
* Update for Inport: '<Root>/bi_Power' *)
DiscreteTransferFcn_states := bi_Power - (-LREAL#0.99335550625503
* DiscreteTransferFcn_states);
(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
DiscreteTransferFcn1_states := DiscreteTransferFcn - (-
LREAL#0.99975612730276 * DiscreteTransferFcn1_states);
```

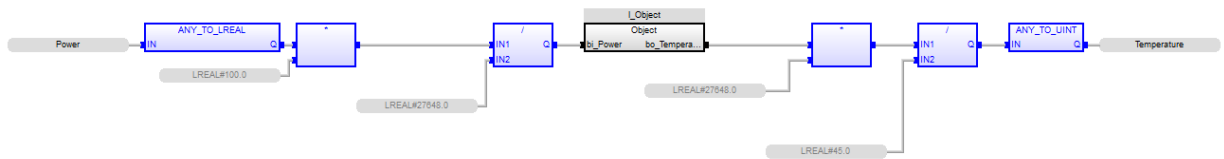


Рисунок 4.9 – Основна програма об'єкта керування

Для створення програмного забезпечення регулятора було реалізовано проект регулятора в середовищі Zenon Logic:

State	Project name	Target host	Targ...	Start type	Start place	Host	Startup	Redun...
Filter text	Filter text	Filter text	Filt...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter...
	Controller	localhost	1200	start/stop automati...	all comput...	localhost	Cold start	<input type="checkbox"/>

Рисунок 4.10 – Проект для регулятора

Для регулятора було створено змінні потужності нагрівача у відсотках, потужність нагрівача у ватах, значення уставки температури та температура у приміщенні (рис. 4.11).

Name	Measuring unit	Driver	Data type
Filter text	Filter text	s	Filter text
Controller/Global/Power	%	STRATONNG - zenon Logic: Controller	UINT
Controller/Global/SetPoint	°C	STRATONNG - zenon Logic: Controller	UINT
Controller/Global/Temperature	°C	STRATONNG - zenon Logic: Controller	UINT
Controller/Global/PowerKw	Вт	STRATONNG - zenon Logic: Controller	UINT

Рисунок 4.11 – Змінні для проекту регулятора

Текст програми для проекту регулятора:

```
(* Gain: '<S2>/Filter coefficient' incorporates:
* DiscreteIntegrator: '<S2>/Filter'
```

```

* Gain: '<S2>/Derivative Gain'
* Inport: '<Root>/bi_Error'
* Sum: '<S2>/SumD' *)
rtb_FilterCoefficient := ((LREAL#5.0 * bi_Error) - Filter_DSTATE) *
LREAL#0.01;

(* Sum: '<S2>/Sum' incorporates:
* DiscreteIntegrator: '<S2>/Integrator'
* Gain: '<S2>/Proportional Gain'
* Inport: '<Root>/bi_Error' *)
rtb_Sum := ((LREAL#6.6 * bi_Error) + Integrator_DSTATE) +
rtb_FilterCoefficient;

(* Saturate: '<S2>/Saturation' *)
IF rtb_Sum >= LREAL#100.0 THEN
    (* Output: '<Root>/bo_Power' *)
    bo_Power := LREAL#100.0;
ELSIF rtb_Sum > LREAL#0.0 THEN
    (* Output: '<Root>/bo_Power' *)
    bo_Power := rtb_Sum;
ELSE
    (* Output: '<Root>/bo_Power' *)
    bo_Power := LREAL#0.0;
END_IF;
(* End of Saturate: '<S2>/Saturation' *)

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Filter' *)
Filter_DSTATE := (LREAL#0.1 * rtb_FilterCoefficient) +
Filter_DSTATE;

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Integrator' incorporates:
* Gain: '<S2>/Integral Gain'
* Inport: '<Root>/bi_Error' *)
Integrator_DSTATE := ((LREAL#0.02 * bi_Error) * LREAL#0.1) +
Integrator_DSTATE;

```

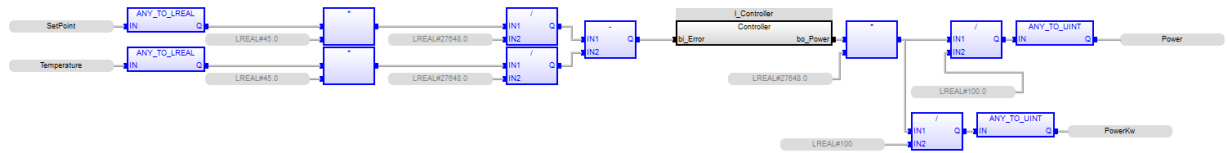


Рисунок 4.12 – Основна програма регулятора

Зв'язок між програмним забезпеченням регулятора та об'єкта керування було реалізовано через інструмент «Allocations» (рис. 4.12).

Name	Source variable	Target variable
Filter text	Filter text	Filter text
PLC_To_zenon	Temperature	Controller/Global/Temperature
Allocation 0	Controller/Global/PowerKw	PowerKwt
zenon_To_PLC	Controller/Global/Power	Power
visual	Power	WorkStatus

Рисунок 4.12 – інструмент «Allocations»

### 4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу

Людино-машинний інтерфейс надає можливість спостерігати за перехідним процесом у реальному часі, зміни параметрів об'єкта керування у реальному часі, отримувати повідомлення у разі якихось непередбачуваних ситуацій під час перехідного процесу. В рамках цієї роботи інтерфейс дає можливість задавати уставку температури, спостерігати дійсне значення температури в приміщенні, надає інформацію про потужність нагрівача у відсотках (%) та у ватах. Окрім цього є запис хронологічних подій та запис аварійних станів.

Було створено 2 шаблони для людино-машинного інтерфейсу, один відображає всю основну інформацію, другий призначений для кнопок навігації. (рис. 4.13)

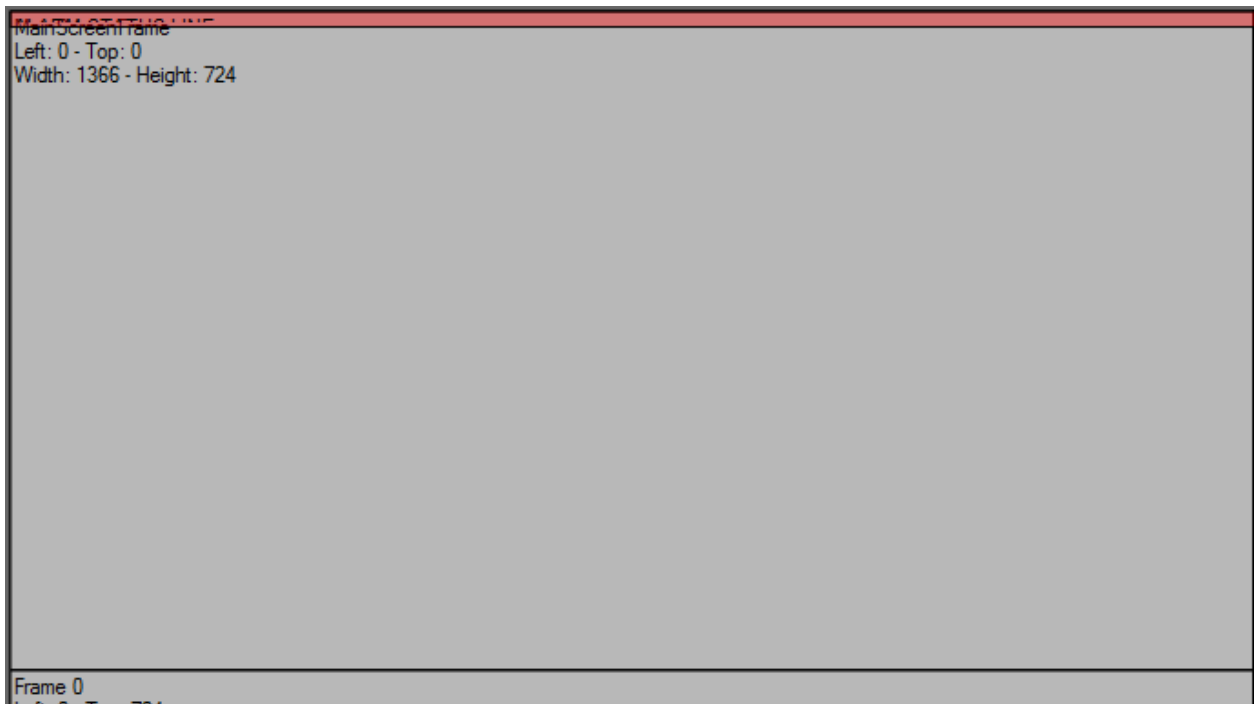


Рисунок 4.13 – Шаблони зображень

Далі було створено кнопки навігації для переключення між різними зображеннями людино-машинного інтерфейсу (рис. 4.14).

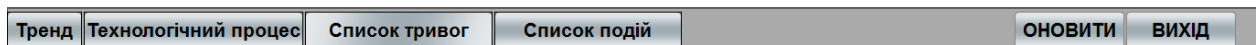


Рисунок 4.14 – Кнопки навігації

При натисканні на кнопку «Тренд» відкривається зображення з інформацією та графіками перехідного процесу (рис. 4.15). Кнопка «Технологічний процес» - зображення схеми технологічного процесу з вказанням різних датчиків та виконавчих пристроїв (рис. 4.16). «Список тривог» і «Список подій» - надають інформацію про тривоги и хронологічні події відповідно (рис. 4.17, рис. 4.18 відповідно). «Оновити» - оновлює зображення. «Вихід» - завершити програму.

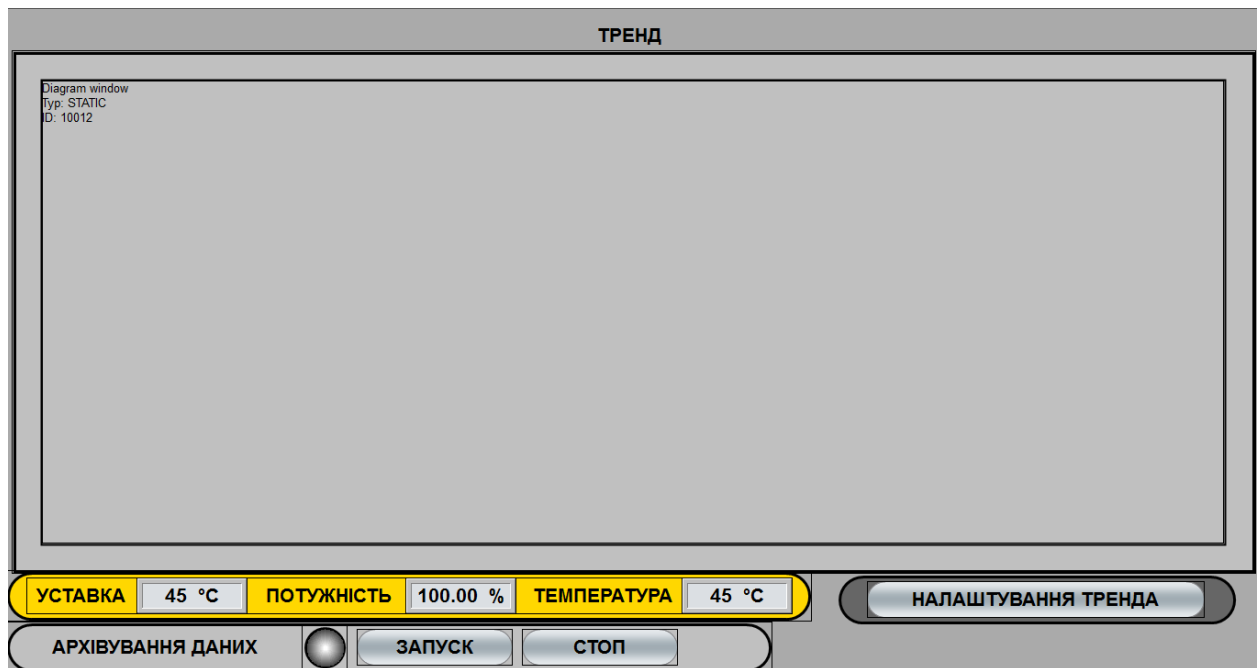


Рисунок 4.15 – Зображення «Тренд»

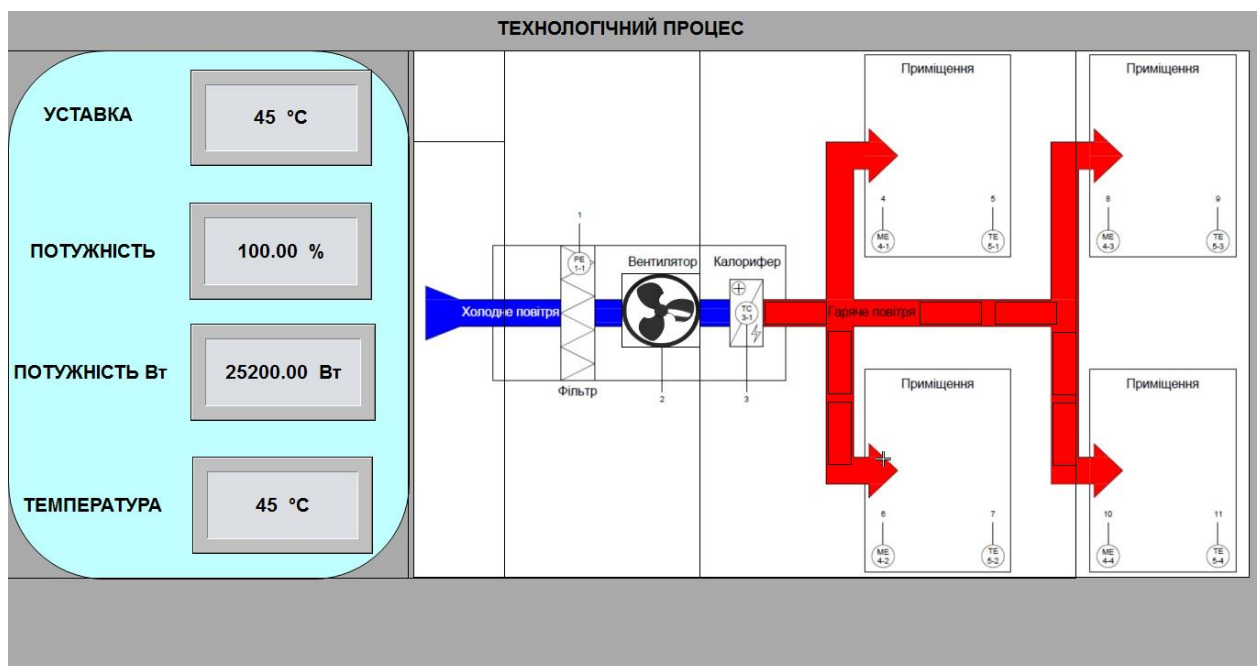


Рисунок 4.16 – Зображення «Технологічний процес»

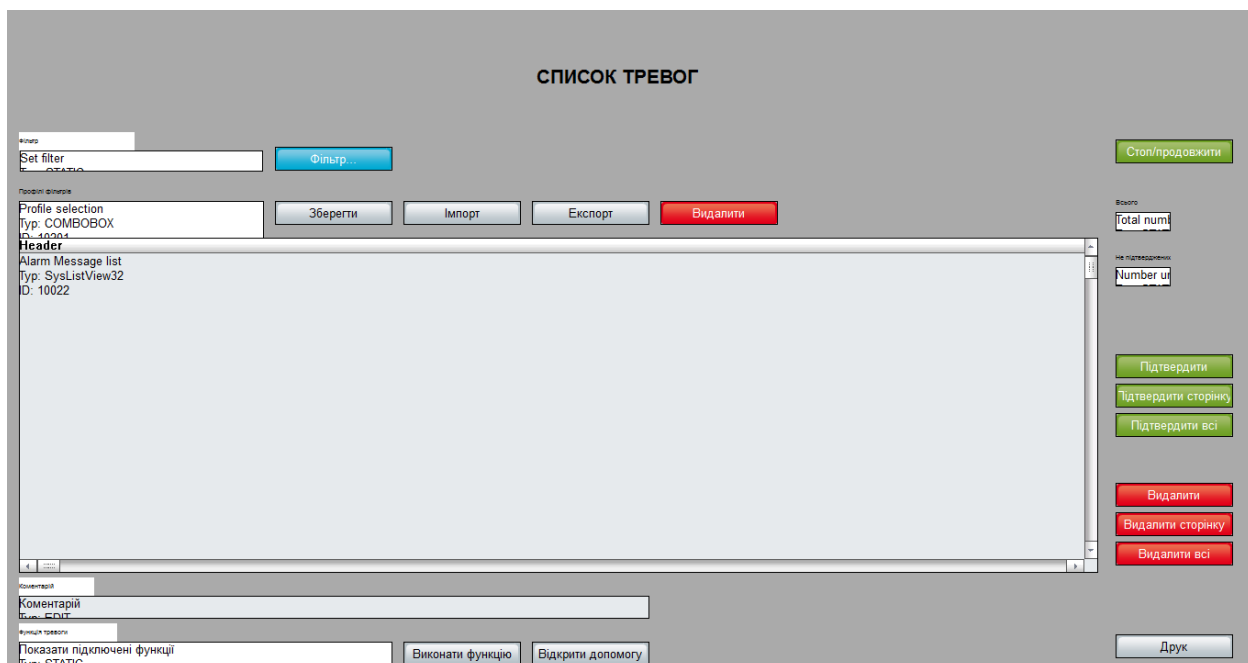


Рисунок 4.17 – Зображення «Список тривог»

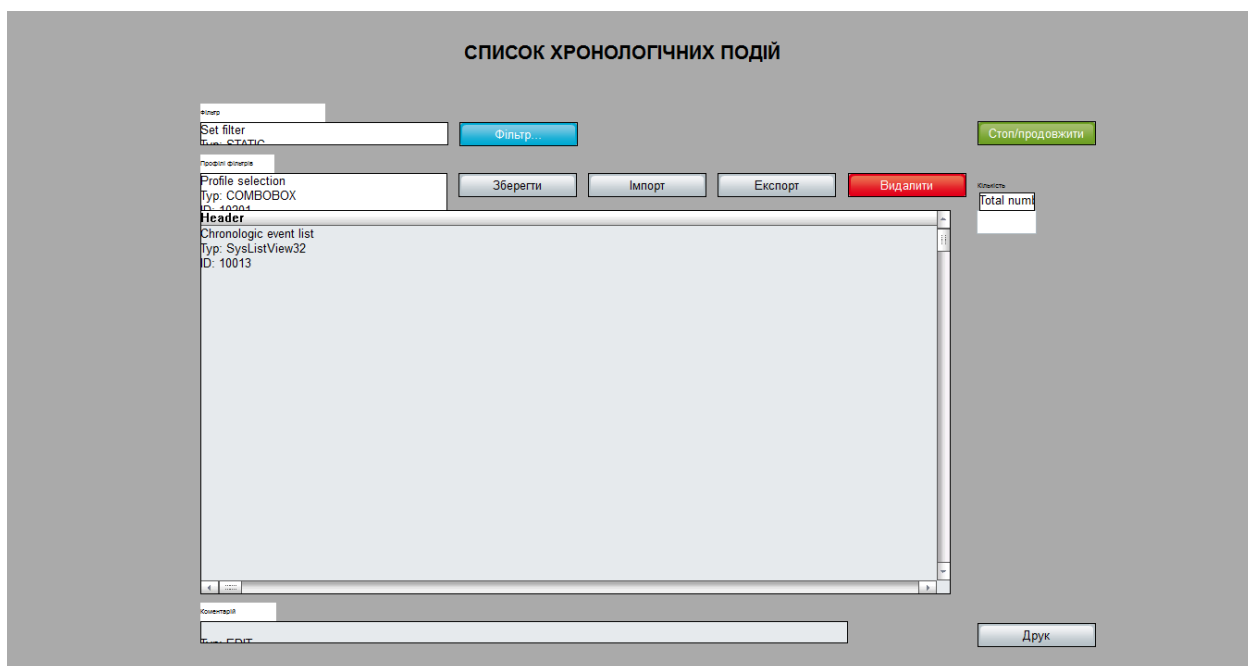


Рисунок 4.18 – Зображення «Список подій»

#### 4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Перевірка функціонування програмного забезпечення відбувалася шляхом подачі уставки температури 21 °С на вхід об'єкта керування. Після спостережень можна зробити висновок, що об'єкт та регулятор працюють адекватно, перерегулювання майже відсутнє.

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

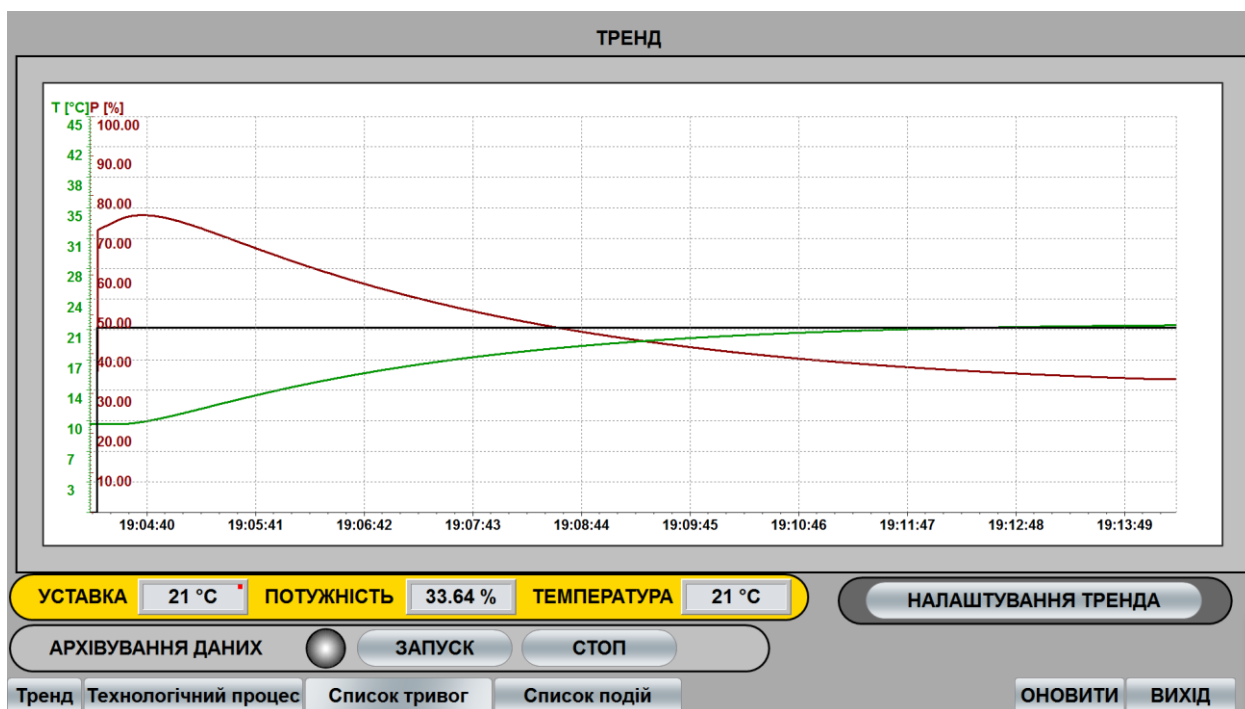


Рисунок 4.19 – Перевірка функціонування «Тренд»

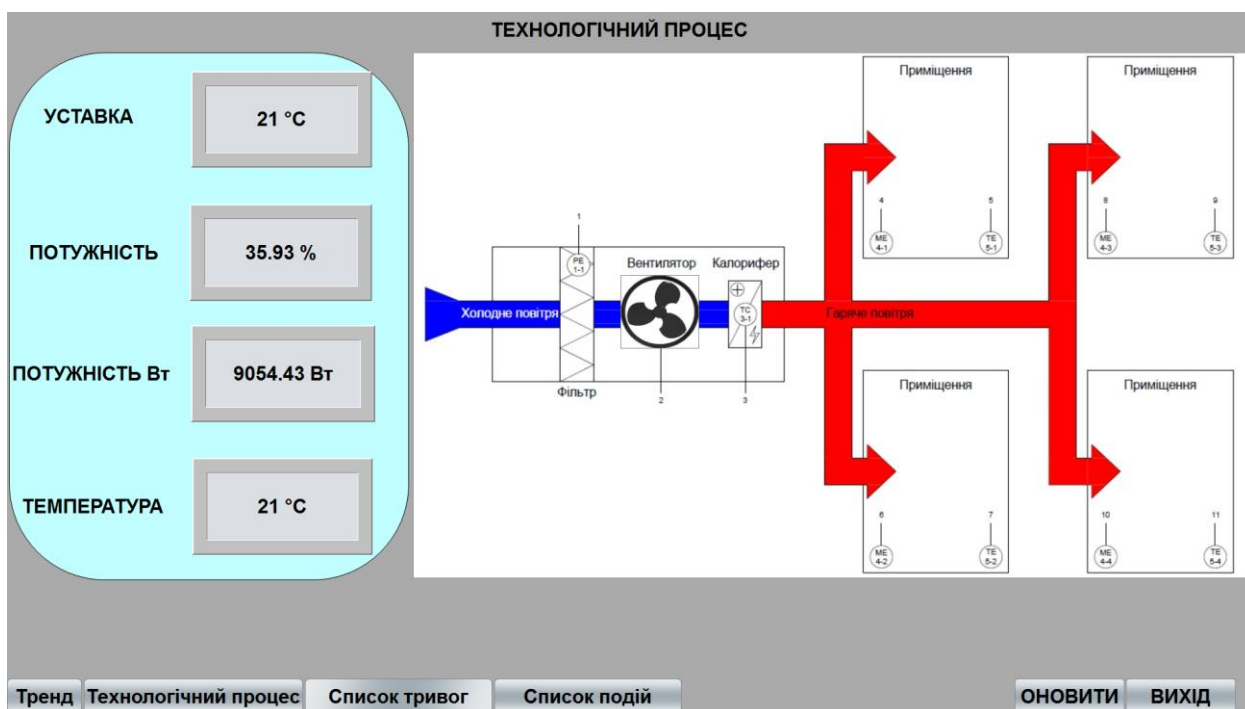


Рисунок 4.20 – Перевірка функціонування «Технологічний процес»

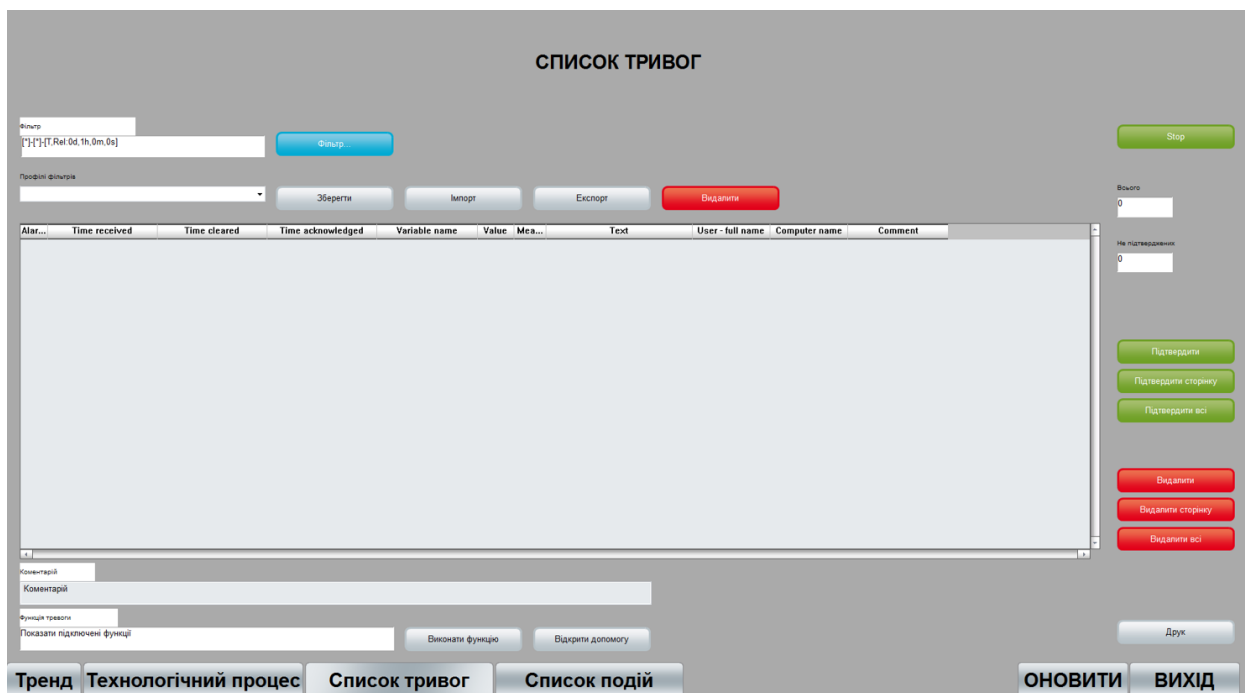


Рисунок 4.21 – Перевірка функціонування «Список тривог»

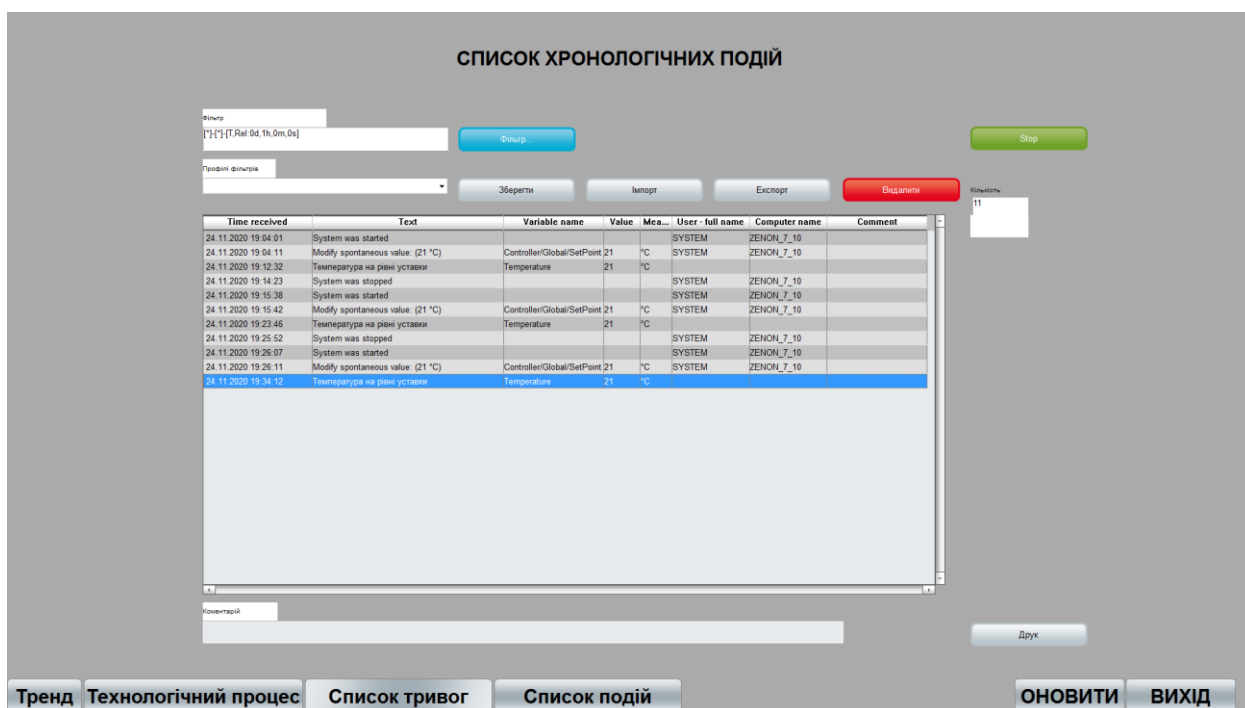


Рисунок 4.22 – Перевірка функціонування «Список хронологічних подій»



#### **4.5 Висновки по розділу**

На основі безперервної моделі системи керування було розроблено цифрову модель керування, розділено її на 2 підсистеми, а саме на підсистему регулятора та підсистему об'єкта керування. Було імпортовано ці підсистеми у середовище SCADA системи Zenon. Розроблено програмне забезпечення для моделі регулятора та моделі об'єкта керування. Розроблено людино-машинний інтерфейс. Проведено перевірку функціональності роботи системи керування та людино-машинного інтерфейсу, на підставі цієї перевірки можна зробити висновок, що програмне забезпечення функціонує відповідно до заданих алгоритмів та забезпечує виконання поставлених завдань.

## 5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

У даному дипломному проекті розглянуто ефективність та доцільність впровадження комп'ютеризованої системи керування припливною вентиляцією для контролю мікроклімату в приміщенні взимку. Комп'ютеризована система керування припливною вентиляцією дозволяє:

- а) Спостерігати за процесом контролю мікроклімату за допомогою ЛМІ;
- б) Задавати значення температури повітря в приміщенні;
- в) Зменшити витрати електроенергії за рахунок нагріву повітря в приміщенні до заданої температури.

Для того, щоб визначити економічну ефективність впровадження даної системи замість застарілої базової, проведемо розрахунки річних витрат та прибутків.

### 5.1 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування

Розрахуємо капітальні витрати, що пов'язані з виготовленням та впровадженням комп'ютеризованої системи керування припливною вентиляцією для контролю мікроклімату в приміщенні взимку.

Визначення проектних капітальних витрат проводиться за такою формулою:

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

Де  $K_{\text{об}}$  – витрати на комплектуючі вироби;

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

$K_{\text{мн}}$  - витрати на монтаж і налагодження системи;

Вартість комплектуючих деталей наведена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вартість комплектуючих системи

№ п/п	Найменування виробів згідно проектних розробок	Одиниці виміру	Кількість	Оптова ціна за од., грн.	Сума, грн.
1.	ПЛК VIPA VIPA 214-2BE03	од.	1	17743	17743
2.	Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40	од.	2	4981	9962
3.	Модуль аналогового виводу VIPA 232-1BD40	од.	1	5247	5247
4.	Модуль дискретного виводу VIPA 222-1FD10	од.	1	4540	4540
5.	Джерело живлення Carlo Gavazzi SPD24301	од.	2	1300	2600
6.	Датчик вологості повітря ДВ УТ-02-НІН-Pt100	од.	2	2297	4594
7.	Датчик температури повітря ТЕРА ТСМ-1-3-50М-А-2	од.	4	550	2200
8.	Датчик тиску у фільтрі MS-021-LCD	од.	1	3427	3427
9.	Регулятор потужності DPU33В-080-R	од.	1	38110	38110
10.	Пускач М2 P032 220 В4	од.	1	6895	6895
Разом					95317

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

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

Де,  $K_{\text{об}}$  – витрати на комплектуючі вироби, грн.

Таким чином витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи складають:

$$K_{\text{тр}} = 95317 \times 0,08 = 7625,36 \text{ грн.}$$

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

$$K_{\text{мн}} = K_{\text{об}} \times 0,07 \quad (4.3)$$

Витрати на монтажно-налагоджувальні роботи складуть:

$$K_{\text{мн}} = 95317 \times 0,07 = 6672,19 \text{ грн.}$$

Тоді проектні капітальні витрати складуть:

$$K_{\text{пр}} = 95317 + 7625,36 + 6672,19 = 109614,55 \text{ грн.}$$

Базові капітальні витрати складають:

$$K_{\text{пр}} = 52400 \text{ грн.}$$

## 5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати розраховуються за формулою:

$$Z = C_a + C_z + C_c + C_t + C_e + C_{\text{пр}} \quad (5.4)$$

Де,  $Z$  – річні поточні витрати, пов'язані із застосуванням системи керування;

$C_a$  – амортизація основних фондів;

$C_z$  – заробітна плата обслуговуючого персоналу;

$C_c$  – відрахування на соціальні заходи;

$C_t$  – витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання;

$C_e$  – вартість електроенергії;

$C_{пр}$  – інші витрати.

Визначимо експлуатаційні витрати при впровадженні системи керування.

### 5.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Обладнання, розробленої в дипломному проєкті системи керування, належить до 4 групи за нормами нарахування амортизації основних фондів. Передбачуваний термін експлуатації системи становить 5 років.

При використанні методу прискореного зменшення залишкової вартості норма амортизації визначається за формулою:

$$H_a = (2 \div T) \times 100\% \quad (4.5)$$

Де,  $T$  – термін корисного використання об'єкта;

$H_a$  – норма амортизації;

$$C_a = (ПВ \times H_a) / 100\% \quad (4.6)$$

Де,  $C_a$  – амортизація основних фондів (річна);

ПВ – первинна вартість, дорівнює капітальним витратам  $ПВ = K$ ;

Отже, норма амортизації для проєктованої системи керування складе:

$$H_a = (2 \div 5) \times 100\% = 40\% \quad (4.7)$$

Сума амортизації для проєктованої і базової системи становитиме:

$$C_{a.пр} = (109614,55 \times 40\%) / 100\% = 43845 \text{ грн.}$$

$$C_{a.баз} = (52400 \times 40\%) / 100\% = 20960 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.2 – Розрахунок річних амортизаційних відрахувань

№	Найменування	Кількість	Капітальні витрати, тис. грн	Норма амортизації	Сума амортизації, тис. грн
1	Проектний варіант		109,6	40%	0.4385
2	Альтернативний варіант		52,4	40%	0.2096

### 5.2.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

$$T_{\text{ном. рік}} = (T_{\text{к}} - T_{\text{вих.св}} - T_{\text{відп}}) \times T_{\text{зм}}, \text{ ГОДИН} \quad (4.8)$$

Де,  $T_{\text{к}}$  – календарний фонд робочого часу, 180 днів;

$T_{\text{вих.св}}$  – вихідні дні та свята, 48 днів;

$T_{\text{відп}}$  – відпустка, 21 день;

$T_{\text{зм}}$  – тривалість зміни, 8 год.

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

$$T_{\text{ном. рік}} = (180 - 48 - 21) \times 8 = 888 \text{ годин}$$

Для керування процесом задіяні 1 оператор ЛМІ, 1 технолог і 1 спеціаліст з електроустаткування.

Розрахунок річного фонду заробітної плати виробничих робітників здійснюється у відповідності з формою, наведеною в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Розрахунок заробітної плати персоналу (проектний)

№	Найменування професії робітників	Явочний штат в зміну, чол.	Годинна тарифна ставка, грн.	Номінальний річний фонд робочого часу, ч	Всього, пряма заробітна плата за тарифом, грн.	Додаткова заробітна плата (10%), грн.	Доплати (5%), грн.	Усього основна зарплата, грн.
1	Оператор ЛМІ	1	57	888	50616	5061	2531	58208
2	Технолог	1	52	888	46176	4617	2309	53102
3	Наладчик електроу-статкув.	1	68	888	60384	6038	3019	69441
Разом								180751

Таблиця 4.4 - Розрахунок заробітної плати персоналу (базисний)

№	Найменування професії робітників	Явочний штат в зміну, чол.	Годинна тарифна ставка, грн.	Номінальний річний фонд робочого часу, ч	Всього, пряма заробітна плата за тарифом, грн.	Додаткова заробітна плата (10%), грн.	Доплати (5%), грн.	Усього основна зарплата, грн.
1	Оператор ЛМІ	1	57	888	50616	5061	2531	58208
2	Технолог	1	52	888	46176	4617	2309	53102
3	Наладчик електроу-статкув.	2	68	888	60384	6038	3019	138882
Разом								250192

$$C_{з.пр} = 180751 \text{ грн.}$$

$$C_{з.баз} = 250192 \text{ грн.}$$

### 5.2.3 Розрахунок відрахувань на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи визначаються за формулою:

$$C_c = 0,22 \times C_3 \quad (4.9)$$

$$C_{c.пр} = 0,22 \times 180751 = 39765,22 \text{ грн.}$$

$$C_{c.баз} = 0,22 \times 250192 = 55042,24 \text{ грн.}$$

### 5.2.4 Визначення річних витрат на технічне обслуговування та поточний ремонт

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання та мережі приймаємо на рівні 0,5% від величини капітальних витрат:

$$C_{то.гр} = 0,005 \times K \quad (4.10)$$

$$C_{т.пр} = 0,005 \times 109614,55 = 548,08 \text{ грн}$$

$$C_{т.баз.} = 0,005 \times 52400 = 262 \text{ грн.}$$

### 5.2.5 Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Розрахуємо вартість електроенергії, споживаної системою керування, розробленої у проекті:

$$C_e = K_e \times K_{др} \times ds \times T \quad (4.11)$$

Де  $K_e$  – кількість електроенергії, спожите проектованої системою керування за годину, 0,0374 кВт \* год (проектний), 0,41 кВт \* год (базовий);

$K_{др}$  – кількість робочих днів у році;  $K_{др} = 180 - 48 = 132$  день;

$ds$  – тривалість зміни, 8 годин;

$T$  – тариф на електроенергію для підприємств (Для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 1,68 грн. за кВт без ПДВ. З урахуванням ПДВ тариф  $T = 1,68 * 1,2 = 2,016$  грн).



$$C_{e.pr} = 0,0174 \times 111 \times 8 \times 2.016 = 31,5 \text{ грн.}$$

$$C_{e.баз} = 0,41 \times 111 \times 8 \times 2.016 = 733,98 \text{ грн.}$$

### 5.2.6 Інші витрати

Інші витрати з експлуатації об'єкта проектування включають витрати з охорони праці, на спецодяг та інше згідно практики, ці витрати визначаються в розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу:

$$C_{інш} = C_з \times 0,04 \quad (4.12)$$

$$C_{інш. пр} = 180751 \times 0,04 = 7230,04 \text{ грн.}$$

$$C_{інш. пр} = 250192 \times 0,04 = 10007,68 \text{ грн.}$$

За формулою 4.10 розраховуємо річні експлуатаційні витрати для проектного та базового варіантів:

$$C_{пр} = 43845 + 180751 + 39765,22 + 548,08 + 31,15 + 7230,04 = 272170,89 \text{ грн.}$$

$$C_{баз} = 20960 + 250192 + 55042,24 + 262 + 733,98 + 10007,68 = 337197,9 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.5 – Експлуатаційні витрати

Назва показника	Базовий варіант	Проектний варіант
Амортизація	20960	43845
Фонд заробітної плати	250192	180751
Відрахування на соц. виплати	55042,24	39765,22
Ремонт та тех. обслуговування	262	548,08
Електроенергія	733,98	31,55
Інше	10007,68	7230,04
Загалом	337197,9	272170,89

Таким чином, економія експлуатаційних витрат становитиме:

$$\Delta C = C_{\text{пр}} - C_{\text{баз}} = 272170,89 - 337197,9 = 65027,01 \text{ грн}$$

Вартість системи керування що знаходиться в експлуатації становить 52400 грн. Використовувана система в розрахунках прийнята за базовий варіант.

$$\Delta K = K_{\text{пр}} - K_{\text{баз}} = 109614,22 - 52400 = 57214,22 \text{ грн.}$$

### 5.3 Визначення додаткового прибутку від впровадження системи керування

Коефіцієнт ефективності (прибутковості) капітальних витрат витрат  $E_p$  показує, скільки гривень додаткового прибутку (економії) приносить одна гривня капітальних витрат:

$$E_p = E/K, \text{ частки од.} \quad (4.13)$$

Де,  $E$  – загальна річна економія від впровадження об'єкта проектування, тис. грн.;

$K$  – капітальні витрати, тис. грн.

$$E_p = 65027,01 / 57214,22 = 1,136$$

Термін окупності капітальних витрат  $T_p$  показує, за скільки років капітальні витрати окупляться за рахунок загальної економії від впровадження об'єкта проектування:

$$T_p = K/E, \text{ років} \quad (4.14)$$

$$T_p = 57214,22 / 65027,01 = 0,88 \text{ років}$$

Проект (варіант) капітальних вкладень визнається доцільним за умови:

$$E_p > E_H \quad (4.15)$$

Варіант визнається економічно доцільним, якщо розрахунковий коефіцієнт ефективності перевищує величину банківської кредитної ставки:

$$E_p > (N_{кр} + N_{інф})/100 \quad (4.16)$$

Де  $N_{кр}$  – банківська кредитна ставка, %.

Де  $N_{інф}$  – річний рівень інфляції, %.

В якості нормативного значення приймемо величину банківської кредитної ставки  $N_{кр}$  (28,2%) з урахуванням інфляції  $N_{інф}$  (12,7%), тобто:

$$1,136 > (28,2 + 12,7)/100$$

$$1,686 > 0,409$$

#### 5.4 Висновки до розділу

При впровадженні проекрованої системи капітальні витрати складають 109614,55 грн. Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи 272170,89 грн. Проте, очікується уже швидкий термін окупності 0,592 років.

Розрахунок коефіцієнта економічної ефективності склав 1,686 і перевищує значення нормативного коефіцієнта ефективності, який дорівнює 0,409. Тому можна зробити висновок, що впровадження проекрованої комп'ютеризованої системи економічно вигідно.

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

### **6.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів проектового об'єкта, технологічного процесу, системи або пристрою**

Об'єктом керування виступає припливна вентиляція VENTS (ВЕНТС) МПА 3500 ЕЗ, яка знаходиться в офісному приміщенні і застосовується для нагріву повітря. Основною задачею є підтримка оптимальних параметрів мікроклімату в зимовий період. Забір повітря відбувається з вулиці через вентиляційний канал, далі проходить через фільтр, де воно очищається, потім воно нагрівається за допомогою калориферу і подається у приміщення. Автоматизація роботи керування рівнями температури відбувається за рахунок зміни потужності калорифера. В якості логічної схеми керування використовується програмований контролер VIPA. Пультом оператора виступає персональний комп'ютер зі SCADA системи Zenon.

Основні параметри мікроклімату приміщення, які контролюються системою вентиляції:

- а) Температура;
- б) Рівень вологості;
- в) Швидкість руху повітря;
- г) Повітрообмін;
- д) Біологічні та хімічні забруднення.

Окрім цього, слід забезпечити безпеку для робітників в офісному приміщенні, обслуговуючого персоналу припливної установки та оператора.

Таким чином, у даному об'єкті можна виділити наступний ряд небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

Таблиця 6.1 – Шкідливі та небезпечні фактори

Види шкідливих і небезпечних чинників	Нормативні документи, які визначають шкідливість роботи
Підвищений рівень електромагнітних випромінювань	ДСН 239-96
Шум та вібрації на робочих місцях	ДсанПіН 3.3.2-007-98
Підвищений або зменшений рівень вологості повітря	ДСН 3.3.6.042-99
Підвищена або зменшена швидкість руху повітря	ДСН 3.3.6.042-99
Можливість ураження електричним струмом	НПАОП 40.1-1.21-98

Внаслідок аналізу небезпечних та шкідливих виробничих факторів було розроблено ряд профілактичних та попереджувальних заходів:

- а) Захист від випадкового дотику до струмопровідних частин електроустановок;
- б) Застосування електрозахисних засобів;
- в) Екранування джерела електромагнітного випромінювання та робочого місця;
- г) Занулення неструмопровідних частин;
- д) Контроль параметрів вологості повітря, температури, швидкості руху повітря;
- е) Підтримка оптимальних значень мікроклімату в приміщенні;
- ж) Ввімкнення аварійної сигналізації на пульті оператора у разі виходу значення параметру за допустимі межі;
- з) Правильна організація робочого місця;

Для забезпечення безпеки робітників офісу, обслуговуючого персоналу установки та оператора пульта слід виконати наступні інженерно-технічні заходи з охорони праці:

- а) Обслуговуючий електротехнічний персонал повинен вивчати діючі правила улаштування електроустановок (ПУЕ), правила технічної експлуатації електроустановок споживачів і правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕ і ПТБ), а також знати прийоми звільнення потерпілого від дії електричного струму і надання долікарської допомоги;
- б) струмоведучі частини не повинні бути доступні для випадкового дотику, а доступні дотику відкриті і сторонні провідні частини, не повинні перебувати під напругою, що становить небезпеку ураження електричним струмом як у нормальному режимі роботи, так і при пошкодженні ізоляції.
- в) експлуатацію обладнання вести з дотриманням технічних режимів, встановлених паспортами, технологічними картами або спеціальними інструкціями;

Отже, необхідно проводити заплановані перевірки проводів та ізоляцій, здійснювати своєчасні ремонтні роботи.

## **6.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці**

Офісне приміщення з припливною вентиляцією відноситься до класу приміщення без підвищеної небезпеки - це сухі, не запилені приміщення з нормальною температурою та відносною вологістю, не струмопровідними підлогами. Приміщення без підвищеної небезпеки характеризуються відсутністю умов, що створюють особливу або підвищену небезпеку.

Приливна вентиляція працює від джерела струму за напругою 380 В, було обрано схему мережі з ізольованою нейтраллю. В таких мережах при замиканні на землю не виникає короткого замикання і пошкоджена фаза продовжує свою роботу, але при цьому напруга двох інших фаз по відношенню до землі зростає до лінійною і через це з'являється небезпека для обслуговуючого персоналу. Отже, на всіх пристроях, які підключені до цієї мережі, має бути розроблений контроль ізоляції, щоб виявляти виникнення замикання на землю.

Нормальні кліматичні умови та підтримки оптимальної вологості повітря забезпечується за допомогою опалення приміщень у холодну пору року та їх вентиляції влітку. В рамках цієї роботи розглядається зимовий період року, отже необхідне лише опалення приміщень. В приміщеннях зі значним тепловиділенням використовують природну вентиляцію (аерацію).

Для зменшення впливу електромагнітних випромінювань на обслуговуючий персонал та працівників офісного приміщення необхідно:

- а) контролювати рівень вологості повітря в приміщенні;
- б) на монітор персонального комп'ютеру слід встановити захисний пристрій – екран. Він зменшує рівень електромагнітного випромінювання;
- в) забезпечити оптимальну освітленість для робочого місця, завдяки цьому обслуговуючий персонал може перебувати на безпечній відстані від монітора, це зменшує вплив електромагнітного випромінювання;
- г) Wi-Fi роутер повинен бути розташований на відстані мінімум 1.5 – 2 метрів від людей;
- д) при ремонтних роботах електричного обладнання можна знизити напруженість електромагнітного поля, шляхом відключення деяких вузлів або апаратів;

Шум та вібрації на робочих місцях погано впливають на стан здоров'я працівників, поступово знижується слух і розвивається нейросенсорна приглухуватість, також виникає стомлення, відчуття шуму у вухах, запаморочення, головний біль. Для запобігання цього необхідно:

- а) Знизити рівень шуму, для цього необхідно модернізувати конструкцію обладнання з використанням звукопоглинальних та звукоізоляційних матеріалів;
- б) Щоб послабити звуковий тиск можна використовувати явище накладання звукових хвиль;

- в) Розмістити працівників та обслуговуючий персонал в безпечній зоні, де вплив шуму та вібрацій буде мінімальним;

Швидкість руху повітря впливає на тепловий обмін людини із зовнішнім середовищем. За прискороного руху повітря людина легше переносить високу температуру, ніж низьку. На швидкість повітря впливає забудова та архітектура приміщення, характер технологічного процесу, природної і штучної вентиляції. Ми розглядаємо офісне приміщення в зимовий період року, в якому відбувається нагрів повітря, яка передається через вентиляцію. Щоб забезпечити оптимальний вплив швидкості руху повітря на здоров'я та самопочуття працівників, необхідно:

- а) Вентиляції у приміщенні повинна бути розташована на певній відстані від працівників, щоб вони уникали прямого потоку теплого повітря;
- б) Робочі місця не повинні розташовуватися безпосередньо біля вентиляційних потоків;

Для усунення можливості ураження електричним струмом слід застосувати такі заходи захисту:

- а) Ізолювати струмопровідні частини обладнання в приміщенні;
- б) Розмістити огорожі та оболонки;
- в) Розмістити надписи та позначення, які інформують про рівень напруги та небезпеку;
- г) Обмеження сили струму;

При пошкодженій ізоляції щоб уникнути ураження електричним струмом слід розробити такі заходи:

- а) Захисне заземлення;
- б) При виявленні пошкодження ізоляції відбувається автоматичне вимикання живлення;
- в) Зрівнювання та вирівнювання потенціалів;



### 6.3 Розрахункова частина

Необхідно розрахувати штучне освітлення для приміщення, в якому розташований об'єкт керування. Для цього було розроблено модель кімнати у середовищі DIALux і виконано розрахунок освітлення.

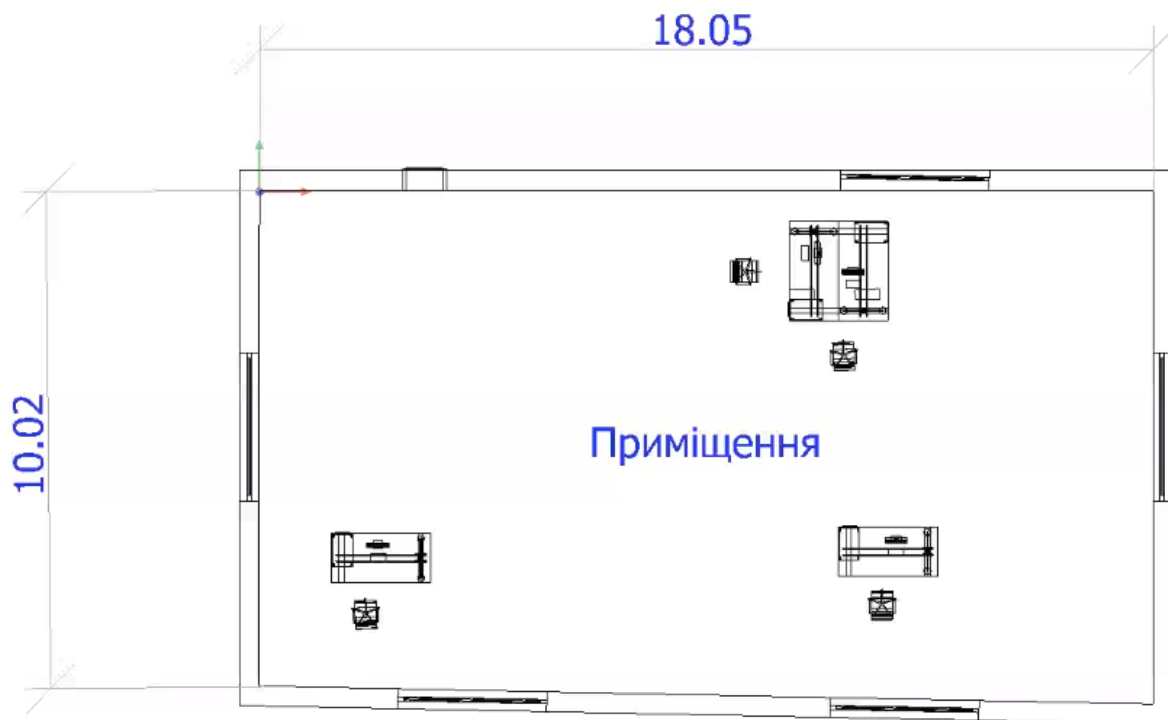


Рисунок 6.1 – Модель приміщення та його розміри



Рисунок 6.2 – Модель приміщення у тримірному просторі

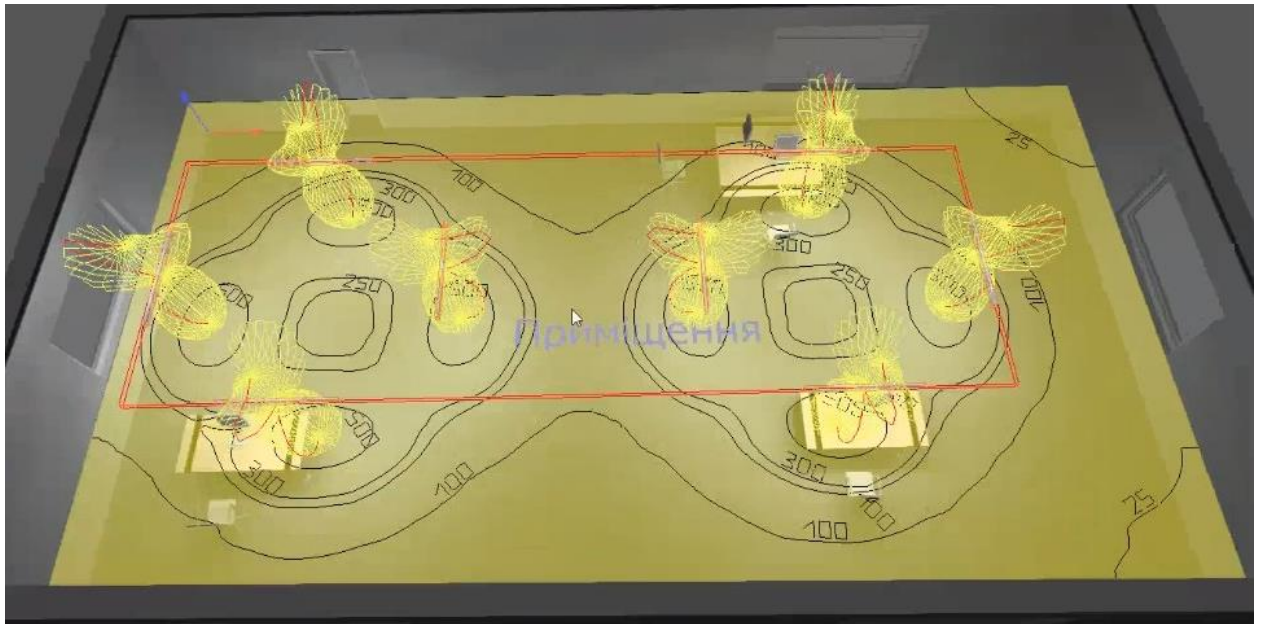


Рисунок 6.3 – Результат розрахунку штучного освітлення

В результаті розрахунку штучного освітлення в середовищі DIALux було обра-  
но лампи Matric 55mm Suspended R3 LR3MEE-830M-L1765-Y, завдяки їм, в мі-  
сці, де вони встановлені, освітленість становить 300 люксів. Характеристики  
цих ламп наведені в таблиці 6.2:

Таблиця 6.2 – Характеристики лампи Matric 55mm Suspended R3 LR3MEE-  
830M-L1765-Y

Довжина лампи, мм	Люмен/Ват Середня потужність	Люмен/Ват Висока потужність
1765	7270lm/67W	10210lm/99W

#### 6.4 Пожежна профілактика

Офісне приміщення за пожежною небезпекою відноситься до категорії Д. Приміщення даної категорії характеризуються негорючими речовинами і мате-  
ріалами в холодному стані. Будівля за межою вогнестійкості належить до класу  
ІІІ – будинок з несучими та огорожувальними конструкціями з природних ма-  
теріалів або штучного каменю, бетону або залізобетону.

Для забезпечення пожежної безпеки передбачаються наступні заходи:

- а) постійний контроль і перевірка стану обладнання шляхом проведення планових ремонтів;

- б) щорічний інструктаж персоналу, щодо засобів забезпечення пожежної безпеки;
- в) наявність аварійної вентиляції;
- г) наявність сигналізації в разі виникнення аварійної ситуації;
- д) забезпечення системи пожежогасіння і наявність первинних засобів пожежогасіння.

Засоби пожежогасіння:

- а) порошкові вогнегасники типу ОПС-5, ОПС-10 – 3 штуки;
- б) порошкові пересувні вогнегасники типу ОПС-50, ОПС-100 – 1 штука;
- в) пінні вогнегасники – 2 штуки;

Також було встановлено автоматичну систему димовидалення з приміщення. При перевищенні допустимої концентрації CO<sub>2</sub>, система переходить в аварійний режим, вмикаються потужні вентилятори, які видаляють продукти горіння та забезпечують приплив свіжого і чистого повітря в приміщення.

Було розроблено план евакуації з офісу:

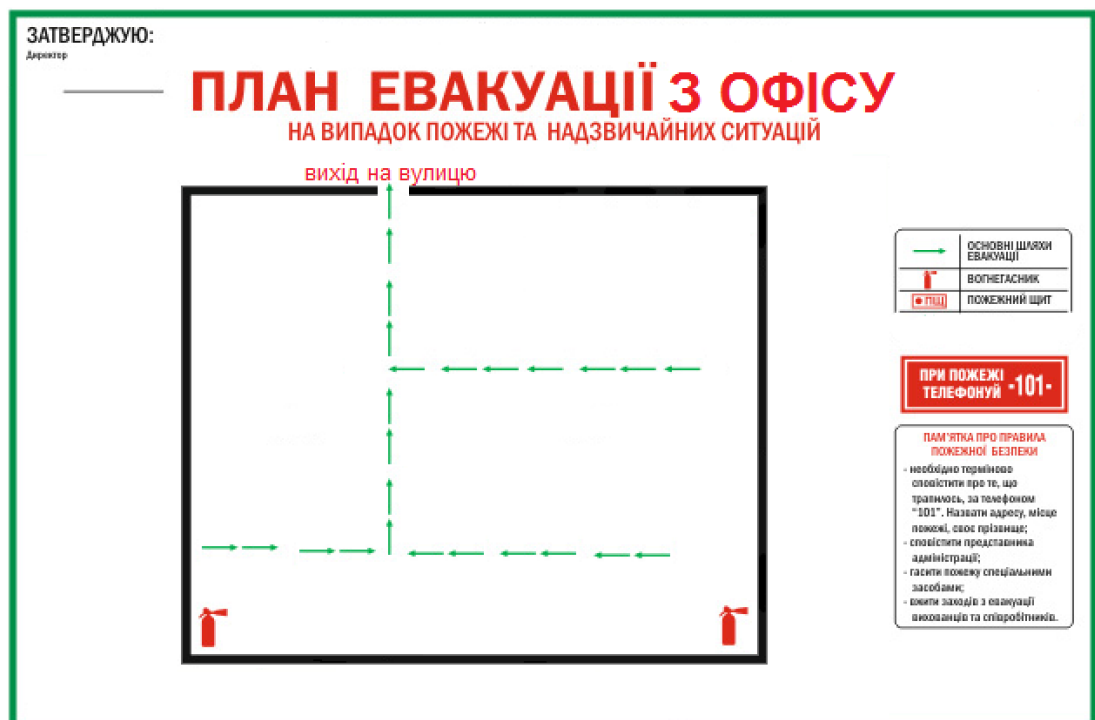


Рис. 6.4 – План евакуації з офісного приміщення

## 6.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях

На території Дніпропетровської області, у порівнянні з іншими регіонами України, надзвичайні ситуації природного характеру, що спостерігаються нечасто. У регіоні практично не буває катастрофічних землетрусів, сходу сніжних лавин і зсувів, сильних снігопадів: морози рідко досягають  $-30^{\circ}\text{C}$ , а спека  $+40^{\circ}\text{C}$ .

Для цього регіону не виключені ураганні вітри й рясні паводкові повені, що можуть заподіяти чималі природні й соціальні збитки.

Однак для Дніпропетровської області найбільш характерні надзвичайні ситуації техногенного характеру (ЧСТ). Вони неминучі, властиві для території, перенасиченої промисловими підприємствами, інженерними мережами, іншими технічними об'єктами.

У разі виникнення надзвичайної ситуації було розроблено такі заходи:

- а) встановлена аварійна сигналізація по всьому офісному приміщенні та спрацювання її у разі виникнення надзвичайної ситуації;
- б) було розроблено плани приміщень та евакуації при надзвичайних ситуаціях;

З робітниками та обслуговуючим персоналом проведено бесіду по безпеці при надзвичайних ситуаціях, а саме:

- а) дії при пожежі;
- б) перша допомога при нещасних випадках;
- в) перша допомога при ураженні електричним струмом;
- г) перша допомога при переломах, вивихах, ударах.
- д) перша допомога при опіках кислотами, вогнем, парою або гарячими предметами;
- е) перша допомога при кровотечі;

## **6.6 Висновки по розділу**

Було проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів, які можуть бути присутні в приміщенні, в якому розташований об'єкт керування. Для забезпечення достатньої освітленості робочого місця було проведено розрахунки та обрано лампи Matric 55mm Suspended R3 LR3MEE-830M-L1765-Y. Розроблено заходи для пожежної профілактики і при надзвичайних ситуаціях.

## ВИСНОВКИ

Об'єктом дослідження є автоматизована система керування для підтримки мікроклімату в офісному приміщенні в зимовий період року.

Актуальність роботи полягає в тому, що розробка автоматизованої системи керування, згідно з висунутими вимогами щодо якості та часу перехідного процесу, зменшить вплив основних недоліків припливної вентиляції та забезпечить досконале керування об'єктом.

В результаті проведених досліджень було отримано модель об'єкта керування ступінь відповідності якої по нормованому середньоквадратичному відхиленню становить 99,96%, визначено граничні показники, межах якої повинна відповідати розроблена система керування, було отримано модель системи керування, оцінено роботу системи згідно з висунутими критеріями.

Для припливної вентиляції було отримано залежності показників якості функціонування системи керування від параметрів  $T_i$  (час інтегрування) та  $T_d$  (час диференціювання). На основі отриманих залежностей було встановлено діапазони параметрів при яких забезпечуються задані показники якості. За результатами досліджень було сформовано правила налаштування системи керування.

Було синтезовано систему керування, розроблено цифрову модель об'єкта керування, модель регулятора і перевірено якість функціонування системи. Також розроблено людино-машинний інтерфейс для цієї системи, за допомогою якого можна задавати уставку температури та спостерігати за перехідним процесом у реальному часі.

Також було визначено економічні показники ефективності впроваджуваної системи та розроблено ряд заходів з охорони праці.

Отже, розроблена автоматизована система керування для підтримки оптимальної температури в офісному приміщенні в зимовий період року працює відповідно заданим критеріям якості і може бути використана на реальному об'єкті.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДНАОП 0.00-1.32-01 „Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок”
2. ПУЕ „Правила улаштування електроустановок”. Розділ 1 Загальні правила. Гл.1.7 Заземлення і захисні заходи електробезпеки. – К.: ОЕП ”ТРИФЕ”, 2006.– 77 с.
3. ДБН, В. 2. 5. – 28– 2006 Збірник 28. Природне і штучне освітлення.
4. Методичні вказівки до практичного заняття “Розрахунок занулення” з дисципліни “Охорона праці в галузі” для студентів усіх спеціальностей / Голінько В.І., Фрундін В.Є., Лебедєв Я.Я. та ін. – Дніпропетровськ: НГУ, 2003. - 7 с.
5. ГОСТ 2.737-68. ЕСКД. Условные графические обозначения в схемах. Устройства связи. - М.: Госстандарт, 1995. - 109 с.
6. ГОСТ 21.404-85. Автоматизация технологических процессов. Обозначение приборов и средств автоматизации в схемах. – [Чинний від 1985-04-18]. – М.: Стандартиформ, 2007 – 12 с.
7. Бойко О.О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з проектування систем автоматизації для студентів напрямку підготовки «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» / О.О. Бойко – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2017. – 109 с. – Режим доступу: <https://goo.gl/Ev6J4Z>. – Назва з домашньої сторінки Інтернету.
8. ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. Бібліографічний запис, бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання: метод. рекомендації з впровадження / уклали: Галевич О.К., Штогрин І.М. – Львів, 2008 – 20 с.
9. Кондиционирование, вентиляция и отопление помещений Кондиционирование, вентиляция и отопление помещений / Виктор Барановский, Евгений Банников – Москва, 2009 – 256 с.

## ДОДАТОК А

### Програмні модулі системи керування

#### A.1 Модуль об'єкта керування

```

FUNCTION_BLOCK Subsystem1
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_Power: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_Temperature: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn_states: LREAL;
    DiscreteTransferFcn1_states: LREAL;
    Delay_DSTATE: ARRAY [0..99] OF LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    k: DINT;
    i: DINT;
    DiscreteTransferFcn: LREAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:

        (* InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay' *)
        FOR i := 0 TO 99 DO
            Delay_DSTATE[i] := 0.0;
        END_FOR;
        (* End of InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay' *)

        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn:
        '<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)
        DiscreteTransferFcn_states := 0.0;

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

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

```



```

DiscreteTransferFcn      :=      0.00232557281074      *
DiscreteTransferFcn_states;

(* Output: '<Root>/bo_Temperature' incorporates:
 * Constant: '<S1>/Constant'
 * Delay: '<S1>/Delay'
 * Sum: '<S1>/Sum1' *)
bo_Temperature := Delay_DSTATE[0] + 10.0;

(* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:
 * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
FOR k := 0 TO 98 DO
    Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];
END_FOR;
Delay_DSTATE[99]      :=      0.00024387269724      *
DiscreteTransferFcn1_states;
(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fcn' incorporates:
 * Update for Inport: '<Root>/bi_Power' *)
DiscreteTransferFcn_states := bi_Power - (-0.99335550625503
* DiscreteTransferFcn_states);

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fcn1' *)
DiscreteTransferFcn1_states := DiscreteTransferFcn - (-
0.99975612730276 * DiscreteTransferFcn1_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

```

(* Gain: '<S2>/Filter Coefficient' incorporates:
 * DiscreteIntegrator: '<S2>/Filter'
 * Gain: '<S2>/Derivative Gain'
 * Inport: '<Root>/bi_Error'
 * Sum: '<S2>/SumD' *)
rtb_FilterCoefficient := ((LREAL#5.0 * bi_Error) - Filter_DSTATE) *
LREAL#0.01;

(* Sum: '<S2>/Sum' incorporates:
 * DiscreteIntegrator: '<S2>/Integrator'
 * Gain: '<S2>/Proportional Gain'
 * Inport: '<Root>/bi_Error' *)
rtb_Sum := ((LREAL#6.6 * bi_Error) + Integrator_DSTATE) +
rtb_FilterCoefficient;

(* Saturate: '<S2>/Saturation' *)
IF rtb_Sum >= LREAL#100.0 THEN
    (* Output: '<Root>/bo_Power' *)
    bo_Power := LREAL#100.0;
ELSIF rtb_Sum > LREAL#0.0 THEN
    (* Output: '<Root>/bo_Power' *)
    bo_Power := rtb_Sum;
ELSE
    (* Output: '<Root>/bo_Power' *)
    bo_Power := LREAL#0.0;
END_IF;
(* End of Saturate: '<S2>/Saturation' *)

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Filter' *)
Filter_DSTATE := (LREAL#0.1 * rtb_FilterCoefficient) +
Filter_DSTATE;

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Integrator' incorporates:
 * Gain: '<S2>/Integral Gain'
 * Inport: '<Root>/bi_Error' *)
Integrator_DSTATE := ((LREAL#0.02 * bi_Error) * LREAL#0.1) +
Integrator_DSTATE;

```

## ДОДАТОК Б

### Програмне забезпечення об'єкта керування

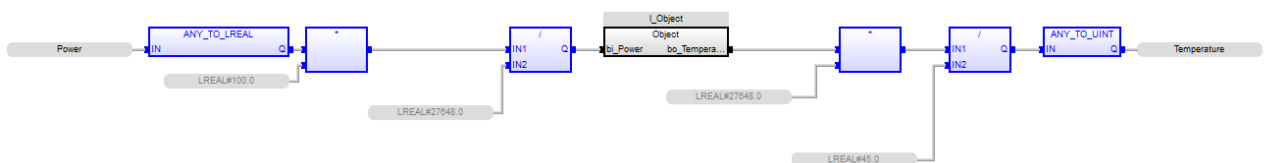
#### Б.1 Програмне забезпечення об'єкта керування

##### Б.1.1 Список програм

[FBD] Main

[ST] Object

##### Б.1.2 Основна програма



##### Б.1.3 Перелік змінних

Object (*Γαύαέò óíðάέéáíéü*)		
bi_Power	LREAL	
bo_Tempera...	LREAL	
DiscreteTran...	LREAL	
DiscreteTran...	LREAL	
Delay_DST...	LREAL	
k	DINT	
i	DINT	
DiscreteTran...	LREAL	
Global variables		
Power	UINT	<syb>
Temperature	UINT	<syb>
PowerKwt	UINT	<syb>

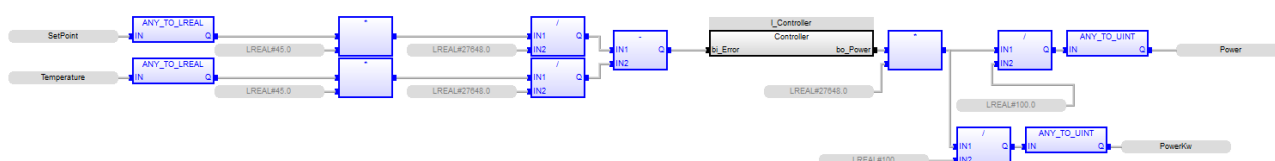
## Б.2 Програмне забезпечення регулятора

### Б.2.1 Список програм

[FBD] Main

[ST] Controller

### Б.2.2 Основна програма



### Б.2.3 Перелік змінних

Controller		
bi_Error	LREAL	
bo_Power	LREAL	
Filter_DSTATE	LREAL	
Integrator_DSTATE	LREAL	
rtb_Sum	LREAL	
rtb_FilterCoefficient	LREAL	
Global variables		
SetPoint	UINT	STRATON <syb>
Temperature	UINT	STRATON <syb>
Power	UINT	STRATON <syb>
PowerKw	UINT	STRATON <syb>

## ДОДАТОК В

### Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу

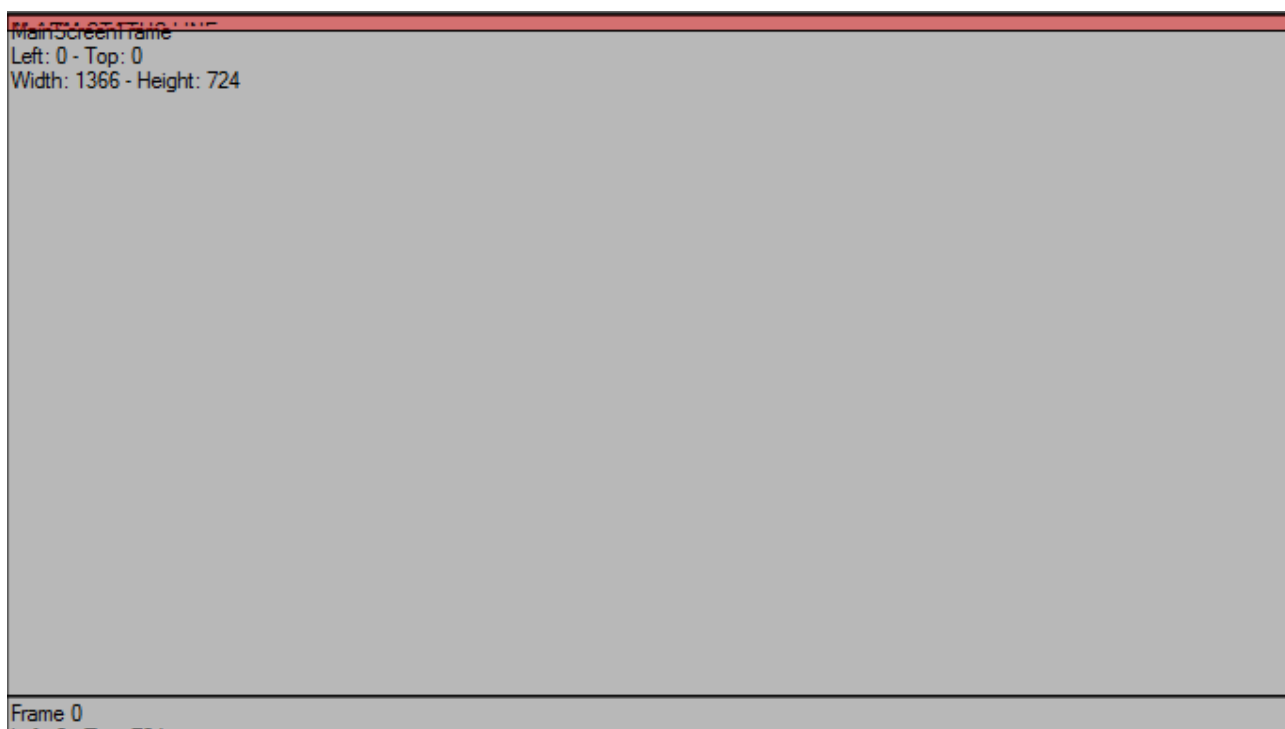
#### В.1 Драйвера

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

#### В.2 Перелік змінних

State	Name	Measuring unit	Driver	Data type	Signal area max.	Measuring range max.
F...	Filter text	Filter text	s	Filter text	Filter text	Filter text
	Controller/Global/Temperature	°C	STRATONNG - zenon Logic: Controller	UINT	27648	45.0
	Controller/Global/Power	%	STRATONNG - zenon Logic: Controller	UINT	27648	100.00
	Controller/Global/PowerKw	Bt	STRATONNG - zenon Logic: Controller	UINT	27648	25200.00
	Controller/Global/SetPoint	°C	STRATONNG - zenon Logic: Controller	UINT	27648	45
	PowerKwt	Bt	S7TCP32 - VIPA	UINT	27648	25200.00
	Power	%	S7TCP32 - VIPA	UINT	27648	100.00
	Temperature	°C	S7TCP32 - VIPA	UINT	27648	45

#### В.3 Шаблони зображень



## В.4 Функції

Name	Type	Parameter
Filter text	Filter text	Filter text
ExitRuntime	Exit Runtime	
SwitchTrendScreen	Screen switch	TrendScreen (Extended Trend) - ТРЕНД[HD]
SetWriteDataToHis...	Write set value	WriteDataToHistorian - On (1)->
ClrWriteDataToHis...	Write set value	WriteDataToHistorian - Off (0)->
ArchiveStart	Archive: Start	CS
ArchiveStop	Archive: Stop	CS
Function 0	Screen switch	<no screen> (Standard)
Function 1	Screen switch	MainScreen (Standard)
Function 2	Screen switch	<no screen> (Standard)
Function 3	Exit Runtime	
Function 4	Screen switch	ChronologyList (Chronological Event List) - [*][*]-[T,R...
Function 5	Screen switch	<no screen> (Standard)
Function 6	Screen switch	AlarmList (Alarm Message List) - [*][*]-[T,Rel:0d,1h,0...
Function 7	Reload project onli...	changed objects
Function 8	Screen switch	TrendScreen (Extended Trend)
Function 9	Screen switch	TrendScreen (Extended Trend) - NEW DIAGRAM[ARV]
Function 10	Screen switch	TechnologyProcess (Standard)

## В.5 Зображення

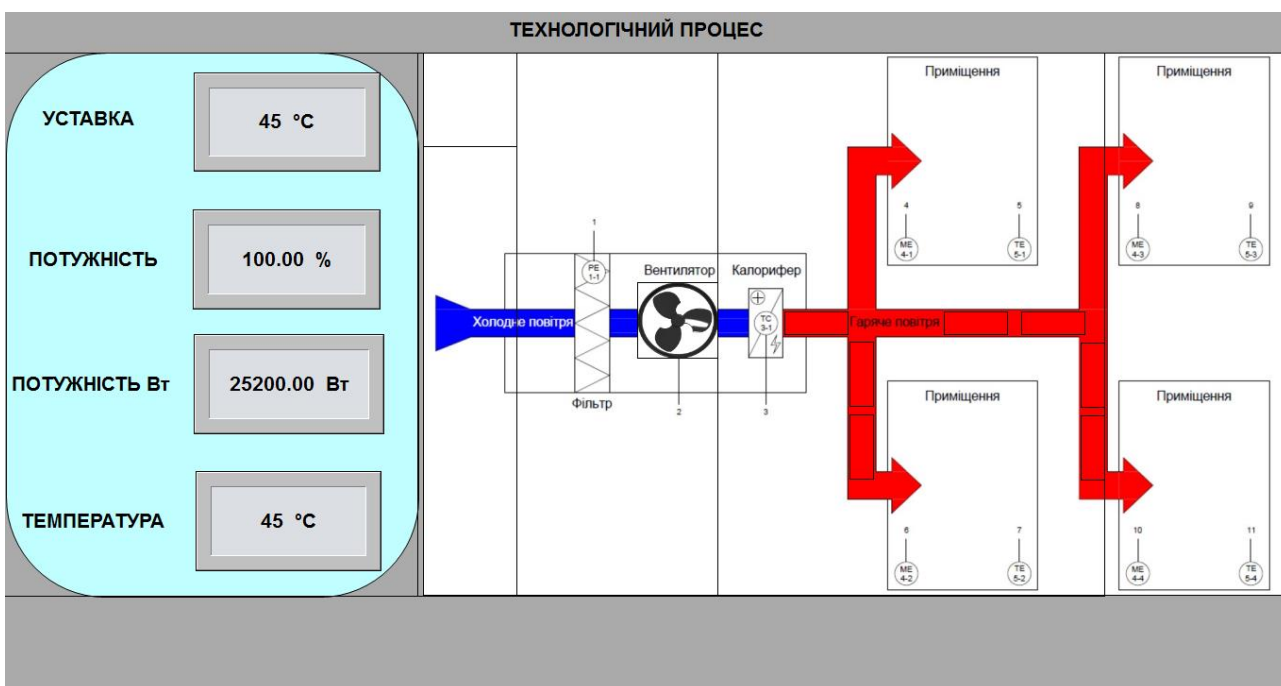
Name	Screen type	Frame	Background color	Start function
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
TechnologyProcess	Standard	MainScreenFrame	#AAAAAA	< no function l...
TrendScreen	Extended Trend	MainScreenFrame	#AAAAAA	Function 0
ChronologyList	Chronological Event List	MainScreenFrame	#AAAAAA	< no function l...
MainScreen	Standard	MainScreenFrame	#AAAAAA	SwitchTrendSc...
Navigation	Standard	Frame 0	#AAAAAA	SwitchTrendSc...
AlarmList	Alarm Message List	MainScreenFrame	#AAAAAA	< no function l...

Тренд	Технологічний процес	Список тривог	Список подій	ОНОВИТИ	ВИХІД
-------	----------------------	---------------	--------------	---------	-------

**ТРЕНД**

Diagram window  
 Typ: STATIC  
 ID: 10012

УСТАВКА 
 ПОТУЖНІСТЬ 
 ТЕМПЕРАТУРА



### СПИСОК ХРОНОЛОГІЧНИХ ПОДІЙ

Ім'я:

Set filter:  Фільтр...

Profile selection:  Зберегти Імпорт Експорт Видалити

**Header**  
Chronologic event list  
Typ: SysListView32  
ID: 10013

Коментарі:

Показати підключені функції:

Стоп/продовжити

Кількість:

Друк

### СПИСОК ТРЕВОГ

Ім'я:

Set filter:  Фільтр...

Profile selection:  Зберегти Імпорт Експорт Видалити

**Header**  
Alarm Message list  
Typ: SysListView32  
ID: 10022

Коментарі:

Функції тривоги:

Показати підключені функції:  Виконати функцію Відкрити допомогу

Стоп/продовжити

Всього:

Не підтверджено:

Підтвердити  
Підтвердити сторінку  
Підтвердити всі

Видалити  
Видалити сторінку  
Видалити всі

Друк