

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”  
Теплоенергетичний факультет  
Кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ / **Володимир ВОЛОЩУК** /  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

**Магістерська дисертація**  
на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою  
**“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології  
кібер-енергетичних систем”**  
зі спеціальності  
**151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані  
технології”**

на тему: Моделювання та автоматизація теплових пунктів для науково-дослідної установи

**Виконав:** студент ІІ курсу, групи ТА-301мп

Скидан Павло Євгенійович

(прізвище ім’я, по батькові)

(підпис)

**Науковий керівник** ст. викладач Некрашевич О. В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

**Рецензент**

к.т.н., доцент кафедри ТЕУТ та АЕС Сірий О. А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2021 року



ІТП. Підібрати технічні засоби автоматизації для реалізації ІТП та оформити їх у вигляді специфікації. Описати структуру ПТКЗА. Розрахувати налаштування регуляторів САР. Оцінити доцільність використання предиктора Сміта у даній системі. Розробити імітаційну модель об'єкту. Розробити стартап-проект.

6. Орієнтований перелік графічного (ілюстративного) матеріалу  
Функціональна схема автоматизації індивідуального теплового пункту.

Специфікація обладнання для індивідуального теплового пункту.

Схема електрична принципова. Графіки перехідних процесів ТОУ з використанням предиктора Сміта. Структурна схема програмно-технічного комплексу засобів автоматизації.

7. Орієнтований перелік публікацій

Скидан П. Є., Некрашевич О. В., "Використання платформи Node-RED в автоматизації" УДК 65.011.56 Видання: Сучасні проблеми науков забезпечення енергетики м. Київ, 20-23 квітня 2021 рік, ТОМ 2.

8. Дата видачі завдання " 01 " вересня 2020 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Видача завдання	01.09.2020	
2	Ознайомлення з літературними джерелами	04.05.2021	
3	Вивчення та аналіз об'єкту автоматизації	03.09.2021	
4	Розроблення ПТКЗА	08.10.2021	
5	Виконання ФСА, Специфікації, ПЕС	15.10.2021	
6	Розрахунок та дослідження САР	28.10.2021	
7	Розробка програмного забезпечення	07.11.2021	
8	Імітаційне моделювання і аналіз функціонування АСК	14.11.2021	
9	Стартап-проект	22.11.2021	
10	Оформлення дисертації	22.11.2021	
11	Підпис керівника магістерської дисертації		
12	Попередній захист магістерської дисертації	10.12.2021	
13	Захист		

Студент

(підпис)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Павло Скидан

(імя, ПРІЗВИЩЕ)

Олена Некрашевич

(імя, ПРІЗВИЩЕ)

## Реферат

Магістерська дисертація викладена на 86 сторінках друкованого тексту, який складається із вступу, основної частини, висновків, списку використаних джерел (8 найменувань). Робота містить 24 таблиці, 51 рисунок та формули.

Актуальність теми: данна робота є актуальною оскільки в країні відбувається оновлення застрілених радянських систем опалення, а у даній роботі описана оновлена система опалення (ІТП) для науково-дослідної установи збудованої ще за радянських часів. Під час оновлення ІТП використовується сучасне обладнання та передові методи розрахунку.

Мета і задачі дослідження: Мета даної роботи модернізація ІТП для підвищення його ефективності. Для досягнення мети необхідно зробити наступні задачі: визначити вимоги до реалізації об'єкту, розробити ФСА, підібрати необхідне сучасне обладнання, визначити перехідні характеристики об'єкту та розрахувати САР використовуючи класичні методи та дослідити вплив на систему після додавання до регулятора предиктора Сміта, розробити програмне забезпечення, зробити маркетинговий аналіз рішення.

Об'єкт дослідження: Об'єктом дослідження є ІТП у науково-дослідній установі.

Предмет дослідження: Предметом дослідження є імітаційні моделі ІТП, які необхідні для дослідження покращення, за допомогою предиктора Сміта, перехідного процесу контролю температури зворотнього теплоносія, що призведе до економії витрати теплоносія.

Практичне значення одержаних результатів: розроблена система з використанням предиктора Сміта планується впроваджуватися на контролері TM172PDG42SI (Schneider Electric) при автоматизації систем опалення комплексу технологічних приміщень Інституту проблем математичних машин і систем НАН України (ІПММС НАНУ), що підкріплюється відповідною довідкою.

Ключові слова: ІТП, системи опалення, науково-дослідна установа, предиктор Сміта, автоматизація.

## Abstract

The master's dissertation is presented on 86 pages of printed text, which consists of an introduction, main part, conclusions, list of sources used (8 titles). The work contains 24 tables, 51 figures and formulas.

Relevance of the topic: this work is relevant because the country is updating the obsolete Soviet heating systems, and this paper describes the updated heating system (IHP) for a research institution built in Soviet times. Modern equipment and advanced calculation methods are used during the IHP upgrade.

The purpose and objectives of the study: The purpose of this work is the modernization of IHP to improve its efficiency. To achieve this goal it is necessary to do the following tasks: determine the requirements for the implementation of the object, develop FSA, select the necessary modern equipment, determine the transient characteristics of the object and calculate ACS using classical methods and investigate the impact on the system. providing, make a marketing analysis decision.

Object of research: The object of research is IHP in a research institution.

Subject of research: The subject of research is simulation models of IHP, which are necessary to study the improvement, using the predictor Smith, the transient process of temperature control of the return coolant, which will save coolant consumption.

Practical significance of the obtained results: the developed system using the Smith predictor is planned to be implemented on the controller TM172PDG42SI (Schneider Elektric) in the automation of heating systems of the technological premises of the Institute of Mathematical Machines and Systems Problems NAS of Ukraine (IMMSP NASU).

Key words: IHP, heating systems, research institution, Smith predictor, automation.

## Зміст

<b>Перелік скорочень</b> .....	6
<b>Вступ</b> .....	7
<b>1. Аналітичний огляд проблеми</b> .....	9
1.1.Сучасний стан галузі.....	9
1.2.Опис технологічної схеми об'єкту управління.....	18
1.3.Загальна постановка задачі.....	22
<b>2. Опис об'єкту управління</b> .....	23
2.1.Отримання моделі об'єкту управління.....	23
2.2.Призначення і функції створюваної системи.....	23
2.3.Вимоги до реалізації функцій системи управління об'єктом.....	25
2.4.Висновки.....	28
<b>3. Розробка системи управління об'єктом</b> .....	29
3.1.Функціональна структура системи управління об'єктом.....	29
3.2.Розрахункова частина.....	31
3.3.Розробка технічного забезпечення системи управління.....	49
3.4.Розробка програмного забезпечення системи управління.....	55
3.5.Імітаційне моделювання і аналіз функціонування автоматизованого технічного комплексу.....	60
3.6.Висновки.....	64
<b>4. Розроблення стартап-проекту</b> .....	66
4.1.Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології).....	66
4.2.Технологічний аудит ідеї проекту.....	67
4.3.Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	68
4.4.Розроблення ринкової стратегії проекту.....	76
4.5.Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	78
4.6.Висновки.....	81
<b>Висновки</b> .....	82
<b>Перелік використаної літератури</b> .....	83
<b>Додаток А</b> .....	84

## Перелік скорочень

АТК – автоматизований технологічний комплекс

АСУ – автоматична система управління

АСК – автоматична система керування

АФХ - амплітудо-фазова характеристика

АЧХ - амплітудно-частотна характеристика

ВМ - виконавчий механізм

ПІ – пропорційно-інтегральний закон

ПТК – програмно-технічний комплект

ПТКЗА – програмно-технічний комплекс засобів автоматизації

ПЕС - принципова електрична схема

ПЗ - програмне забезпечення

ПК - персональний комп'ютер

РАФХ - розширена амплітудо-фазова характеристика

РО - регулюючий орган

САК – система автоматичного керування

САР – система автоматичного регулювання

ТОУ – технологічний об'єкт управління

ТОК - технологічний об'єкт керування

ТЗ - технологічне завдання

ТП - технологічний процес

ФСА - функціональна схема автоматизації

SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition

## **Вступ**

### **Актуальність теми**

Данна робота є актуальною оскільки в країні відбувається оновлення застрілених радянських систем опалення, а у даній роботі описана оновлена система опалення (ІТП) для науково-дослідної установи збудованої ще за радянських часів. Під час оновлення ІТП використовується сучасне обладнання та передові методи розрахунку.

### **Мета і завдання роботи (дослідження)**

Мета даної роботи модернізація ІТП для підвищення його ефективності. Для досягнення мети необхідно зробити наступні задачі: визначити вимоги до реалізації об'єкту, розробити ФСА, підібрати необхідне сучасне обладнання, визначити перехідні характеристики об'єкту та розрахувати САР використовуючи класичні методи та дослідити вплив на систему після додавання до регулятора предиктора Сміта, розробити програмне забезпечення, зробити маркетинговий аналіз рішення.

### **Об'єкт і предмет роботи (дослідження)**

Об'єктом дослідження є ІТП у науково-дослідній установі. Предметом дослідження є імітаційні моделі ІТП, які необхідні для дослідження покращення, за допомогою предиктора Сміта, перехідного процесу контролю температури зворотнього теплоносія, що призведе до економії витрати теплоносія.



## **Новизна та практичне значення отриманих результатів**

Розроблена система з використанням предиктора Сміта планується впроваджуватися на контролері TM172PDG42SI (Schneider Electric) при автоматизації систем опалення комплексу технологічних приміщень Інституту проблем математичних машин і систем НАН України (ІПММС НАНУ), що підкріплюється відповідною довідкою.

## **Апробація результатів**

Скидан П. С., Некрашевич О. В., “Використання платформи Node-RED в автоматизації” УДК 65.011.56 Видання: Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики м. Київ, 20-23 квітня 2021 рік, ТОМ 2.

## 1. Аналітичний огляд проблеми

### 1.1. Сучасний стан галузі

У сучасному світі існує багато різних систем опалення. Принципова різниця між ними полягає у виборі теплоносія (методі опалення). Кожна з таких систем має свої переваги та недоліки. Системи опалення в залежності від вибору теплоносія поділяються на системи з: водяним опаленням, повітряним опаленням, електричним опаленням, конвекторним опаленням, система опалення тепла підлога, опалення інфрачервоними панелями. Розглянемо переваги та недоліки кожної системи та порівняємо між собою кожен з цих систем.

#### 1.1.1. Водяне опалення

У даній класичній системі опалення у якості головного теплоносія використовується вода котра нагрівається у котельній або вже надходить у систему нагрітою. Нагріта вода по трубах надходить до радіаторів у приміщеннях будівлі, де через радіатор передає тепло повітрю і вже охолодженою вода повертається у котельню, або ж назад у централізовану систему опалення. Система складається з наступних компонентів (див. Рис.1.1):

- 1) Котел. Котли бувають: електричними, газовими, рідиннопаливними, твердопаливними;
- 2) Трубопровід. Труби у трубопроводі можуть бути: мідні, полімерні, з нержавіючої сталі, сталеві оцинковані;
- 3) Батареї, радіатори..

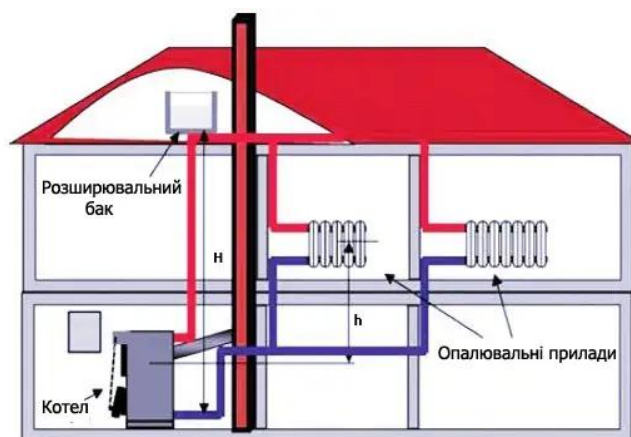


Рисунок 1.1 - Будинок з водяним опаленням

Системи водяного опалення своєю чергою поділяються на одноконтурні (див.рис.1.2), які використовуються лише для опалення будівлі та двоконтурні (див.рис.1.3), у яких перший контур використовується для опалення будівлі, а другий використовується для гарячого водопостачання у будівлю. У теплу пору року більш економічним є використання двох одноконтурних систем.

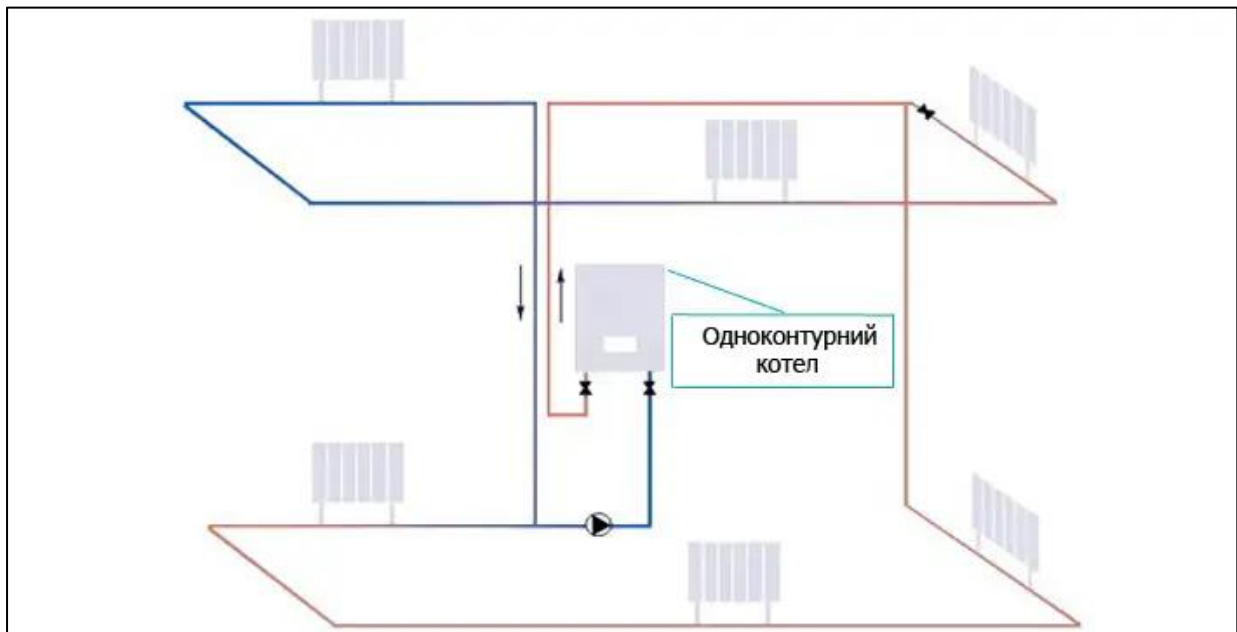


Рисунок 1.2 - Одноконтурна система водяного опалення

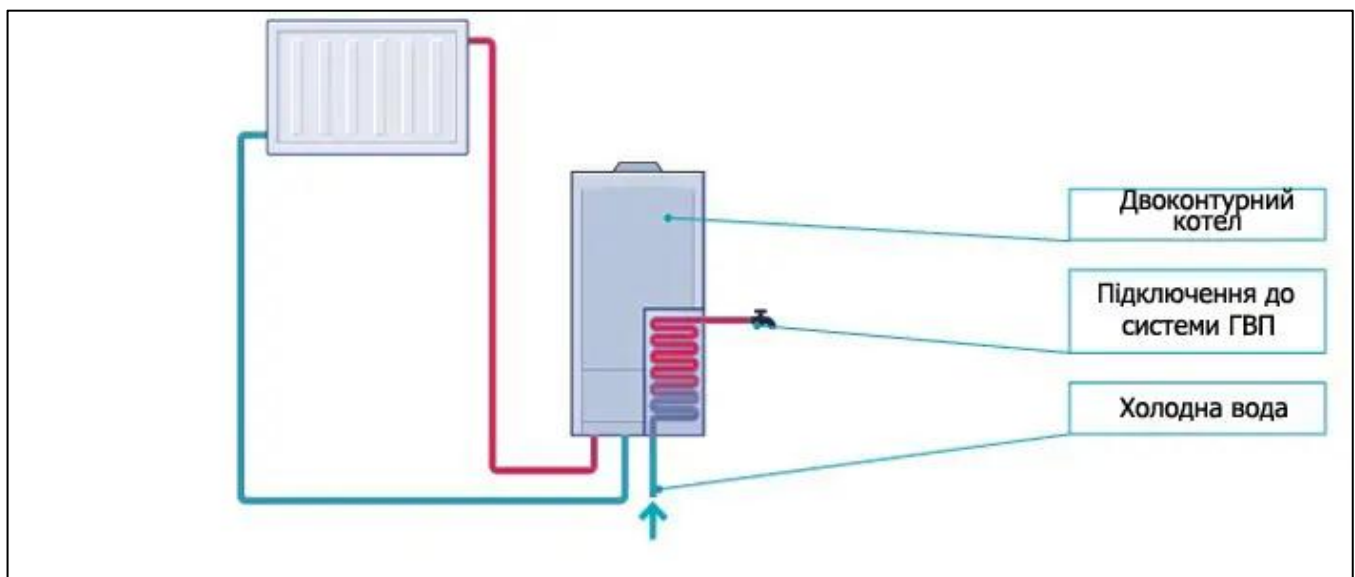


Рисунок 1.3 - Двоконтурна система водяного опалення

### 1.1.2. Повітряне опалення

Теплоносієм у системі повітряного опалення виступає повітря. Нагріте повітря потрапляє до приміщень. У системі повітряного опалення відсутні такі масивні установки як радіатори, пічки та їм подібні. При даному виді опалення відсутній перепад температур у приміщенні, оскільки зона нагріву не обмежена зоною котра навколо радіатора.

Системи повітряного опалення бувають двох типів:

1)Прямоточне (гравітаційне) - завдяки різниці температур відбувається природний рух повітря.

2)Рециркуляційне (примусова вентиляція) - повітря розподіляється рівномірно по повітропроводах завдяки електричному вентилятору.

Джерелом тепла у даній системі є теплогенератори. Вони можуть бути мобільними чи стаціонарними. Також теплогенератори поділяються за видом палива котрий споживає паливник та за максимальною потужністю, котру слід підбирати виходячи з площі опалення будинку.

Принцип роботи системи повітряного опалення (див. Рис. 1.4):

Паливо через паливник подається до камери згорання у котрій згорає, утворюючи тепло. Паливники є взаємозамінні не залежно від виду палива, оскільки їх розміри уніфіковані. Робота паливника на рідкому паливі неможлива без паливного приводу і фільтрів, а робота паливника на дизельному паливі неможлива без бака і фільтрів. Якщо паливом виступає газ, то підключатися можна як і до балонів зі скрапленим газом, так і до магістралі. Холодне повітря перед тим як поступити в приміщення по повітропроводах нагрівається в теплообміннику, а продукти згорання відправляються у димар.

Через довгі трубопроводи у приміщеннях з великою площею помітні витрати тепла. Тридцять метрів рекомендована довжина основної магістралі повітропроводу, а для відгалужень не більше п'ятнадцяти метрів.

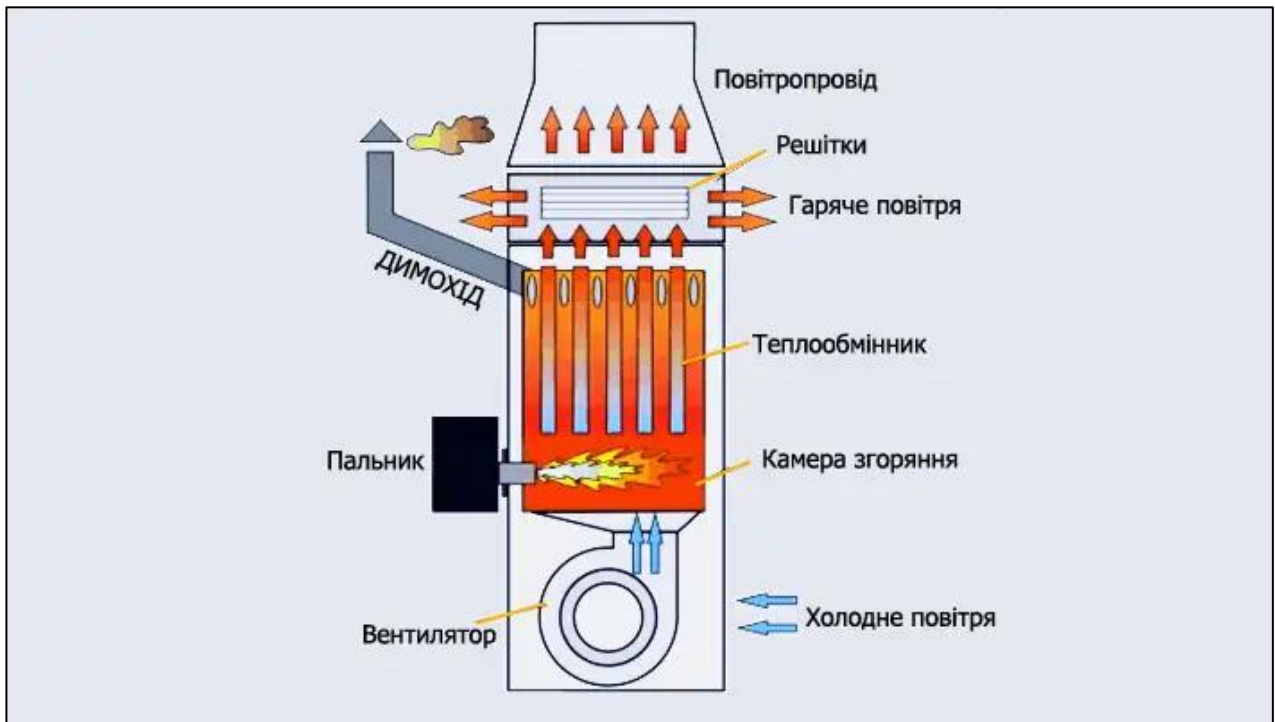


Рисунок 1.4 - Система повітряного опалення

Недоліки даної системи наступні:

- 1)Дана система має складний процес модифікації;
- 2)Впровадження даної системи можливе тільки при будівництві з нуля.
- 3)Для впровадження якісної системи необхідний фахівець з досвідом.
- 4)Являється необхідність у додаткових засобах підтримання вологості повітря у приміщенні.

### 1.1.3. Електрична система опалення

Основний принцип роботи системи електричного опалення це перетворення електричної енергії в теплову. Електричні системи опалення в основному поділяються на три типи:

- 1) Електричні системи опалення, що використовують електроконвектори;
- 2) Електричні системи опалення, що використовують систему теплої підлоги;
- 3) Електричні системи опалення, що використовують інфрачервоні обігрівачі.

Основні переваги електричного опалення наступні: електрична система опалення дешева для встановлення, не дорога в експлуатації, не вимагає витрачання коштів на обслуговування і профілактику. Але система на пряму залежить від безперебійного електропостачання, тому якщо є ризик відключення електромережі, то варто задуматись про альтернативну систему опалення.

#### 1.1.3.1. Конвекторне опалення будинку

Електроконвектори є пристроями, що ефективні та прості в управлінні. Електроконвектори можуть використовуватись як додаткова система опалення разом з централізованою системою опалення, так і в якості самостійної системи опалення. Головна умова роботи електроконвектора є постійне і безперебійне живлення від мережі. Якщо відсутня газова магістраль, то зручно використовувати конвекторне опалення (див. Рис. 1.5.). Електроконвектор працює за наступним принципом природної циркуляції повітря. У електроконвектор надходить холодне повітря з кімнати. У електроконвекторі повітря нагрівається та розширюється і в такому вигляді повертається до кімнати, де постійно зміщується з повітряними масами кімнати. Таким чином середня температура в кімнаті підвищується. Діапазон потужності конвекторів сягає від 0,5 до 3,0 кВт. У залежності від потужності електроконвектора його розміри можуть сягати у довжину до 2,5 м, а у товщину до 0,8 см. Електроконвектори оптимально розташовувати під вікном, або не вище ніж 1 м від рівня підлоги. Підбір електроконвекторів за потужністю їх розташування в кімнаті та необхідна кількість визначається в залежності від опалювальної площі будинку.

Конвекторне опалення має наступні недоліки:

- 1) Порушення мікроклімату приміщення. Спалює кисень і висушує повітря;

2) Не рівномірний розподіл температури. Під стелею знаходиться більш нагріте повітря, ніж посередині кімнати. Найхолодніше повітря знаходиться біля підлоги;

3) Значні витрати електроенергії на обігрів приміщення оскільки для підтримання комфортної температури у приміщенні необхідна майже неперервна робота електроконвектора через те, що повітря швидко втрачає тепло.

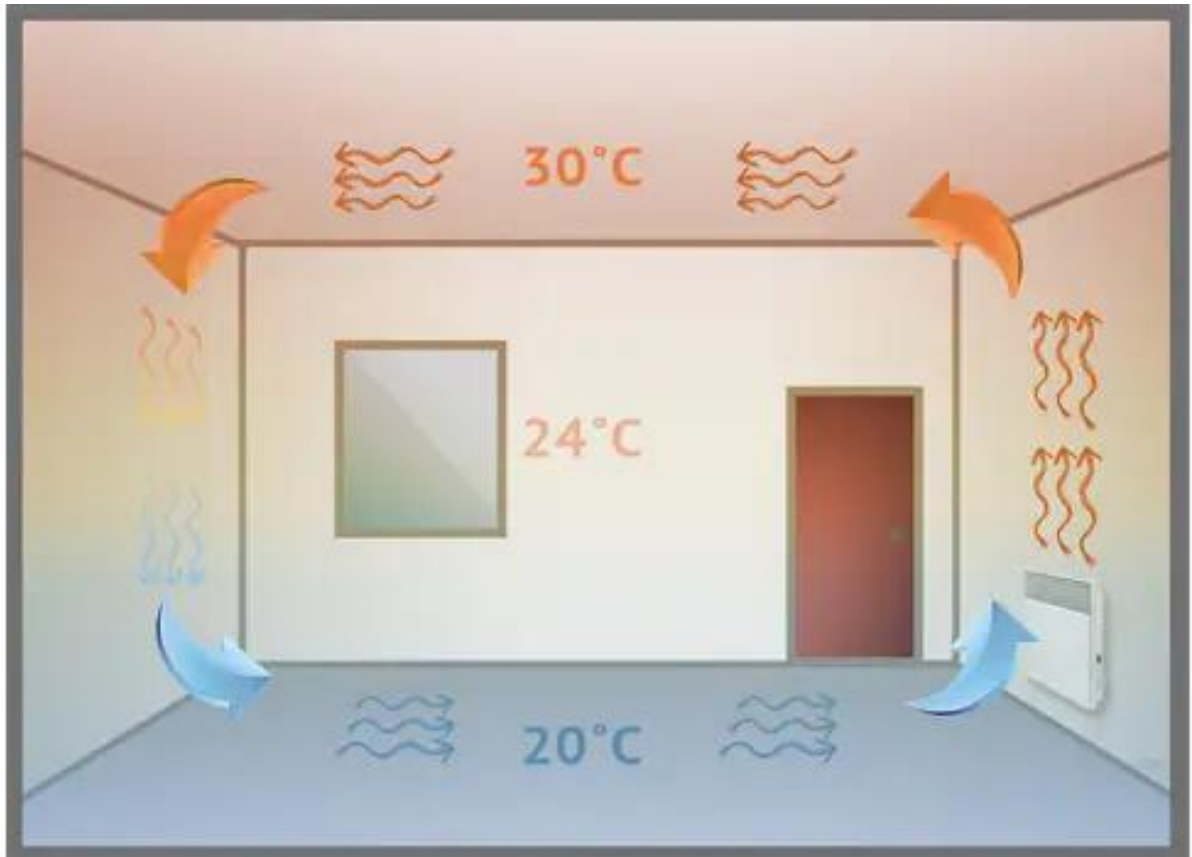


Рисунок 1.5 - Конвекторне опалення

#### 1.1.3.2. Опалення будинку системою тепла підлога

Електрична тепла підлога (див. Рис. 1.6.) – система, що передає тепло в приміщення шляхом нагрівання підлоги. Теоретично дана система обігріву може виступати у якості самостійної системи опалення, але практично використовується у якості допоміжної системи опалення.

Принцип роботи даної системи опалення наступний - кабелі нагріваються, коли через них проходить струм та передають отримане тепло у підлогове покриття та стяжку, а ті своєю чергою нагрівають приміщення.

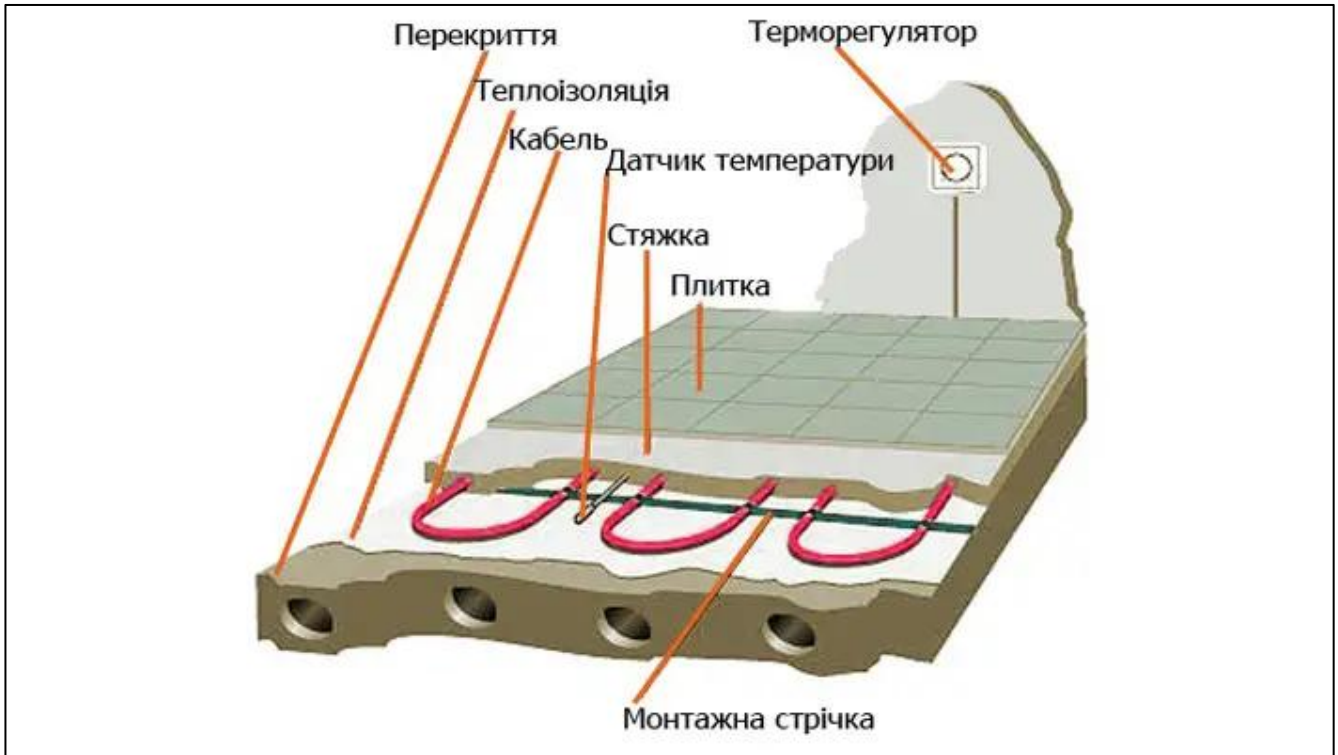


Рисунок 1.6 - Система опалення електричною теплою підлогою

### 1.1.3.3. Опалення будинку інфрачервоними панелями

Інфрачервоні обігрівачі стрімко набирають популярності в останні роки. Принцип дії інфрачервоних обігрівачів наступний - завдяки інфрачервону випромінюванню інфрачервоні обігрівачі передають тепло в навколишнє середовище, яке поглинається навколишніми поверхнями і предметами, які у свою чергу нагрівають повітря у приміщенні. Таким чином не відбувається обігрів простору під стелею і тим самим мінімізується витрата електроенергії на обігрів. Див. Рис. 1.7.

Головним параметром при виборі інфрачервоного обігрівача, який впливає на широту його використання та можливий вплив на організм людини є довжина хвилі:



- Довгохвильові інфрачервоні панелі не становлять небезпеки для тварин та людей та їх можна використовувати у житлових приміщеннях. Завдяки тому, що хвилі довгі тепло глибше проникає у навколишні поверхні і предметами, що дозволяю довше віддавати тепло в приміщення;
- Короткохвильові інфрачервоні панелі використовуються у не житлових приміщеннях.

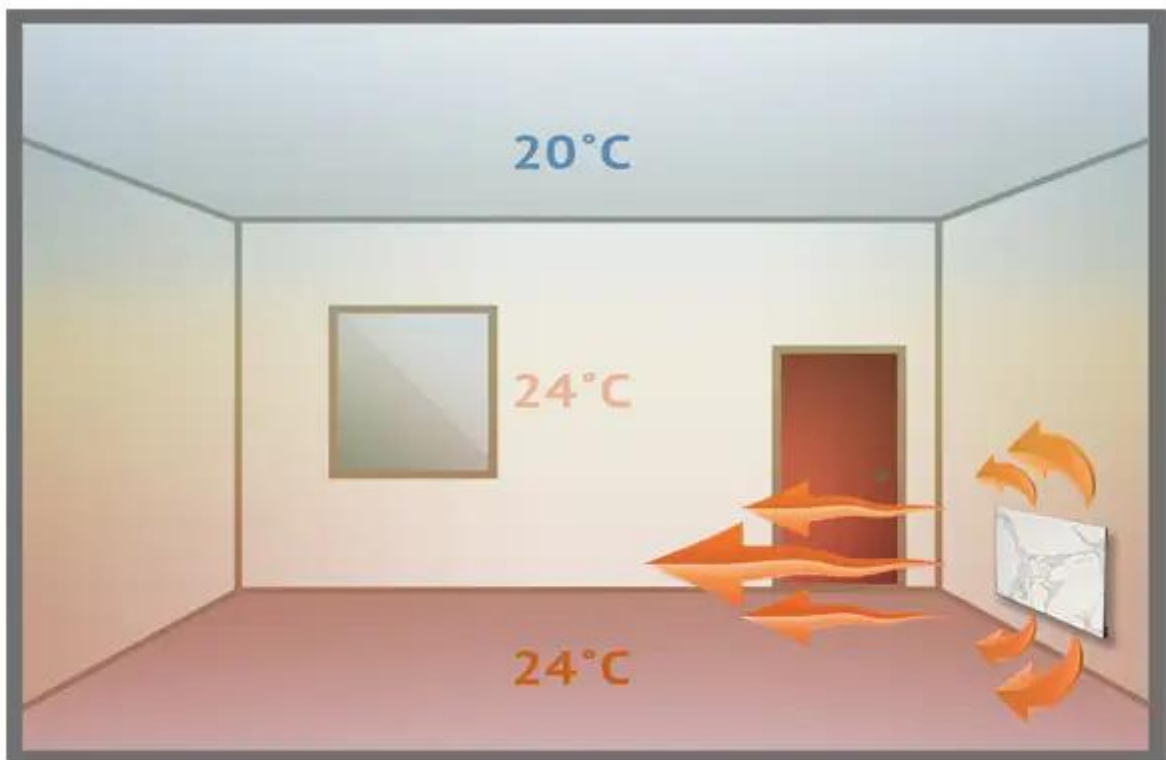


Рисунок 1.7 - Опалення інфрачервоними панелями

Розглянемо довгохвильові інфрачервоні панелі більш детально. Значною перевагою інфрачервоних нагрівачів перед конвекторами є те, що вони не спалюють кисень та не сушать повітря. Інфрачервоні нагрівачі безпечні навіть для дітей, безшумні та не мають запахів. Інфрачервоні нагрівачі мають вбудовані або виносні термостати, що дозволяє зменшувати витрати на електроенергію: терморегулятор вмикає або вимикає інфрачервоний нагрівач після того, як термостат фіксує температуру в приміщенні. Виходить, що один раз налаштувавши прилад, нам не потрібно постійно вимикати його з мережі.

Якщо об'єднати декілька інфрачервоних нагрівачів та під'єднати їх до виносного регулятора, то отримаємо систему опалення. Інфрачервоні нагрівачі оснащені технологіями для захисту від перепаду напруги та перегріву. Інфрачервона панель може бути сама по собі звичайною електробатареєю.

Недоліки системи:

- При першому запуску системи у холодному приміщенні може знадобитись більше доби аби його прогріти;
- Більш довше прогріває приміщення, ніж конвекторне опалення.

Переваги системи інфрачервоних обігрівачів:

- Для підтримання сталої температури в приміщенні не потребують частого ввімкнення порівняно з конвекторами, що призводить до економії електроенергії;
- Обрана температура в приміщенні притримується дві години та більше, навіть якщо система не працює;
- Не продукує шкідливих речовин, не знищує кисень, та не зневоднює повітря;
- Не шумить під час роботи;
- Має великий час роботи до поломки (виробники дають гарантію до п'яти років).

#### 1.1.4. Порівняння та принцип обрання кращої системи опалення

Коли обирається опалення спочатку треба визначитись з паливом, яке буде використовуватися для системи опалення. По-друге, треба оцінити фінансові можливості, оскільки кожна з систем розглянутих вище має свої переваги та недоліки. Наприклад електричні системи найдешевші в обслуговуванні та монтажі.

Також важливим фактором є безпека та екологічність обраної системи. Так системи в котрих використовуються печі та каміни створюють небезпеку отруїтися вуглекислим газом. Електричне опалення в цьому плані найбезпечніше.

Можна також знизити фінансове навантаження та покращити стабільність роботи опалення вже існуючого газового опалення шляхом встановлення інфрачервоних обігрівачів. Тобто підключення альтернативної (допоміжної) системи опалення до вже наявної. На об'єкті, що розглядається у даній роботі реалізоване централізоване водяне опалення у поєднанні зі стихійним електричним.

## 1.2.Опис технологічної схеми об'єкту управління

При реалізації водяного опалення доступні наступні популярні схеми теплових пунктів:

- ◆ залежна схема з двоходовим клапаном та насосами в трубопроводі, що подає;
- ◆ залежна схема з двоходовим клапаном та насосами у зворотному трубопроводі;
- ◆ залежна схема з триходовим клапаном та циркуляційними насосами;
- ◆ незалежна схема індивідуального теплового пункту.

Об'єктом управління, що розглядається у даній магістерській дисертації, є тепловий пункт у котрого реалізована залежна схема з двоходовим клапаном і насосами у зворотному трубопроводі. Її схема представлена на рис.18, а пояснення умовних позначень до схеми на рис.1.9.

Опис схеми теплового пункту та принцип її роботи:

Керує роботою теплового пункту програмований контролер, до якого підключені: датчик температури зовнішнього повітря, датчик температури теплоносія, що надходить у систему опалення та двоходовий регулюючий клапан (РК) з електроприводом.

У контролер вносять температурний графік системи опалення, що показує залежність температури води, що надходить у систему від температури зовнішнього повітря, дня тижня і часу доби. Контролер заміряє температуру зовнішнього повітря, визначає необхідну температуру води на вході в систему опалення і порівнює її з температурою вимірюваної датчиком  $t_{11}$ , при відхиленні - посилає закриває або відкриває сигнал регулюючого клапана на трубопроводі теплової мережі.

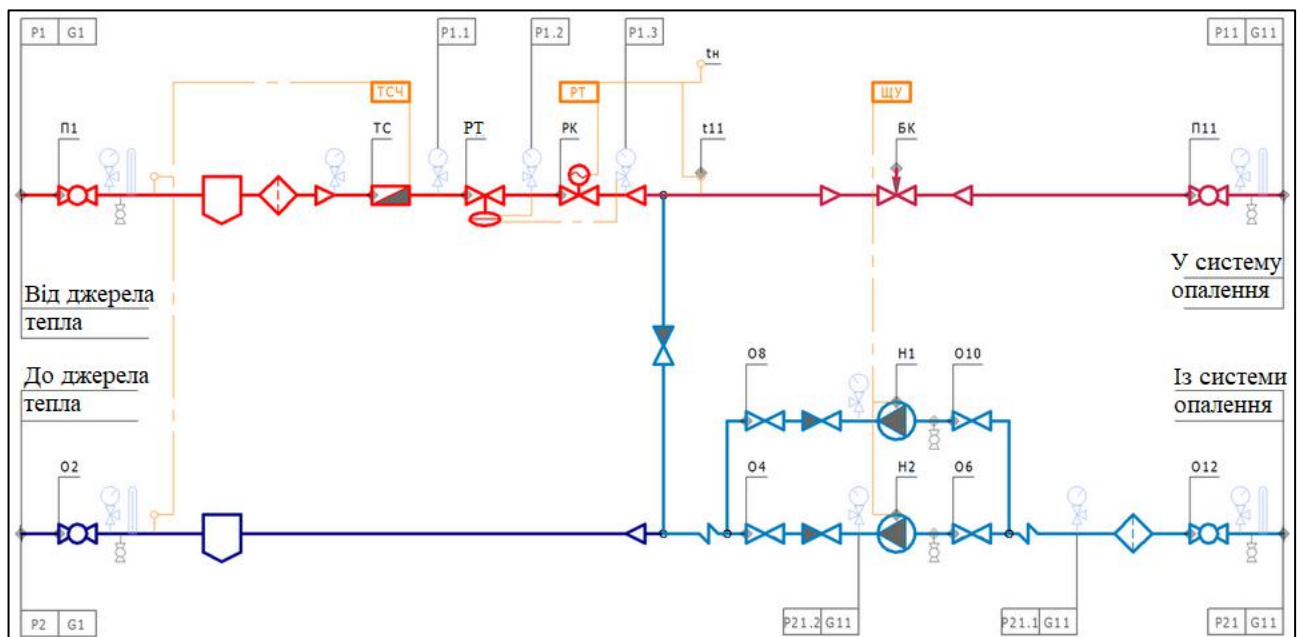


Рисунок 1.8 - Залежна схема підключення ІТП системи опалення з автоматичним погодозалежним регулюванням на базі програмованого контролера з двоходовим клапаном та циркуляційно-змішувальними насосами у зворотному трубопроводі

Регулюючий клапан може повністю відкрити подачу теплоносія, так і повністю закрити трубопровід. Підмішування води зі зворотного потоку не припиняється навіть при повному відкритті регуляційного клапана оскільки вода, що приходить з теплової мережі, умовно "перегріта", тобто з температурою, що перевищує необхідну температуру для системи опалення. У режимі повного перекриття трубопроводу, що подає, весь теплоносій надходить в систему опалення буде відбиратися через перемичку зі зворотного трубопроводу.

Незалежно від ступеня закриття регулюючого клапана об'єм води, що надходить у систему опалення, стабільний і визначається характеристикою циркуляційного насоса, змінюються тільки пропорції двох потоків води в суміші - потоку відбирається зі зворотного трубопроводу і потоку з подавального.

При виході з ладу робочого насоса циркуляція води в системі зупиниться, тому у схемі передбачено два насоси – робочий та резервний (Н1 та Н2).

Насоси до електричної мережі підключаються через щит управління, в якому передбачені такі рівні захисту:

- Захист від сухого ходу
- Захист від перекосу фазної напруги
- Захист від обриву фаз та коротких замикань
- Тепловий захист від підвищених струмових навантажень
- Автоматичне увімкнення резервного насоса при виході з ладу робочого

На введенні теплової мережі встановлений регулятор перепаду тиску (РТ) який стабілізує перепад тисків, обмежує максимальну витрату теплоносія відбирається з теплової мережі та створює режим роботи регулюючого клапана, при якому переміщення штока плавно змінює витрату води, що проходить через нього.

Для обмеження максимальної витрати на регуляторі налаштовують перепад тисків, що дорівнює втраті напору на регулювальному клапані в повністю відкритому положенні при проходженні максимальної витрати теплоносія.

Для налаштування робочої точки насоса в тепловому пункті передбачено ручний балансувальний клапан, який допускається не встановлювати, якщо насоси обладнані регулятором частоти обертання.

Схему застосовують, якщо:

1) Розрахунковий температурний графік джерела тепла перевищує розрахунковий температурний графік системи опалення.

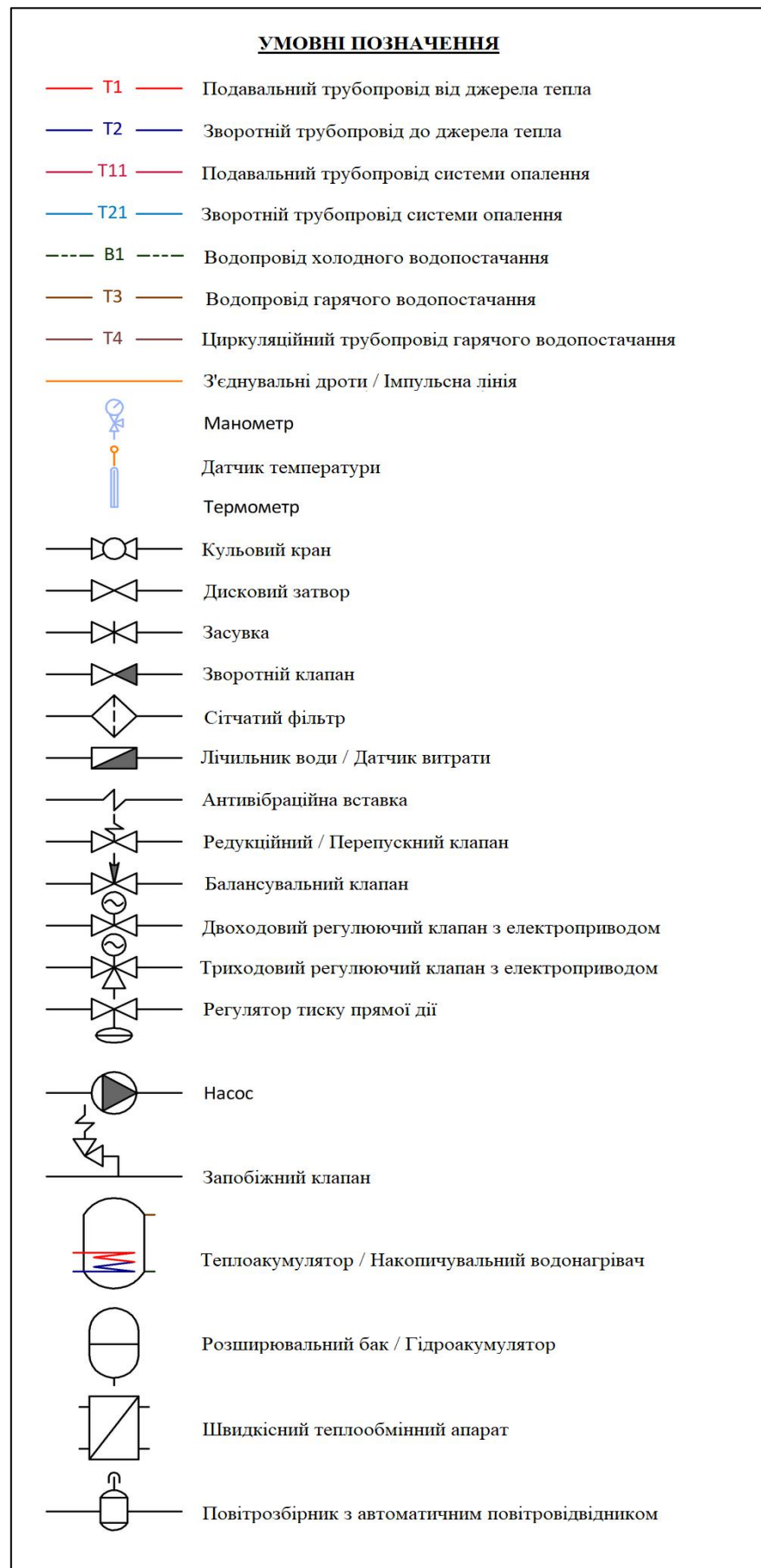


Рисунок 1.9- Тлумачення умовних позначень до схеми підключення ІТП зображеної на рис.1.8.

2) Робочий тиск у зворотному трубопроводі теплової мережі та статичний тиск у тепловій мережі - перевищують статичний тиск системи опалення, як мінімум, на значення, що дорівнює максимальному напору насоса + 5 м.вод.ст.

3) Тиск в трубопроводі теплової мережі, що подає і зворотний, а також статичний тиск в теплових мережах не перевищують максимально допустимого тиску для системи опалення, що визначається межею міцності найслабшого її елемента (радіатори, труби).

4) У тепловому пункті необхідно реалізувати автоматичне якісне керування температурою теплоносія залежно від температури зовнішнього повітря та/або за добовим, тижневим графіком роботи системи.

5) Температура в трубопроводі, що подає, системи опалення в робочому режимі може перевищувати допустиму температуру для циркуляційного насоса.

Особливості схеми:

Тиск у зворотному трубопроводі системи опалення завжди буде меншим за тиск у зворотному трубопроводі теплової мережі на введенні в будівлю на величину напору насоса в робочій точці.

Тиск у трубопроводі системи опалення, що подає, буде дещо нижчим за тиск у зворотному трубопроводі теплової мережі.

### 1.3. Загальна постановка задачі

У даній роботі необхідно розробити автоматичну систему керування тепловим пунктом для науково-дослідної установи, використовуючи сучасні засоби автоматизації та передові методи дослідження, синтезу та регулювання опалення.

Мета роботи покращити вже існуючу систему регулювання опаленням шляхом застосування сучасних методів регулювання опаленням, тим самим продемонструвавши їх переваги над класичними методами, та досягнути значної економії на опаленні науково-дослідної установи.

## 2. Опис об'єкту управління

### 2.1. Отримання моделі об'єкту управління

Під час проходження практики та вивчення об'єкта управління не було можливості зняти розгінні характеристики з об'єкта управління оскільки для цього треба було отримати дозвіл від керівника інституту у чому мені було відмовлено з метою не порушення правил техніки безпеки, експлантаційних умов об'єкта управління та економії. Тому опираючись на зібранні данні з місця практики, а саме на інформацію про об'єкт, його технічні характеристики, наявної технічної документації, звіту з пусконаладжувальних робіт, свідчень отриманих від співробітників інституту, відповідальних за об'єкт та опираючись на інформацію з наявних літературних джерел було прийнято дві наступні формули перехідних характеристик об'єкта для двох незалежних один від одного одноконтурних систем корпусу №1 та корпусу №2 (фактично одна будівля, але два різних крила) відповідно:

$$W_1(s) = \frac{0,4e^{-80s}}{320s+1} \quad (2.1)$$

$$W_2(s) = \frac{0,4e^{-25s}}{170s+1} \quad (2.2)$$

### 2.2. Призначення і функції створюваної системи

Система автоматизації теплопункту покликана покращити умови праці у науково-дослідній установі, зекономити на опаленні, полегшити обслуговування системи опалення та підвищити безпеку у теплопункті.

Система, яка розроблена у даній роботі, повинна забезпечувати функцію контролю, регулювання, сигналізації та блокування.

Функція контролю у даній системі повинна контролювати наступні параметри:



- тиск прямого, зворотного теплоносія мережі опалення;
- температуру прямого, зворотного теплоносія мережі опалення;
- витрату прямого теплоносія.

Функція регулювання у даній системі повинна регулювати наступні параметри:

- тиск прямого теплоносія мережі опалення;
- температуру зворотного теплоносія мережі опалення.

Функція сигналізації у даній системі повинна оповіщати оператора якщо:

- якась фізична величина вийшла за межі при яких обладнання може працювати ненадійно;
- якась фізична величина вийшла за межі при яких небезпечна робота обладнання (спрацювання аварійної сигналізації);
- спрацював технологічний захист;
- вийшов з ладу один з елементів обладнання.

Функція сигналізації забезпечує оповіщення для таких параметрів як:

- тиск прямого та зворотного теплоносія мережі опалення;
- температура прямого та зворотного теплоносія мережі опалення.

Функція блокування у даній системі повинна виконувати блокування над параметрами, що беруть участь у керуванні:

- якщо датчик тиску прямого теплоносія виходить з ладу, то система повинна відкрити клапан, що розташований на трубопроводі прямої мережевої води на 100%, та ввімкнути сигналізацію і блокування;
- якщо датчика температури зворотного теплоносія мережі опалення виходить з ладу, то система повинна відкрити клапан на трубопроводі прямої мережевої води на 100%, та ввімкнути сигналізацію і блокування[1;2].

### 2.3. Вимоги до реалізації функцій системи управління об'єктом

Наведено вимоги нормативних документів щодо автоматики теплового пункту та регулювання у ньому:

ДБН В.2.5-39 Теплові мережі

Пункт 9.8.3 - Розділ 9.8 Регулювання відпуску теплової енергії - Розділ 9 Теплоносій та його параметри: На абонентському введенні теплової мережі необхідно забезпечити регулювання теплового потоку системи опалення за погодними умовами.

Пункт 9.8.9 - Розділ 9.8 Регулювання відпуску теплової енергії - Розділ 9 Теплоносій та його параметри: У будинках, для яких допускається зниження температури повітря в нічний та неробочий час, слід передбачати програмне регулювання температури або витрати теплоносія у теплових пунктах.

Пункт 9.8.10 - Розділ 9.8 Регулювання відпуску теплової енергії - Розділ 9 Теплоносій та його параметри: У житлових та цивільних будинках за відсутності місцевого регулювання слід застосовувати автоматичне коригування температурного графіка за усередненою температурою внутрішнього повітря будівлі додатково до коригування за температурою зовнішнього повітря.

Пункт 17.8 - Розділ 17 Електропостачання та система управління: Автоматизація змішувальних насосів повинна забезпечувати заданий коефіцієнт змішування та захист теплової мережі після насосів змішувачів від підвищення температури води від заданої при зупинці насосів.

Пункт 17.12 - Розділ 17 Електропостачання та система управління: Тепловий пункт слід оснащувати засобами автоматизації, пристроями теплотехнічного контролю, обліку та регулювання, які встановлюють за місцем чи щитом управління.

Пункт 17.13 - Розділ 17 Електропостачання та система управління: Автоматизація теплового пункту має забезпечувати:

- регулювання витрати теплової енергії в системі опалення та обмеження максимальної витрати мережної води у споживача;
- підтримання статичного тиску в системах споживачів теплоти за їх незалежного приєднання;
- заданий тиск у зворотному трубопроводі або необхідний перепад тисків води в трубопроводах, що подає і зворотному, теплових мереж;
- захист систем теплоспоживання від підвищеного тиску та температури води у випадках виникнення небезпеки перевищення допустимих граничних параметрів;
- увімкнення резервного насоса при відключенні робочого;
- припинення подачі води в бак-акумулятор при досягненні верхнього рівня води в баку та розбирання води з бака при досягненні нижнього рівня;
- інші заходи, що підвищують ефективність роботи обладнання.[3]

Також наведемо усі технологічні параметри об'єкта та їх номінальні значення у таблиці № 2.1.

Таблиця № 2.1 - Технологічні параметри об'єкта

Назва технологічного параметру	Значення технологічного параметру
Теплове навантаження будинку (загальне)	1,093 Гкал/год (1,271МВт)
Теплове навантаження Корпус №1	0,641 Гкал/год (0,745МВт)
Теплове навантаження Корпус №2	0,382 Гкал/год (0,444МВт)
Теплове навантаження вентцентр	0,070 Гкал/год (0,081МВт)
Тиск у вузлі приєднання у подавальному трубопроводі	$6,5 \pm 0,5$ кгс/см <sup>2</sup>
Тиск у вузлі приєднання у зворотному трубопроводі	$3,1 \pm 0,5$ кгс/см <sup>2</sup>
Розрахунковий температурний графік теплових мереж (за Тр.роз = -22°C)	(115-70)°C
Температурний графік теплової мережі влітку	(70-30)°C
Робочій тиск у тепломережі	16 кгс/см <sup>2</sup> (1,6 МПа)
Робочій тиск у системах опалення і вентиляції	Не менше 6 кгс/см <sup>2</sup> (0,6 МПа)
Робочій тиск у підігрівачах гарячого водопостачання	Не менше 8 кгс/см <sup>2</sup> (0,8 МПа)
Витрата теплоносія загальна	24,296 м <sup>3</sup> /год(22,732 т/год)
Витрата теплоносія Корпус №1	15,039 м <sup>3</sup> /год(14,244 т/год)
Витрата теплоносія Корпус №2	9,257 м <sup>3</sup> /год(8,488 т/год)
Витрата теплоносія вентцентр	1,555 т/год
Температура теплоносія у подавальному трубопроводі в опалювальний сезон (влітку)	115(70)°C
Температура теплоносія у зворотному трубопроводі в опалювальний сезон (влітку)	70(30)°C
Тиск теплоносія у подавальному трубопроводі	0,65МПа
Тиск теплоносія у зворотному трубопроводі	0,31МПа

## 2.4. Висновки

Під час опису об'єкта була визначено його дві перехідні характеристики для двох незалежних один від одного одноконтурних систем для корпусу №1 і корпусу №2 (фактично одна будівля, але два різних крила) відповідно формула 2.1 та формула 2.2:

$$W_1(s) = \frac{0,4e^{-80s}}{320s+1} \quad (2.1)$$

$$W_2(s) = \frac{0,4e^{-25s}}{170s+1} \quad (2.2)$$

Були визначені та описані основні функції об'єкта, а саме його функція контролю, регулювання, сигналізації та блокування. Також було визначені основні параметри об'єкта та їх номінальні значення, що наведено у таблиці № 2.1.

### 3. Розробка системи управління об'єктом

#### 3.1. Функціональна структура системи управління об'єктом

Схема автоматичного контролю та керування процесом опалення, містить ряд контурів контролю і керування.

Контур 1 забезпечує контроль витрати теплоносія, що надходить до системи опалення по трубопроводу теплових мереж, його температуру та його витрату і температуру на зворотному шляху до трубопроводу теплових мереж та включає:

- ділянку витратомірну з ультразвуковими датчиками витрати РУ-50 (поз. 1а);
- термоперетворювачі опору ТСП-С  $L_{TC}=80$  (поз. 1б);
- СЕМПАЛ СВТУ-10М ультразвуковий теплотічильник (поз. 1в) призначений для високоточного вимірювання відпущеної чи спожитої кількості теплоти на промислових об'єктах та об'єктах комунального господарства, що вимірює також об'єм, масу, температуру та при необхідності надлишковий тиск теплоносія;
- програмований логічний контролер. Має звукову та світлову сигналізацію по верхньому рівню температури прямого та зворотного теплоносія та сигналізацію в SCADA системі.

Контур 2,3 забезпечує контроль тиску теплоносія у трубопроводах теплових мереж, що підключаються до ІТП та включає:

- датчик надлишкового тиску Сафір Серія 2xxx Асс (поз. 2а, 3а);
- програмований логічний контролер. Має звукову та світлову сигналізацію по верхньому рівню тиску прямого та зворотного теплоносія у трубопроводах теплових мереж та сигналізацію в SCADA системі.

Контур 4-6 забезпечує контроль тиску прямого теплоносія у системі опалення та включає:

- датчик надлишкового тиску Сафір Серія 2xxx Асс (поз. 4а-6а);

- програмований логічний контролер. Має звукову та світлову сигналізацію по верхньому рівню тиску прямого теплоносія у системі опалення та сигналізацію в SCADA системі.

Контур 7-17 забезпечує контроль тиску прямого теплоносія у системі опалення та включає: манометр технічний МП-100-25У (поз. 7а-17а).

Контур 18-20 забезпечує контроль тиску зворотного теплоносія у системі опалення та включає:

- датчики абсолютного тиску Сафір Серія 2xxx Ф (поз. 18а-20а);
- програмований логічний контролер. Має звукову та світлову сигналізацію по верхньому рівню тиску зворотного теплоносія у системі опалення та сигналізацію в SCADA системі.

Контур 21-23 забезпечує контроль тиску та температуру прямого теплоносія у системі опалення та включає: термоманометр МТ-80-ТМ радіальний (поз. 21а-23а).

Контур 24-32 забезпечує контроль тиску та температуру зворотного теплоносія у системі опалення та включає: термоманометр МТ-80-ТМ радіальний (поз. 24а-32а).

Контур 33, 34 забезпечує контроль температури прямого теплоносія у системі опалення та включає:

- термоперетворювач ТСхУ 0104 100М (поз. 33а, 34а);
- програмований логічний контролер. Має звукову та світлову сигналізацію по верхньому рівню температури прямого теплоносія у системі опалення та сигналізацію в SCADA системі.

Контур 35, 36 забезпечує керування температури зворотного теплоносія у системі опалення та включає:

- термоперетворювач ТСхУ 0104 100М (поз. 35а, 36а);
- програмований логічний контролер;
- регулятор теплового потоку RV122 DN40 з електроприводом ANT11.20. Має звукову та світлову сигналізацію по верхньому рівню температури зворотного теплоносія у системі опалення та сигналізацію в SCADA системі.

### 3.2. Розрахункова частина

#### Аналіз функціонування і синтез системи автоматичного регулювання

Згідно з формулою (2.1) передавальна функція для корпусу №1 є наступного вигляду:  $W_1(s) = \frac{0,4e^{-80s}}{320s+1}$ .

Крива розгону для корпусу №1 є наступного вигляду:

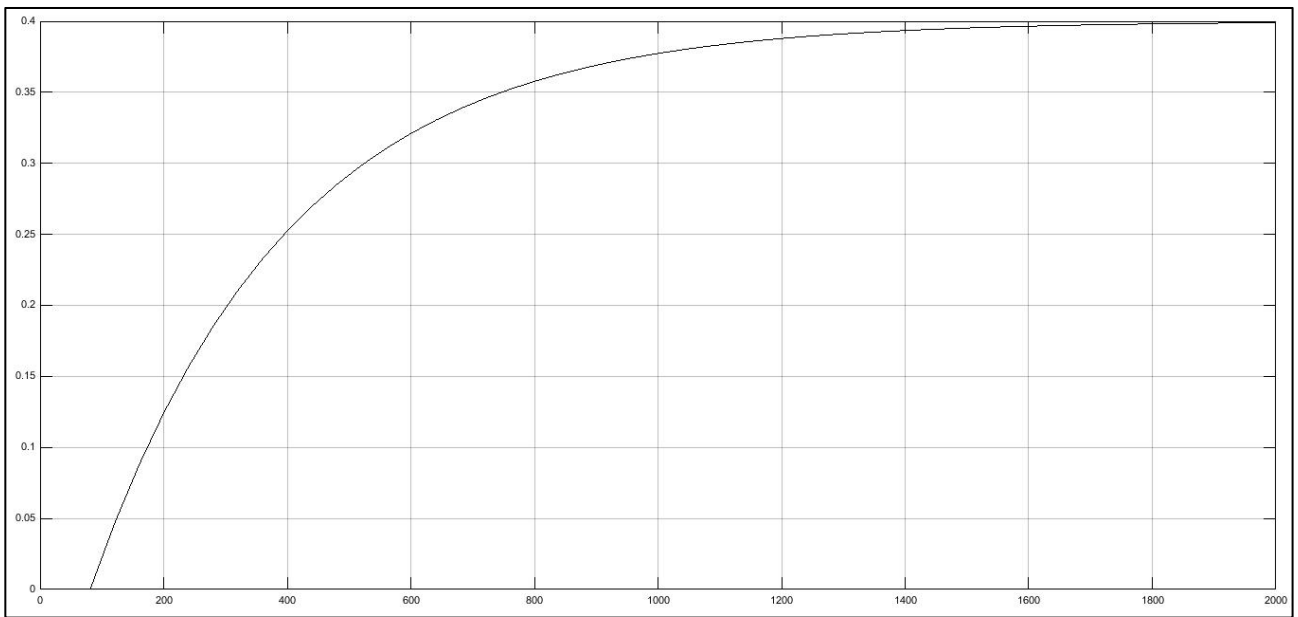


Рисунок 3.1-Крива розгону для корпусу №1

Годограф АФХ побудований у середовищі Matlab для передавальної функції корпусу №1 має вигляд:

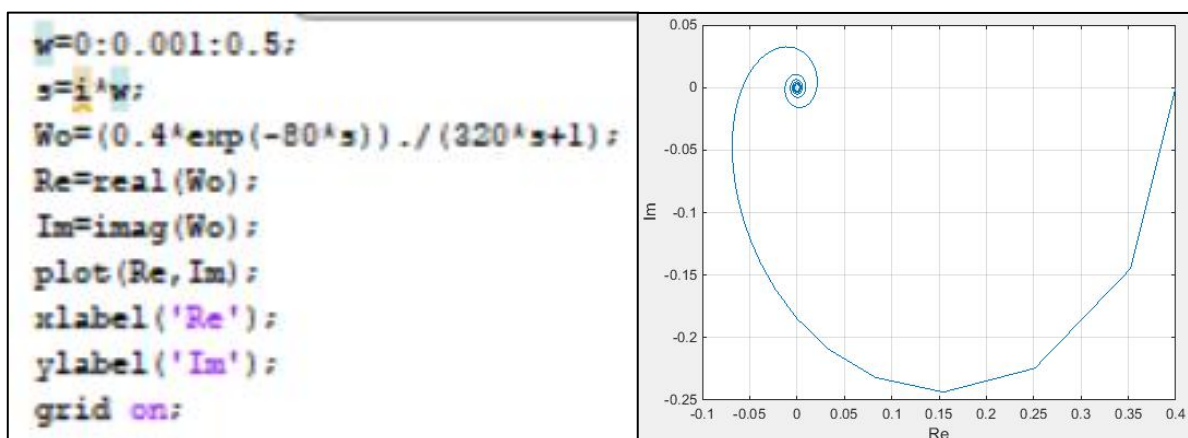


Рисунок 3.2-Годограф АФХ для корпусу №1



Згідно з формулою (2.2) передавальна функція для корпусу №2 є наступного вигляду:  $W_2(s) = \frac{0,4e^{-25s}}{170s+1}$ .

Крива розгону для корпусу №2 є наступного вигляду:

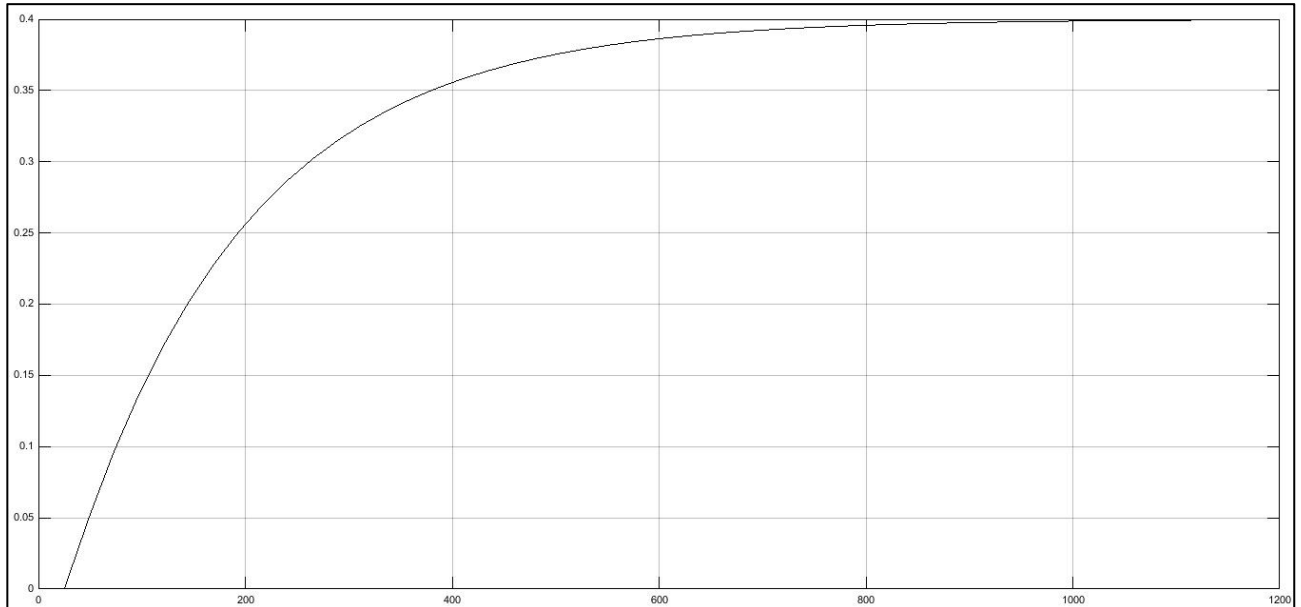


Рисунок 3.3-Крива розгону для корпусу №2

Годограф АФХ побудований у середовищі Matlab для передавальної функції корпусу №2 має вигляд:

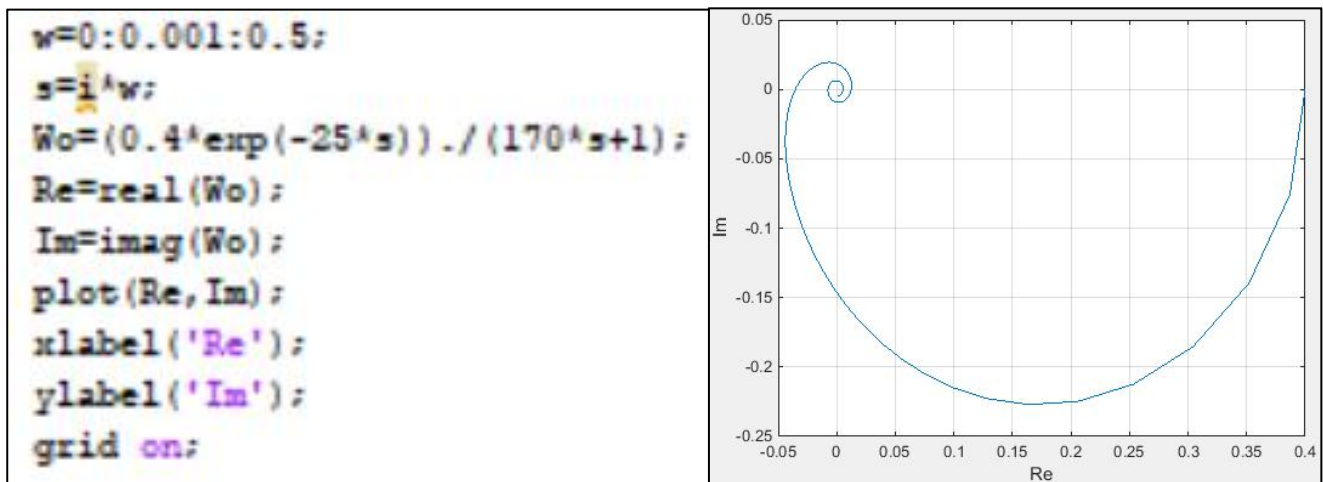


Рисунок 3.4-Годограф АФХ для корпусу №2

## Використання методу РАФХ для розрахунку параметрів налаштування ПІ-регулятора для одноконтурної системи

Для розрахунку налаштувань ПІ-регулятора методом РАФХ для корпусу №1 задамо ступінь коливальності  $\Psi=0.9$ , а  $m=0.365$ .

Скористаємося наступними формулами:

$$K_p = - \frac{mQ_{об}(m, \omega) + P_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)}$$

$$K_i = - \omega(m^2 + 1) \frac{Q_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)}$$

де  $K_i = \frac{K_p}{T_i}$ ,  $A_{об}(m, \omega) = \sqrt{P_{об}^2(m, \omega) + Q_{об}^2(m, \omega)}$

Через середовище Matlab отримаємо:

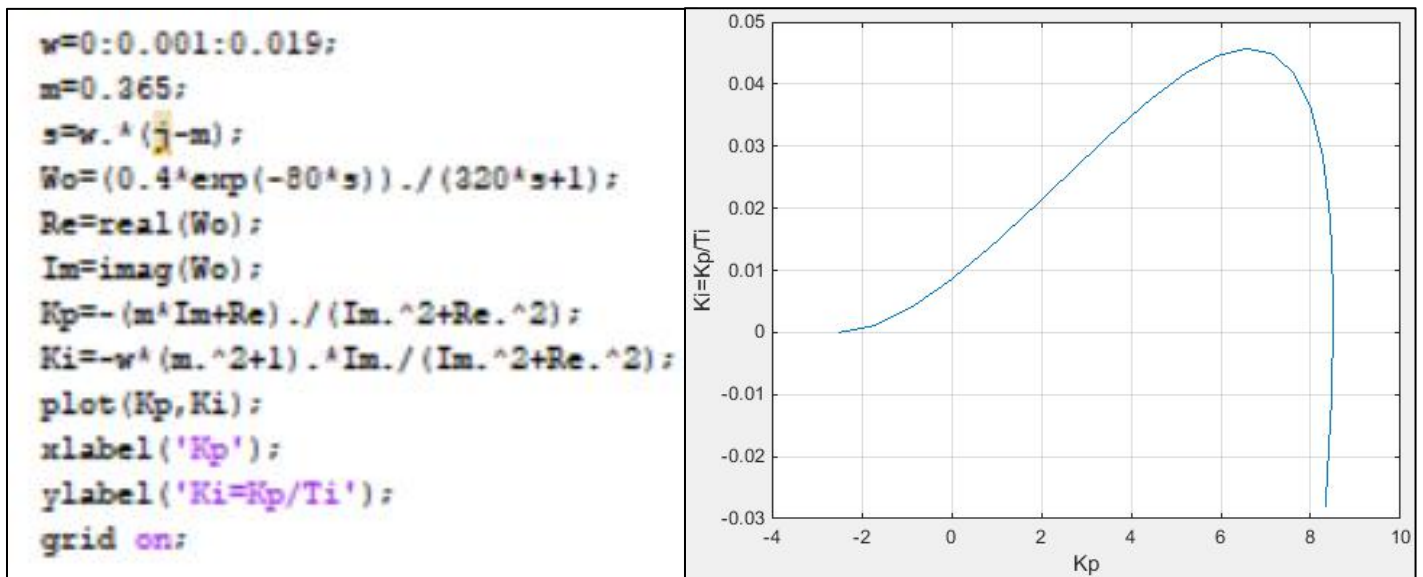


Рисунок 3.5-При ступені коливальності  $m=0.365$  наступна крива налаштувань параметрів для корпусу №1

Для знаходження необхідних налаштувань ПІ-регулятора візьмемо точку небагато правіше максимуму кривої та отримуємо:

$$K_p = 7.6; K_i = 0.042; T_i = 181.$$

Отже, отримуємо наступну передавальну функцію регулятора:

$$W_p(p) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_p p}\right) = 7.6 \left(1 + \frac{1}{181p}\right)$$

По отриманих налаштуваннях отримаємо наступну одноконтурну систему автоматичного управління:

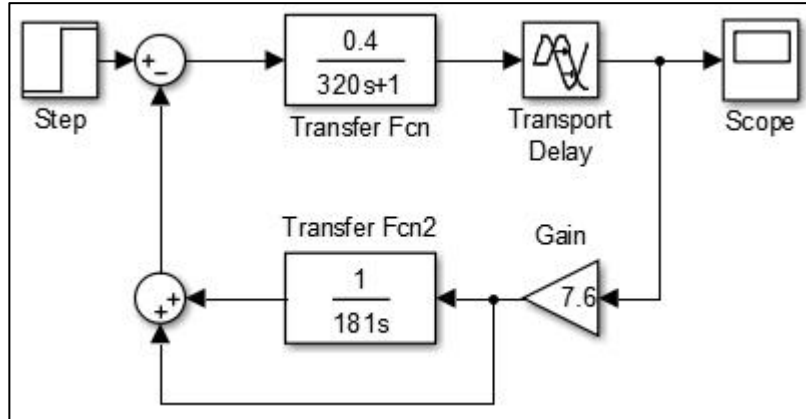


Рисунок 3.6-Одноконтурна система автоматичного управління корпусу №1 з пропорційно-інтегральним регулятором

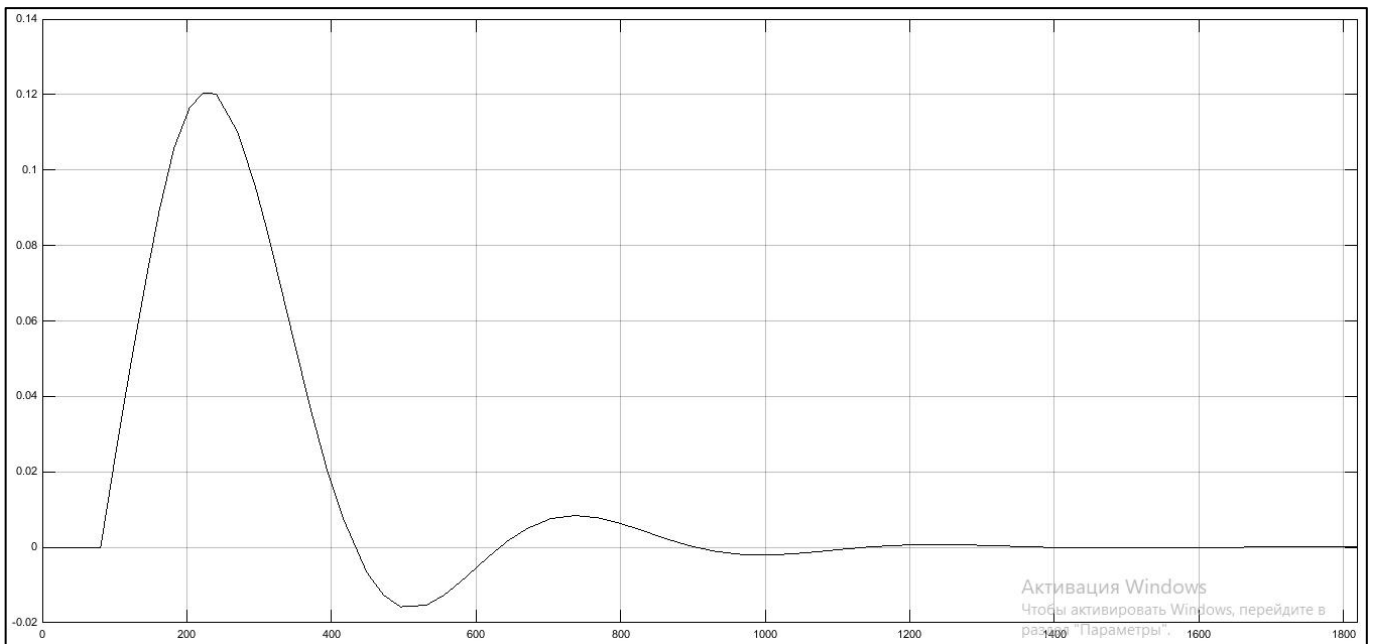


Рисунок 3.7-За каналом “збурення-вихід” перехідна характеристика

Таблиця №3.1 Прямі та інтегральні показники якості

Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	$I_{лін}$	23.82
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0.121	$I_{лін}^{абс}$	28.51
Ступінь затухання, $\Psi$	0.93	$I_{лін}^{кв}$	2.302
Перерегулювання, %	13.22	$I_{лін}^{швд}$	2.302
Час регулювання, $t_{рег}(с)$	805	$I_{лін}^{нас}$	557

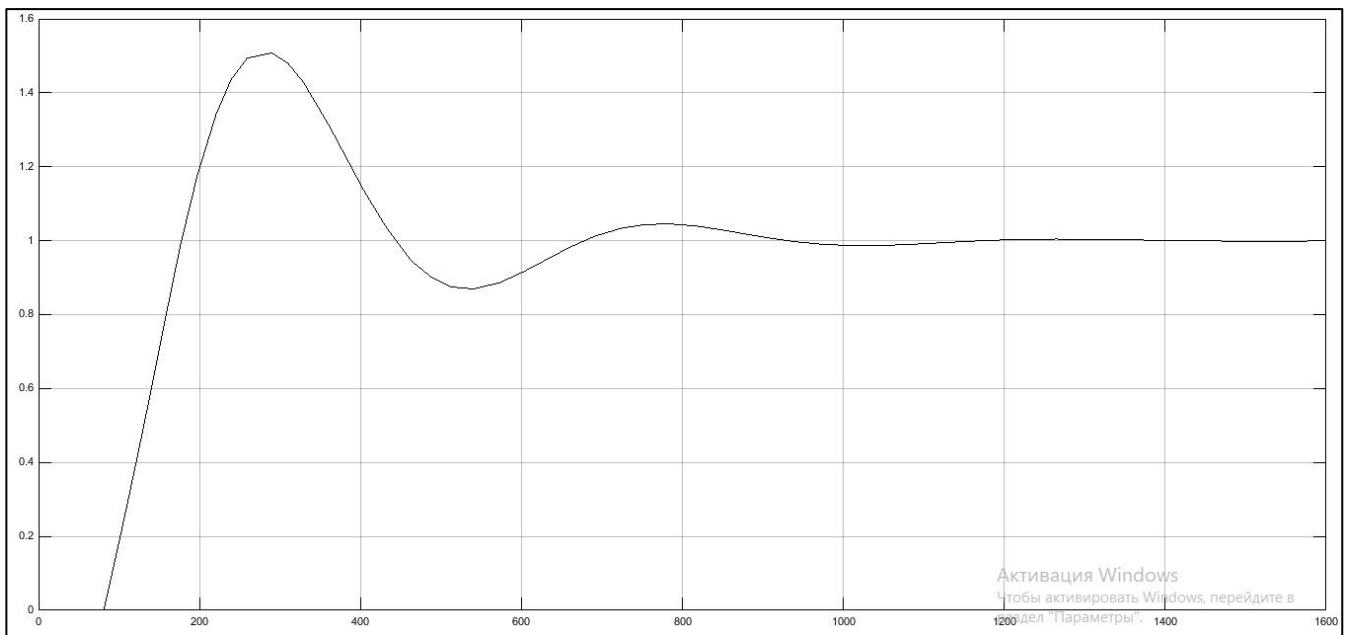


Рисунок 3.8-За каналом “завдання-вихід” перехідна характеристика

Таблиця №3.2 Прямі та інтегральні показники якості

Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	$I_{лін}$	1539
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0.5076	$I_{лін}^{абс}$	1539
Ступінь затухання, $\Psi$	0.91	$I_{лін}^{кв}$	1628
Перерегулювання, %	50.76	$I_{лін}^{швд}$	1629
Час регулювання, $t_{рег}(с)$	632.13	$I_{лін}^{нас}$	1316000

Для каналу завдання-вихід зробимо годограф АФХ замкненої системи з пропорційно-інтегральним регулятором. Через середовище Matlab отримаємо:

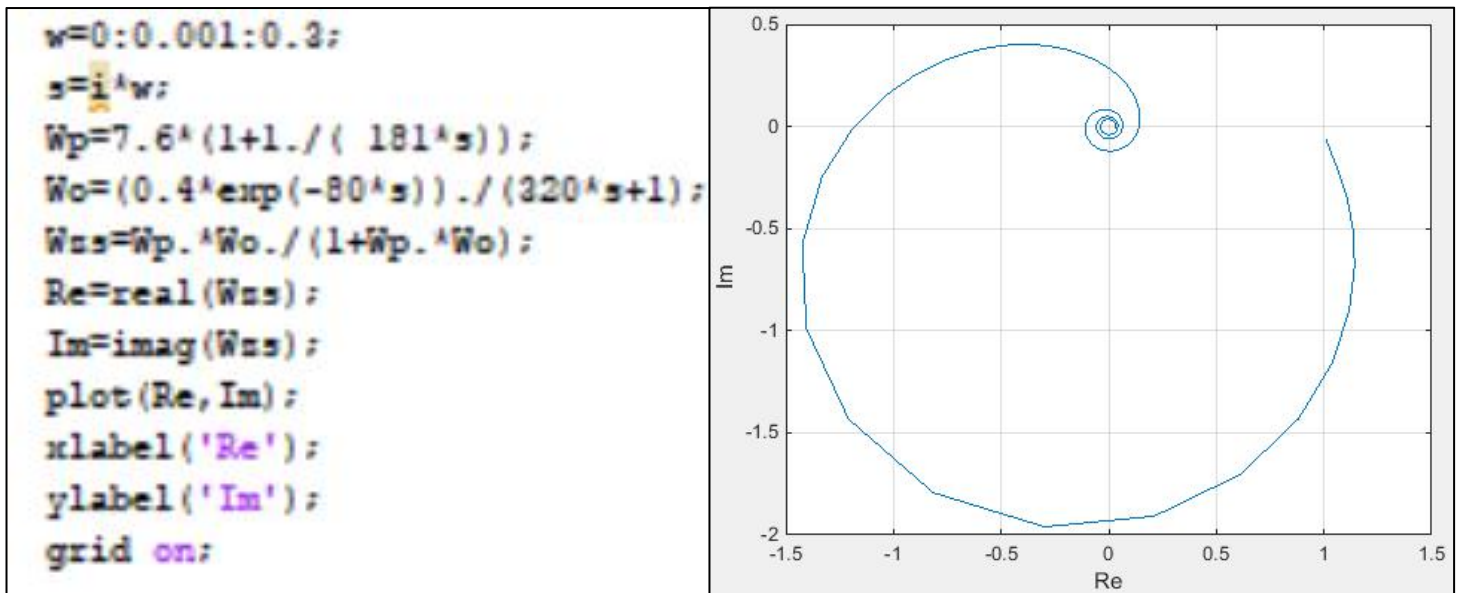


Рисунок 3.9-Для каналу завдання-вихід годограф АФХ замкненої системи з пропорційно-інтегральним регулятором

Для каналу збурення-вихід зробимо годограф АФХ замкненої системи з пропорційно-інтегральним регулятором. Через середовище Matlab отримаємо:

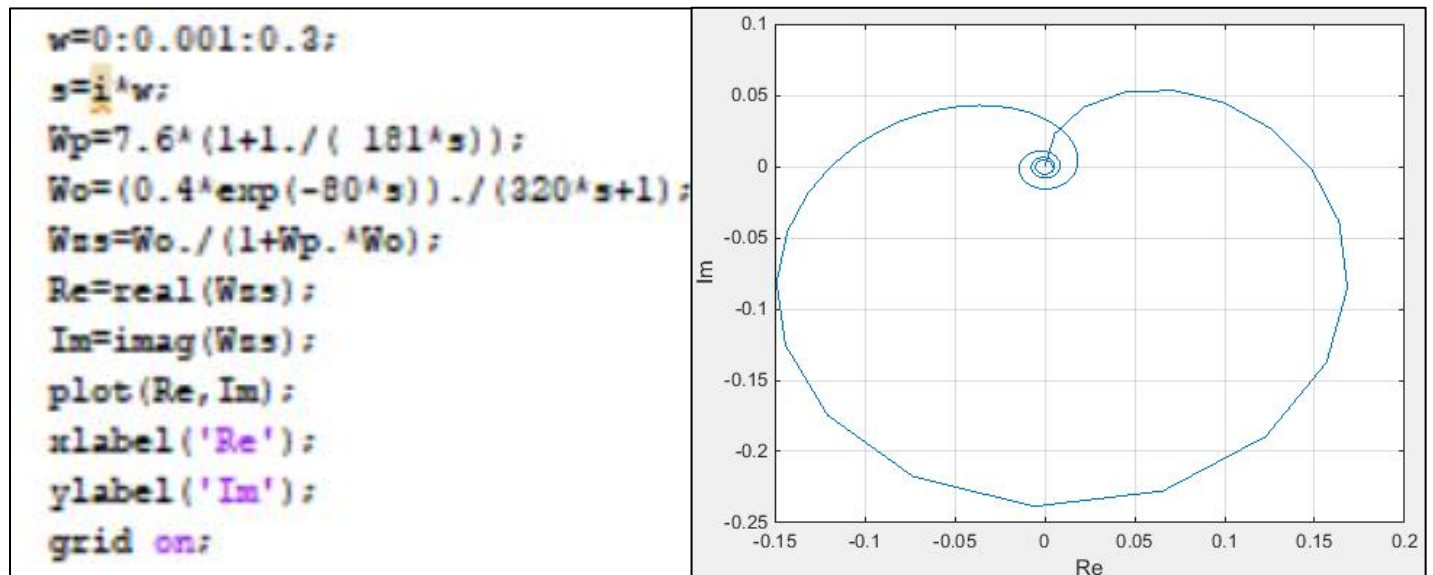


Рисунок 3.10-Для каналу збурення-вихід годограф АФХ замкненої системи з пропорційно-інтегральним регулятором

Для перевірки чи проходить РАФХ критичну точку  $(-1; j0)$  зробимо годографи АФХ і РАФХ розімкненої системи з пропорційно-інтегральним регулятором. Через середовище Matlab отримаємо:

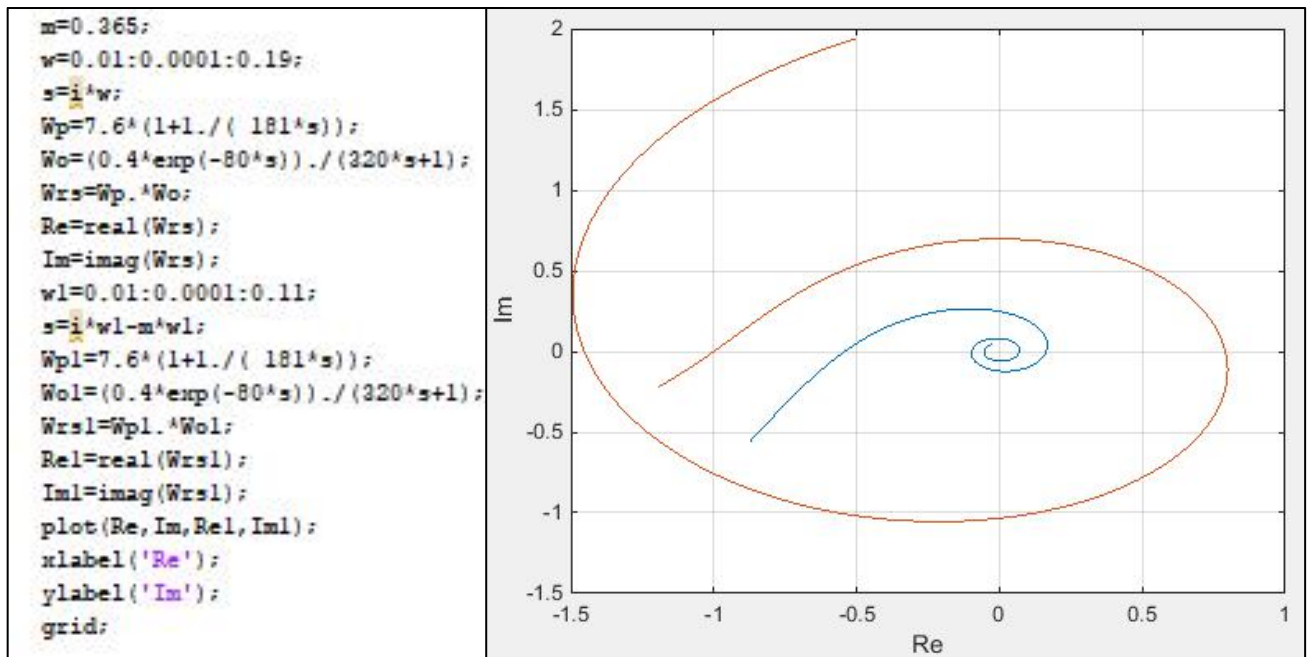


Рисунок 3.11- Годографи АФХ, РАФХ розімкнутої системи з пропорційно-інтегральним регулятором. РАФХ перетинає критичну точку(-1;j0)

Тепер зробимо те саме для корпусу №2.

Для розрахунку налаштувань ПІ-регулятора методом РАФХ для корпусу №2 задамо ступінь коливальності  $\Psi=0.9$ , а  $m=0.365$ .

Скористаємося наступними формулами:

$$K_p = - \frac{mQ_{об}(m, \omega) + P_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)}$$

$$K_I = - \omega(m^2 + 1) \frac{Q_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)}$$

де  $K_I = \frac{K_p}{T_I}$ ,  $A_{об}(m, \omega) = \sqrt{P_{об}^2(m, \omega) + Q_{об}^2(m, \omega)}$

Через середовище Matlab отримаємо:

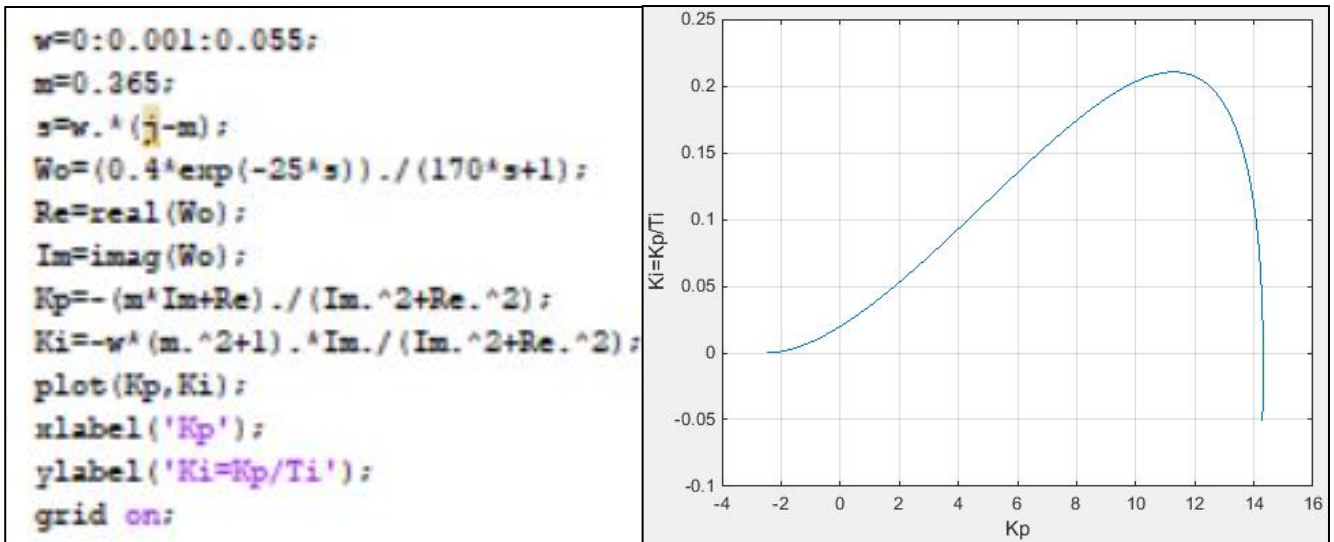


Рисунок 3.12-При ступені коливальності  $m=0.365$  наступна крива налаштувань параметрів для корпусу №2

Для знаходження необхідних налаштувань ПІ-регулятора візьмемо точку небагато правіше максимуму кривої та отримуємо:

$$K_p = 12.5; K_i = 0.2; T_i = 62.5.$$

Отже, отримуємо наступну передавальну функцію регулятора:

$$W_p(p) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i p}\right) = 12.5 \left(1 + \frac{1}{62.5 p}\right)$$

По отриманих налаштуваннях отримаємо наступну одноконтурну систему автоматичного управління:

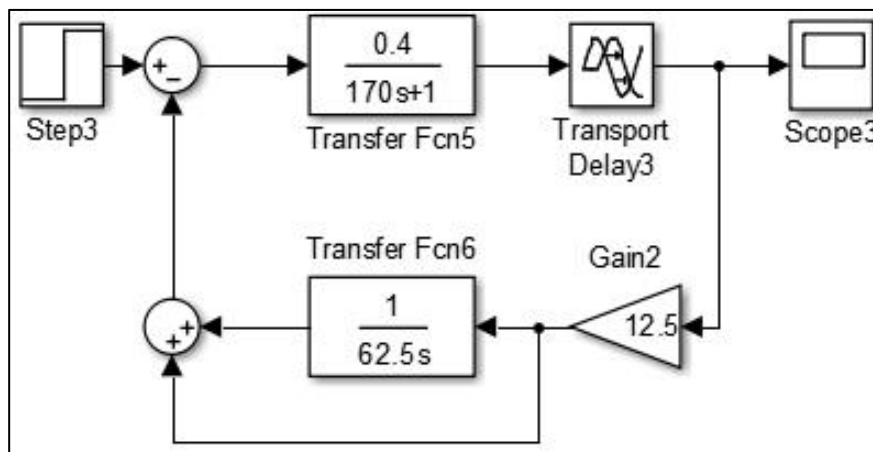


Рисунок 3.13-Одноконтурна система автоматичного управління корпусу №2 з пропорційно-інтегральним регулятором

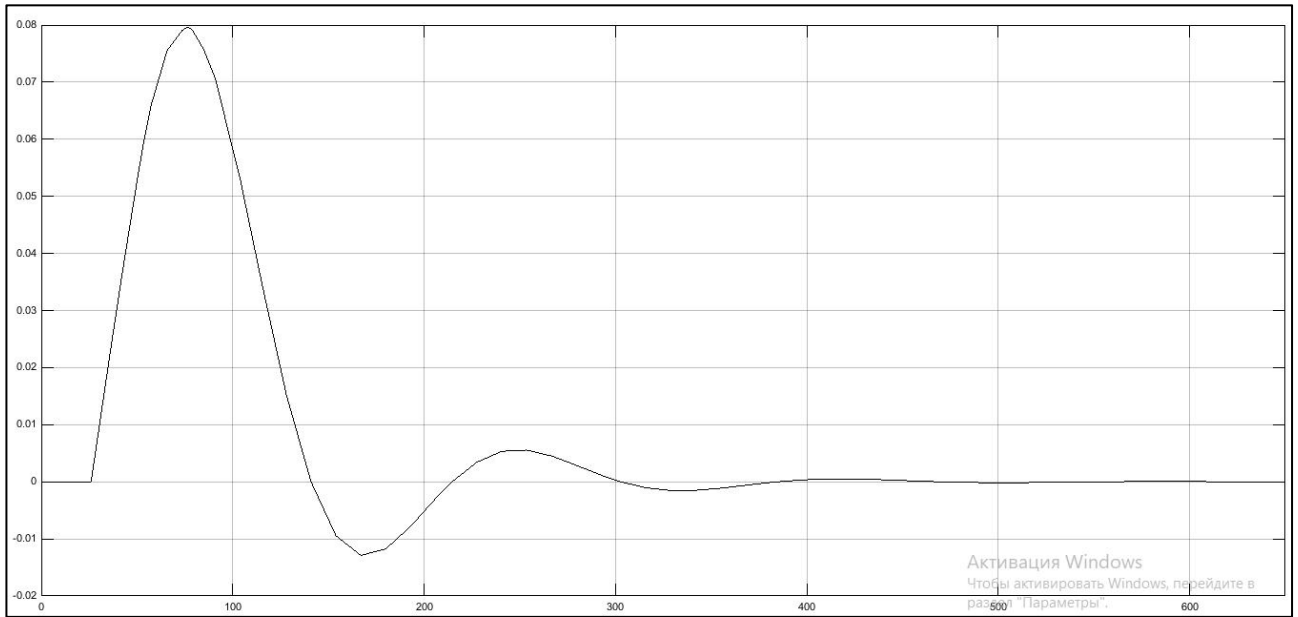


Рисунок 3.14-За каналом “збурення-вихід” перехідна характеристика

Таблиця №3.3 Прямі та інтегральні показники якості

Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	$I_{лін}$	5.001
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0.0796	$I_{лін}^{abc}$	6.336
Ступінь затухання, $\Psi$	0.93	$I_{лін}^{kb}$	0.3303
Перерегулювання, %	16.2	$I_{лін}^{швд}$	0.33
Час регулювання, $t_{рег}(с)$	270.87	$I_{лін}^{нас}$	26.5

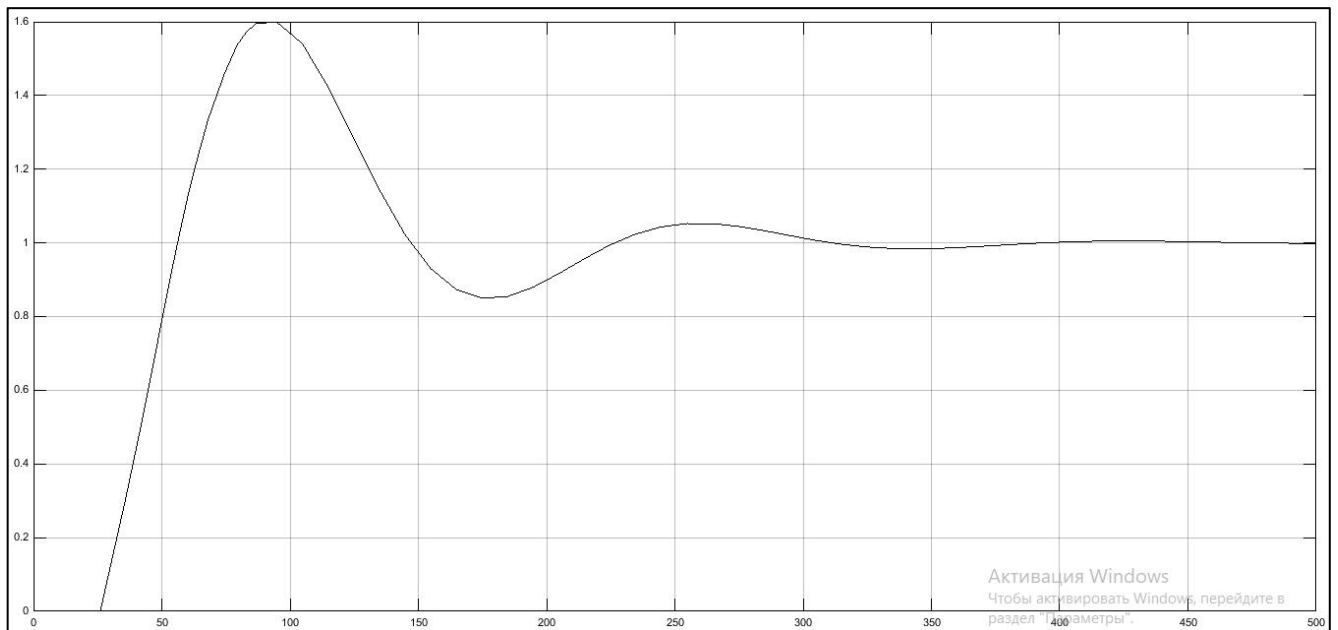


Рисунок 3.15-За каналом “завдання-вихід” перехідна характеристика



Таблиця №3.4 Прямі та інтегральні показники якості

Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	$I_{лін}$	486.5
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0.5993	$I_{лін}^{abc}$	486.5
Ступінь затування, $\Psi$	0.91	$I_{лін}^{кв}$	526.2
Перерегулювання, %	59.93	$I_{лін}^{швд}$	527.1
Час регулювання, $t_{рег}(с)$	267.7	$I_{лін}^{нас}$	130400

Для каналу завдання-вихід зробимо годограф АФХ замкненої системи з пропорційно-інтегральним регулятором. Через середовище Matlab отримаємо:

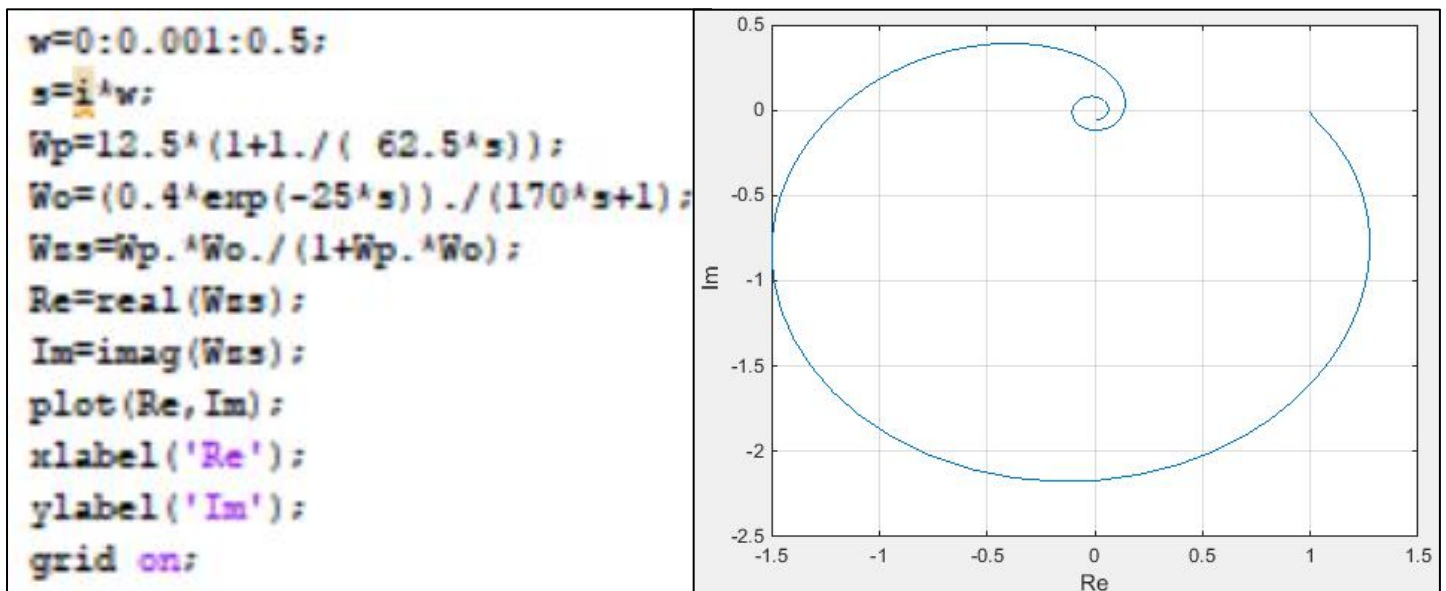


Рисунок 3.16-Для каналу завдання-вихід годограф АФХ замкненої системи з пропорційно-інтегральним регулятором

Для каналу збурення-вихід зробимо годограф АФХ замкненої системи з пропорційно-інтегральним регулятором. Через середовище Matlab отримаємо:

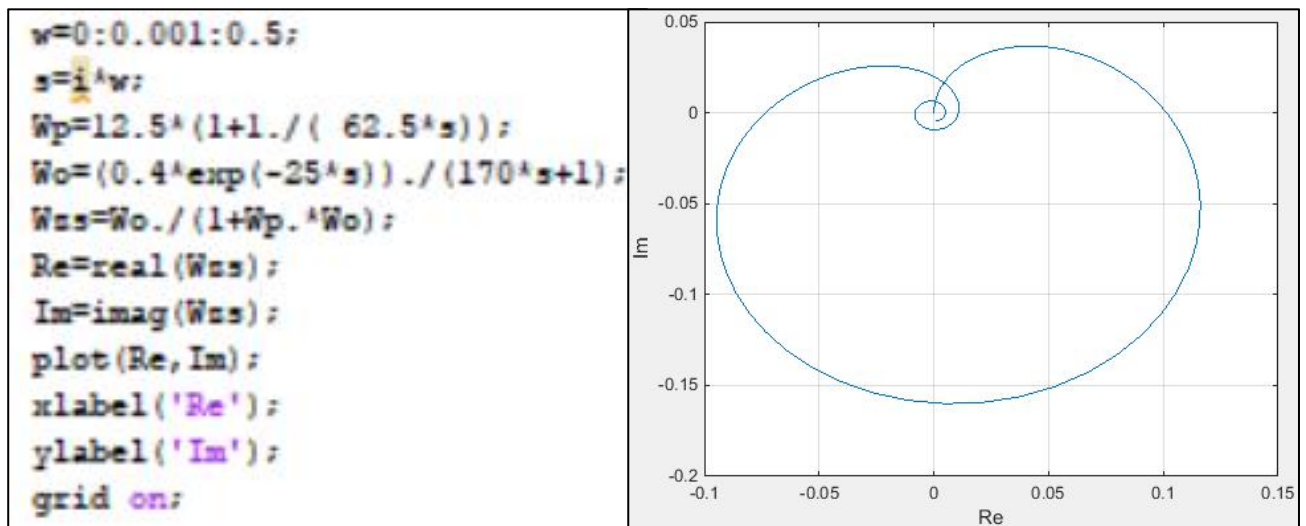


Рисунок 3.17-Для каналу збурення-вихід годограф АФХ замкненої системи з пропорційно-інтегральним регулятором

Для перевірки чи проходить РАФХ критичну точку  $(-1; j0)$  зробимо годографи АФХ і РАФХ розімкнутої системи з пропорційно-інтегральним регулятором. Через середовище Matlab отримаємо:

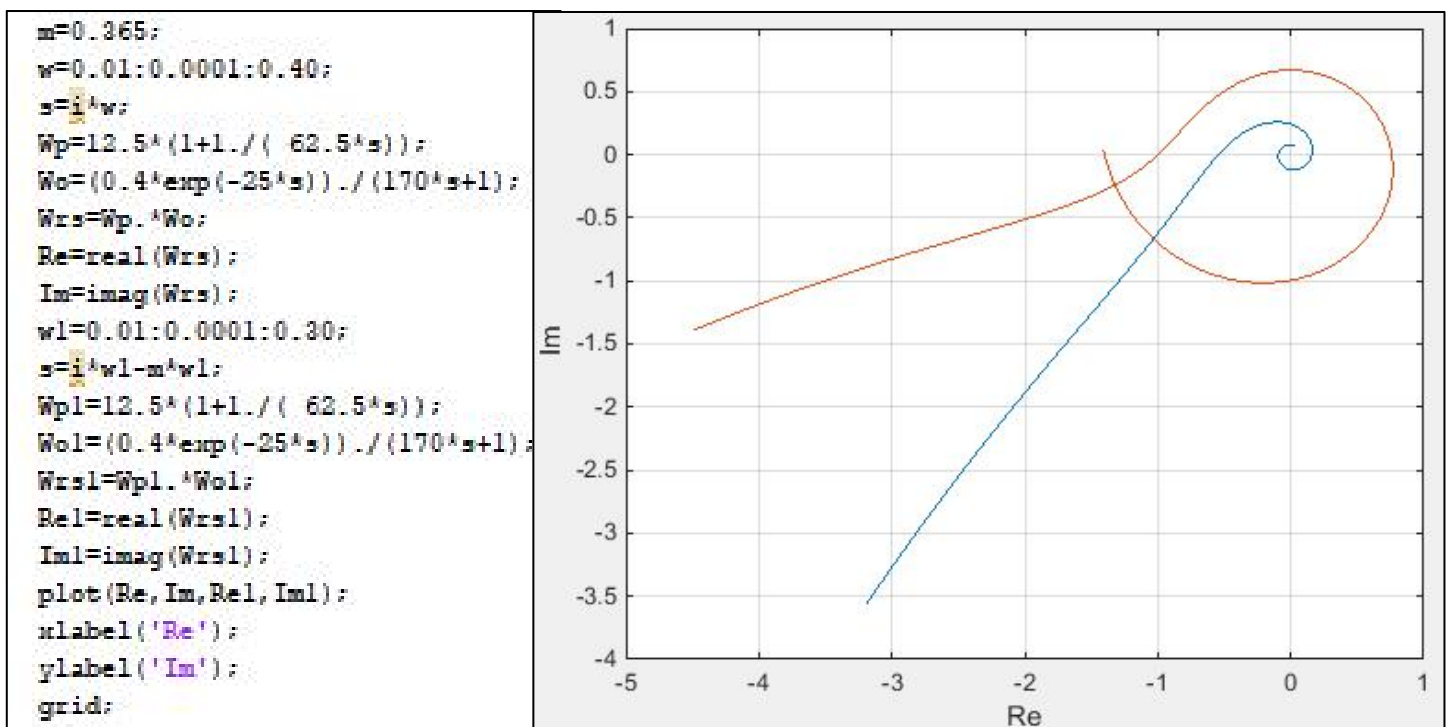


Рисунок 3.18- Годографи АФХ, РАФХ розімкнутої системи з пропорційно-інтегральним регулятором. РАФХ перетинає критичну точку  $(-1; j0)$

## Використання предиктора Сміта для покращення регулювання одноконтурної системи

Отриманий вище перехідний процес регулювання можна покращити завдяки впровадженню у систему предиктора Сміта. Предиктор Сміта призначений для того, щоб передбачити, котрий сигнал з'явиться на виході об'єкта, поки він там не з'явиться насправді. Оскільки можна вилучити затримку з моделі, виникає важлива можливість прогнозувати поведінку об'єкта, поки сигнал не з'явиться на його виході[4]. Система буде мати наступний вигляд:

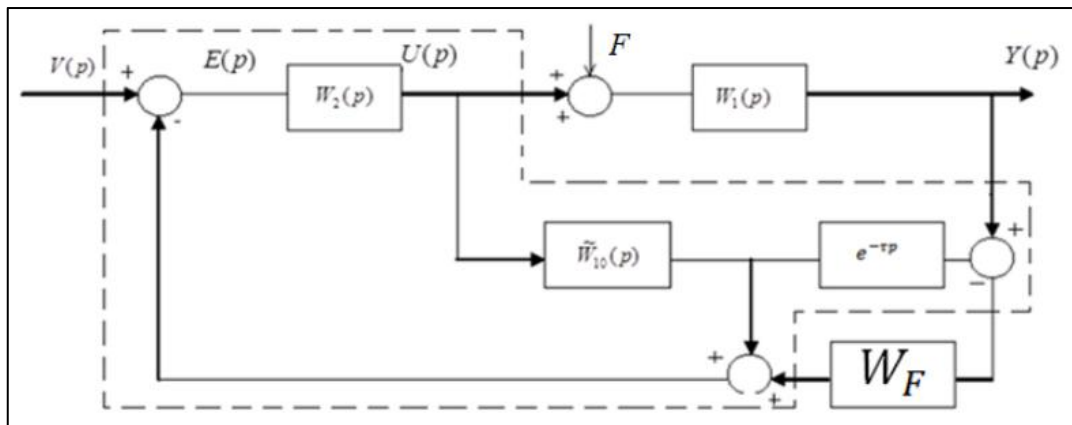


Рисунок 3.19-Модифікований предиктор Сміта із фільтром

Предиктор Сміта використовує внутрішню модель об'єкта  $\hat{W}_{10}(p)$  для прогнозування реакції об'єкта без запізнення. Потім він порівнює це передбачене значення з бажаним заданим значенням, щоб вирішити, які налаштування необхідні (управління  $u$ ). Після чого різниця сигналів реального об'єкта і його моделі подається назад через фільтр  $W_F$  на вхід системи та робить внесок у загальний сигнал помилки. Сам фільтр[5] описується за допомогою перехідної функції виду  $W_F = \frac{1}{Tfp+1} = \frac{1}{\rho\epsilon\tau+1}$ , де  $\epsilon=0,5$  і де  $\tau$  - час запізнення системи. Для корпусу №1 система прийме наступний вигляд (рисунок 3.20), а перехідний процес матиме вигляд (рисунок 3.21):

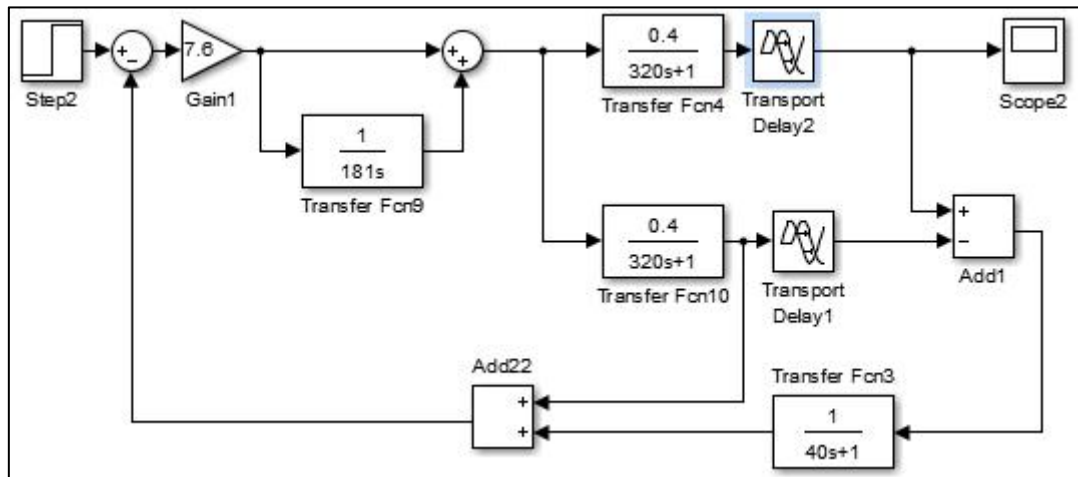


Рисунок 3.20-Одноконтурна система автоматичного управління корпусу №1 з пропорційно-інтегральним регулятором та предиктором Сміта

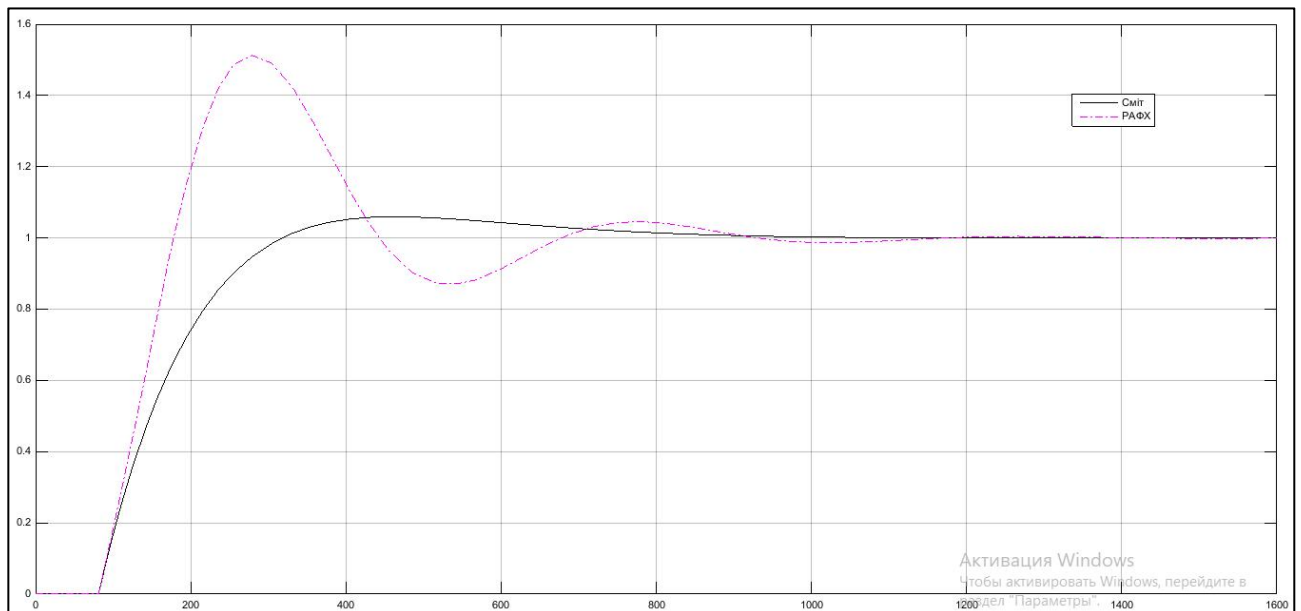


Рисунок 3.21-За каналом “завдання-вихід” перехідна характеристика

Таблиця №3.5 Прямі та інтегральні показники якості

Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	$I_{лін}$	1459
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0.0595	$I_{лін}^{abc}$	1459
Ступінь затухання, $\Psi$	1	$I_{лін}^{kb}$	1447
Перерегулювання, %	5.95	$I_{лін}^{швд}$	1448
Час регулювання, $t_{рег}(с)$	557	$I_{лін}^{нас}$	1283000

Як видно, якщо об'єкт управління та модель об'єкта у предикторі Сміта збігаються, то перехідний процес покращується у чому можна переконатись порівнявши показники якості з таблиць 3.2 та 3.5. Але на практиці дуже важко (практично не можливо) досконально визначити реальну модель об'єкта, також запізнення може змінюватись з часом. Тому треба перевірити систему з предиктором Сміта на стійкість, проварювавши значення  $T$  та  $\tau$  моделі на 25%. Отримаємо наступні перехідні процеси:

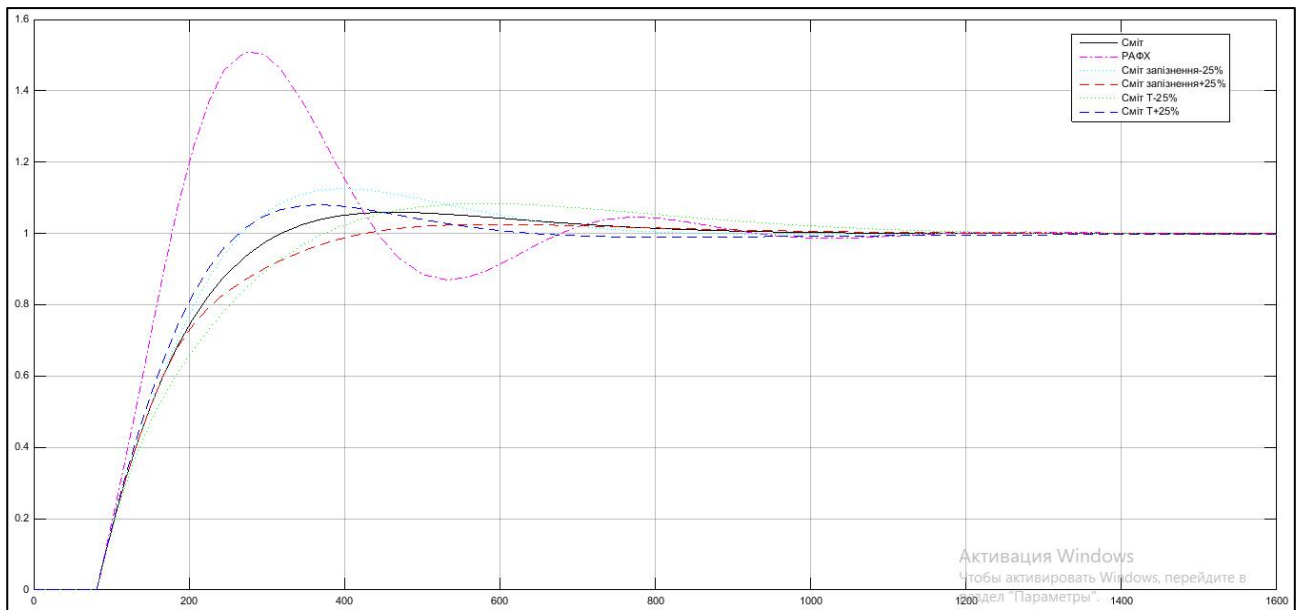


Рисунок 3.22-Перехідні процеси з варіацією параметрів моделі

Як видно по рисунку 3.22 система зберігає стійкість при варіації  $T$  та  $\tau$  моделі на 25% та навіть перехідні процеси з предикторами Сміта виглядають візуально краще, ніж перехідний процес зі звичайним пропорційно-інтегральним регулятором.

Зробимо те саме для каналу збурення-вихід:

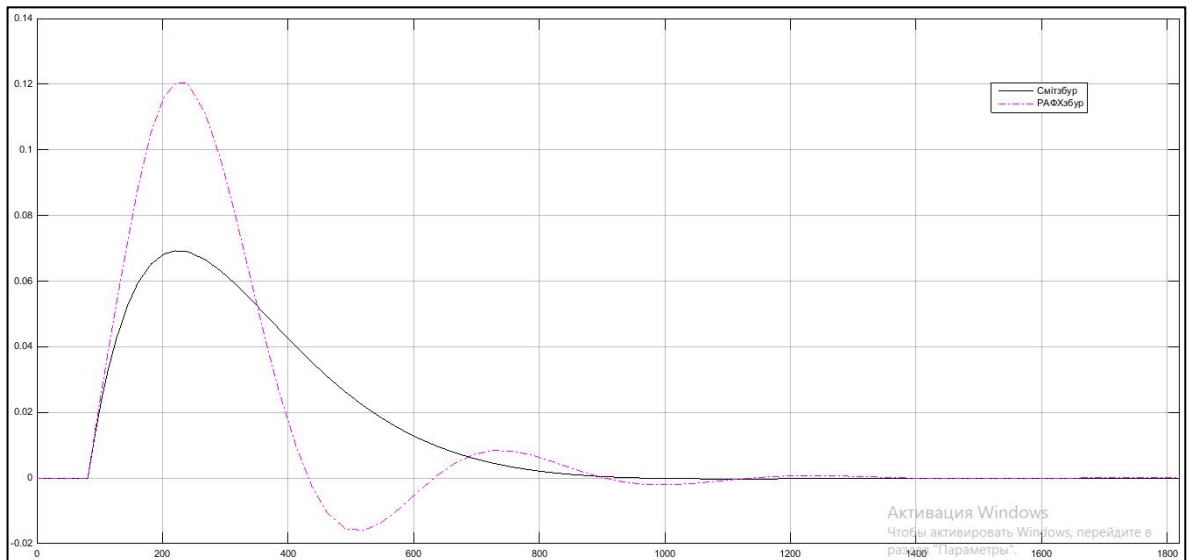


Рисунок 3.23-За каналом “збурення-вихід” перехідна характеристик

Таблиця №3.6 Прямі та інтегральні показники якості

Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	$I_{лін}$	23.81
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0.0692	$I_{лін}^{абс}$	23.99
Ступінь затування, $\Psi$	1	$I_{лін}^{кв}$	1.178
Перерегулювання, %	0.38	$I_{лін}^{швд}$	1.178
Час регулювання, $t_{рег}(с)$	754.2641	$I_{лін}^{нас}$	330.5

Як можна побачити порівнявши показники якості із таблиць 3.1 і 3.6 для перехідного процесу за каналом збурення-вихід для корпусу №1 використання предиктора Сміта пішло на користь.

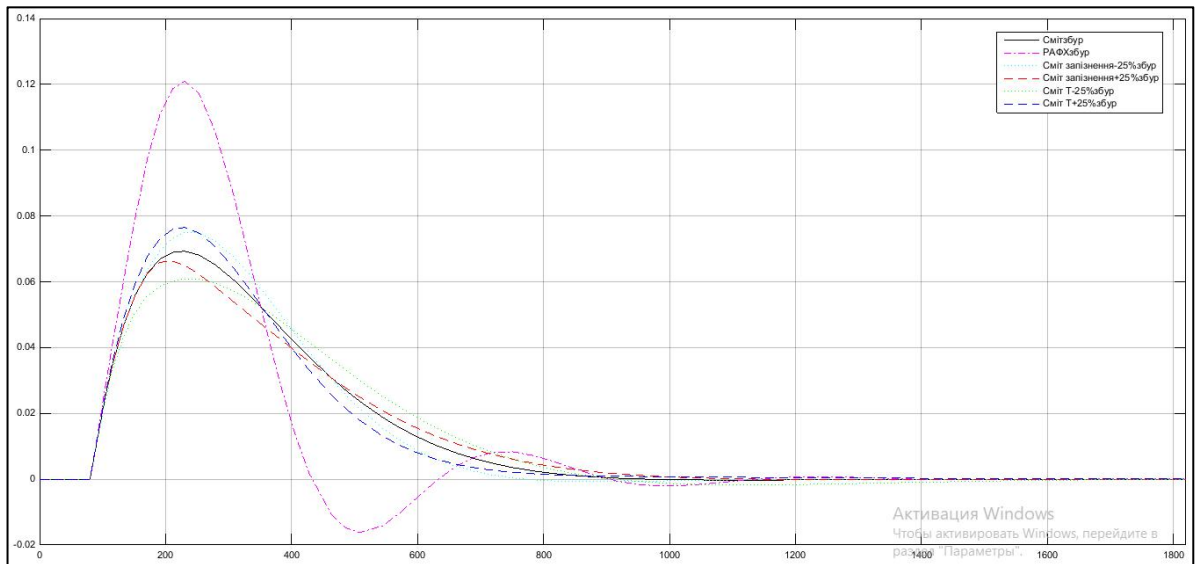


Рисунок 3.24-Перехідні процеси з варіацією параметрів моделі

Тепер застосуємо предиктор Сміта для корпусу №2:

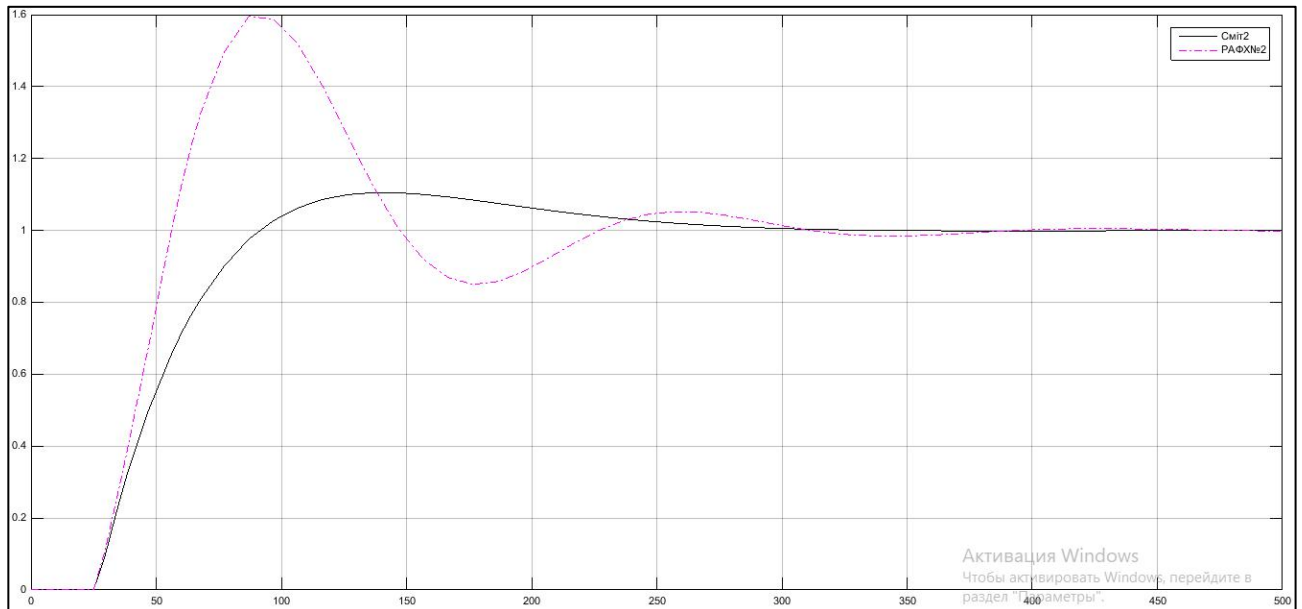


Рисунок 3.25-За каналом “завдання-вихід” перехідна характеристика

Таблиця №3.7 Прямі та інтегральні показники якості

Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	$I_{лін}$	461.4
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0.1053	$I_{лін}^{abc}$	461.4
Ступінь згашення, $\Psi$	1	$I_{лін}^{qw}$	464
Перерегулювання, %	10.53	$I_{лін}^{швд}$	465.1
Час регулювання, $t_{рег}(с)$	213.65	$I_{лін}^{нас}$	127100

Як можна побачити порівнявши показники якості із таблиць 3.4 і 3.7 для перехідного процесу для корпусу №2 використання предиктора Сміта пішло на користь.

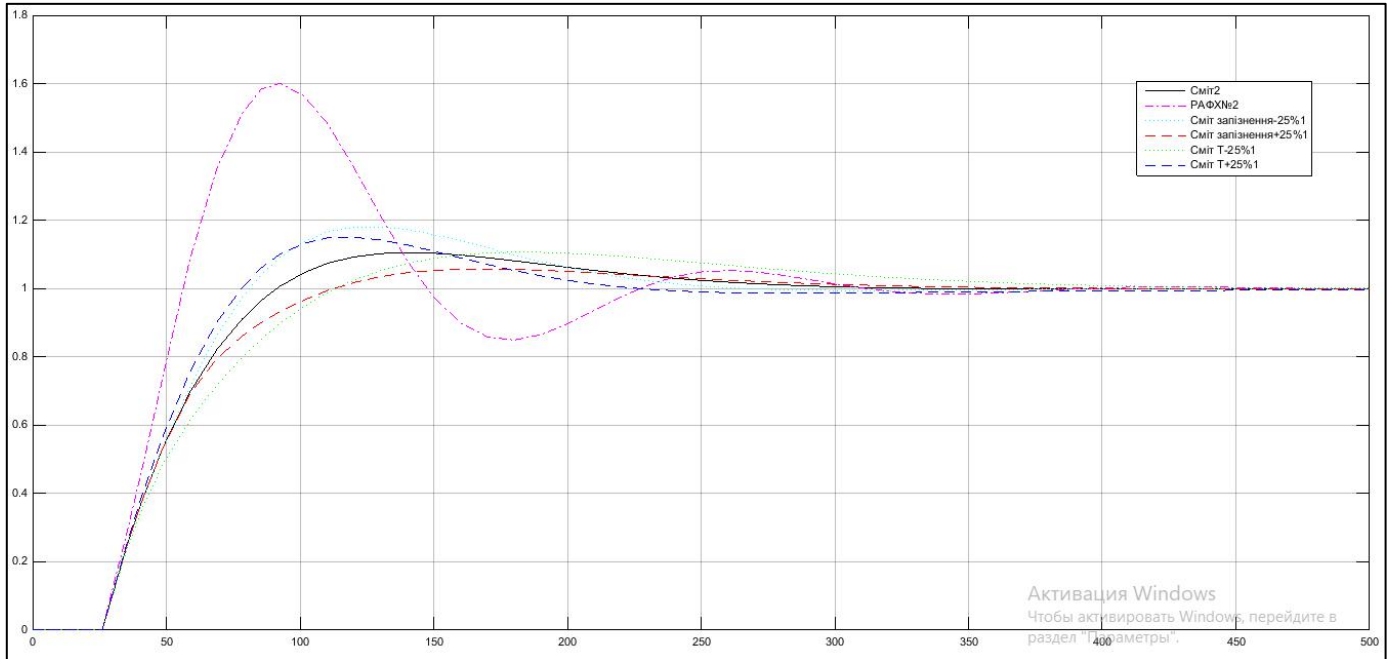


Рисунок 3.26-Перехідні процеси з варіацією параметрів моделі

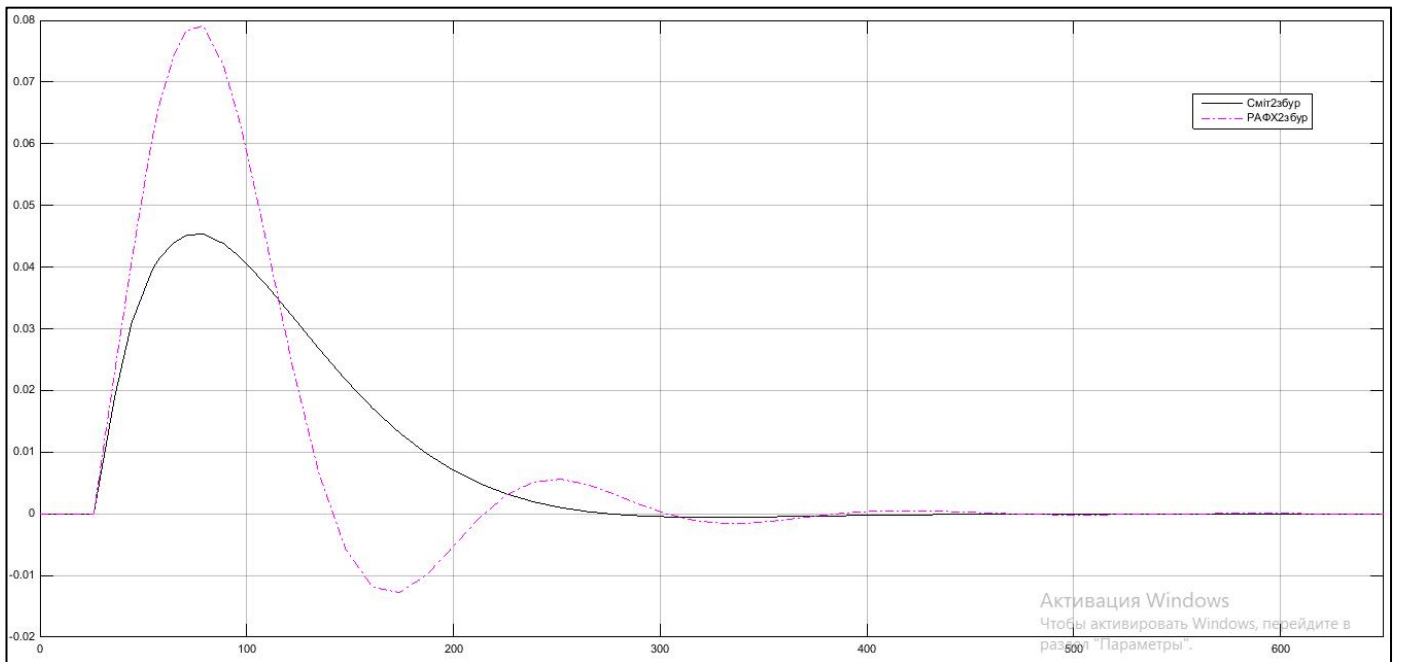


Рисунок 3.27-За каналом "збурення-вихід" перехідна характеристик



Таблиця №3.8 Прямі та інтегральні показники якості

Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	$I_{лін}$	4.99
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0.0454	$I_{лін}^{абс}$	5.114
Ступінь затування, $\Psi$	1	$I_{лін}^{кв}$	0.1662
Перерегулювання, %	1.23	$I_{лін}^{швд}$	0.1661
Час регулювання, $t_{рег}(с)$	235.1238	$I_{лін}^{нас}$	15.29

Як можна побачити порівнявши показники якості із таблиць 3.3 і 3.8 для перехідного процесу за каналом збурення-вихід для корпусу №2 використання предиктора Сміта пішло на користь.

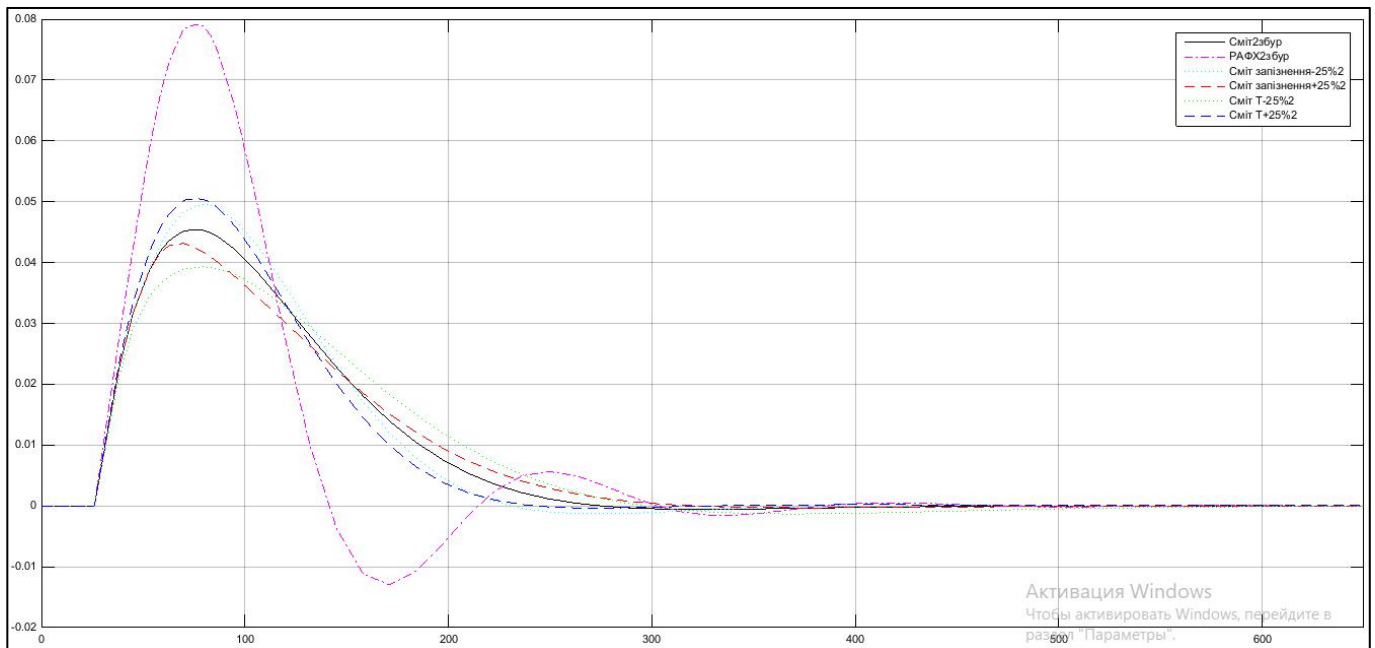


Рисунок 3.28-Перехідні процеси з варіацією параметрів моделі

## Висновки

У ході проведення розрахунків було отримано методом РАФХ ПІ-регулятори для корпусу №1 та корпусу №2. Перехідні процеси отримані за участі знайдених регуляторів задовольняли поставленим вимогам, але було вирішено покращити їх за допомогою предиктора Сміта. Після використання предиктора Сміта перехідні процеси покращилися, а саме зменшився час перехідного процесу, зменшилося перерегулювання та зменшилась динамічна похибка, але хочеться зазначити, що найкращий результат був отриманий коли модель об'єкта збігалася з об'єктом управління, тобто чим краще ми зможемо ідентифікувати об'єкт управління, тим краще буде результат. Також були перевірені перехідні процеси, що були отримані у разі не збігання моделі об'єкта та об'єкта управління. Перевірка показала, що у разі не збігання перехідний процес погіршується, але не стає гіршим ніж при відсутності предиктора Сміта.

### 3.3. Розробка технічного забезпечення системи управління

#### Забезпечення технологічних вимірювань

- 1) Тиск у трубопроводі теплових мереж (поз. 2а, 3а) та тиск у подавальному трубопроводі системи теплопостачання (поз. 4а-6а) вимірюється датчиком надлишкового тиску Сафір серія 2 xxx Асс. Діапазон вимірювання: (0...10) МПа. Вихідний сигнал: (0-5)мА, (4-20)мА. Похибка: 0,25% FS.
- 2) Тиск у зворотному трубопроводі системи теплопостачання (поз. 18а-20а) вимірюється датчиком абсолютного тиску Сафір серія 2 xxx Ф. Діапазон вимірювання: (0...1,6) МПа. Вихідний сигнал: (0-5)мА, (4-20)мА. Похибка: 0,1% FS.
- 3) Температура теплоносія у подавальному трубопроводі систем теплопостачання (поз. 33а, 34а) та у зворотному трубопроводі систем

теплопостачання (поз. 35а, 36а) вимірюється термоперетворювачем ТСхУ 0104. Номінальна статична характеристика: 100М. Діапазон температури: (0...200) °С. Клас точності: 0.25. Вихідний сигнал: (4-20)мА.

- 4) Спожита теплота (поз. 1в) вимірюється ультразвуковим теплотічильником СЕМПАЛІ СВТУ-10М у комплектацію якого входить: термоперетворювач опору ТСП-С  $L_{TC}=80$ , що встановлений на подавальному (поз. 1-1б) та зворотному (поз. 2-1б) трубопроводі системи теплопостачання і ділянка витратомірна з ультразвуковими датчиками витрати РУ-50, що встановлена на подавальному (поз. 1-1а) та зворотному (поз. 2-1а) трубопроводі системи теплопостачання. Робочий діапазон температур: (0,1...150) °С. Робочий тиск: (0...16) бар. Похибка по витраті: 1%. Похибка по теплу: 1.5%. Діапазон теплової потужності: (0.0018 - 11) Гкал/год. Діапазон об'ємної витрати теплоносія (води)м<sup>3</sup>/h:  $Q_{min}=0.35$ ,  $Q_{min}=0.7$ ,  $Q_t=1.4$ ,  $Q_{max}=70$ . Інтерфейси: RS-232, RS-485.

### Опис РО і ВМ системи

Для впливу на подачу теплоносія у систему опалення було вибрано виконавчий механізм: регулятор теплового потоку RV122 DN40 з електроприводом ANT11.20. Клапан RV122 LDM - це регулюючий вентиль з розвантаженим конусом компактної конструкції із зовнішнім приєднувальним різьбленням. Допустимі робочі середовища: вода, стиснене повітря. Матеріал корпусу: чавун. Регулюючий орган: сідельний клапан.  $T_{max}$  (для води): 150 °С.  $T_{min}$  (для води): 2 °С. Електромеханічні приводи ANT 11 призначені для керування регулюючими вентилями LDM ряду RV 122 BEE line. Мають можливість вибору типу керування: (0...10) V, (2...10) V, (0...20) mA, (4...20) mA (у приводах з прямим керуванням).

Також для забезпечення надійності роботи системи в цілому і стабільності тиску у трубопроводі системи опалення використовується регулятор перепаду тиску. Регулятор перепаду тиску LDM RD 122D DN40

прямої дії являє собою арматуру, призначену для фіксування постійної різниці тиску в даному обладнанні. Діапазон рег. (0.4-2.2) бар. Матеріал корпусу: чавун. Тип з'єднання: муфтове або фланцеве.  $T_{\max}$  (для води): 150 °С.  $T_{\min}$  (для води): 2 °С. Допустимі робочі середовища: вода, стиснене повітря, пар.

Також у системі на зворотному трубопроводі системи опалення встановлені циркуляційні насоси (поз. Н1.1, Н1.2, Н2.1, Н2.2) Stratos MAXO 80/0,5-16. Має 2 аналогових входи, що налаштовуються: (0 – 10) В, (2 – 10) В, (0 – 20) мА, (4 – 20) мА і стандартний РТ1000; джерело живлення з +24 на пост. струму. Максимальний робочий тиск РN: 10 бар. Напір  $H_{\max}$ : 15,9 м. Витрата  $Q_{\max}= 74,0$  м<sup>3</sup>/год. Макс. Т рідини, що перекачується:  $T_{\max}=110$  °С.

### **Вибір для забезпечення контролерної автоматизації**

У якості контролера для даної системи був обраний TM172PDG42SI, оскільки він призначений для систем опалення, має саме стільки аналогових входів та виходів, скільки нам потрібне та поновністю задовольняє всім поставленим умовам у тому числі експлантаційним. Має можливість для майбутнього розширення системи завдяки додаванню додаткових модулів. Надійний від перевіреного світового виробника Schneider Electric та дешевший відносно своїх конкурентів на кшталт Siemens AG.

Обраний контролер має наступні характеристики[6]:

1. Основні характеристики:

- ◆ Серія: Modicon M171/M172;
- ◆ Тип продукту: програмований контролер;
- ◆ Спеціальна сфера застосування продукту: управління ОВіК (опалення, вентиляція і кондиціонування);
- ◆ Виконання: програмований;
- ◆ Загальна кількість входів/виходів: 42;
- ◆ Кількість дискретних входів: 12;
- ◆ Кількість дискретних виходів:

-2 для релейні виходи SPDT із незалежною загальною точкою;

-3 для релейні виходи SPST з однією загальною точкою;

-2 для релейні виходи SPST з однією загальною точкою;

-2 для напівпровідниковий, з розв'язкою SPST із незалежною загальною точкою;

◆ Струм дискретного виходу:

-3 А для реле SPDT;

-3 А для реле SPST;

-0.5 А для напівпровідниковий, з розв'язкою;

◆ Кількість аналогових входів: 12 налаштовуються попарно;

◆ кількість аналогових виходів:

-4 напруга, діапазон: (0...10) V;

-2 напруга/струм, діапазон: (4...20) mA or (0...10) V або ШІМ (до 2 kHz).

2. Додаткові характеристики:

● Кількість портів:

-1 порт CAN - клемний блок з гвинтовими затискачами;

-1 USB типу А - USB тип А female;

-1 USB типу міні В - USB порт Mini-B;

-2 RS485 - клемний блок з гвинтовими затискачами (послідовна шина Modbus RTU або ВАСnet MS/TP);

-1 Ethernet - RJ45 (Modbus TCP та ВАСnet IP з вебсервером);

● Кількість вх/вих.:

-12 аналоговий вхід(с);

-6 аналоговий вихід(с);

-12 дискретне введення(с);

-12 дискретний вихід(с);

● Тип дискретних входів: "Приймач" або "джерело" (позитивна/негативна);

● Напруга дискретного входу: 24 V пров./пост. струму;

● Струм дискретного входу: 2,5 mA;

● Локальна індикація:

- Програмований: 1 світлодіод (червоний);
- Програмований: 1 світлодіод (жовтий);
- Програмований: 1 світлодіод (зелений);
- Потужність: 1 світлодіод (зелений);

- Ширина: 144 мм;
- Висота: 110 мм;
- Глибина: 60,5 мм;
- Вага нетто: 0,385 кг.

### 3. Умови експлуатації

- Температура навколишнього середовища:
  - (-20...65) °C відповідно до UL 60730-1;
  - (-20...55) °C горизонтальне встановлення;
- Температура навколишнього середовища при зберіганні: (-30...70) °C;
- Відносна вологість: (5...95) % без утворення конденсату;
- Ступінь захисту IP: IP20;
- Ступінь забруднення: 2.

### **Вибір для забезпечення мережевого обміну даними**

Зв'язок між персональним комп'ютером оператора та обраним контролером серії Modicon M172 не відбувається на пряму, а проходить через сервер SmartX AS-P. Своєю чергою програмуємо логічний контролер Modicon M172 зв'язаний з сервером SmartX AS-P завдяки Ethernet - RJ45 (Modbus TCP та ВАСnet IP з вебсервером), а сервер SmartX AS-P у свою чергу зв'язаний з персональним комп'ютером оператора, на котрому розташована SCADA система, також завдяки Ethernet (TCP/IP).

### **Опис отриманої структури ПТК**

Розроблена структура ПТКЗА має наступний вигляд:

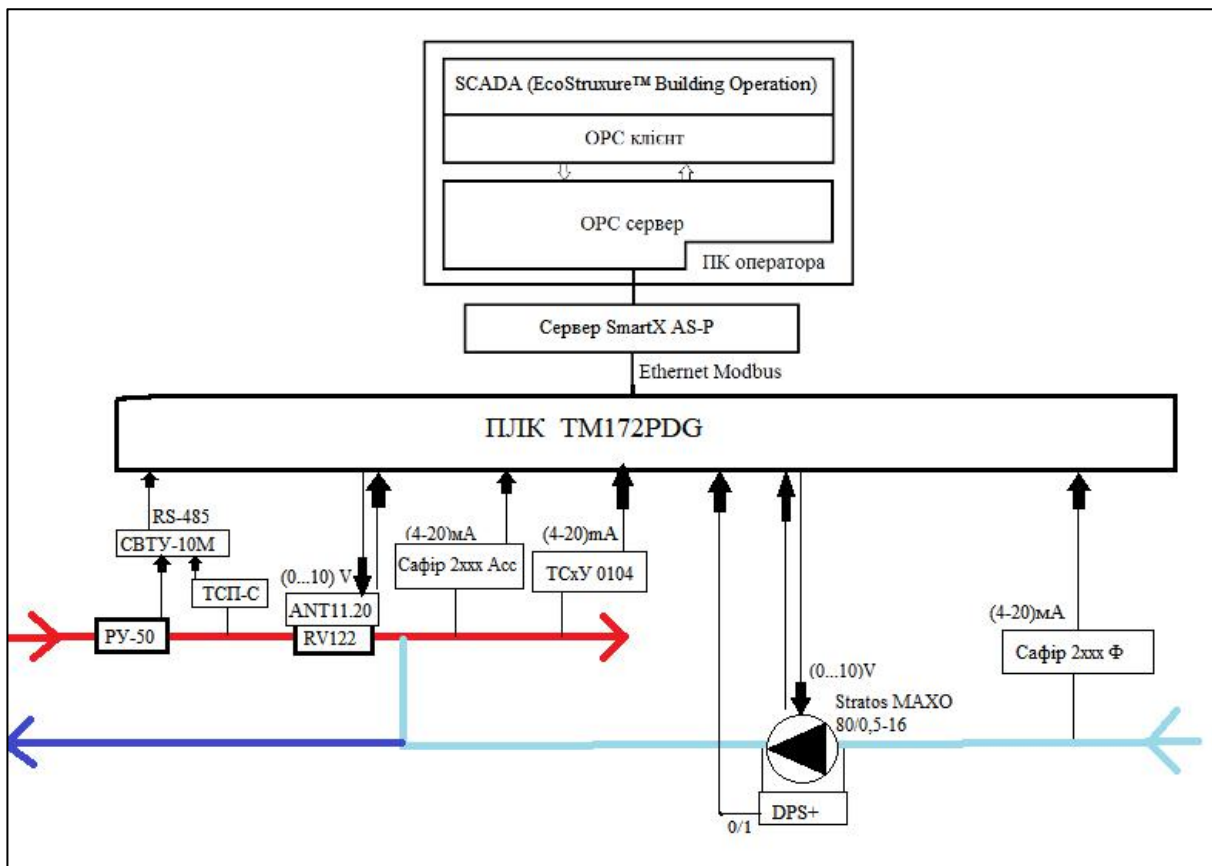


Рисунок.3.29-Структурна схема ПТКЗА для ІТТ

У даній роботі було реалізована дворівнева автоматична АСК ІТТ. Польовий (нижній) рівень складається з датчиків, ПЛК, виконавчих механізмів. Верхній же рівень складається з ПК оператора на якому реалізована SCADA-система.

Для підвищення надійності та скорочення часу на усунення можливих неполадок у ході роботи системи у всіх датчиків є вбудовані перетворювачі первинних сигналів в уніфіковані сигнали.

ВМ мають закінчену структуру пристроїв, що мають вбудовані блоки управління для прямого управління обладнанням. Передача усіх команд та зворотних сигналів відбувається уніфіковані струмові сигнали.

SCADA-система, що міститься у персональному комп'ютері оператора виконує наступні функції: диспетчеризації, відтворення ТП у реальному часі, відтворювання параметрів, дозволяє встановлювати режим керування, відтворює тренди й попередження та інші функції SCADA-системи.

Польовий та верхній рівні системі тримають зв'язок один з одним через сервер SmartX AS-P за допомогою Ethernet (Modbus TCP). Також можливе підключення інших пристроїв через сервер SmartX AS-P.

### **3.4. Розробка програмного забезпечення системи управління**

#### **Вибір для реалізації супервізорної автоматизації**

Опираючись на те, що для забезпечення контролерної автоматизації був обраний контролер фірми Schneider Electric, то логічним рішенням є обрати SCADA-систему їх виробництва для уникнення сюрпризів. Компанія Schneider Electric пропонує різні SCADA-системи виходячи з об'єкта автоматизації. Для систем опалення фірма Schneider Electric пропонує EcoStruxure Building Operation WorkStation. EcoStruxure Building Operation WorkStation – це повнофункціональне середовище для експлуатації та адміністрування системи. WorkStation є інтерфейс, через який користувачі можуть відстежувати споживання енергії й постійно покращувати ефективність експлуатації будівлі. WorkStation – це інтерфейс, за допомогою якого користувачі та інженери отримують доступ до своїх серверів EcoStruxure BMS. Ця програма дозволяє переглядати графічні елементи, сигнали тривоги, розклади, журнали реєстрації трендів та звіти, а також керувати ними. Інженери можуть конфігурувати та підтримувати всі аспекти рішення EcoStruxure BMS. Більш детальна інформація та більше переваг наведені у [7].

#### **Створення SCADA-системи**

У даному проєкті у якості SCADA-системи була обрана EcoStruxure Building Operation WorkStation. Але демонстрація можливостей побудови SCADA-системи, SCADA-система була зроблена за допомогою ITECH v8.1



Intouch Edge HMI. Це можливо завдяки тому, що обидві системи мають однакові стандарти, принцип побудови та схожість інтерфейсів.

Розроблена мною SCADA-система складається з п'яти вікон кожне з яких виконує свою важливу функцію. Розглянемо детально кожне з них окремо:

1) Перше вікно Menus. Це перше вікно котре бачить користувач. Це вікно призначене для того аби авторизувати користувача та надати йому можливість перейти в інші вікна. Після авторизації, якщо надані права йому дозволяють користувач може перейти у наступні вікна: Mimics, Control, Alarms, Trends. Також у не залежності від рівня прав користувача йому доступна кнопка Exit котра виводить користувача із системи. Посередині вікна розташований годинник котрий показує час у цифровому варіанті та шкальному також показує дату. Вікно Menus виглядає наступним чином:

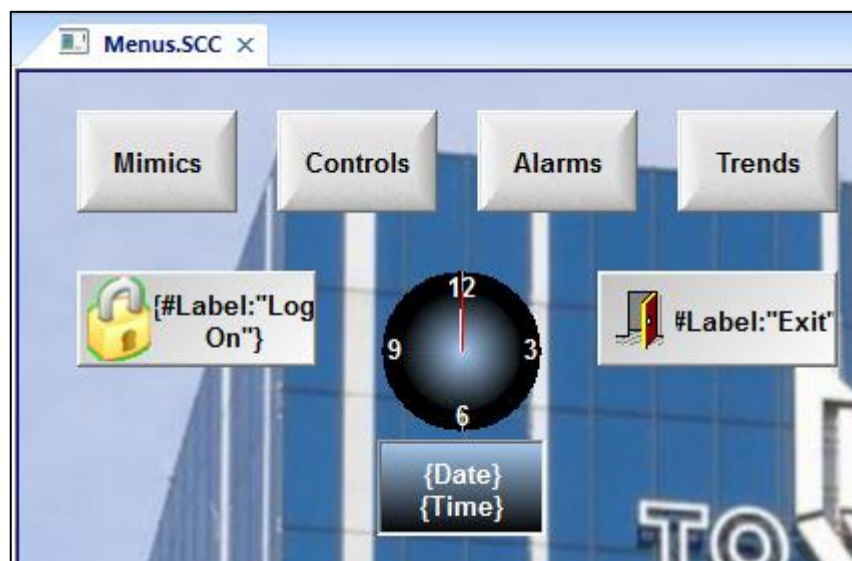


Рисунок 3.30-Вигляд вікна Menus

2) Друге вікно Mimics. У це вікно можна перейти з вікна Menus. Це вікно призначене для того аби демонструвати технологічний процес користувачу та дати йому можливість втручатись у нього за потреби. У цьому вікні на місці виміру на технологічній схемі процесу будуть показуватися:

- ◆ усі вимірювальні технологічні параметри у реальному часі з показанням їх маркування згідно ФСА;

◆ усі виконавчі механізми їх стан та положення.

Якщо виконавчий механізм працює, то світиться зеленим кольором. Є можливість самостійно вносити значення положення, стан виконавчого механізму. Також у даному вікні є можливість повернутися у вікно Menus завдяки кнопці, розташованій у правому верхньому куті з написом Menus. Саме вікно Mimics виглядає наступним чином:

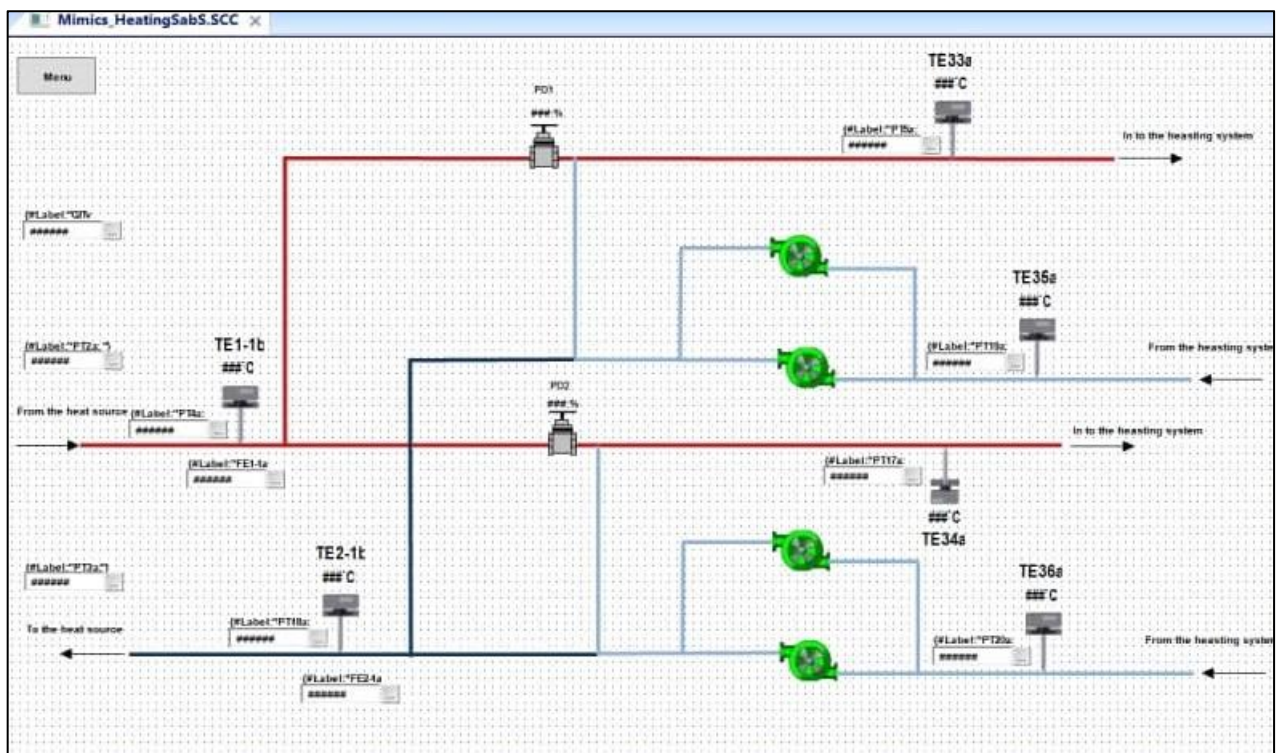


Рисунок 3.31-Вигляд вікна Mimics

3) Третє вікно Control. У це вікно можна перейти з вікна Menus. Це вікно призначене для того аби користувач користувався додатками, які необхідні йому для роботи. У даному вікні присутні наступні додатки: калькулятор, записник, браузер, які можна обрати натиснувши на відповідні кнопки з зображенням та назвою. Розглянемо наявні додатки більш детально справа наліво:

а) Калькулятор дозволяє користувачу за необхідністю проводити математичні розрахунки. Використовуючи усі чотири арифметичні операції;

- б) Записник дозволяє користувачу вносити будь-які нотатки, котрі він вважає за необхідне: від списку доручень, заміток з перехідного процесу до власних мемуарів;
- с) Браузер дозволяє користувачу отримати доступ до всесвітньої мережі інтернет для будь-яких негайних потреб.

За потреби у дане вікно можна також додати інші додатки на вимогу користувача. Також у даному вікні є можливість повернутися у вікно Menus завдяки кнопці, розташованій у правому верхньому куті з написом Menus. Саме вікно Control виглядає наступним чином:

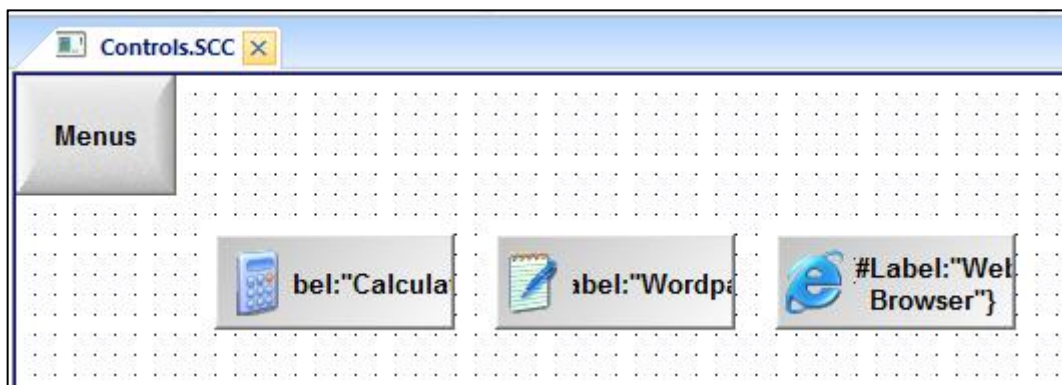


Рисунок 3.32-Вигляд вікна Control

- 4) Четверте вікно Alarms. У це вікно можна перейти з вікна Menus. Дане вікно призначене для того аби інформувати користувача про актуальні попередження, небезпечні ситуації й тому подібне. Наприклад вихід параметра за визначені межі, несправність виконавчого механізму і таке інше. Також у даному вікні присутня історія попереджень та історія дій користувача. Після того як попередження буде розглянуто оператором воно перестане бути червоним. Також у даному вікні є можливість повернутися у вікно Menus завдяки кнопці, розташованій у правому верхньому куті з написом Menus. Саме вікно Alarms виглядає наступним чином:



Рисунок 3.33-Вигляд вікна Alarms

5) П'яте вікно Trends. Дане вікно призначене для того аби користувач міг дивитися тренди усіх вимірювальних параметрів у реальному часі, а також дане вікно надає можливість переглядати історичні записи показників усіх вимірювальних параметрів. Також у даному вікні є можливість повернутися у вікно Menus завдяки кнопці, розташованій у правому верхньому куті з написом Menus. Саме вікно Trends виглядає наступним чином:

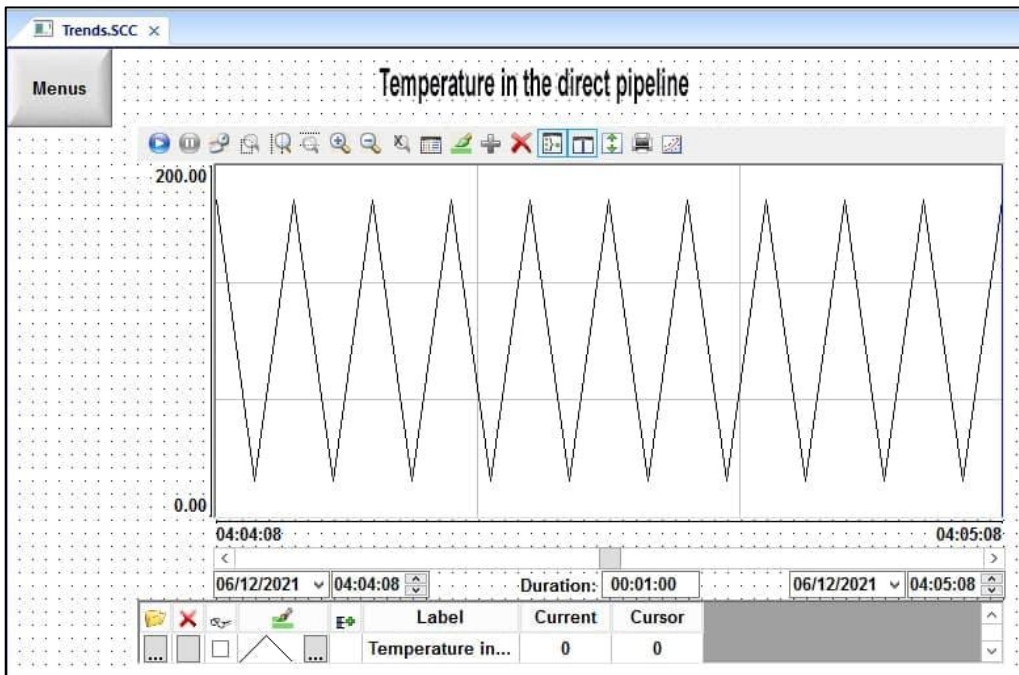


Рисунок 3.34-Вигляд вікна Trends

Таким чином у розробленій мною SCADA-системі були реалізовані усі основні функції SCADA-систем, а саме: обмін даними (між SCADA та PLC), візуалізація, архівування даних, алармування, математичні обчислення, тренди, Web доступ та інше.

### **Розробка програми для ПЛК**

У даній роботі був обраний контролер TM172PDG42SI виробника Schneider Electric. Але для демонстрації можливостей побудови програми для ПЛК, програма була написана у середовищі CODESYS. Це можливо завдяки стандартизованості мов IEC61131. Сам код програми наведений у додатку А. У даній програмі реалізований регулятор з предиктором Сміта.

### **3.5.Імітаційне моделювання і аналіз функціонування автоматизованого технічного комплексу**

#### **Структура полігону**

Розроблений мною програмний прототип для моєї системи опалення має наступні складові частини:

- ✓ Реалізовану у Matlab (Simulink) модель об'єкту;
- ✓ Написану програму у Codesys для ПЛК;
- ✓ Реалізовану завдяки Intouch SCADA-систему.

Усі перелічені складові зв'язані між собою за допомогою протоколів взаємодії:

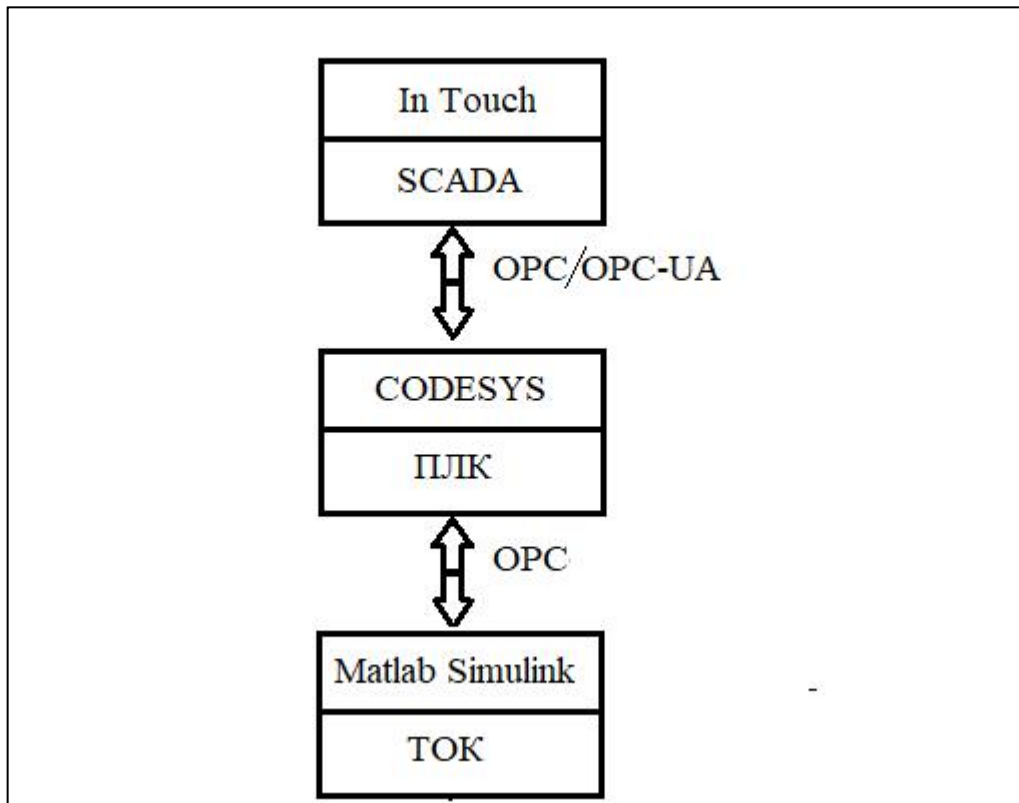


Рисунок 3.35-Структура полігону

### Моделювання імітаційне технологічного об'єкта керування

Реалізація SCADA-системи була наведена вище так само як і реалізація програми для ПЛК. А реалізована у Simulink модель технологічного об'єкта керування виглядає наступним чином:

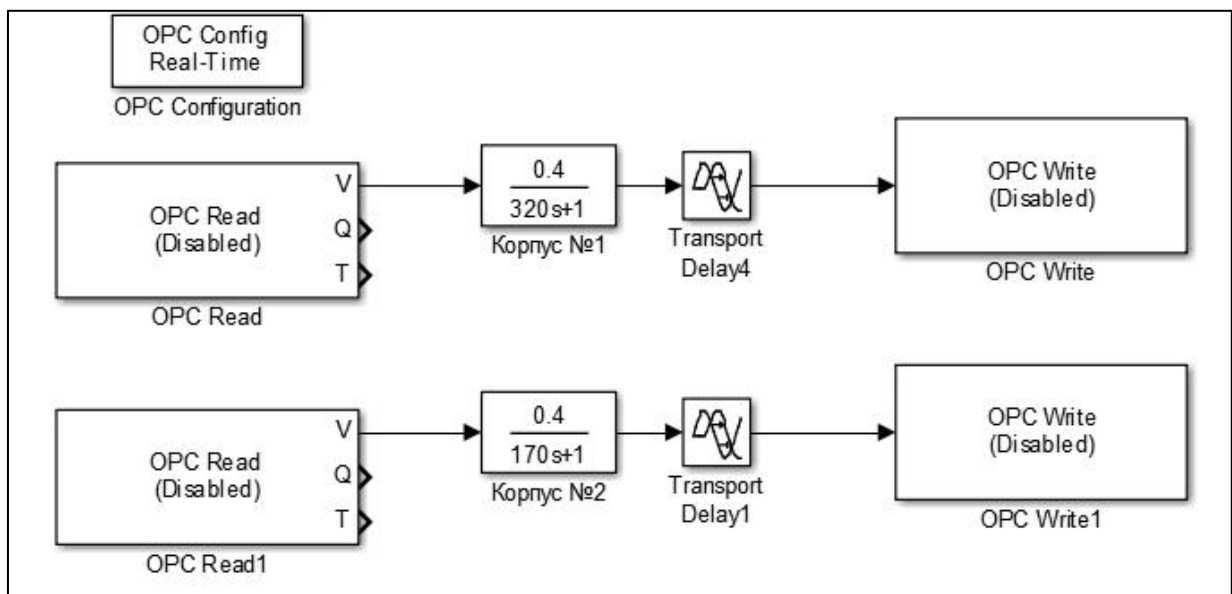


Рисунок 3.36-Модель об'єкта, яка реалізована в Simulink

## Випробування на полігоні імітаційної моделі та аналіз функціонування автоматичної системи керування

Перш за все треба включити у роботу програмне забезпечення написане в CODESYS на імітаційному контролері CODESYS Control WIN V3 й ввімкнути конфігуратор OPCConfig.

По-друге, необхідно запусити моделювання у Matlab встановивши Stop time = inf.

По-третє, треба запусити створену SCADA-систему та подивитися як контролюється робота системи опалення.

Коли ми запускаємо SCADA-систему, то потрапляємо у вікно Menu. Де нам потрібно вести свій логін та пароль для авторизації, як це показано на рисунку 3.37.

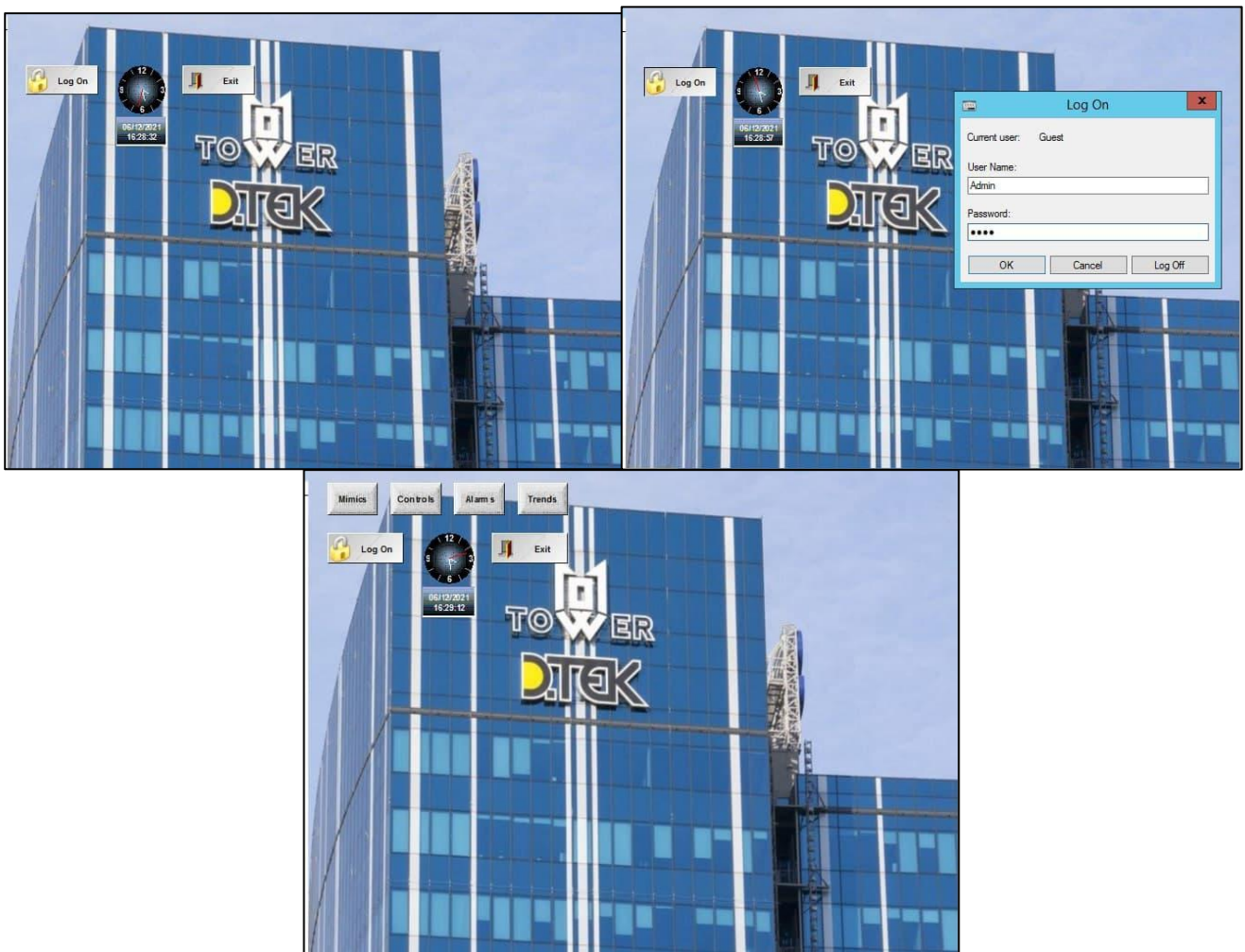


Рисунок 3.37-Вхід та авторизація у SCADA-системі

Щоб побачити сам технологічний процес нам треба перейти у вікно Mimics для цього натискаємо на кнопку з назвою Mimics. Як видно на рисунку 3.38 перед нами представлено вигляд системи в цілому з показаннями всіх технологічних параметрів. Як ми можемо зауважити температура зворотного теплоносія з корпусу №1 сильно піднялася, через що PO1 почав закриватися. Також як ми бачимо PO1 та PO2 світяться зеленим, що свідчить про їх роботу. Також варто зазначити, що працює лише один із насосів на зворотному трубопроводі з кожного корпусу, як і має бути.

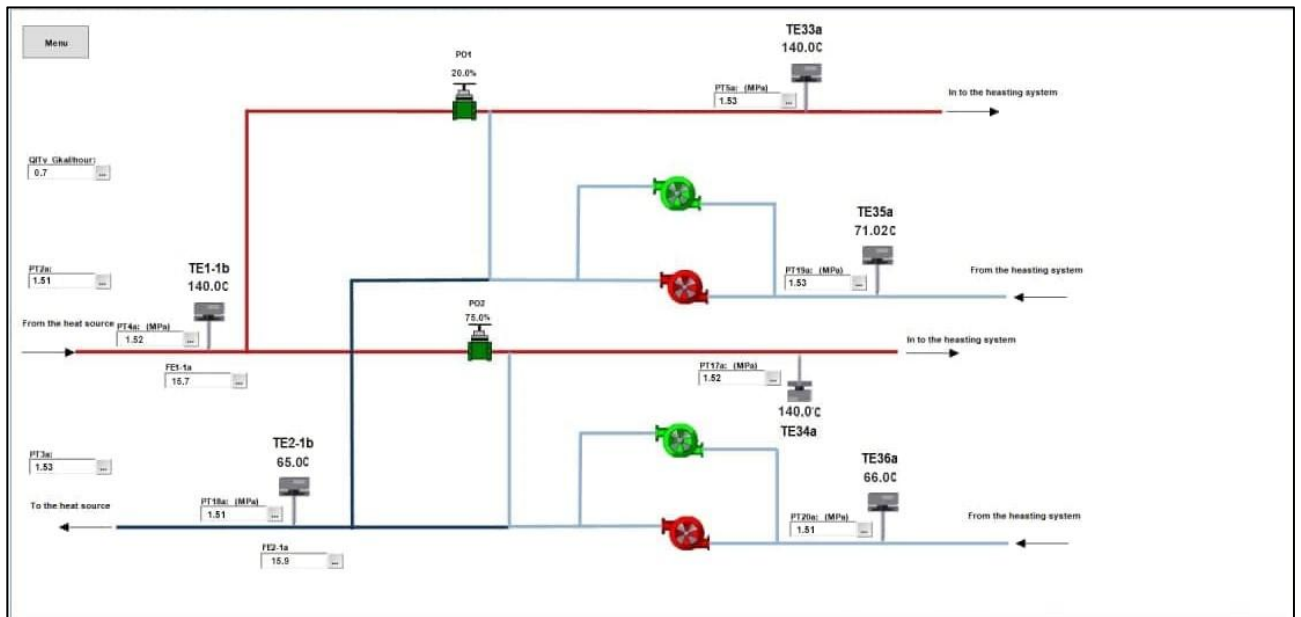


Рисунок 3.38-Робота мнемосхеми у розпалі випробувань полігонних

Також перевіримо чи працює система попередження. Для цього повернемося у вікно Menus, щоб це зробити треба натиснути на кнопку розташовану у правому верхньому куті з написом Menus. Опинившись у вікні Menus треба натиснути на кнопку з написом Alarms для того, щоб перейти у вікно Alarms. Як ми бачимо на рисунку 3.39 серед активних попереджень висить повідомлення, що температура у зворотному трубопроводі зависока, що відповідає дійсності. Також можна побачити івенти, в яких прослідковується наш вхід в систему.





Рисунок 3.39-Робота системи попередження та логування подій у розпалі випробувань полігонних

Підбивши підсумки випробувань полігонних можна дійти висновку, що система працює справно, бо температура зворотного теплоносія з корпусу №1 через деякий час нормалізувалася.

### 3.6. Висновки

У даному розділі була виконана робота над розробкою системою управління ІТП. У ході даної розробки була створена ФСА об'єкта та підібране усе необхідне обладнання від вимірюючих пристроїв до виконуючих механізмів, регулюючих органів та засобів сигналізації, для його функціонування. Була розроблена схема ПТКЗА дивіться рисунок 3.25. Визначені межі основних параметрів та точність їх виміру. Була розроблена схема керування температурою теплоносія у зворотному трубопроводі та розрахований для даної схеми регулятор класичним методом РАФХ, а потім схема з регулятором була вдало модернізована за допомогою предиктора Сміта, завдяки чому

вдалося покращити перехідний процес. Також для функціонування системи була розроблено програмне забезпечення у вигляді SCADA-системи та програми для ПЛК. У SCADA-системі були реалізовані усі необхідні функції покладені на верхній рівень, а саме: візуалізація, архівування, алармування, тренди та інше. У програмному коді для ПЛК був реалізований регулятор та перемикач насосів. Об'єднавши модель об'єкта в Simulink, написаний програмний код та розроблену SCADA-систему була отримана імітаційна модель об'єкта, яка успішно пройшла полігоні випробування. У підсумку ми маємо розроблену робочу систему опалення.

## 4. Розроблення стартап-проєкту

### 4.1. Опис ідеї проєкту (товару, послуги, технології)

Дана магістерська робота полягала у модернізації уже наявного ІТП шляхом застосування новітніх засобів автоматизації та передових способів регулювання, моделювання та ідентифікації об'єкта (системи опалення будівлі). Основна ж ідея стартап-проєкту полягає у тому, аби за шаблоном даної роботи модернізувати вже існуючі ІТП або створювати нові. Це є дуже актуальною ідеєю, оскільки більшість будинків в Україні не мають ІТП, а споживають тепло напряму від постачальника, не регулюючи самостійно споживання. Дана ситуація склалася через те, що більшість будівельного фонду країни є спадщиною радянського союзу. У радянські часи проєктувальник не переймалися скільки й хто буде споживати й скільки це буде коштувати, бо в країні панувала політика соціалізму, коли держава компенсувала витрати на опалення і не споживачі, не постачальники не були зацікавлені в економії та ефективному споживанні, бо і ті й інші жили на дотації. Зараз же в країні відбуваються зміни в політиці будівельного фонду. Багато громад, установ, підприємств отримують від держави у своє безпосереднє користування будівлі та як ніколи зацікавлені у модернізації/встановленні ІТП, оскільки самостійно сплачують за своє опалення. Зважаючи на енергетичну кризу у світі навіть не значне, на перший погляд покращення ефективності роботи ІТП може призвести до значної економії на опаленні. Модифікація вже наявних ІТП буде здійснюватись шляхом заміни за потреби старого обладнання на більш точне сучасне та покращення регулювання подачі теплоносія шляхом впровадження у регулятор предиктора Сміта. Підсумуємо вище сказане у вигляді таблиці:

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Модернізація наявних ІТП покращення регулятора впровадження	Модернізація програмного технічного забезпечення для сучасних ІТП	Покращення ефективності регулювання опаленням, що призводить до економії на опаленні
Сміта у регулятор, заміна старого обладнання на більш сучасне. Створення нових сучасних ІТП за шаблоном.	Проєктування впровадження сучасного та надійного ІТП	Користувач отримує проєкт сучасного, надійного ІТП з можливістю його подальшого впровадження, що дає йому можливість надалі економити на опаленні та забути, що таке проблеми з ІТП

#### 4.2. Технологічний аудит ідеї проєкту

Для доступу до технологій необхідних для реалізації ідеї стартап-проєкту необхідно мати вищу технічну освіту, а саме бути спеціалістом з автоматизації та теплових мереж. Наведемо технологічну здійсненність стартап-проєкту у вигляді таблиці:

Таблиця 4.2. Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ п/п	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Модернізація вже наявних ІТП або побудова нових	Замовлення виконання робіт і проєктів у компаній, що займаються автоматизацією та впровадженням ІТП	Технологія наявна. На ринку багато контор, які займаються впровадженням ІТП	Доступна. Замовити виконання може кожен охочий
2	Модернізація вже наявних ІТП або побудова нових	Виконання робіт і проєктів з модернізації самостійно	Технологія наявна. На ринку праці багато вільних людей з вищою технічною освітою	Доступна. Необхідні кваліфіковані співробітники

Обрана технологія реалізації ідеї проєкту: Була обрана друга ідея оскільки вона дозволяє заробляти більше грошей, хоча є складнішою у реалізації, оскільки займатися підбором персоналу та роботою самостійно є більш трудомістким ніж просто замовити у контори з вже налагодженим процесом виробництва тим паче існує ризик крадіжки ідеї для модернізації компаніями виконавцями.

### 4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

У Києві підприємства, що займаються впровадженням ІТП рахуються десятками. Конкуренція висока, але попит постійно зростає, оскільки Київ постійно розширюється й оновлюється. Діють державні та місцеві програми від уряду на компенсацію витрат, пов'язаних з впровадженням енергоефективності чим користуються містяни, підвищуючи попит на впровадження ІТП, оскільки грамотно зроблений ІТП це запорука енергоефективності будівлі. Для виходу на цей ринок необхідно дотримуватись державних будівельних норм. Можна

брати участь у відкритих тендерах, що не враховуючи корупційну складову дозволяє новачку вийти на ринок.

Наведемо характеристику потенційних клієнтів у вигляді таблиці:

Таблиця 4.3. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Підвищення енергоефективності ІТП	ОСББ, громади, приватні контори, й тому подібне	Наближення опалювального сезону	Ефективність, швидкість впровадження, дотримання стандартів, якість, безпечність
2	Впровадження ІТП	Будівельні компанії, приватні особи і тому подібне	Імідж компанії, відгуки	Дешевизна, надання гарантій, досвідченість

На ринку постачання систем опалення існує багато ризиків наведемо їх у вигляді таблиці:

Таблиця 4.4. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Спад будівельного буму	Зменшення попиту на впровадження ІТП	Вихід на нові ринки
2	Впровадження нових будівельних норм	Необхідність внесення додаткових модифікацій у проекти	Модернізація старих проєктів з залученням фахівців
3	Вторгнення Росії	Можливе повноцінне знищення бізнесу	Переведення підприємства закордон
4	Припинення державою та її західними партнерами фінансування програм з підвищення енергоефективності	Зменшення попиту на модернізацію ІТП	Пошук приватних інвесторів для клієнтів
5	Корупційна складова ринку	Рейдерське захоплення, рекет підприємства	Переведення підприємства закордон
6	Перебій з поставок обладнання	Не дотримання термінів виконання проєктів	Компенсація збитків замовнику та надання знижок на майбутні послуги

На ринку постачання систем опалення існує багато можливостей наведемо їх у вигляді таблиці:

Таблиця 4.5. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Будівельний бум	Збільшення попиту на впровадження ІТП	Масштабування бізнесу
2	Збільшення державою та її західними партнерами фінансування програм з підвищення енергоефективності	Збільшення попиту на модернізацію ІТП	Масштабування бізнесу

Далі визначимо які загальні риси конкуренції на ринку та наведемо результат у вигляді таблиці:

Таблиця 4.6. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Тип конкуренції	Монополістичний. Компанії з іміджем, які вже багато років на ринку користуються більшою перевагою покупців, оскільки ті не хочуть ризикувати, а будівельні компанії обирають лише давніх партнерів.	Зменшення ціни за товар для нових покупців на ринку, участь у відкритих тендерах, активна рекламна компанія зокрема участь у тематичних виставках



## Продовження таблиці 4.6. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
За рівнем конкурентної боротьби	Національний. Компанії, що працюють з компаніями забудовниками постачають їм проекти для будівництва по всій країні. Через, що виникають проблеми з логістикою. Збільшується кількість конкурентів оскільки покупці не обмежуються вибором компаній розташованих в одному місті.	Закупівля власного транспорту для відряджень.
За галузевою ознакою.	Внутрішньогалузева. Конкуренція відбувається лише між постачальниками систем опалення. Які відрізняються за ціною, термінами впровадження тощо.	Компанія буде намагатися надавати послуги в коротші терміни ніж конкуренти тощо
Конкуренція за видами товарів: Товарно-родова; Товарно-видова;	Товарно-родова. Існує декілька видів систем опалення. Детально про це розписано у пункті 1.1 даної роботи.	Компанія буде проводити інформаційні компанії о перевагах водяного опалення.
	Товарно-видова. Існує багато контор котрі займаються водним опаленням. Конкуренція між ними.	Компанія буде концентрувати увагу потенційних покупців на інновативності рішення компанії

## Продовження таблиці 4.6. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
За характером конкурентних переваг.	<p>Цінова. На жаль покупців більше цікавить ціна впровадження ніж енергоефективність. Конкуренцію на ринку виграє компанія котра запропонує дешевше рішення ніж більш ефективне, особливо це стосується відкритих тендерів де перемагає ціна, а не якість.</p> <p>Нецінова. Тут в основному покупці, що вже мають ІТП, але не задоволенні його енергоефективністю. Перш за все вони звертають увагу на технічну складову, якість та покращення енергоефективності, яку може запропонувати оновлена система.</p>	Компанія сконцентрується на унікальності свого продукту та переваг котрий надає наш підхід у порівнянні з конкурентами
За інтенсивністю	Не марочна. Основна частина покупців не відрізняють та не розуміються на особливостях ІТП	Компанія займеться створення власного пізнаваного бренду, що буде асоціюватися з інновативністю.

У галузі присутня висока конкуренція. Компаній по Україні, що займаються ІТП більше сотні. Хоч конкуренція і висока, але постійно з'являються нові компанії, оскільки ринок постійно розширюється. Розширення пов'язане з тим, що в країні триває будівельний бум, а також діють державні та

міжнародні програми по впровадженню енергоефективності. Розумне споживання зараз тренд.

Вихід на ринок не є важким. Процедура на отримання дозволів/сертифікатів на проведення робіт по обладнанню ІТП згідно ДБН є прозорою. Капітал, який потрібен для початку бізнесу є відносно не великим. Обмежувальним фактором виступає технологічна складність реалізації проєктів, що зупиняє потенційних початківців-гуманітаріїв.

Постачальники грають важливу роль, але вони не диктують ціни, оскільки основна робота над системою опалення є інтелектуальною (проєктування системи, ідентифікація об'єкту, написання програми для ПЛК і тому подібне) і до того ж серед постачальників присутня висока конкуренція, що не дозволяє їм підвищувати ціни. На ринку наявне різноманіття технічних пристроїв необхідних для автоматизації від дешевих китайського/вітчизняного виробництва до світових брендів європейського виробництва тому можна підібрати обладнання, виходячи з купівельної спроможності покупця.

Покупці, а саме великі будівельні компанії монополісти диктують ціни, оскільки їх замовлення складають левову частину замовлень у великому будівельному секторі й компанії вимушені погоджуватися, оскільки будівельники підуть до інших. У приватному же секторі все простіше. Кожен покупець обирає той варіант котрий йому по кишені, бо різноманіття рішень це дозволяє.

При великому будівництві замінників традиційному водяному опаленню немає, але у приватному секторі все частіше покупці обирають електричне опалення, оскільки воно дешевше у встановленні та обслуговуванні.

Виходячи з вище сказаного можна дійти висновку, що вихід на ринок буде важким, оскільки конкуренція висока. Покупці скептично ставляться до новачків на ринку. Для успішного виходу треба мати зв'язки з будівельними компаніями, досвідчених професіоналів, котрі орієнтуються у комюніті впроваджувальників ІТП, та рекламу інновативності рішення для залучення сегменту покупців, що не вдоволені ефективністю власних ІТП.

Визначимо ж та наведемо фактори конкурентоспроможності у вигляді таблиці:

Таблиця 4.7. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Репутація фірми	Через те, що система опалення є однією з найважливіших систем життєзабезпечення взимку покупці дуже прискіпливо ставляться до надавачів послуг та схильні обирати фірми з ім'ям та багаторічним досвідом.
2	Ціна	Одним із вирішальних факторів є ціна. Оскільки в країні триває економічна криза і будівельні компанії намагаються економити на всьому на чому тільки можна у тому числі й на ІТП. Обираючи найдешевші варіанти. По принципу вибору найдешевшого варіанту працюють і відкриті тендери.
3	Бюджет на маркетинг	В умовах високої конкуренції реклама та інформування про переваги надаваних послуг є один із ключових факторів знаходження клієнтів.

Підводячи до логічного завершення аналіз ринкових можливостей впровадження стартап-проєкта зробимо SWOT-аналіз та представимо його у вигляді таблиці:

Таблиця 4.8. SWOT-аналіз стартап-проєкту

<p><b>Сильні сторони:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Інновативність (можливість покращити перехідний процес завдяки предиктору Сміта без встановлення нового обводнення);</li> <li>-тенденція на зростання ринку і попиту на товар;</li> <li>-державна та міжнародна підтримка енергоефективності.</li> </ul>	<p><b>Слабкі сторони:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-відсутність іміджу;</li> <li>-відсутність досвіду;</li> <li>-висока конкуренція.</li> </ul>
<p><b>Можливості:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-енергетична криза, що призведе до попиту на технології для підняття енергоефективності;</li> <li>-вихід на нових клієнтів за допомогою відкритих тендерів.</li> </ul>	<p><b>Загрози:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-нова економічна криза;</li> <li>-не своєчасна оплата замовником, що може призвести до нестачі оборотних коштів.</li> </ul>

#### 4.4. Розроблення ринкової стратегії проєкту

Для розроблення ринкової стратегії перш за все необхідно визначити цільові групи потенційних споживачів, щоб визначити яку ринкову стратегію розробити. Представимо цільові групи споживачів у вигляді таблиці:

Таблиця 4.9. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукти	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Великі будівельні компанії	Низька	Середня	Висока	Низька
2	Приватний сектор, громади і тому подібне	Середня	Середня	Висока	Середня

Які цільові групи обрано: Приватний сектор, громади і тому подібне.

Виходячи з аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) була обрана наступна стратегія охоплення ринку: стратегія концентрованого маркетингу.

Далі сформуємо базову стратегію для роботи на обраних сегментах ринку та наведемо її у вигляді таблиці:

Таблиця 4.10. Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентноспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Розповсюдження продукту	Стратегія спрямованого маркетингу	Інновативність	Стратегія спеціалізації

Тепер оберемо стратегію конкурентної поведінки і представимо її у вигляді таблиці:

Таблиця 4.11. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Проект не є першопрохідцем на ринку	Компанія буде забирати існуючих у конкурентів	Ні. Буде формувати власний імідж.	Стратегія заняття конкурентної ніші

Таким чином була розроблена ринкова поведінка стартап-компанії, а саме заняття власної ніші та диференціація від конкурентів опираючись на інновативність продукту.

#### 4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Перш за все сформуємо маркетингову концепцію товару та наведемо її у формі таблиці:

Таблиця 4.12. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Підвищення енергоефективності опалювальної системи	Економія на опалення шляхом більш якісного/точного регулювання	Кращий перехідний процес регулювання завдяки застосування предиктора Сміта, а значить більш якісне регулювання і більша економія на витраті теплоносія. Сучасність та надійність системи з усіма привілеями четвертої промислової революції.

Тепер нам потрібно розробити трирівневу маркетингову модель товару. Розроблену модель представимо у вигляді таблиці:

Таблиця 4.13. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
1.Товар за задумом	Підвищення енергоефективності , надійності та якості роботи ІТП.		
2.Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	1.Економічні: Економічне споживання теплоносія;	Нм	Вр/Тх/Тл
	2.Безвідмовність, довговічність, ремонтопридатність: гарантійний термін;	Нм	Вр/Тх
	3.Безпечність: наявність блокуючих пристроїв, аварійної сигналізації тощо.	Нм	Тх/Тл/Е
	Якість: виріб відповідає ДБН та іншим обов'язковим державним стандартам		
	Пакування: у захисну упаковку для крихких виробів		
Марка: Скидан&компані: ІТП			
3.Товар із підкріпленням	До продажу надання усієї інформації про комплект		
	Після продажу надання допомоги для ПНР		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: блокуванням доступу до алгоритму роботи.			

Далі нам треба визначити оптимальну систему збуту сформуємо її у вигляді таблиці:



Таблиця 4.14. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Обдумані	Повний пакет товару	Глибока	За залученням

Завершуючим етапом є створення концепції маркетингових комунікацій. Представимо її у вигляді таблиці:

Таблиця 4.15. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Обдумані	Віртуальні	Точність регулювання теплоносія, економічність	Представлен ня товару як найефективнішого/найтекономічнішого/найінновативнішого	Точкові

#### 4.6. Висновки

У даному розділі була описана ідея стартап-проєкту. Був проведений технологічний аудит ідеї стартап-проєкту та аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту. Була розроблена ринкова стратегія проєкту та маркетингова програма стартап-проєкту.

У ході маркетингового аналізу стартап-проєкту були зроблені наступні висновки:

- a) З погляду можливості ринкової комерціалізації проєкту: попит, на потребу котру задовольняє даний проєкт, наявний та останні роки тільки зростає; динаміка ринку позитивна за рахунок державних та міжнародних проєктів; рентабельність роботи на ринку присутня;
- b) З погляду перспектив впровадження: існує декілька потенційних груп клієнтів, але при цьому існує бар'єр входження оскільки клієнти у даному сегменті схильні довіряти перевіреним компаніям з досвідом та іміджем. Також у даному сегменті присутня велика конкуренція, але проєкт є конкурентно спроможним;
- c) Хоча проєкт і є конкурентно спроможним, але як відомо лише 20% стартап-проєктів стають комерційно успішними. Зважаючи на бар'єри входу та високу конкуренцію на зростаючому ринку проєкт вимагає досвідченого та обізнаного керівника для успішної реалізації. Якщо розглядати даний проєкт для новачка, то лише у якості проєкту на якому можна набратися досвіду, а не як комерційно успішну історію.

## Висновки

Основні результати роботи: У даній магістерській дисертації бала розроблена сучасна автоматична система управління тепловим пунктом для дослідної установи. У ході роботи над даною магістерською дисертацією був проаналізований сучасний стан ринку систем опалення будинків. Були порівняні між собою різні види опалення та висвітлені їх переваги та недоліки. Були зазначені різні схеми ІТП та описана обрана схема теплового пункту об'єкта управління. Були визначені усі вимоги до реалізації та функції, які має виконувати система. Визначені параметри процесу та їх діапазони. Було підібране усе необхідне обладнання для реалізації об'єкта та оформлене у вигляді специфікації. Була створена функціональна схема автоматизації та інші схеми необхідні для реалізації об'єкта. Був розрахований регулятор для перехідного процесу об'єкта. Розрахунок проводився класичним методом РАФХ, але потім регулятор було покращено модернізованим предиктором Сміта. Модернізований регулятор з предиктором Сміта показав кращий перехідний процес, згідно прямих та інтегральних показників якості, ніж звичайний ПІ-регулятор розрахований РАФХ. Була підібрана та розроблена SCADA-система з реалізацією усіх функцій верхнього рівня управління. Була написана програма для підбраного ПЛК, у котрій був реалізований регулятор та перемикач насосів. На основі розробленої SCADA-системи, написаної програми для ПЛК та моделі об'єкта у Simulink був створений полігон (імітаційна модель) для імітаційного моделювання. Імітаційне моделювання показало вдале функціонування автоматичного технічного комплексу. Був проведений маркетинговий аналіз стартап-проекту розробленого на базі даного технічного рішення, який показав наявні перспективи у даного рішення.

Практичне значення отриманих результатів: полягає у аналізі використання предиктора Сміта та перевірки доцільності його використання на подібних об'єктах. Демонстрації реалізації втілення подібного рішення.

### Список використаної літератури

1. С.А. Чистович, В.К. Аверьянов, Ю.Я. Темпель, С. И. Быков Автоматизированные системы теплоснабжения и отопления. – Ленинград. Стройиздат, 1987.
2. В.Ф. Фаликов, В.П. Витальев Автоматизация тепловых пунктов: Справочное пособие. - М.: Энергоатомиздат, 1989.
3. ДБН В.2.5-39:2008 Теплові мережі - Київ Мінрегіонбуд України, 2009.
4. O.J.M. Close Control of Loops with Dead Time. - Chemical Engineering Progress, v. 53, 1957, pp. 217-235.
5. J. E. Normey-Rico and E.F. Camacho Control of Dead Time Processes. London, UK : Springer - Verlag Limited, 2007.
6. Catalog Modicon M171/M172 Logic controllers for HVAC solutions, Configuration software - Schneider Electric Industries SAS Head Office 35, rue Joseph Monier - CS 30323 F-92500 Rueil Malmaison Cedex France DIA3ED2151001EN April 2021- V4.1
7. Enterprise Server EcoStruxure Building Operation - 03-20021-02-en, June 2018
8. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

## Додаток А

Реалізація регулятора з предиктором Сміта у середовищі CODESYS:

Основна частина програми ПЛК котра складається з оголошення перемінних та коду на мові FBD дивіться рисунок 1:

```
PROGRAM PLC_PRG
```

```
VAR
```

```
  PID_Corpus_1: PID;
```

```
  KP_1: REAL := 7.6;
```

```
  TN_1: REAL := 181.0;
```

```
  TV_1: REAL := 0.0;
```

```
  DamperPercentage_Corpus_1: REAL;
```

```
  ActualTemperatureInput_Corpus_1: REAL;
```

```
  SetTemperature_1: REAL:= 60.0;
```

```
  PredictorSmith_Corpus_1: FirstOrderSystem;
```

```
  Delay_Corpus_1: Delay;
```

```
  Filter_Corpus_1: FirstOrderSystem;
```

```
  Period: TIME:= T#100MS;
```

```
  DelayTime_1: TIME:= T#80S;//Corpus_1
```

```
  T_1: TIME:= T#320S;//Time_Constant_Corpus_1
```

```
  K_1: REAL:= 0.4;//Transfer_Coefficient_Corpus_1
```

```
  T_F1: TIME:= T#40S;//Time_Constant_Filter_Corpus_1
```

```
  PID_Corpus_2: PID;
```

```
  KP_2: REAL := 12.5;
```

```
  TN_2: REAL := 62.5;
```

```
  TV_2: REAL := 0.0;
```

```
  DamperPercentage_Corpus_2: REAL;
```

```
  ActualTemperatureInput_Corpus_2: REAL;
```

```
  SetTemperature_2: REAL:= 60.0;
```

```
  PredictorSmith_Corpus_2: FirstOrderSystem;
```

```

Delay_Corpus_2: Delay;
Filter_Corpus_2: FirstOrderSystem;
DelayTime_2: TIME:= T#25S;//Corpus_2
T_2:TIME:= T#170S;//Time_Constant_Corpus_2
K_2:REAL:= 0.4;//Transfer_Coefficient_Corpus_2
T_F2:TIME:= T#12.5S;//Time_Constant_Filter_Corpus_2
END_VAR

```

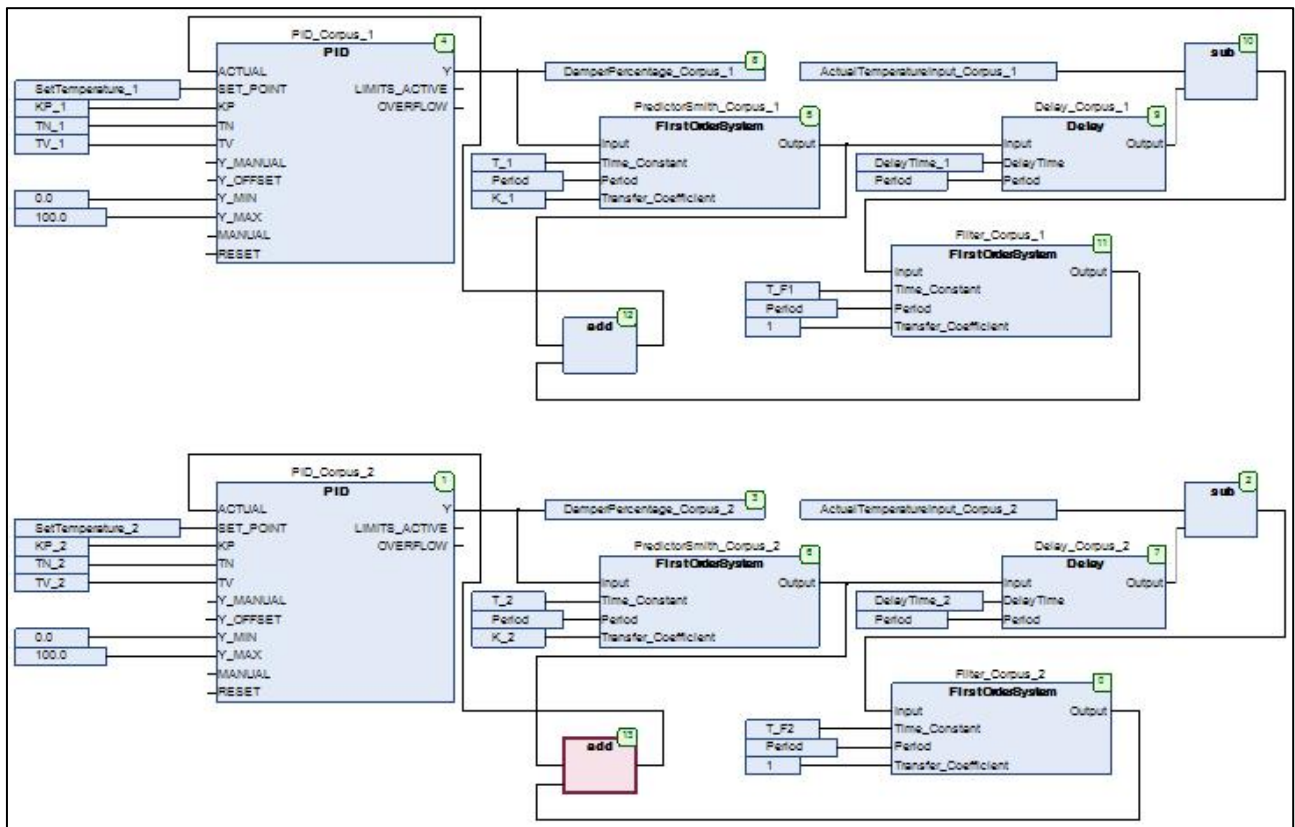


Рисунок 1-Регулятори з предикторами Сміта для корпусу №1 та корпусу №2

Для реалізації предиктора Сміта та фільтра було реалізовано два додаткових блока:

- Блок Delay, який реалізує алгоритм ланки чистого запізнення, дивіться на рисунку 2;
- Блок FirstOrderSystem, який реалізує алгоритм аперіодичної ланки першого порядку, дивіться на рисунку 3.

```

1  FUNCTION_BLOCK Delay
2  VAR_INPUT
3      Input: REAL;//Input signal
4      DelayTime: TIME;//Delay time
5      Period: TIME;//Function unit startup period
6  END_VAR
7  VAR_OUTPUT
8      Output: REAL;//Output signal
9  END_VAR
10 VAR_STAT
11     Index: INT;
12     DelayeArray: ARRAY[0..Max_Index] OF REAL;
13 END_VAR
14 VAR_CONSTANT
15     Max_Time: TIME:=T#100S;
16     Max_Index: INT:=1000;
17 END_VAR

```

---

```

1  IF (Period >T#0S AND DelayTime>Period AND DelayTime<=Max_Time)
2  THEN
3      Output := DelayeArray[Index];
4      DelayeArray[Index] := Input;
5      Index := Index + 1;
6      IF Index > TIME_TO_REAL(DelayTime) / TIME_TO_REAL(Period) THEN
7          Index := 0;
8      END_IF;
9  ELSE
10     Output := Input;
11 END_IF;

```

Рисунок 2-Блок Delay, який реалізує алгоритм ланки чистого запізнення

```

1  FUNCTION_BLOCK FirstOrderSystem
2  VAR_INPUT
3      Input:REAL;//Input signal
4      Time_Constant:TIME;
5      Period:TIME;//Function unit startup period
6      Transfer_Coefficient:REAL;//Transfer ratio
7  END_VAR
8  VAR_OUTPUT
9      Output:REAL;//Output signal
10 END_VAR
11 VAR_STAT
12     Output1:REAL;//Previous value
13 END_VAR
14 VAR_TEMP
15     Period1:REAL;
16     Time_Constant1:REAL;
17 END_VAR

```

---

```

1  IF Time_Constant>T#0S THEN
2      Time_Constant1 := TIME_TO_REAL(Time_Constant);
3      Period1 := TIME_TO_REAL(Period);
4      Output := (Period1 * Transfer_Coefficient * Input + Time_Constant1 * Output1) / (Time_Constant1 + Period1);
5      Output1 := Output;
6  ELSE
7      Output := Input;
8  END_IF;

```

Рисунок 3-Блок FirstOrderSystem, який реалізує алгоритм аперіодичної ланки першого порядку