

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

«На правах рукопису»  
УДК 681.5:[681.7\_004.93]

«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: Автоматизована система керування вентиляційної установки  
приміщення медичного закладу на базі МРС-регулятора

**Виконав:** студент ІІ курсу, групи ТА-01мп  
Ятченя Марина Юріївна  
(прізвище ім’я, по батькові)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Науковий керівник** ст. викладач, Любицький С.В.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Рецензент** Директор ТОВ «Вентконтрол», Диченко О.І.  
(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

Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського”

Факультет Теплоенергетичний  
Кафедра Автоматизації теплоенергетичних процесів  
Рівень вищої освіти – другий(магістерський)

Спеціальність 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

Освітньо-професійна програма (“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем”)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис) /Володимир ВОЛОЩУК/  
(імя, ПРІЗВИЩЕ)  
“ “ \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

Ятчені Марині Юріївні

(прізвище, імя, по-батькові)

1. Тема дисертації Автоматизована система керування вентиляційної установки приміщення медичного закладу на базі МРС-регулятора

науковий керівник дисертації ст. викладач, Любицький Сергій Вікторович

(прізвище, імя, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «02» 11 2021 р. № 3629-с

2. Термін подання студентом дисертації «10» грудня 2021 р.

3. Об’єкт дослідження Регулювання температури у приміщенні медичного закладу за допомогою МРС-регулятора

4. Вихідні дані Перехідні характеристики інерційних та випереджаючих контурів для літнього та зимового режиму, зняті з об’єкту. Матеріали, зібрані під час проходження переддипломної практики.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

Створити функціональну схему об'єкту та описати її призначення, функції.  
Розробити схему регулювання з МРС-регулятором та порівняти її з каскадною.  
Розробити технічне та програмне забезпечення, НМІ-панель. Розробити  
стартап-проект та провести його аналіз.

6. Орієнтований перелік графічного (ілюстративного) матеріалу  
Ілюстрації до схеми автоматизації функціональної, схеми принципової  
електричної, розрахункової частини, схеми структурної ПТК, екранів  
НМІ-панелі та ПЛК.

7. Орієнтований перелік публікацій  
Тези для ХІХ міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та  
студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», Київ, 2021

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

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	<i>Видача завдання</i>	01.09.2020	
2	<i>Пояснювальна записка. Розділ 1. Постановка задачі. Опис технологічної схеми. Сучасний стан галузі</i>	15.09.2021	
3	<i>Схема структурна ПТК, ФСА, ПЕС</i>	23.09.2021	
4	<i>Пояснювальна записка. Розділ 2. Призначення і функції створюваної с-ми. Вимоги до неї</i>	18.10.2021	
5	<i>Розрахункова частина</i>	22.10.2021	
6	<i>Розробка технічного забезпечення</i>	30.10.2021	
7	<i>Розробка програмного забезпечення</i>	09.10.2021	
8	<i>Розробка НМІ-панелі.</i>	18.11.2021	
9	<i>Стартап-проект</i>	29.11.2021	
10	<i>Графічні ілюстрації до розрахунків, екранів ПЛК та НМІ-панелі</i>	05.12.2021	
11	<i>Підпис керівника магістерської дисертації</i>	10.12.2021	
12	<i>Попередній захист магістерської дисертації</i>	10.12.2021	
13	<i>Захист</i>	21.12.2021	

Студент

(підпис)

(імя, ПРІЗВИЩЕ)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(імя, ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

У даному дипломному проєкті було створено автоматизовану систему керування вентиляційної установки приміщення медичного закладу та проведення дослідження щодо її роботи на основі МРС-регулятора.

Дипломний проєкт складається з чотирьох розділів та висновку до них.

У Розділі 1 міститься опис сучасного стану галузі, опис технологічної схеми схеми об'єкту управління та загальна постановка задачі.

У Розділі 2 можна знайти модель об'єкту управління, призначення і функції створюваної системи, вимоги до реалізації функцій системи управління об'єктом.

У третьому розділі розроблено функціональну схему управління об'єктом, проведено розрахунки системи у літньому та зимовому режимах з ПІ-регулятором та МРС-регулятором, здійснено їх порівняння, розроблено технічне, програмне забезпечення, та створено функціонал НМІ-панелі для даної установки.

У четвертому розділі було створено стартап-проєкт, його маркетингове планування, проаналізовано ринкові можливості, розроблено ринкову стратегію та маркетингову програму.

## **ABSTRACT**

In this diploma project, an automated control system for the ventilation system of the medical institution and a study on its operation on the basis of the MPC-regulator was created.

The diploma project consists of four sections and elements to them.

Section 1 contains a description of the current state of the industry, a description of the technological schemes of the object of management and the general statement of tasks.

In Section 2 you can find the model of the control object, the purpose and functions of the created system, the requirements for the implementation of the functions of the object management system.

In the third section, a functional scheme of object management is developed, calculation systems in summer and winter modes with PI-regulator and MPC-regulator are made, their comparison is made, hardware and software are developed, and functional NMI-panels for this installation are created.

In the fourth section, an up-project was created, its marketing planning, market start-up opportunities were analyzed, a market strategy and marketing program were developed.

## ЗМІСТ

Розділ 1 .....	8
1.1 Сучасний стан галузі .....	8
1.2 Опис технологічної схеми об'єкту.....	9
1.3 Загальна постановка задачі.....	10
Розділ 2 .....	11
2.1 Отримання моделі об'єкту управління.....	11
2.2 Призначення і функції створюваної системи .....	14
2.3 Вимоги до реалізації функцій системи управління об'єктом .....	16
2.4 Висновки.....	18
Розділ 3 .....	20
3.1 Функціональна структура управління об'єктом .....	20
3.2 Розрахункова частина.....	23
3.3 Розробка технічного забезпечення системи управління.....	55
3.4 Розробка програмного забезпечення системи управління.....	56
3.5 Імітаційне моделювання і аналіз функціонування автоматизованого технічного комплексу .....	62
3.6 Висновки.....	65
Розділ 4 .....	66
4.1 Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології).....	66
4.2 Маркетингове планування бізнес процесу .....	68
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	69
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту .....	72
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	74
Висновки .....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	78

## ВСТУП

Вентиляція – процес видалення з приміщення відпрацьованого повітря та його заміна зовнішнім. В необхідних випадках при цьому може проводитися кондиціонування повітря, фільтрація, зволоження, осушення, підігрів та/або охолодження. Вентиляція необхідна для того, аби забезпечити правильні умови для перебування у приміщенні (наприклад, відносну вологу повітря, його температуру, чистоту, та ін.); а також, аби створити умови для правильного перебігу технологічного процесу, збереження продовольчих товарів, матеріалів і т.д.

На разі, практично усі об'єкти обладнані системами вентиляції та кондиціонування, адже питання підтримки мікроклімату є актуальним завжди.

- Актуальність теми

В умовах сьогодення, у зв'язку із ситуацією, що виникла у всьому світі, ми бачимо, що багато лікарень не є придатними для обслуговування такої великої кількості пацієнтів. Тому на разі гостро стоїть питання про вдосконалення та розширення не тільки самих будівель, але й оснащення їх сучасними автоматизованими системами вентиляції та кондиціонування.

В даній магістерській дисертації система припливно-витяжної вентиляції із гліколевим рекупером та додатковим витяжним каналом, що працює на одне із приміщень медичного центру.

- Мета і завдання роботи (дослідження)

Мета цієї роботи полягає у створенні вентиляційної системи з використанням МРС– регулятора, що забезпечить більш оптимальне використання системи, збільшить її ефективність та допоможе значно зекономити на енергетичних ресурсах шляхом застосування «переривчатого» регулювання .

- Об'єкт і предмет роботи (дослідження)

Об'єктом дослідження є система вентиляції медичного закладу, предметом – підтримання мікроклімату в приміщенні за допомогою МРС–регулятора.

- Апробація результатів

XIX міжнародна науково-практична конференція молодих вчених та студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» Київ, 20-23 квітня 2021 р.

## Розділ 1

### 1.1 Сучасний стан галузі

Специфіка медичних установ накладає серйозні вимоги до систем вентиляції. Завдання ускладнюється ще й тим, що в одній лікарні знаходиться безліч різнопрофільних приміщень, в кожному з яких необхідно підтримувати свій унікальний мікроклімат. Правильна вентиляція - один з найважливіших пунктів санітарно-гігієнічних стандартів, яких потрібно строго дотримуватися. Тому створити в лікарні правильну систему вентиляції - завдання, що вимагає особливої уваги і глибоких знань специфіки роботи медустанов.

Багатопрофільний медичний центр, інфекційна лікарня, поліклініка або будь-яка інша медустанова - це те місце, де якість повітря грає ключову роль для здоров'я людей і забезпечення безпечного робочого процесу.

Зазвичай, припливну та витяжну систему в медичних установах використовують одночасно, що дозволяє забезпечувати дотримання високих стандартів, що пред'являються до повітря в деяких приміщеннях лікарень.

Також вентиляційні системи діляться на кілька видів за типом циркуляції повітря:

- Місцеві - як правило, невеликої продуктивності, тому вони і використовуються тільки на певній ділянці розміром в декілька квадратних метрів;
- Загальнообмінні – значно потужніші, ніж місцеві. Вони зазвичай працюють на ціле приміщення і ефективно виводять великий обсяг відпрацьованого повітря назовні;
- Аварійні - встановлюють в точках підвищеної небезпеки - в разі виникнення позаштатної ситуації вони забезпечують оперативне усунення токсичного диму, отруйних домішок, випарів і т.д. Така система завжди працює автономно, тому потребує окремих джерел підключення електроживлення.

Щодо стану вентиляційних систем у лікарнях, які нині функціонують – питання досить спірне: медичні установи, що збудовані в останні роки, оснащені хорошою вентиляцією, однак ті, що будувалися до 2000х років - мають із цим проблеми.

Наприклад, станом на 25 жовтня в Україні було зафіксовано 14 634 нових випадків COVID-19, з них майже 4 тисячі осіб було госпіталізовано, за даними дашборду РНБО практично у всіх областях України заповненість відділень сягає «червоного рівня» - вище 55%. Не зважаючи на те, що це вже третя хвиля, більшість наших лікарень не готові до такого навантаження не лише через нестачу «ліжок», але й через недостатню оснащеність вентиляційних систем, їх функціонал.

## **1.2 Опис технологічної схеми об'єкту**

Об'єктом дипломного проекту виступає вентиляційна система операційної кімнати лікарні, яка потребує створення системи автоматизації вентиляції. До даної системи входить припливно-витяжна система з гліколевим рекуператором, водяний калорифер із резервом насосу, водяний охолоджувач, електричний нагрівач, зволожувач та ультрафіолетові лампи на у припливному та витяжному каналі, також у даних каналах наявне резервування вентиляторів; а також додатковий витяжний канал з секцією ультрафіолетових ламп (Рис.1.2.1).

Основним видом управління системи є автоматизоване управління, технічна сутність якого полягає в централізації управління процесами нагріву, охолодження, осушення, знезараження, зволоження повітря для приміщення, що обслуговується, при забезпеченні автоматичного захисту від розвитку аварії в разі виникнення аварійних ситуацій.

Для систем кондиціонування повітря як об'єкта управління характерні обурення на вході (вологість і температура зовнішнього повітря), а так само важливо враховувати температуру і вологість повітря після проходження всієї системи вентиляції та на вході основного витяжного каналу.

Висока ефективність системи кондиціонування повітря може бути забезпечена тільки при злагодженій роботі всієї технологічної ланки. Таким чином, розробка системи автоматичного керування технологічним процесом є актуальною.

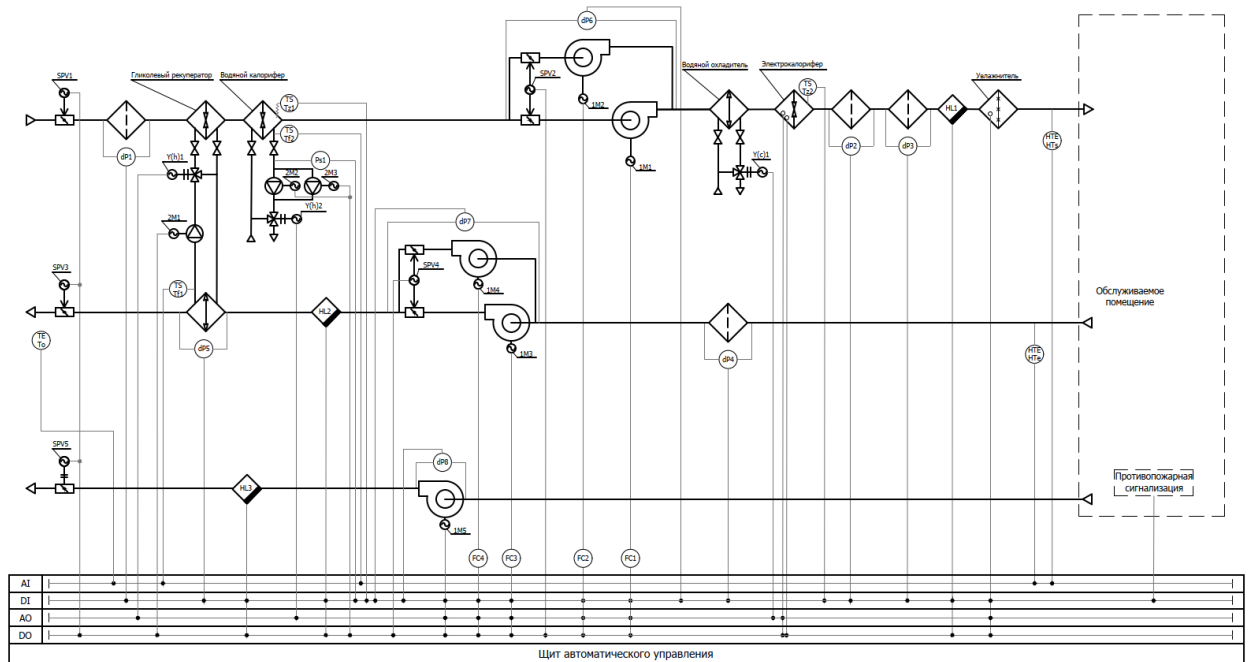


Рис.1.2.1 Функціональна схема

### 1.3 Загальна постановка задачі

Як правило, в наш час більшість технологічних процесів (установок), представляють з себе складні динамічні об'єкти. Керування такими об'єктами за допомогою традиційних лінійних законів регулювання не завжди дозволяє домогтися необхідної якості керування. Тому для управління складними динамічними об'єктами можна застосувати регулятори на основі прогнозуючої моделі - MPC регулятори (Model Predictive Control). Маючи адекватну математичну модель такий регулятор буде прогнозувати зміни параметрів об'єкту на певний проміжок часу вперед, що забезпечить більш оптимальне регулювання.

## Розділ 2

### 2.1 Отримання моделі об'єкту управління

Важливу роль у вирішенні проблеми енергозбереження грає автоматизація різних типів опалення (повітряного, водяного, електричного опалення, індивідуальних теплових пунктів, тощо), що здійснюють погоду залежне керування теплопостачанням. Так, справді, дані системи дозволяють зекономити значну кількість тепла за рахунок зміни температури ззовні будівлі, і навіть врахувати індивідуальні характеристики будівлі шляхом підлаштування під температурний графік. Однак багато факторів, наприклад, як, сонячна радіація, виробничі та побутові тепловиділення, залишаються неврахованими, що в подальшому призводить до відхилення температурного режиму.

Популярним є підхід, що використовує прогнозуючі моделі для керування температурним режимом будівель - Model Predictive Control (MPC). Даний метод почав розвиватися у 60-70-х роках минулого століття, та вже зараз він широко використовується у таких галузях, як хімічна, аерокосмічна, у легкій промисловості, та ін. Серед основних «плюсів» MPC-підходу є його відносна простота базової схеми формування зворотного зв'язку, який поєднується з високими адаптивними властивостями, що дозволяє керувати багатомірними та багатозв'язними об'єктами з складною структурою, оптимізувати процеси в режимі реального часу, дотримуватись обмежень на керуючі та вихідні змінні. Крім того, можливе врахування транспортних запізнь, зміни критеріїв якості в ході процесу і відмов датчиків системи вимірювання.

Для цілей управління тепловим режимом будівлі, побудуємо секційну математичну модель, що включає в себе математичні моделі теплового режиму окремих частин будівлі, секцій чи приміщень, в основу якої покладено рівняння теплового балансу:

$$\sum_{i=1}^n [Q_{опi} + Q_{венi} + \sum_{j=1}^n Q_{радиj} + \sum_{k=1, k \neq i}^S Q_{секik} + Q_{поби} - Q_{венуi} - \sum_{j=1}^n Q_{оrij} - - \sum_{j=1}^n Q_{инфij}] = 0, \quad (1)$$

де N – число секцій (приміщень) будівлі;

$Q_{опі}$  - тепло, отримане від системи опалення і-тої секції;

$Q_{вені}$  – тепло, отримане від системи вентиляції і-тої секції;

$n$  – число огорожуючи конструкцій приміщення;

$Q_{радіj}$  – тепло, від проникаючої у приміщення сонячної радіації через  $j$ -ту огорожуючи конструкцію для і-тої секції;

$Q_{секіk}$  – тепло, отримане від секції  $k$ , що знаходиться по-сусідству і-тою секцією;

$Q_{побі}$  - побутові тепlopоступання і-тої секції;

$Q_{венуі}$  – тепло, що видаляється системою з і-тої секції;

$Q_{оріj}$  – теплові втрати через  $j$ -ту огорожуючу конструкцію і-тої секції;

$Q_{інфij}$  – теплові втрати на інфільтрацію повітря через  $j$ -ту огорожуючу конструкцію і-тої секції.

Динаміка теплового режиму однієї секції приміщення без врахування інфільтрації, радіаційних і побутових тепловиділень із рівняння (1), але з урахуванням термічних мас огорожувальних конструкцій, може бути описана як:

$$c_{орі} \rho_{орі} V_{орі} \frac{dT_{орі}}{dt} = \alpha_{оріj} F_{оріj} (T_i - T_{оріj}) - k'_{оріj} F_{оріj} (T_{оріj} - T_{зіj}), i = 1 \dots N, j = 1 \dots n;$$

$$c \rho V_i \frac{dT_i}{dt} = k_{опі} F_{опі} (T_{опі} - T_i) + c G_{пі} (T_{пі} - T_i) + \sum_{k=1, k \neq i}^S c G_{ki} (T_k - T_i) Q_{орі} - c G_{yi} (T_{yi} - T_i) - \sum_{j=1}^n \alpha_{оріj} F_{оріj} (T_i - T_{оріj}), i = 1 \dots N, \quad (2)$$

де  $c_{орі}$  – теплоємність  $j$ -тої огорожуючої конструкції Дж/кг<sup>°C</sup>;

$\rho_{орі}$  - щільність  $j$ -тої огорожуючої конструкції кг/м<sup>3</sup>;

$V_{орі}$  – об'єм  $j$ -тої огорожуючої конструкції м<sup>3</sup>;

$T_{оріj}$  – температура внутрішньої стінки  $j$ -тої огорожуючої конструкції °C;

$\alpha_{оріj}$  – коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої поверхності стінки  $j$ -тої огорожуючої конструкції Вт/м<sup>2</sup> °C;

$F_{оріj}$  - площа  $j$ -тої огорожуючої конструкції і-тої секції м<sup>2</sup>;

$T_i$  – температура всередині приміщення і-тої секції, °C

$k'_{orij}$  - коефіцієнт теплопередачі j-тої огорожуючої конструкції від зовнішньої поверхні огорожуючої конструкції до зовнішнього повітря, Вт/м<sup>2</sup> °С;

$T_{zij}$  – температура повітря ззовні будівлі  $T_z$ , або температура всередині сусіднього приміщення, °С

$c$  – теплоємність повітря, Дж/кг°С;

$\rho$  - щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$V_i$ - об'єм i-тої секції, м<sup>3</sup>;

$k_{opi}$  – коефіцієнт теплопередачі опалювального пристрою, Вт/м<sup>2</sup> °С

$F_{opi}$ - поверхня опалювальних пристроїв i-тої секції, м<sup>2</sup>

$T_{opi}$  – температура в системі опалення, °С

$G_{pi}$  - витрата приточного повітря на вентиляцію i-тої секції, кг/год

$T_{pi}$  - - температура приточного повітря i-тої секції, °С

$G_{ki}$  - витрата повітря з i-тої секції в j-ту , кг/год

$T_k$  – температура повітря k-тої секції, °С

$G_{yi}$ - витрата видаляє мого повітря з i-тої секції, кг/год

$T_{yi}$  – температура видаляє мого повітря з i-тої секції, °С

Для громадських та промислових будівель зниження температури в приміщеннях в неробочий час, в вихідні та святкові дні дає можливість суттєво зменшити споживання енергоресурсів. Саме для цього застосовують «переривчате» опалення з тимчасовим зниженням подачі тепла, або ж повним його відключенням від системи центрального опалення. Реалізація такого режиму має на увазі можливість зміни подачі тепла (наприклад, витрати, або температури теплоносія) в системі опалення за певною заданою програмою. При цьому, економія тепла повинна поєднуватися разом з вимогами збереження допустимих теплових та гідравлічних режимів системи опалення.

Використання наведеної моделі для реалізації «переривчатого» режиму опалення забезпечує суттєву економію тепла в порівнянні з системою без «переривчатого» регулювання.

## 2.2 Призначення і функції створюваної системи

Дана система автоматизації представляє собою комплекс програмно-апаратних засобів, засобів вимірювання, управління та контролю, призначена для забезпечення необхідного воздухообміну, підтримки температури та вологості в приміщеннях. Передбачається функціонування в автоматичному режимі, забезпечуючи контроль станів обладнання, простеження за заданими величинами параметрів, виявлення нештатних ситуацій, програмовану реакцію на описані події, роботу по розкладу.

Система автоматизації забезпечує високу життєздатність в цілому та її окремих компонентів за рахунок своєчасного запобігання аварійних станів і адаптивного управління виконавчими механізмами.

Надійність системи автоматизації забезпечується на основі:

- Застосування сучасного обладнання;
- Прийняття спеціальних технологічних рішень, що забезпечують високу відмово стійкість і захищеність найбільш важливих частин вентсистеми;
- Організації експлуатації;

За базові функції, налаштування меню, відображення та збереження інформації, ключові рішення по управлінню відповідає контролер фірми Segnetics:

1. Для управління повітряними клапанами реалізовані наступні функції:
  - Затримка запуску вентиляторів притоку та витяжок на час відкриття клапанів;
  - Прогрів кромки клапанів перед їх відкриттям;
2. В склад вентиляційної установки входить пристрій плавного управління обертами вентилятора – частотний перетворювач, завдяки чому перетворювач отримує наступні можливості:
  - Плавний розгін і зупинка вентилятора;
  - Підтримання заданої витрати повітря;

- Керування частотою обертів вентилятора здійснюється через аналоговий вихід 0-10В.

Запуск вентиляторів відбувається з затримкою на час, необхідний для відкриття заслонок не менше ніж на 50%.

Відключення припливних вентиляторів при активному електричному підігріві здійснюється з затримкою.

Аварія вентиляторів визначається як релейний сигнал від перетворювача частоти і сигнал від диференціального датчика тиску.

Запуск вентиляторів здійснюється в наступній послідовності: приточний вентилятор, затримка запуску, витяжний вентилятор. Зупинка вентиляторів відбувається у зворотному порядку.

Управління гліколевим рекуператором реалізовано за допомогою наступних функцій:

- Визначення доцільності увімкнення рекуператора;
- Рекуперація тепла та холоду;

Зволожувач: управляється за допомогою аналогового вихідного сигналу, контролер подає сигнал на його запуск обробивши покази датчику вологості та температури у витяжному каналі. У випадку аварії, контролер приймає сигнал з відповідного дискретного входу, в журнал вноситься повідомлення «аварія», а сам зволожувач припиняє свою роботу.

Для управління УФ-лампами реалізовано:

- Увімкнення їх тільки при роботі відповідного каналу;
- Контроль відключення відповідного автоматичного

вимикача в ланцюгу живлення.

Для контролю стану/забруднення фільтрів використовується контроль спрацювання диференційного реле тиску.

Для захисту обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом передбачено заземлення обладнання, окрім того захисний ланцюг для запобігання перегріву секції електрокалориферу та її загорання, виконано у мережі 24В.

Важливо також додати, що дана система має такі функції:

### 1. Інформаційна

- відбувається збір та обробка інформації сигналів із датчиків, а також із цифрових пристроїв, дані відображаються на НМІ панелі та самому ПЛК (розділ 3.4 та 3.5);
- В додаток до цього наявна технологічна сигналізація (розпізнавання передаварійних та аварійних ситуацій), реєстрація подій та ситуацій;
- Контроль несанкціонованого втручання;
- Уся інформація зберігається та може передаватися на верхній рівень.

### 2. Захисна

- відключення живлення щита автоматизації при отриманні сигналу «пожежа»;
- зменшення потужності припливної частини установки до мінімальної при обмерзанні рекуператора;
- увімкнення резервних вентиляторів/насосу при виході з ладу основних.

### 3. Регулююча

- задання технологічних параметрів з панелі ПЛК;
- логічне управління пристроями;
- регулювання основними та резервними пристроями за розкладом, або ж за допомогою прописаної логіки при виникненні аварійної ситуації;
- дистанційне керування регулюючими органами.

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

Медичні установи, лікарні і особливо операційні - це приміщення, до мікроклімату яких завжди висуваються особливо суворі вимоги.

Від рівня вологості в операційній залежить не тільки самопочуття хірурга і його помічників, а й стан здоров'я самого пацієнта.

У багатьох випадках недотримання норм щодо волого-температурного режиму може спричинити за собою небажані ускладнення в самопочутті хворого.

Контроль вологості і температури в медичних приміщеннях забезпечує:

- Комфортні умови роботи медичного персоналу (має особливе значення, враховуючи умови використання спеціального одягу).
- Профілактику поширення мікробів: бактерій і вірусів (швидкість розмноження мікроорганізмів знаходиться в прямій залежності від температури і вологості повітря).
- Нормальні умови для життєдіяльності хворого, організм якого переживає сильний стрес (запобігання пересихання слизових, нормалізація теплообміну і потовиділення і ін.).

Нормативні показники температури, розраховані для приміщень лікарні:

Розробник санітарних норм	Температура повітря, °С	Відносна вологість повітря, %
ASHRAE American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers	20-24	30-60
AIA American Institute of Architects	20-23	30-60
VA Думка хірургів та медичного персоналу	17-27	45-55

У більшості сучасних медичних установах в медичних приміщеннях температуру намагаються підтримувати на рівні 17-20°C при відносній вологості повітря близько 50%.

Отже, для якісного підтримання мікроклімату, можливості завдання параметрів по зонах, зміну режимів роботи, сигналізації необхідно:

1. Впровадження автоматизованої системи управління технологічним процесом.

Для цього обов'язковим є використання програмно-технічного комплексу засобів автоматизації що включає в себе набір датчиків, що в реальному часі неперервно вимірюють значення технологічних параметрів, програмовані логічні контролери (ПЛК), які за заздалегідь заданим алгоритмом та налаштуваннями регуляторів керують виконавчими

механізмами, які безпосередньо впливають на зміну значень технологічних параметрів.

Це допоможе нам:

- забезпечити зменшення чисельності обслуговуючого персоналу;
- підвищити точність параметрів;
- підвищити безпеку праці та надійність роботи обладнання;
- підвищити економічність;
- забезпечити відображення інформації про хід технологічного процесу на робочій станції оператора;

2. Впровадження системи дистанційного керування технологічним процесом.

Нині найбільш розповсюдженим рішенням питання диспетчеризації виробництва є впровадження SCADA (supervisory control and data acquisition) систем. SCADA системи надають велику кількість переваг для керування технологічним процесом.

SCADA-система повинна виконувати такі функції:

- HMI (Human-machine interface) - візуалізація об'єкта управління і всіх поточних параметрів (мнемосхеми).
- Збір і архівація всіх даних, які приходять від контролерів для зручного доступу до інформації про процеси в системі і подальшого аналізу;
- Відображення даних та оповіщення про події в системі, для відслідковування роботи, можливих аварій та критичних аварій обладнання;
- Ведення журналу подій для відслідковування цих подій, їх аналіз та вчасної реакції на ці події;
- Розмежування прав користувачів, для фіксації інформації хто та коли здійснив вхід у систему, та які дії виконав;
- Реалізація системи звітності у вигляді таблиць/графіків/діаграм;

## **2.4 Висновки**

Об'єктом автоматизації є система вентиляції для приміщення медичного закладу. Для неї повинен бути підібраний програмно-технічний

комплекс та створено SCADA-систему. Головним технічним рішенням є використання регулятора на основі прогнозуючої моделі для керування температурним режимом будівель - Model Predictive Control – регулятор (MPC) .

## Розділ 3

### 3.1 Функціональна структура управління об'єктом

На функціональній схемі автоматизації (Рис.3.1.1) зображена схема вентиляційної установки, що працює на операційне приміщення одного з медичних закладів.

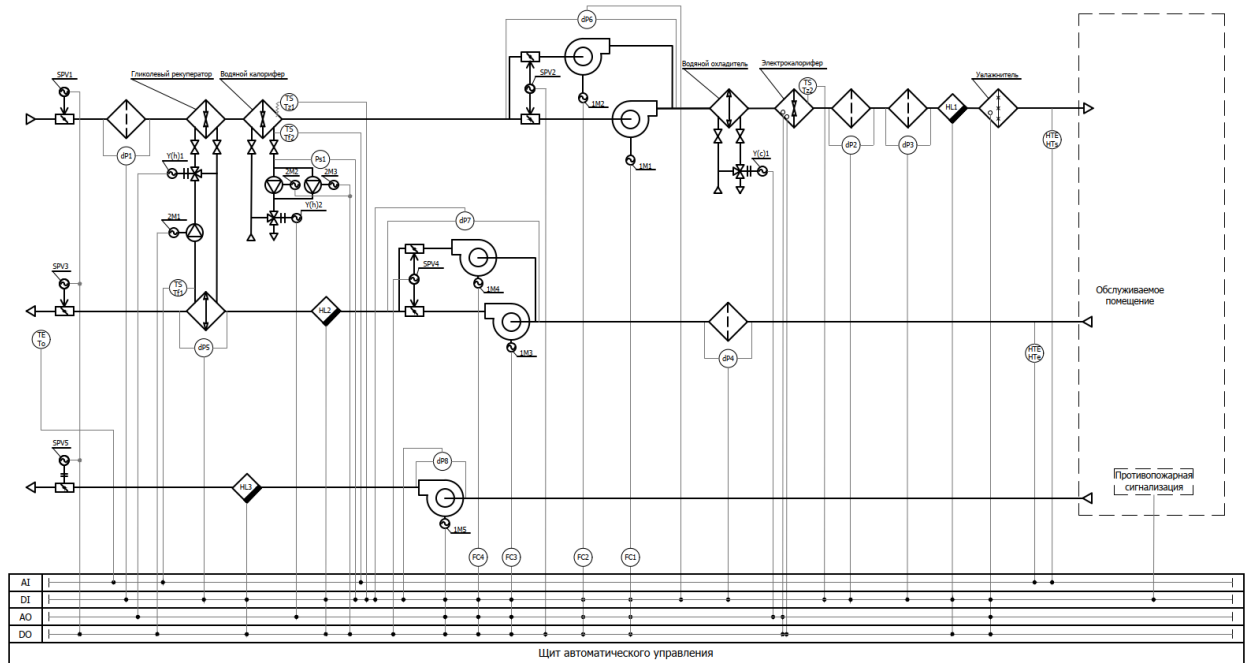


Рис.3.1.1 Функціональна схема автоматизації

Сама система складається з припливно-витяжної установки та додаткової витяжної секції.

У верхній частині ФСА зображено припливну установку, що складається із:

- клапан з електроприводом з пружиною GCA321.1E від компанії Siemens, даний привод повинен повертатися в нульове (аварійне) положення при відключенні живлення або його відмови, що дозволяє захистити обладнання. Управління – двопозиційне, характеристики живлення – 230В змінного струму;
- фільтри з датчиками перепаду тиску PS-500 L (SHUFT), для контролю його перепаду діапазон тиску розрахований на 30-500 Па;
- нагрівна частина гліколевого рекуператора, в комплекті з яким наявні Зхходовий клапан Danfoss HRE3 25 kVs, що використовуються для

регулювання витрати і розділення потоків теплоносія. Регулювання витрати, у даному випадку, відбувається за допомогою встановленого на нього привода АМВ 162 (Danfoss) з вхідним аналоговим сигналом 0(2)...10В (24В постійного струму), та насос TP 50-190/2 (Grundfos), даний насос є 3фазним, серед переваг виділяється широкий робочий діапазон (0°C...120°C), зручність в обслуговуванні та компактність конструкції, а також накладний датчик температури WF269-WT NTC10k, вимірює температуру в діапазоні (-20°C...105°C);

- водяний калорифер із резервом насоса, до якого входять 3хходовий клапан Danfoss HRE3 10 kVs, привод крана АМВ 162 (Danfoss), та два насоси UPS 25-70, діапазон температур середовища, що вони перекачують 2°C...95°C), вони однофазні, економічні та компактні, також в комплекті наявний капілярний термостат КР61 6м. М/10 (Danfoss), що слугує захистом теплообмінника від обмерзання, діапазон налаштувань від -30°C до +15°C), накладний датчик температури WF269-WT NTC10k;

- два клапани, що відкриваються в протифазі з загальним штоком та електроприводом GCA321.1E, що є аналогічним до приводу, який розташовано на вході в систему;

- два вентилятори (основний та резервний) з датчиком перепаду тиску PS-500 L, а також з частотним перетворювачем на кожен вентилятор FC-051 7,5кВт (3x380В), що підібрано відповідно до типу двигуна вентилятора. За допомогою даного частотного перетворювача ми можемо зчитувати сигнал про роботу даного вентилятора, подавати йому сигнал на пуск а також управляти ним за допомогою керуючого сигналу 0...10В;

- водяний охолоджувач, в комплект до якого входять 3хходовий клапан Danfoss HRE3 10 kVs, привод крана АМВ 162;

- електричний нагрів оснащений в комплекті термостатом;

- парозволожувач марки Carel може приймати від нас сигнал на запуск, віддавати сигнал про його роботу та приймати керуючий сигнал 0...10В, після нього встановлено датчик температури та вологості каналний

QFM 2160, що вимірює значення у діапазоні 0-95% відносної вологості та від -40 до 70°C температури, має вихідні сигнали по температурі та вологості 0-10В .

По центру ФСА зображено витяжну систему, у складі якої наявні:

- клапан з електроприводом зі зворотною пружиною, 230V змінного струму, 2хпозиційним керуванням - GMA321.1E (Siemens);
- охолоджуюча частина гліколевого рекуператора, на яку встановлено датчиками перепаду тиску PS-500 L;
- два клапани з загальним штоком та приводом GMA321.1E (аналогічний до попереднього), що працюють в протифазі;
- основний та резервний вентилятори з датчиком перепаду тиску PS-500 L, а також з частотним перетворювачем на кожен вентилятор FC-051 2,2кВт (3х380В);
- фільтр очистки з датчиком перепаду тиску PS-500 L, адже у випадку, якщо на рекуператорі утвориться лід, то і перепад тиску на ньому збільшиться, тоді датчик одразу просигналізує нам про це;
- датчик температури та вологості каналний QFM 2160 (аналогічний датчику, що знаходиться у припливному каналі).

У додатковій витяжній секції наявні:

- клапан з електроприводом без пружини GLB331.1E(Siemens), даний привод має живлення 230VAC та трьох точкове керування;
- вентилятор з регулятором швидкості ET-3R-1, має напругу живлення 230VAC, приймає сигнали на пуск та управління та віддає сигнал про роботу пристрою, та датчиком перепаду тиску PS-500 L.

Кожна із секцій установки оснащена секцією ультрафіолетових ламп, для підключення яких використовується реле контролю струму, що дозволяє слідкувати за їх справністю.

### 3.2 Розрахункова частина

Для того, щоб отримати модель необхідно експериментально знайти динамічні властивості об'єкта.

У зв'язку із тим, що даний об'єкт є реальним та вже функціонує, ми маємо нормовані перехідні характеристики для літнього та зимового режимів (Рисунок 3.2.1-3.2.4), з яких за допомогою розробленої кафедрою програми PLmod та методу площин знайдемо передаточні функції:

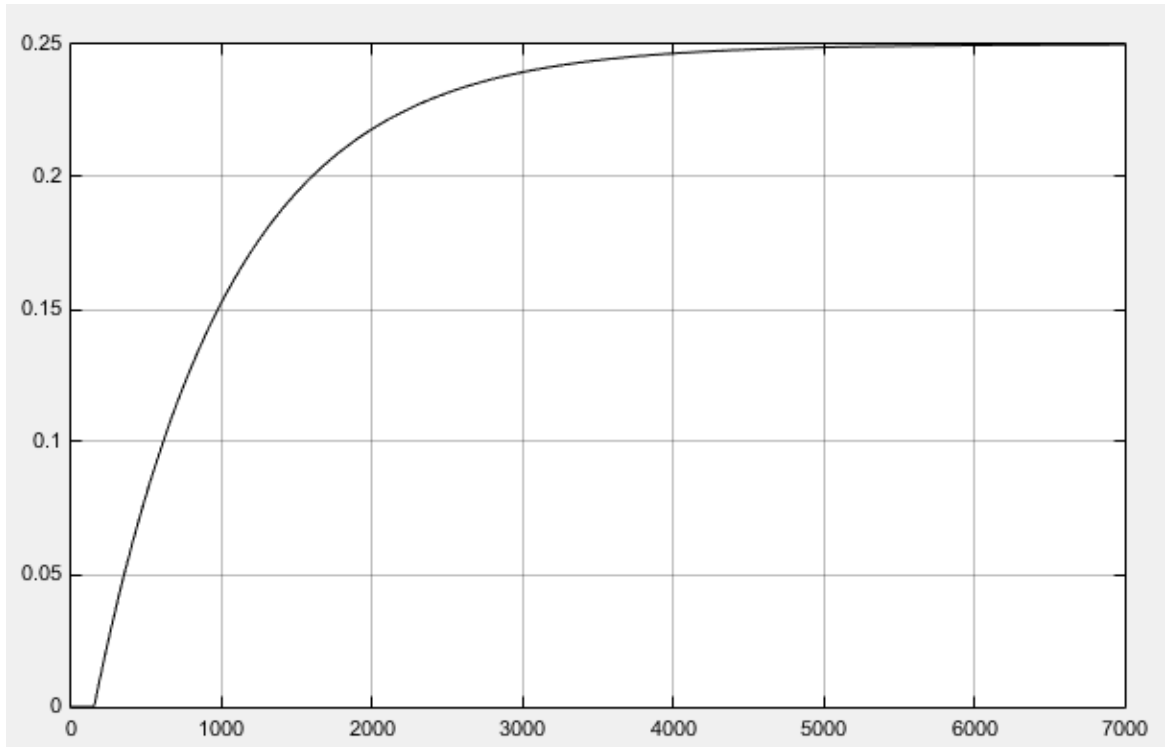


Рис.3.2.1 Нормована перехідна характеристика інерційного контуру для зимового режиму

Звідси передаточна функція інерційного контуру для зимового режиму має вигляд:

$$W_i(p) = \frac{0,25}{1500p^2 + 900p + 1} e^{-150p}$$

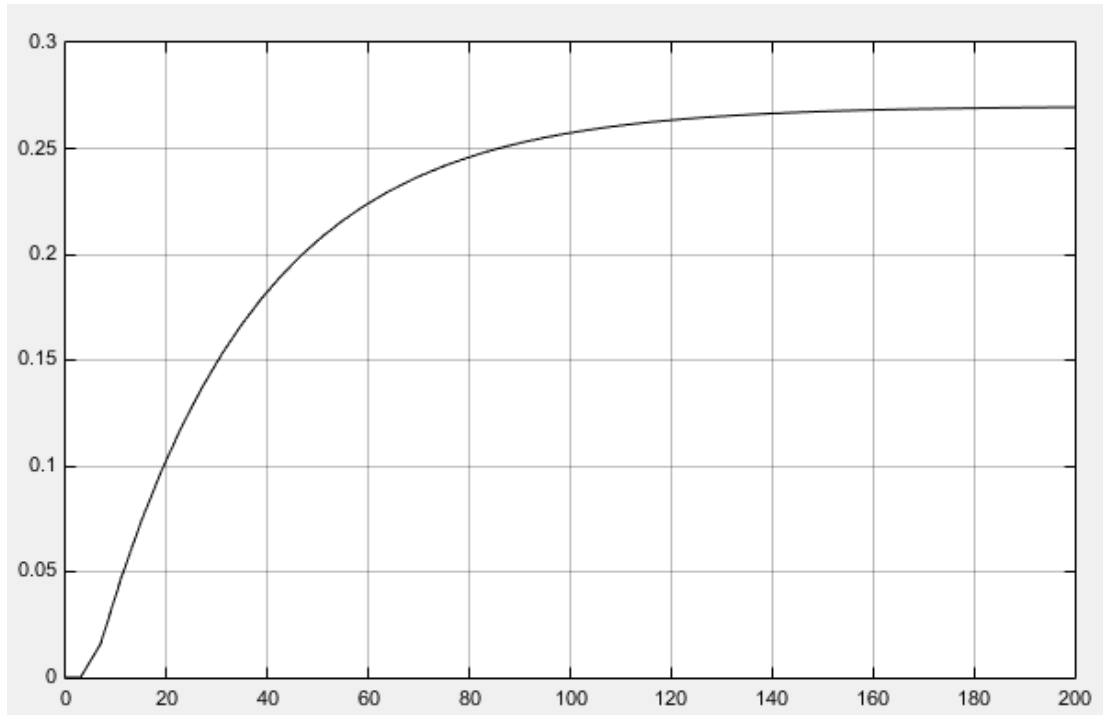


Рис.3.2.2 Нормована перехідна характеристика випереджаючого контуру зимового режиму

Передаточна функція випереджаючого контура для зимового режиму має наступний вигляд:

$$W_B(p) = \frac{0,27}{31p + 1} e^{-5p}$$

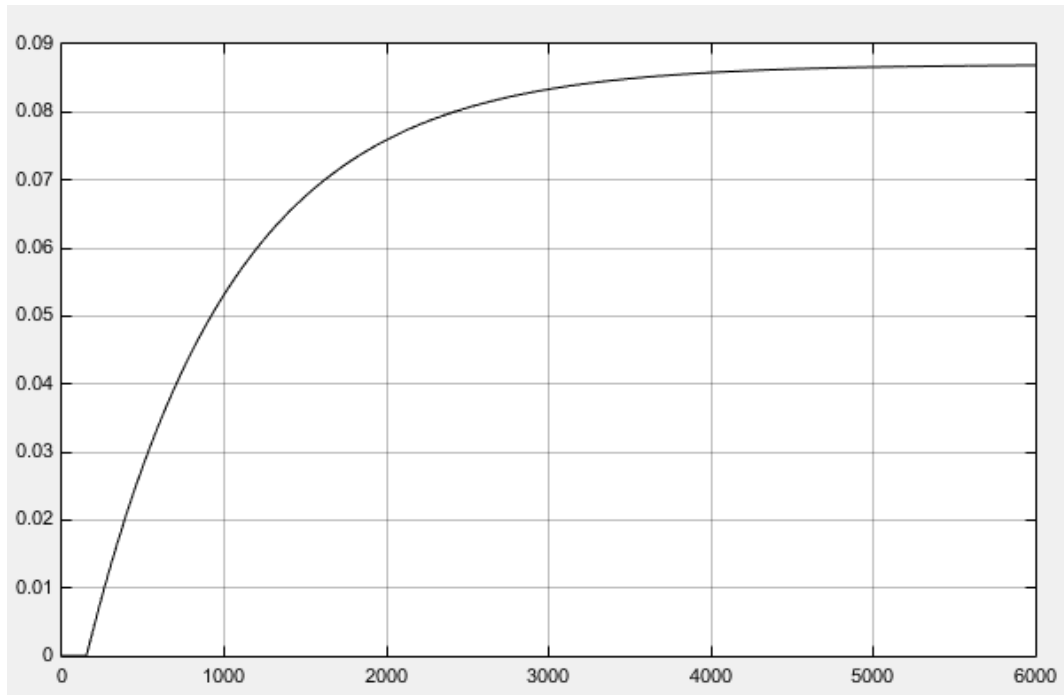


Рис.3.2.3 Нормована перехідна характеристика інерційного контуру для літнього режиму

Звідси передаточна функція інерційного контуру для літнього режиму має вигляд:

$$W_i(p) = \frac{0,087}{1500p^2 + 900p + 1} e^{-150p}$$

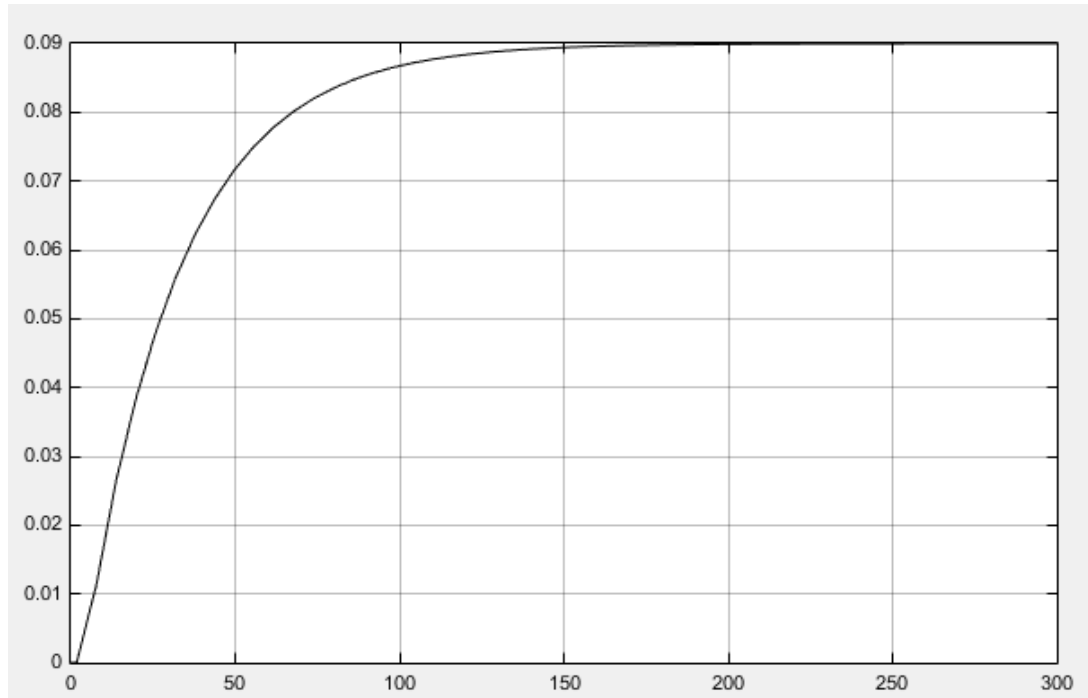


Рис.3.2.4 Нормована перехідна характеристика випереджаючого контуру літнього режиму

Передаточна функція випереджаючого контура має наступний вигляд:

$$W_B(p) = \frac{0,09}{29p + 1} e^{-5p}$$

Система, що розглядається в даному проекті є каскадною (рис.3.2.4).

Дана система це таке регулювання, в якому два або більше контурів з'єднані так, щоб вихід одного регулятора регулював уставку іншого регулятора.

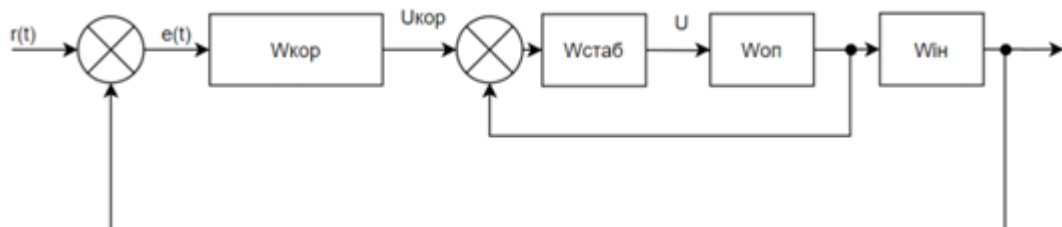


Рис.3.2.4. Каскадна система регулювання

Інерційність об'єкту  $W_{об}$  невелика, це підтримує високу швидкість дії

$W_{\text{кор}}$  (коригуючий регулятор) сформовує завдання для  $W_{\text{стаб}}$ . У відношенні зовнішній-внутрішній контур, внутрішній є майже без інерційним, саме через це перехідні процеси не встигають здійснити великий вплив на вихідну величину. Для того, щоб порівняти регулювання об'єкту з ПІ-регулятором та МРС-регулятором у зимовому та літньому режимах дослідимо цей об'єкт. За допомогою Matlab побудуємо АЧХ та ФЧХ перехідних характеристик для зимового режиму (Рис.3.2.5, Рис.3.2.6.) за кодом, що зображений нижче:

```
w = 0:0.00001:0.06;
p = 1i.*w;
W = (0.25.*(exp(-150.*p))./( 1500.*p.^2+900.*p+1));
fi = atan(imag(W)./real(W))*180/3.14;
Re=real(W);
Im=imag(W);
plot(Re,Im,'black','linew',2);
ha=gca;
ha.XAxisLocation = 'origin';
ha.YAxisLocation = 'origin';
grid on;
hold on;
title('Годограф АФХ інерційного контуру зимового режиму');
xlabel('w');
ylabel('fi(w));
```

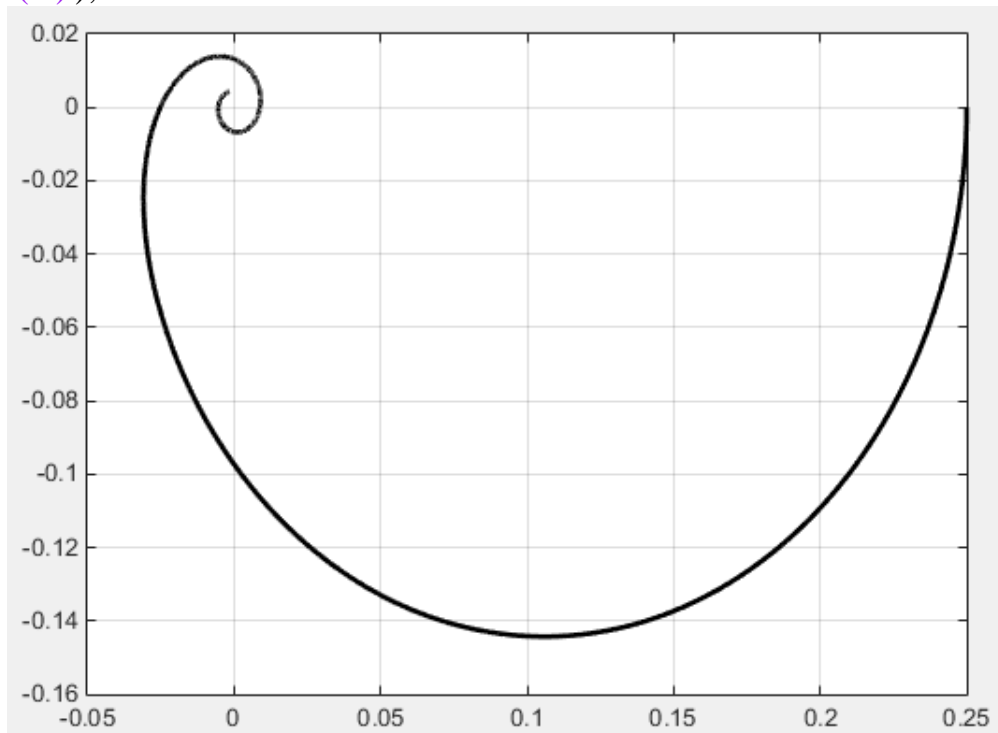


Рис.3.2.5. Годограф АЧХ інерційного контуру для зимового режиму

```

w = 0:0.00001:0.999;
p = 1i.*w;
W = (0.274.*(exp(-5.*p))./(31.*p+1));
fi = atan(imag(W)./real(W))*180/3.14;
Re=real(W);
Im=imag(W);
plot(Re,Im,'black','linewidth',2);
ha=gca;
ha.XAxisLocation = 'origin';
ha.YAxisLocation = 'origin';
grid on;
hold on;
title('Годограф АФХ випереджаючого контуру');
xlabel('w');
ylabel('fi(w)');

```

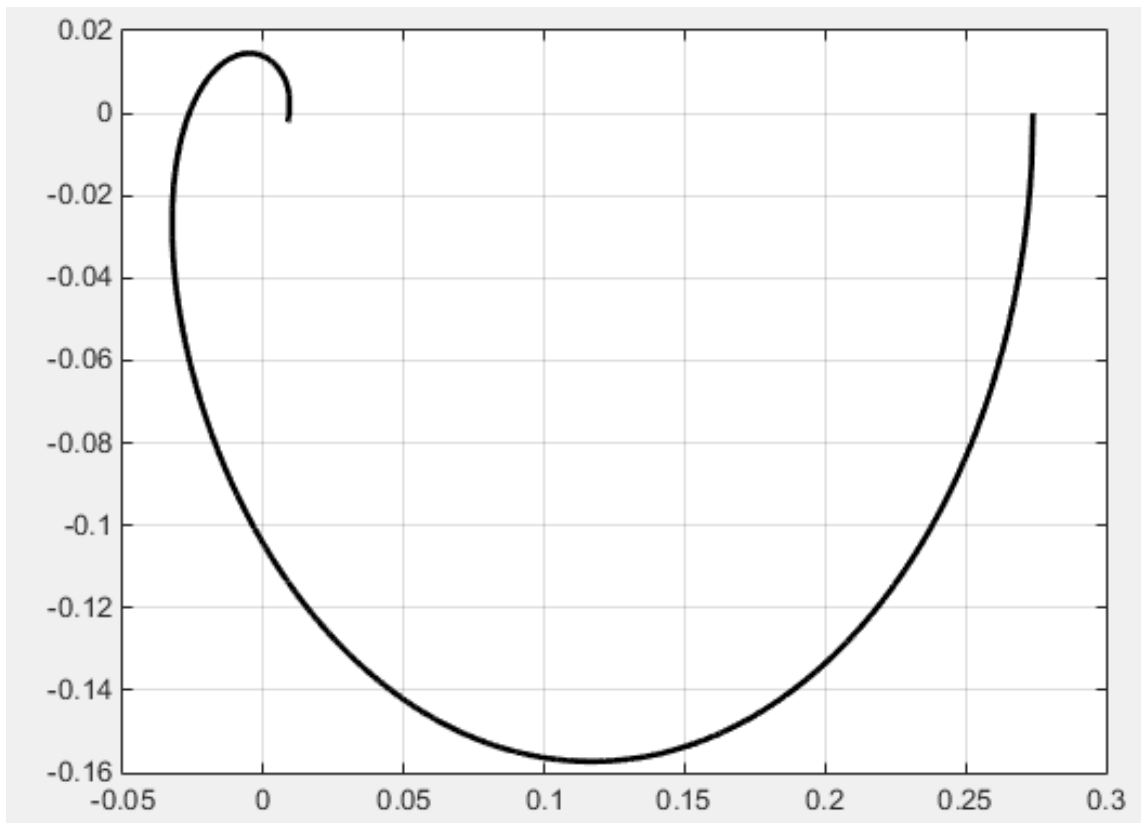


Рис.3.2.6. Годограф АЧХ випереджаючого контуру зимового режиму

Наступний крок - будемо АЧХ контурів (рис.3.2.7, 3.2.8) за таким кодом:

```

w = 0:0.00001:1;
p = 1i.*w;
W = (0.25.*(exp(-150.*p))./(1500.*p.^2+900.*p +1));
A = (real(W).^2+imag(W).^2).^(1/2);

```

```

plot(w,A,'black','linewidth',2);
ha=gca;
ha.XAxisLocation = 'origin';
ha.YAxisLocation = 'origin';
grid on;
hold on;
title('АЧХ інерційного контуру');
xlabel('w');
ylabel('A(w)');

```

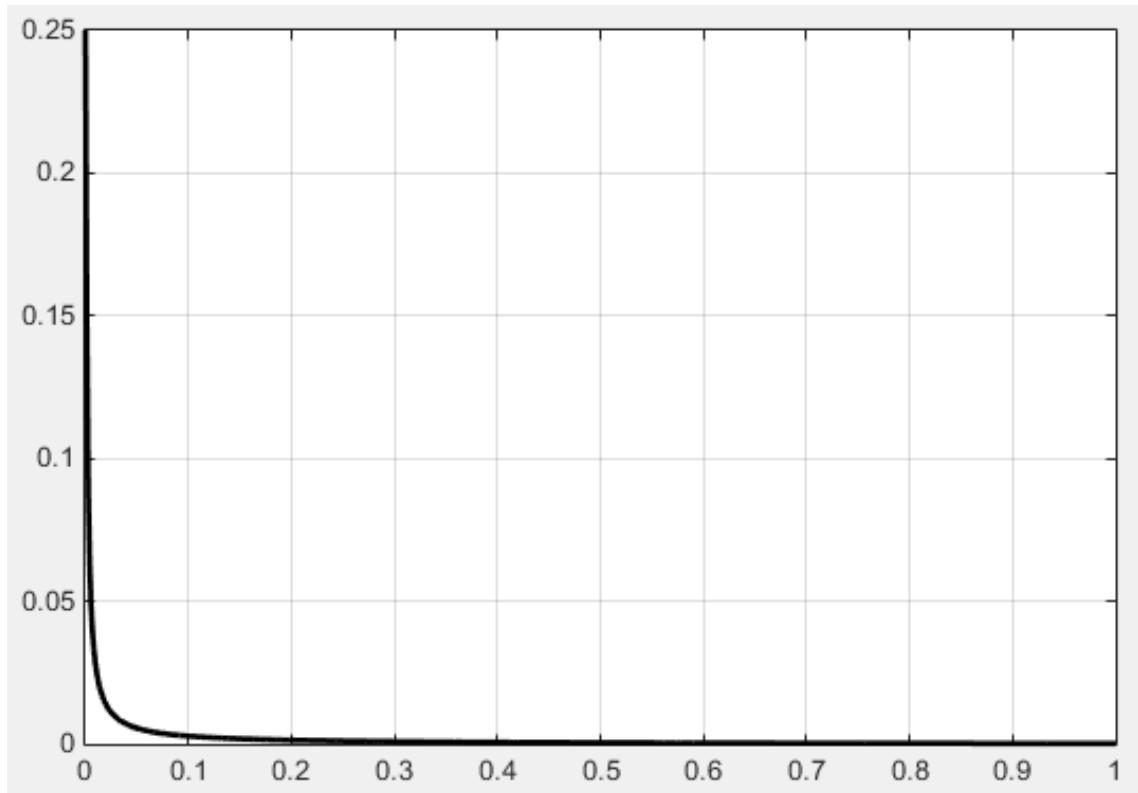


Рис.3.2.7. АЧХ інерційного контуру зимового режиму

```

w = 0:0.00001:1;
p = 1i.*w;
W = (0.274.*(exp(-5.*p))./(31.*p+1));
A = (real(W).^2+imag(W).^2).^(1/2);

plot(w,A,'black','linewidth',2);
ha=gca;
ha.XAxisLocation = 'origin';
ha.YAxisLocation = 'origin';
grid on;
hold on;
title('АЧХ випереджаючого контуру');
xlabel('w');
ylabel('A(w)');

```

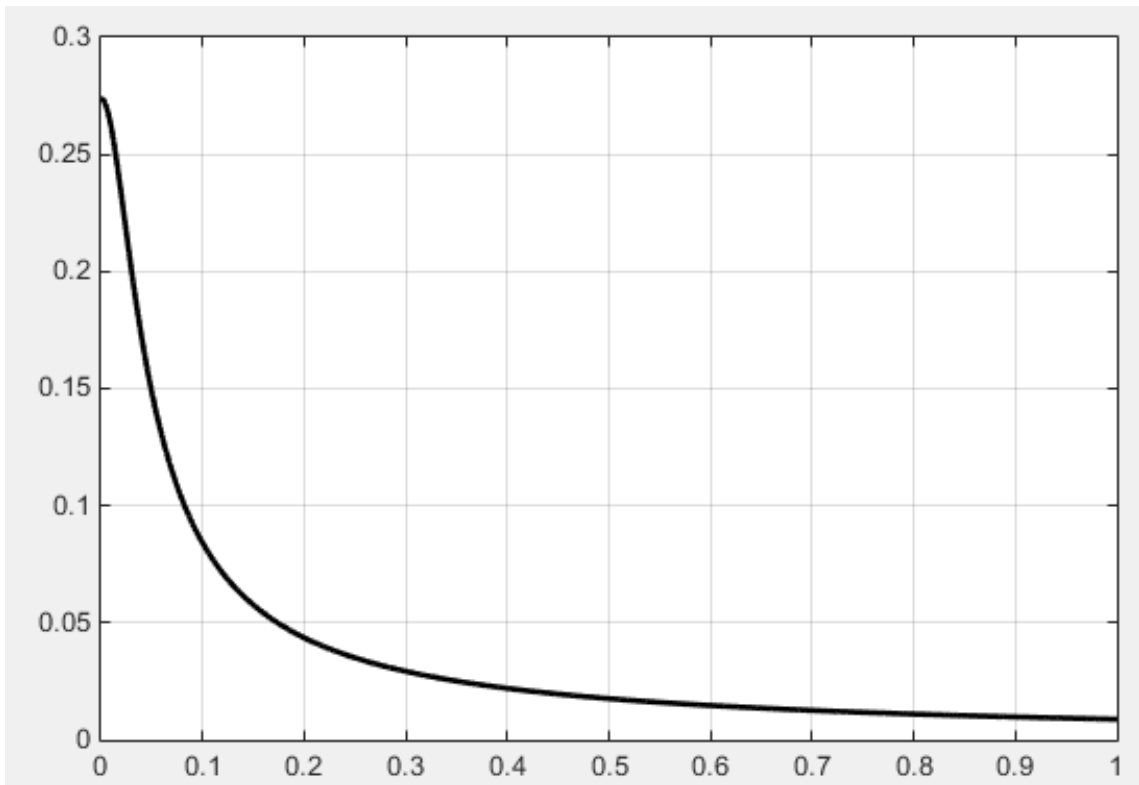


Рис.3.2.8. АЧХ випереджаючого контуру зимового режиму

За кодом, що зображено нижче будуюмо ФЧХ (рис. 3.2.9, 3.2.10) контурів:

```
w = 0:0.00001:0.001;
p = 1i.*w;
W = (0.25.*(exp(-150.*p))./(1500.*p.^2+900.*p +1));
A = atan(imag(W)./real(W)) *180/3.14;
```

```
plot(w,A,'black','linewidth',2);
ha=gca;
ha.XAxisLocation = 'origin';
ha.YAxisLocation = 'origin';
grid on;
hold on;
title('ФЧХ інерційного контуру');
xlabel('w');
ylabel('A(w)');
```

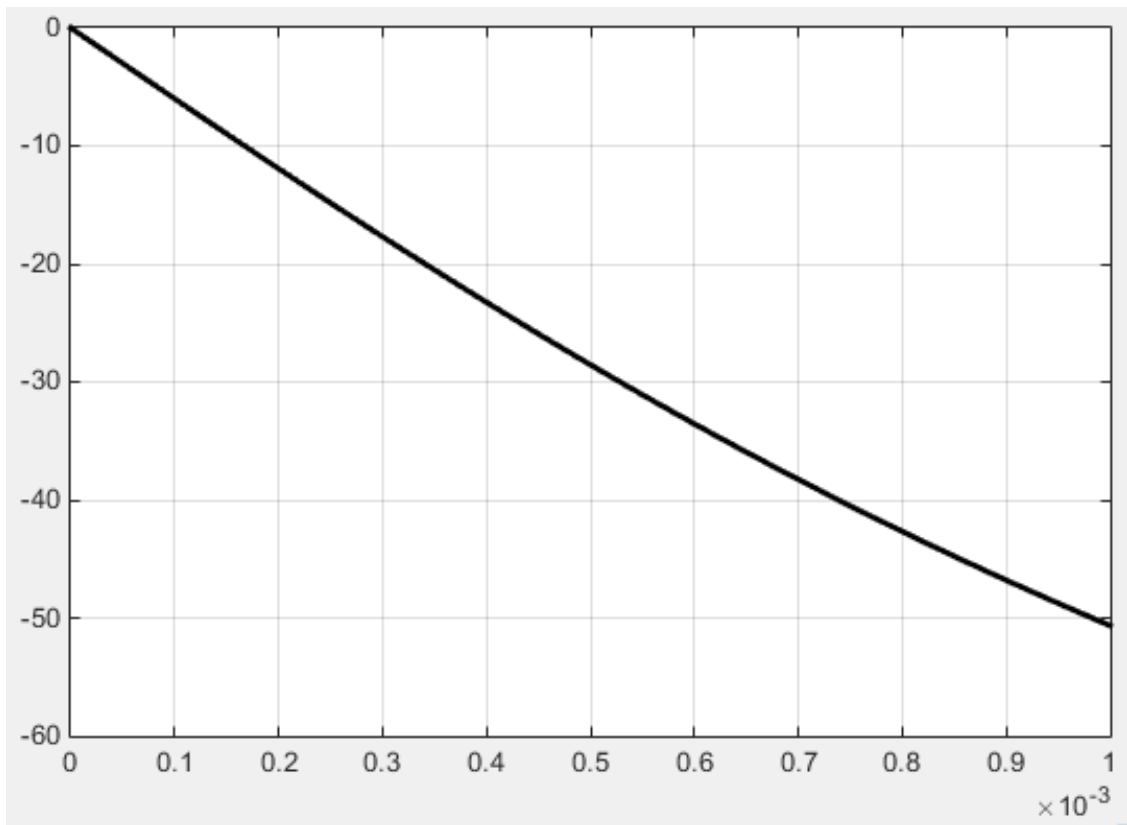


Рис.3.2.9. ФЧХ інерційного контуру зимового режиму

```
w = 0:0.00001:0.01;
p = 1i.*w;
W = (0.274.*(exp(-5.*p))./(31.*p+1));
A = atan(imag(W)./real(W)) *180/3.14;
```

```
plot(w,A,'black','linew',2);
ha=gca;
ha.XAxisLocation = 'origin';
ha.YAxisLocation = 'origin';
grid on;
hold on;
title('ФЧХ випереджаючого контуру');
xlabel('w');
ylabel('A(w)');
```

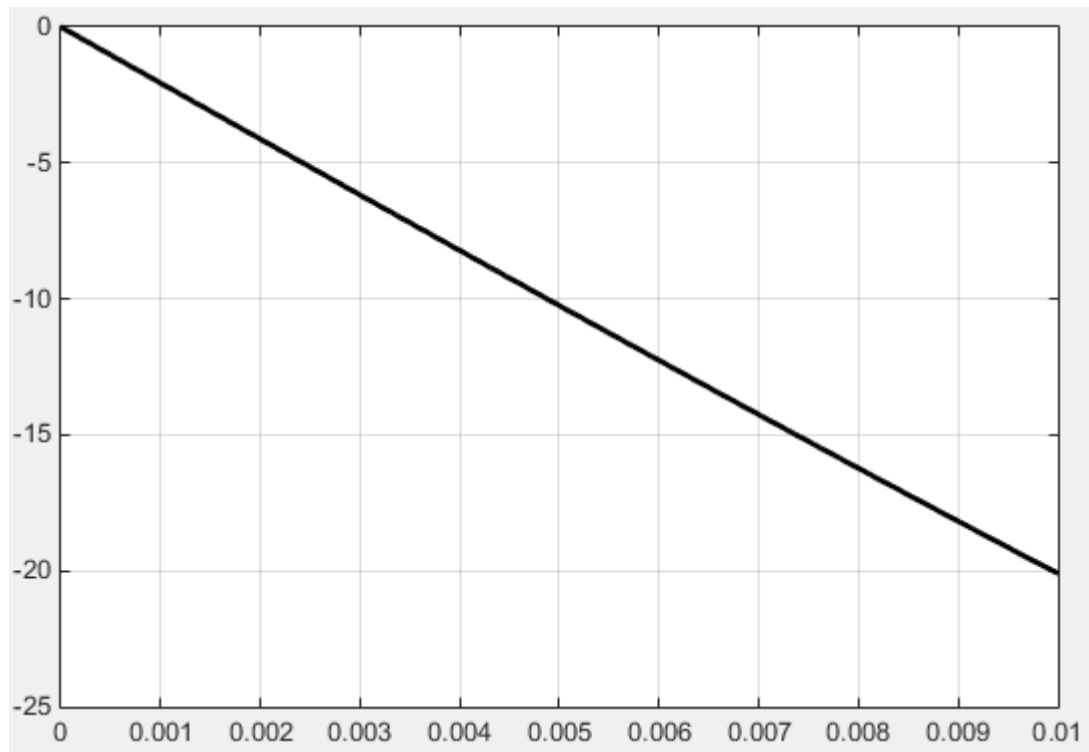


Рис.3.2.10. ФЧХ випереджаючого контуру зимового режиму

Для отримання оптимальних налаштувань регулятора виконаємо розрахунок за допомогою методу розширених амплітудно-фазових характеристик (РАФХ).

Задано кореневим показником коливальності 0.39 та побудуємо лінію налаштувань для внутрішнього регулятора (рис.3.2.11) за кодом:

```
w = 0:0.00001:0.263;
M = 0.39;
p = (1i-M).*w;
Wvip = (0.274.*(exp(-5.*p))./(31.*p + 1));
Wekv1 = Wvip;
figure; %Внутрішній контур ПІ-ПІ
A1 = real(Wekv1).^2+imag(Wekv1).^2;
Ki = -((w.*(M.^2+1).*imag(Wekv1))./(A1));
Kp = -((real(Wekv1)+M.*imag(Wekv1))./(A1));
plot(Kp,Ki,'black','linew',2);
ha=gca;
ha.XAxisLocation = 'origin';
ha.YAxisLocation = 'origin';
grid on;
hold on;
title('Внутрішній контур ПІ-ПІ');
xlabel('Kp');
ylabel('Ki');
```

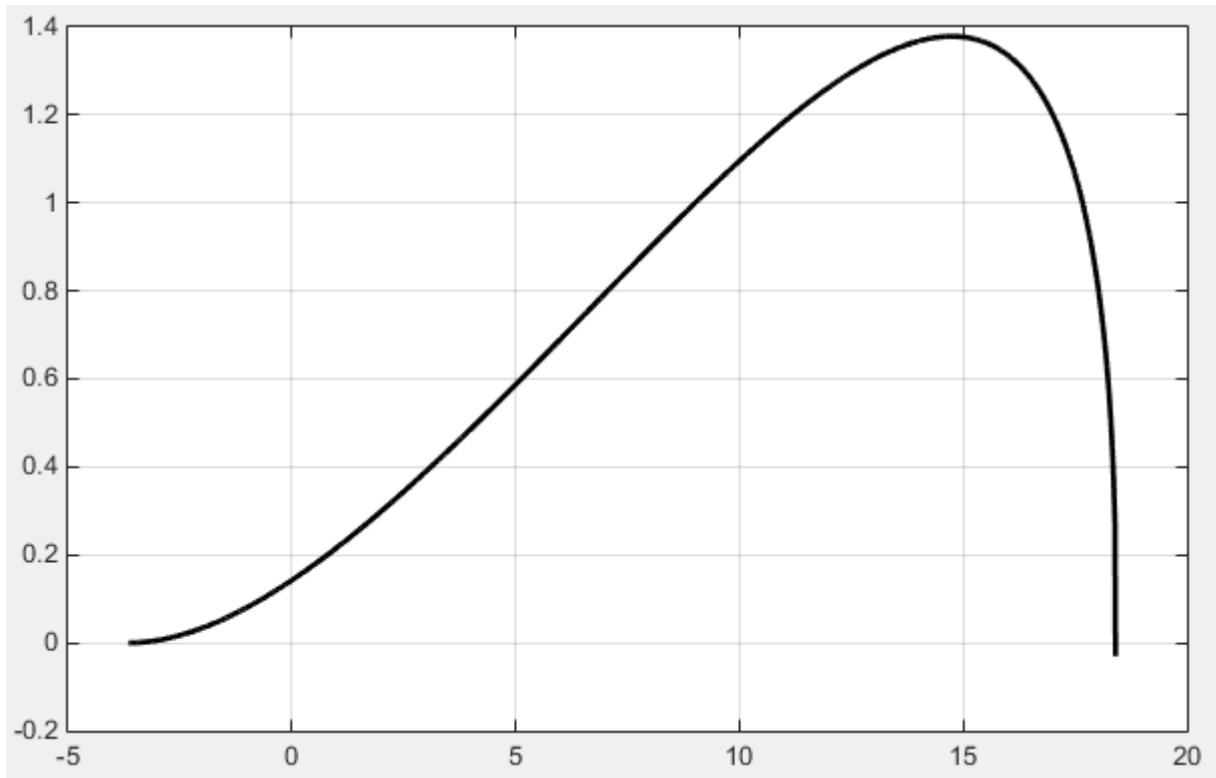


Рис.3.2.11. Лінія налаштувань для внутрішнього ПІ-регулятора у зимовому режимі

Оптимальному налаштуванню регулятора відповідає точка  $K_{i_{\text{опт}}} = 0.95 \cdot K_{i_{\text{max}}}$ , трішки правіше від  $K_{i_{\text{max}}}$  і це точка  $T_i = \frac{16.18}{1.32} = 12,25$ .

Перевіримо правильність (Рис.3.2.12. Для цього нам необхідно перевірити, чи проходить АФЧХ<sub>розш</sub> РС через точку  $(-1, j0)$ :

```
figure; %АФЧХрозш РС випередж ПІ-ПІ
w = 0:0.001:0.3;
M = 0.39;
p = (1i-M).*w;
Wvip = (0.274.*(exp(-5.*p))./(31.*p + 1));
Wrs=Wvip.*( 16.18+(16.18./( 12.23.*p)));
plot(real(Wrs),imag(Wrs),'black','linew',2);
hold on;
grid on;
ha=gca;
ha.XAxisLocation = 'origin';
ha.YAxisLocation = 'origin';
title('АФЧХрозш РС випередж ПІ-ПІ');
xlabel('Re(w)');
ylabel('Im(w)');
```

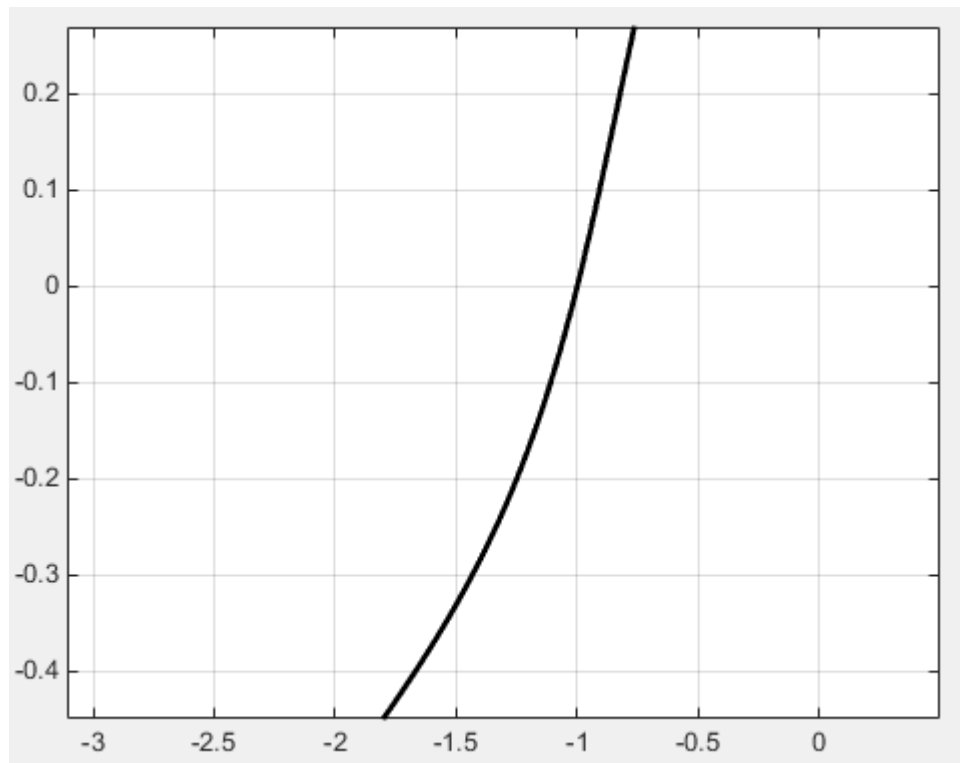


Рис.3.2.12. АФЧХ<sub>розш</sub> РС для внутрішнього контуру зимового режиму

Отже, передавальна функція для внутрішнього ПІ-регулятора для зимового режиму має вигляд:

$$W_{\text{ПІ}_{\text{внутр}}}(p) = 16.18 \cdot \left(1 + \frac{1}{12.25 \cdot p}\right)$$

Тепер знайдемо налаштування для зовнішнього регулятора (рис.3.2.13):

```
w = 0:0.00001:0.0113;
M = 0.39;
p = (1i-M).*w;

Wvip = (0.274.*(exp(-5.*p))./(31.*p+1));
Wob = (0.25.*(exp(-150.*p))./(1500.*p.^2+900.*p +1));
Wekv1 = Wvip;
Wst = 16.18+16.18./(12.25.*p);
Wekv2= (Wst.*Wob)./(1.+Wst.*Wvip);
figure; %Зовнішній контур ПІ-ПІ
A2 = real(Wekv2).^2+imag(Wekv2).^2;
Ki = -((w.*(M.^2+1).*imag(Wekv2))./(A2));
Kp = -((real(Wekv2)+M.*imag(Wekv2))./(A2));
plot(Kp,Ki,'black','linew',2);
ha=gca;
ha.XAxisLocation = 'origin';
```

```

ha.YAxisLocation = 'origin';
grid on;
hold on;
title('Зовнішній контур ПІ-ПІ');
xlabel('Kp');
ylabel('Ki');

```

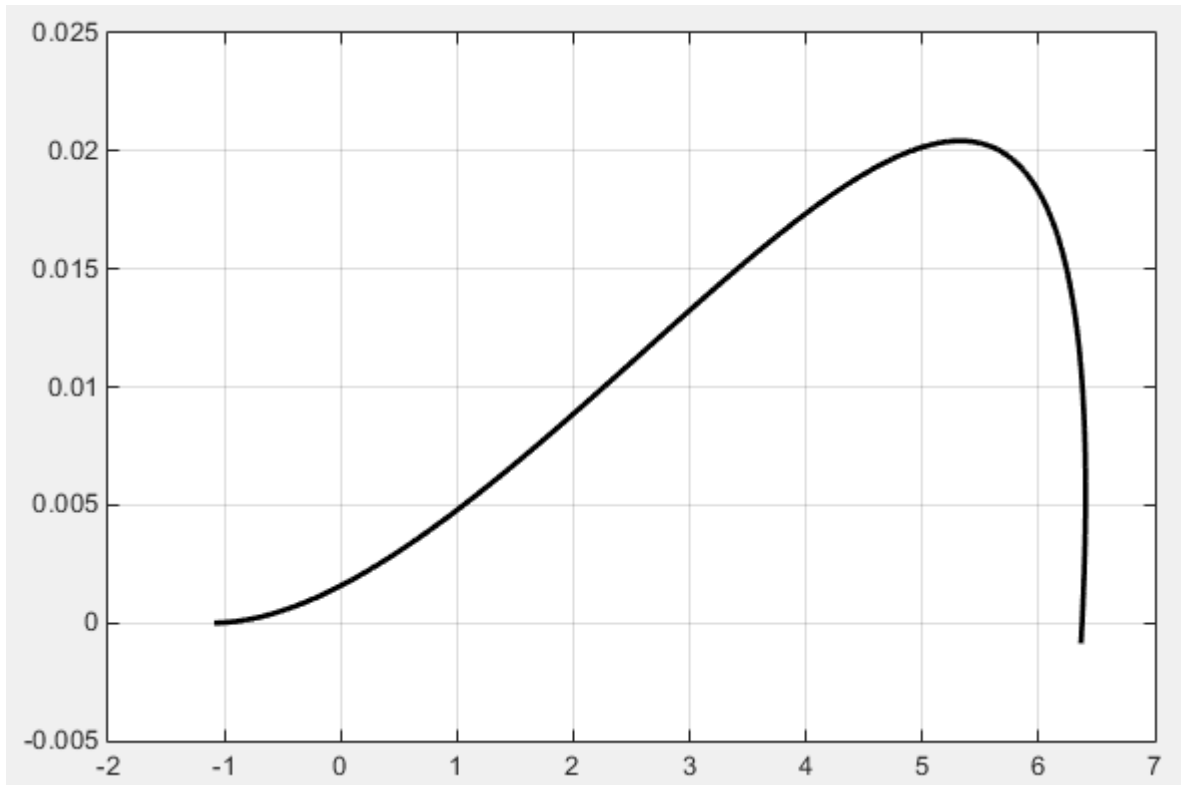


Рис.3.2.13. Лінія налаштувань для зовнішнього ПІ-регулятора для зимового режиму

Виберемо точку, та проробимо дії, що виконували вище для знаходження оптимального налаштування регулятора:  $T_i = \frac{5.8}{0.0195} = 297.43$ .

Перевіримо правильність (Рис.3.2.14):

```

figure; %АФЧХрозш РС зовн ПІ-ПІ
Wrs=Wekv2.*(5.8+(5.8./( 297.43.*p)));
plot(real(Wrs),imag(Wrs),'black','linew',2);
hold on;
grid on;
ha=gca;
ha.XAxisLocation = 'origin';
ha.YAxisLocation = 'origin';
title('АФЧХрозш РС зовн ПІ-ПІ');
xlabel('Re(w)');
ylabel('Im(w)');

```

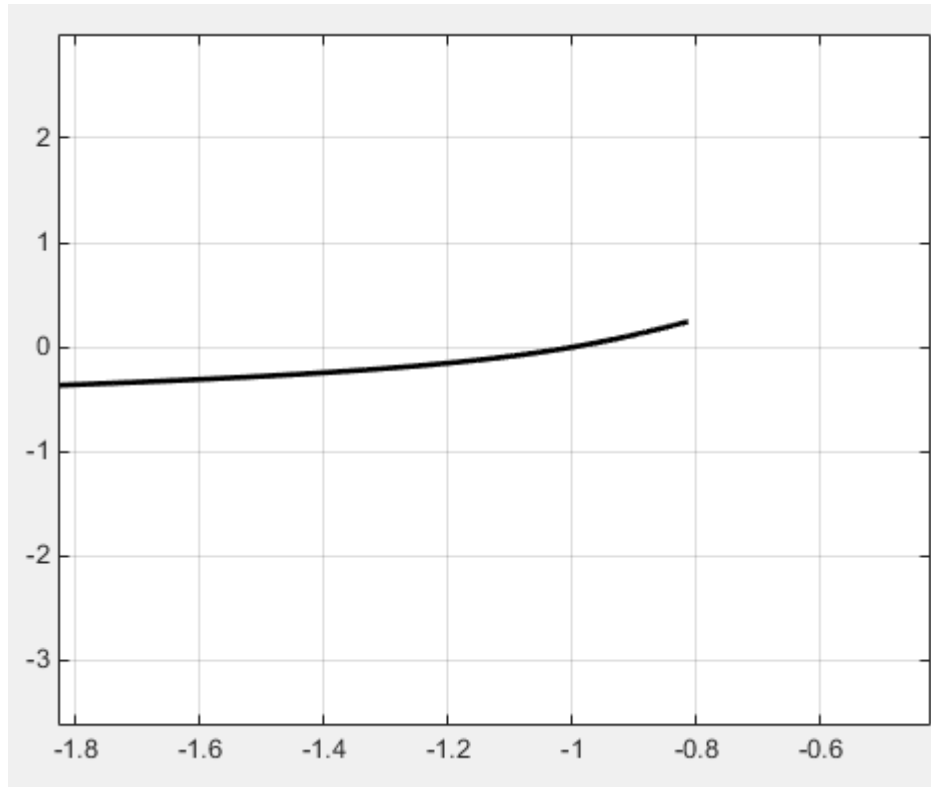


Рис.3.2.14. АФЧХ<sub>розш</sub> РС для зовнішнього контуру зимового режиму

Отже, передавальна функція для зовнішнього ПІ-регулятора має вигляд:

$$W_{\text{ПІ}_{\text{зовн}}}(p) = 5.8 \cdot \left(1 + \frac{1}{297.43 \cdot p}\right)$$

Побудуємо систему із ПІ-регуляторами, із знайденими налаштуваннями в Simulink (рис. 3.2.15, 3.2.17), та отримаємо перехідні процеси в замкнутій системі (рис. 3.2.16, 3.2.18) :

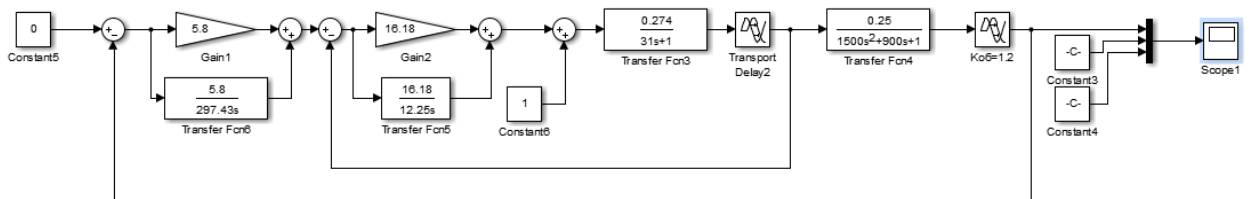


Рис.3.2.15. Схема каскадної системи по каналу збурення-вихід

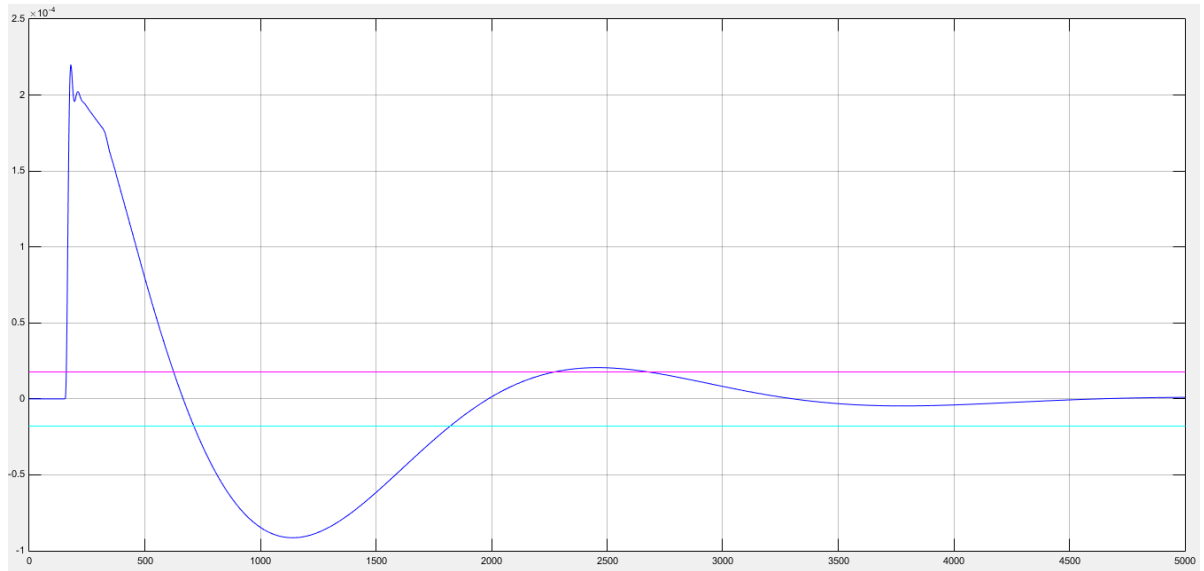


Рис.3.2.16. Перехідний процес в каскадній системі за каналом збурення-вихід

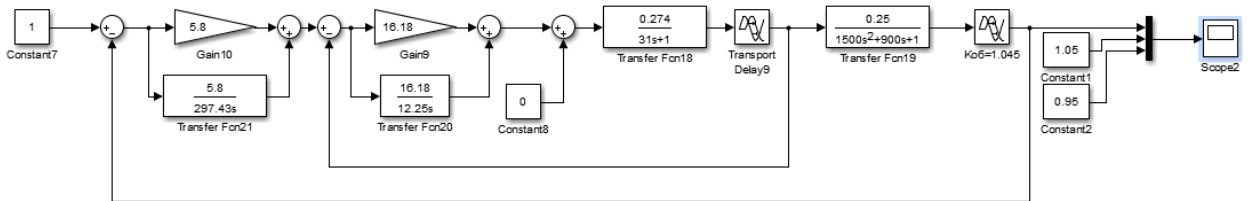


Рис.3.2.17. Схема каскадної системи по каналу завдання-вихід

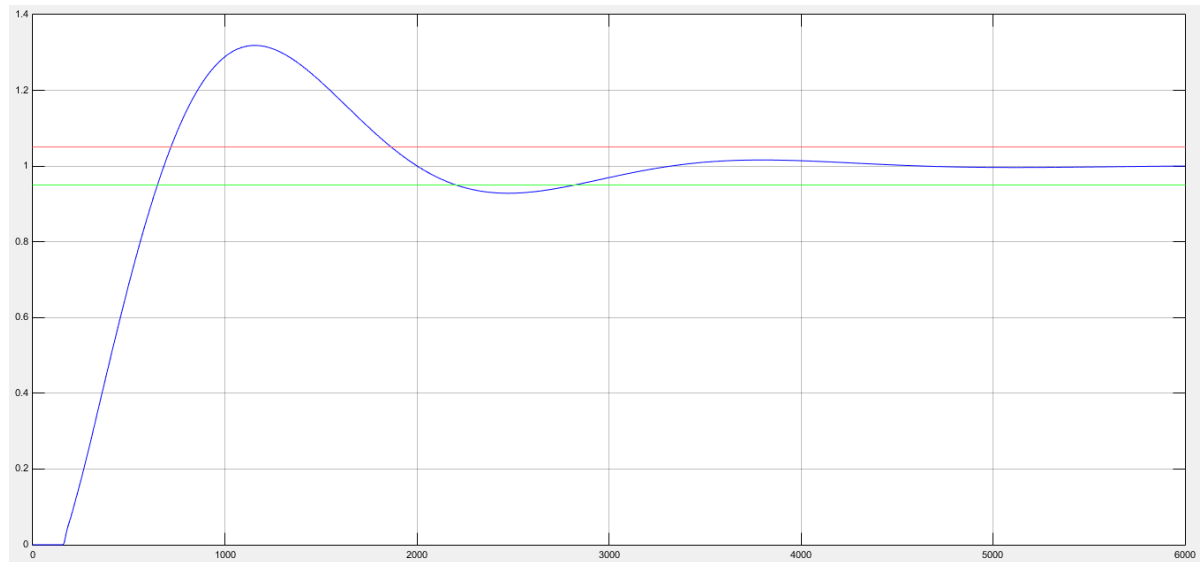


Рис.3.2.18. Перехідний процес в каскадній системі за каналом завдання-вихід

Знайдемо показники якості:

Табл.3.2.1. Прямі показники якості перехідних процесів.

	$\Delta y$	$\sigma$ (%)	$\psi$	$t_{пп}$ (с)	$y_{ст}$
Збурення-вихід	0,0002205	41,4785	0,90476	2912	0
Завдання-вихід	0,318	35,7292	0,9434	3947,5	1

Повторимо усі попередні дії, але для літнього режиму роботи установки. За допомогою Matlab побудуємо АЧХ та ФЧХ перехідних характеристик для літнього режиму (Рис.3.2.19, Рис.3.2.20.):

```
w = 0:0.00001:0.06;
p = 1i.*w;
W = (0.087.*(exp(-150.*p))./( 1500.*p.^2+900.*p+1));
fi = atan(imag(W)./real(W))*180/3.14;
Re=real(W);
Im=imag(W);
plot(Re,Im,'black','linew',2);
ha=gca;
ha.XAxisLocation = 'origin';
ha.YAxisLocation = 'origin';
grid on;
hold on;
title('Годограф АФХ інерційного контуру');
xlabel('w');
ylabel('fi(w));
```

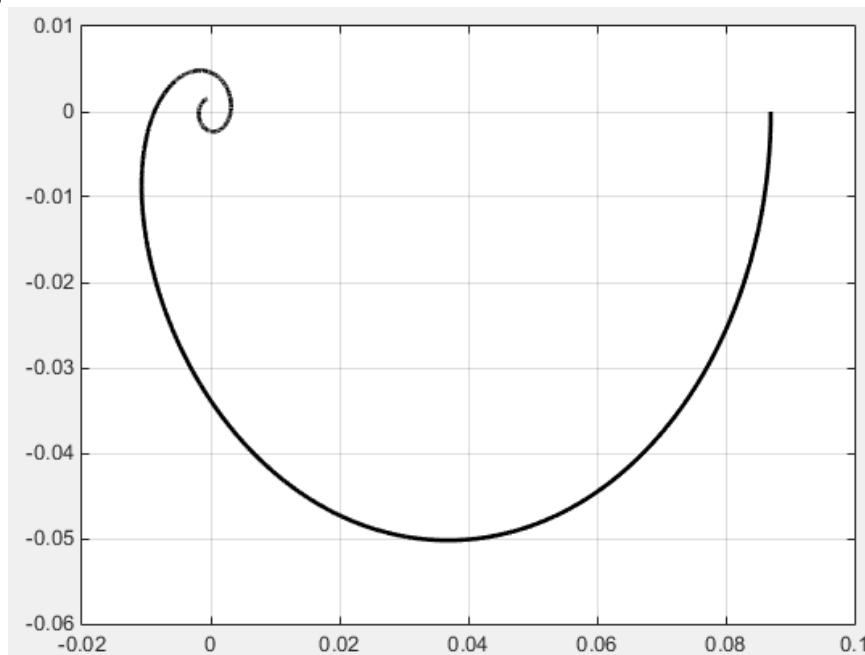


Рис.3.2.19. Годограф АЧХ інерційного контуру для літнього режиму

```
w = 0:0.00001:2.2;
```

```

p = 1i.*w;
W = (0.09.*(exp(-4.*p))./(28.*p+1));
fi = atan(imag(W)./real(W))*180/3.14;
Re=real(W);
Im=imag(W);
plot(Re,Im,'black','linew',2);
ha=gca;
ha.XAxisLocation = 'origin';
ha.YAxisLocation = 'origin';
grid on;
hold on;
title('Годограф АФХ випереджаючого контуру');
xlabel('w');
ylabel('fi(w)');

```

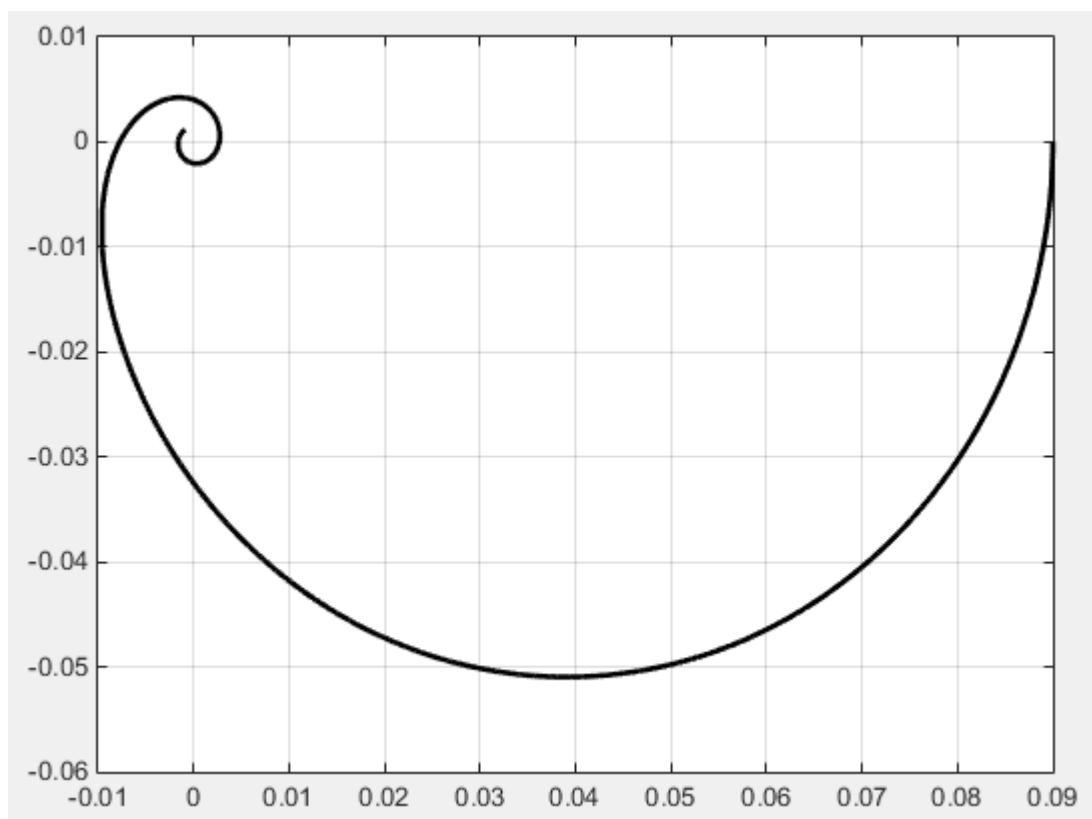


Рис.3.2.20. Годограф АЧХ випереджаючого контуру літнього режиму

Наступний крок - будемо АЧХ контурів (рис.3.2.21, 3.2.22) за таким кодом:

```

w = 0:0.00001:1;
p = 1i.*w;
W = (0.087.*(exp(-150.*p))./(1500.*p.^2+900.*p +1));
A = (real(W).^2+imag(W).^2).^(1/2);

plot(w,A,'black','linew',2);
ha=gca;
ha.XAxisLocation = 'origin';
ha.YAxisLocation = 'origin';

```

```

grid on;
hold on;
title('АЧХ інерційного контуру');
xlabel('w');
ylabel('A(w)');

```

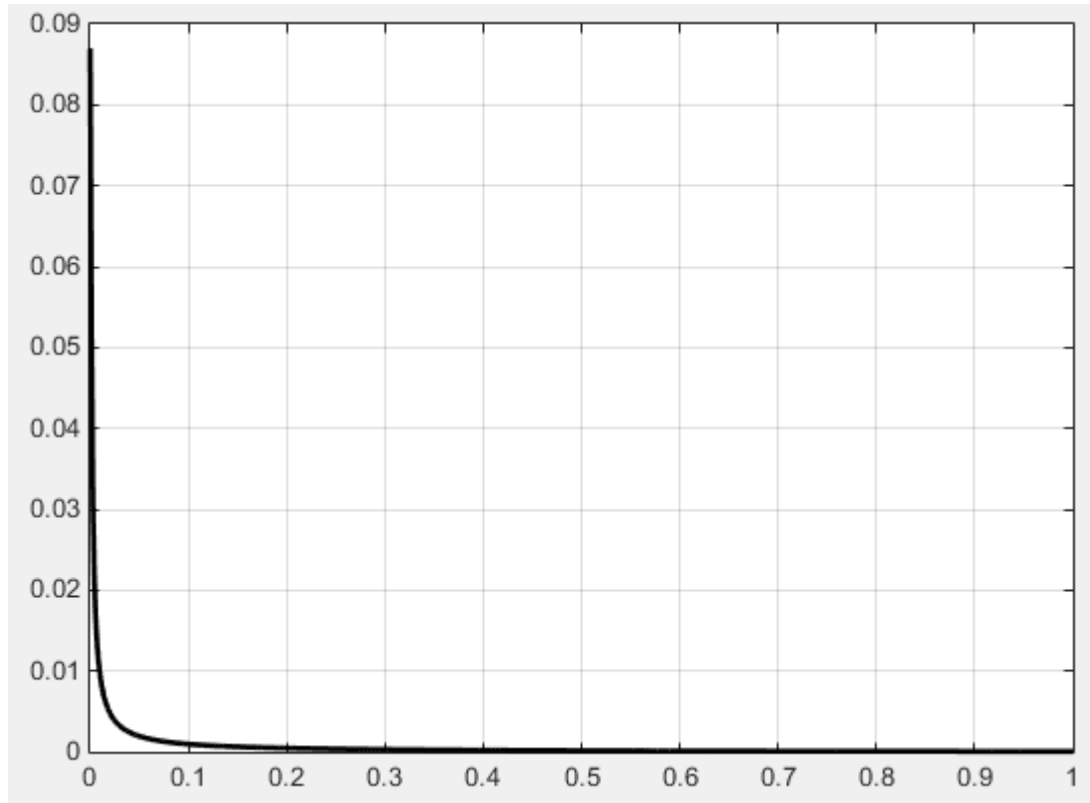


Рис.3.2.21. АЧХ інерційного контуру літнього режиму

```

w = 0:0.00001:1;
p = 1i.*w;
W = (0.09.*(exp(-4.*p))./(29.*p+1));
A = (real(W).^2+imag(W).^2).^(1/2);

```

```

plot(w,A,'black','linewidth',2);
ha=gca;
ha.XAxisLocation = 'origin';
ha.YAxisLocation = 'origin';
grid on;
hold on;
title('АЧХ випереджаючого контуру');
xlabel('w');
ylabel('A(w)');

```

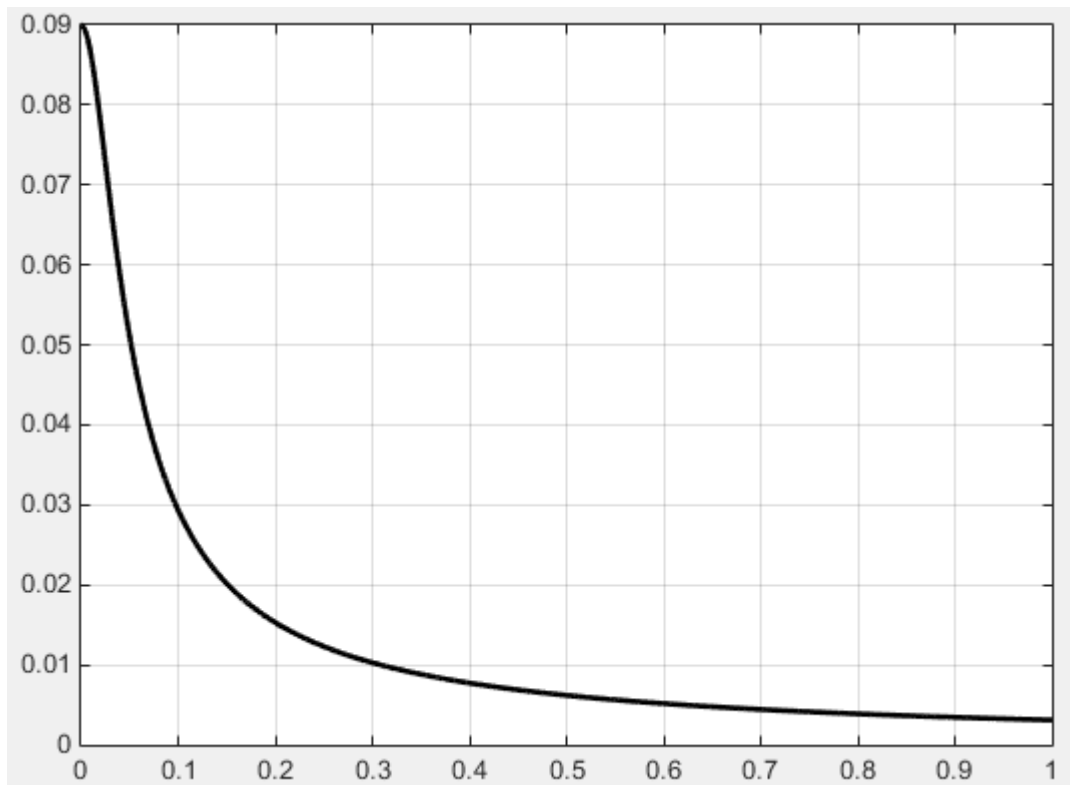


Рис.3.2.22. АЧХ випереджаючого контуру літнього режиму

За кодом, що зображено нижче будуємо ФЧХ (рис. 3.2.23, 3.2.24) контурів:

```
w = 0:0.00001:0.001;
p = 1i.*w;
W = (0.087.*(exp(-150.*p))./(1500.*p.^2+900.*p +1));
A = atan(imag(W)./real(W)) *180/3.14;

plot(w,A,'black','linew',2);
ha=gca;
ha.XAxisLocation = 'origin';
ha.YAxisLocation = 'origin';
grid on;
hold on;
title('ФЧХ інерційного контуру');
xlabel('w');
ylabel('A(w)');
```

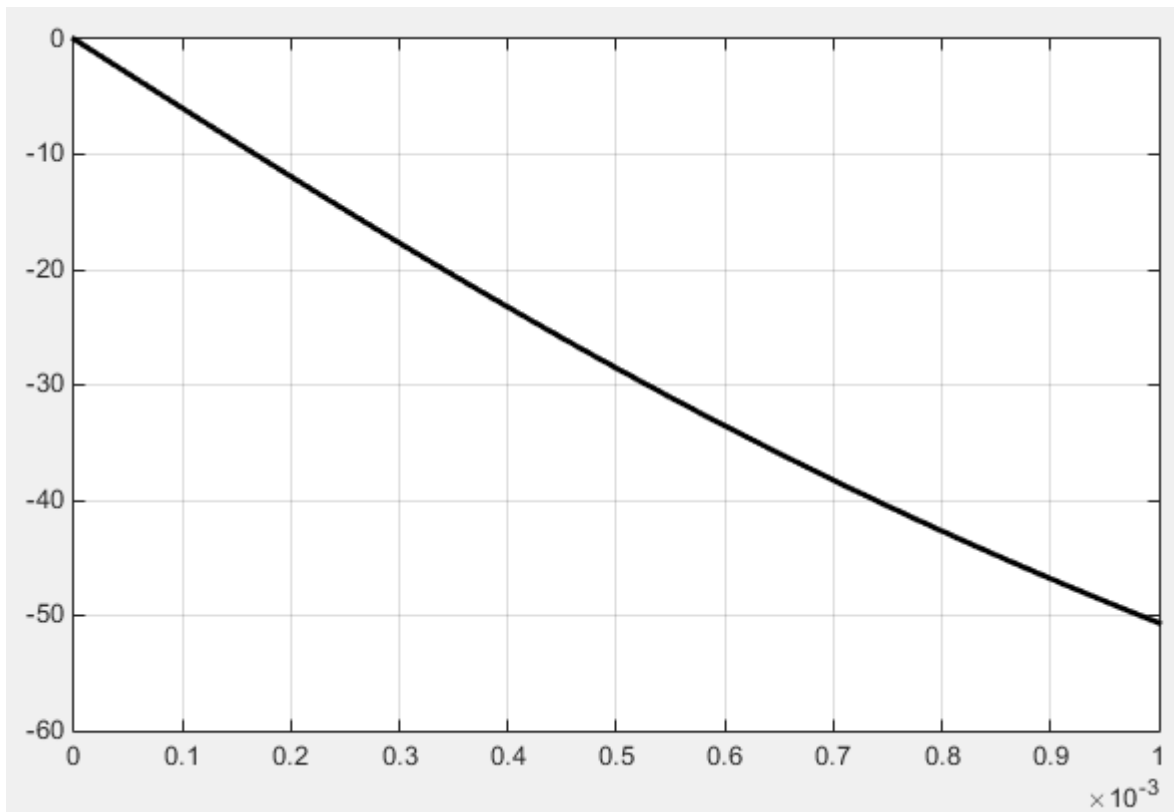


Рис.3.2.23. ФЧХ інерційного контуру літнього режиму

```
w = 0:0.00001:0.01;
p = 1i.*w;
W = (0.09.*(exp(-4.*p))./(29.*p+1));
A = atan(imag(W)./real(W)) *180/3.14;
```

```
plot(w,A,'black','linew',2);
ha=gca;
ha.XAxisLocation = 'origin';
ha.YAxisLocation = 'origin';
grid on;
hold on;
title('ФЧХ випереджаючого контуру');
xlabel('w');
ylabel('A(w)');
```

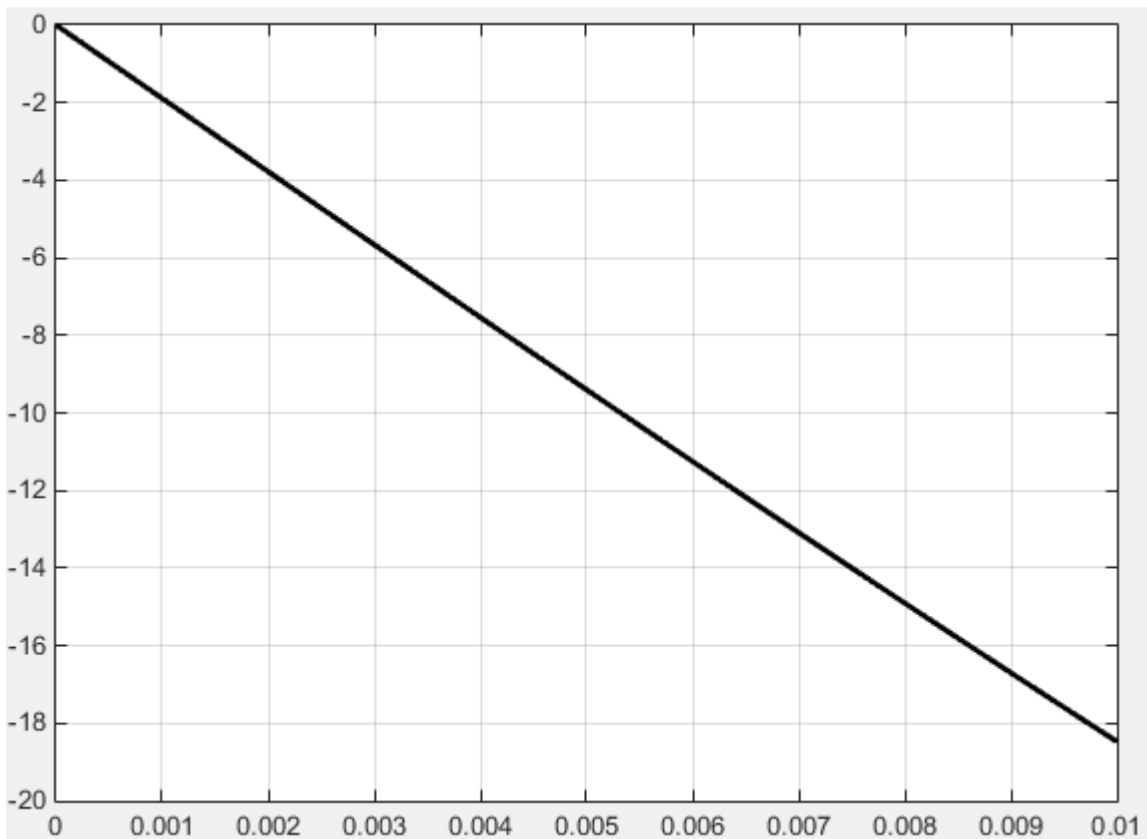


Рис.3.2.24. ФЧХ випереджаючого контуру літнього режиму

Для отримання оптимальних налаштувань регулятора виконаємо розрахунок за допомогою методу розширених амплітудно-фазових характеристик (РАФХ).

Задамося кореневим показником коливальності 0.39 та побудуємо лінію налаштувань для внутрішнього регулятора (рис.3.2.25) за кодом:

```
w = 0:0.00001:0.326;
M = 0.39;
p = (1i-M).*w;
Wvip = (0.09.*(exp(-4.*p))./(29.*p +1));
Wekv1 = Wvip;
figure; %Внутрішній контур ПІ-ПІ
A1 = real(Wekv1).^2+imag(Wekv1).^2;
Ki = -((w.*(M.^2+1).*imag(Wekv1))./(A1));
Kp = -((real(Wekv1)+M.*imag(Wekv1))./(A1));
plot(Kp,Ki,'black','linew',2);
ha=gca;
ha.XAxisLocation = 'origin';
ha.YAxisLocation = 'origin';
grid on;
hold on;
```

```
title('Внутрішній контур ПІ-ПІ');
xlabel('Kp');
ylabel('Ki');
```

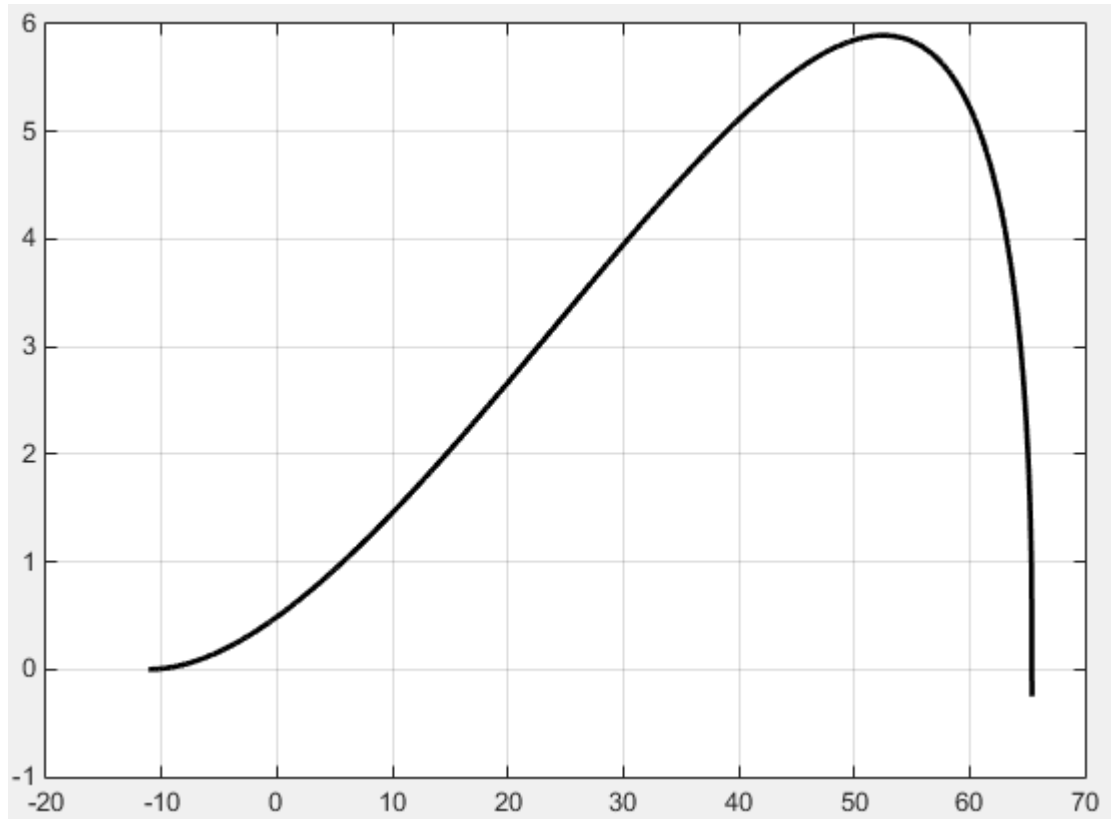


Рис.3.2.25. Лінія налаштувань для внутрішнього ПІ-регулятора у літньому режимі

Оптимальному налаштуванню регулятора відповідає точка  $K_{i_{\text{опт}}} = 0.95 \cdot K_{i_{\text{max}}}$ , трішки правіше від  $K_{i_{\text{max}}}$  і це точка  $T_i = \frac{57.884}{5.59} = 10,35$ .

Перевіримо правильність (Рис.3.2.26). Для цього нам необхідно перевірити, чи проходить АФЧХ<sub>розш</sub> РС через точку  $(-1, j0)$ :

```
figure; %АФЧХрозш РС випередж ПІ-ПІ
w = 0:0.001:0.3;
M = 0.39;
p = (1i-M).*w;
Wvip = (0.09.*(exp(-4.*p))./(29.*p +1));
Wrs=Wvip.*(57.884+(57.884./(10.35.*p)));
plot(real(Wrs),imag(Wrs),'black','linew',2);
hold on;
grid on;
ha=gca;
ha.XAxisLocation = 'origin';
```

```

ha.YAxisLocation = 'origin';
title('АФЧХрозш РС випередж ПІ-ПІ');
xlabel('Re(w)');
ylabel('Im(w)');

```

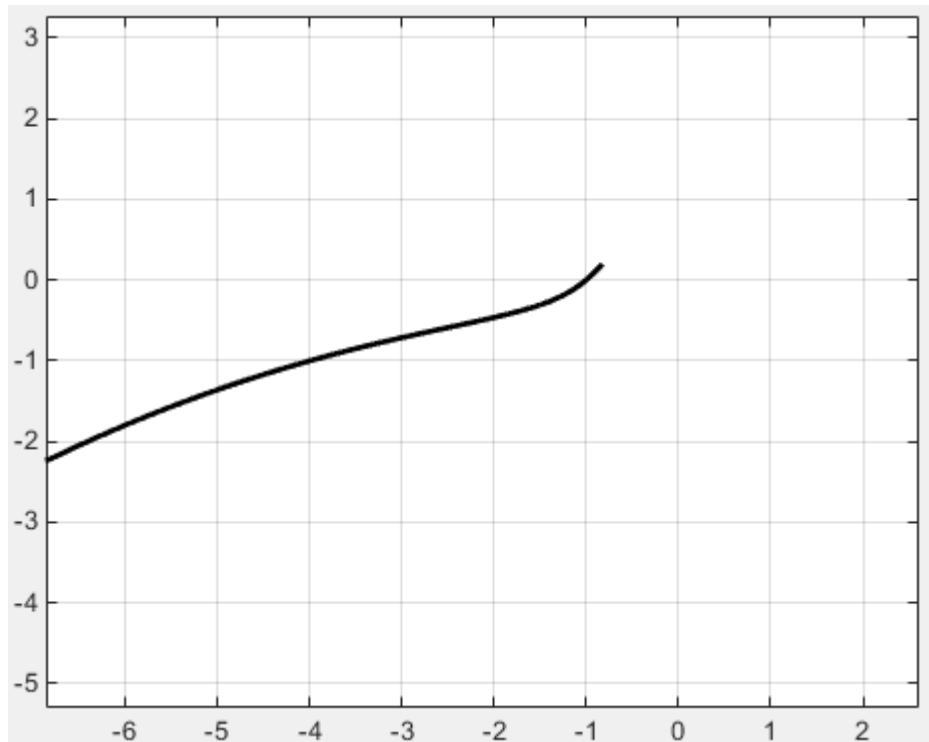


Рис.3.2.26. АФЧХ<sub>розш</sub> РС для внутрішнього контуру літнього режиму

Отже, передавальна функція для внутрішнього ПІ-регулятора для зимового режиму має вигляд:

$$W_{\text{ПІ}_{\text{внутр}}}(p) = 57.884 \cdot \left(1 + \frac{1}{13.35 \cdot p}\right)$$

Тепер знайдемо налаштування для зовнішнього регулятора (рис.3.2.27):

```

w = 0:0.00001:0.011;
M = 0.39;
p = (1i-M).*w;

Wvip = (0.09.*(exp(-4.*p))./(29.*p+1));
Wob = (0.087.*(exp(-150.*p))./(1500.*p.^2+900.*p +1));
Wekv1 = Wvip;
Wst = 57.884+57.884./(10.35.*p);
Wekv2= (Wst.*Wob)./(1.+Wst.*Wvip);
figure; %Зовнішній контур ПІ-ПІ
A2 = real(Wekv2).^2+imag(Wekv2).^2;
Ki = -((w.*(M.^2+1).*imag(Wekv2))./(A2));
Kp = -((real(Wekv2)+M.*imag(Wekv2))./(A2));
plot(Kp,Ki,'black','linew',2);
ha=gca;

```

```

ha.XAxisLocation = 'origin';
ha.YAxisLocation = 'origin';
grid on;
hold on;
title('Зовнішній контур ПІ-ПІ');
xlabel('Kp');
ylabel('Ki');

```

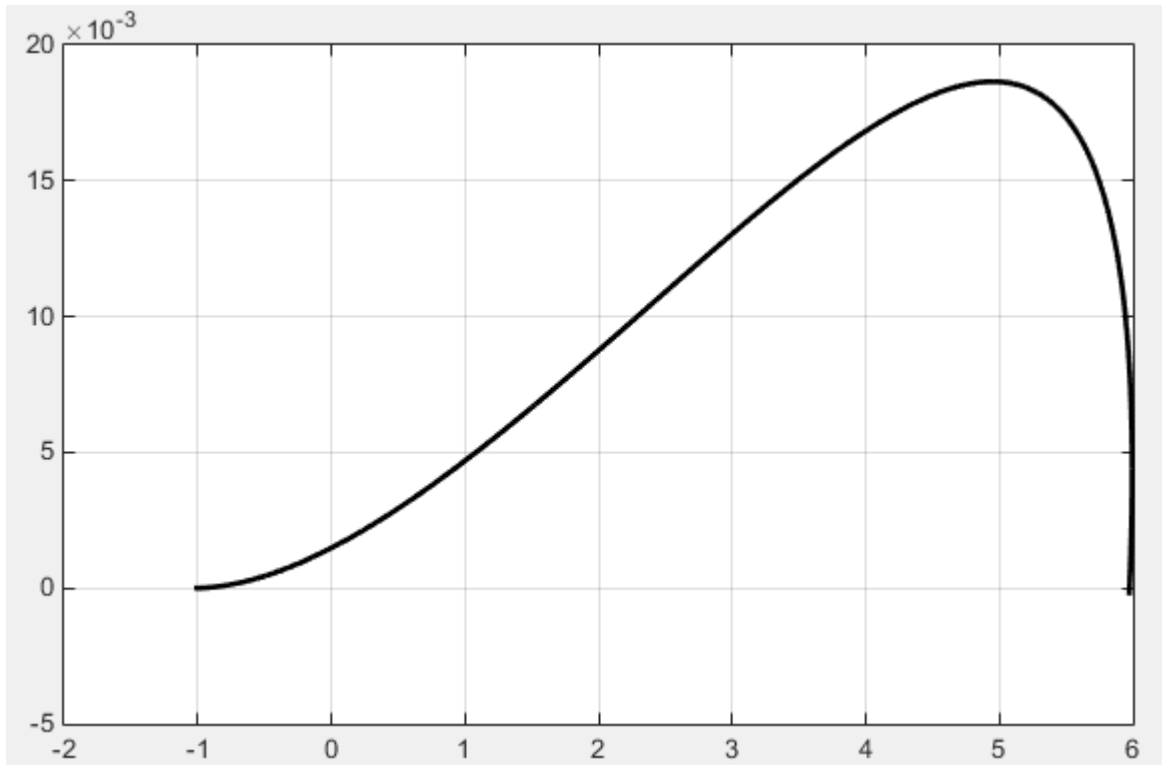


Рис.3.2.27. Лінія налаштувань для зовнішнього ПІ-регулятора для літнього режиму

Виберемо точку, та проробимо дії, що виконували вище для

знаходження оптимального налаштування регулятора:  $T_i = \frac{5.455}{0.0177} = 308.19$ .

Перевіримо правильність (Рис.3.2.28):

```

figure; %АФЧХрозш РС зовн ПІ-ПІ
Wrs=Wekv2.*(5.455+(5.455./(308.19.*p)));
plot(real(Wrs),imag(Wrs),'black','linew',2);
hold on;
grid on;
ha=gca;
ha.XAxisLocation = 'origin';
ha.YAxisLocation = 'origin';
title('АФЧХрозш РС зовн ПІ-ПІ');
xlabel('Re(w)');
ylabel('Im(w)');

```

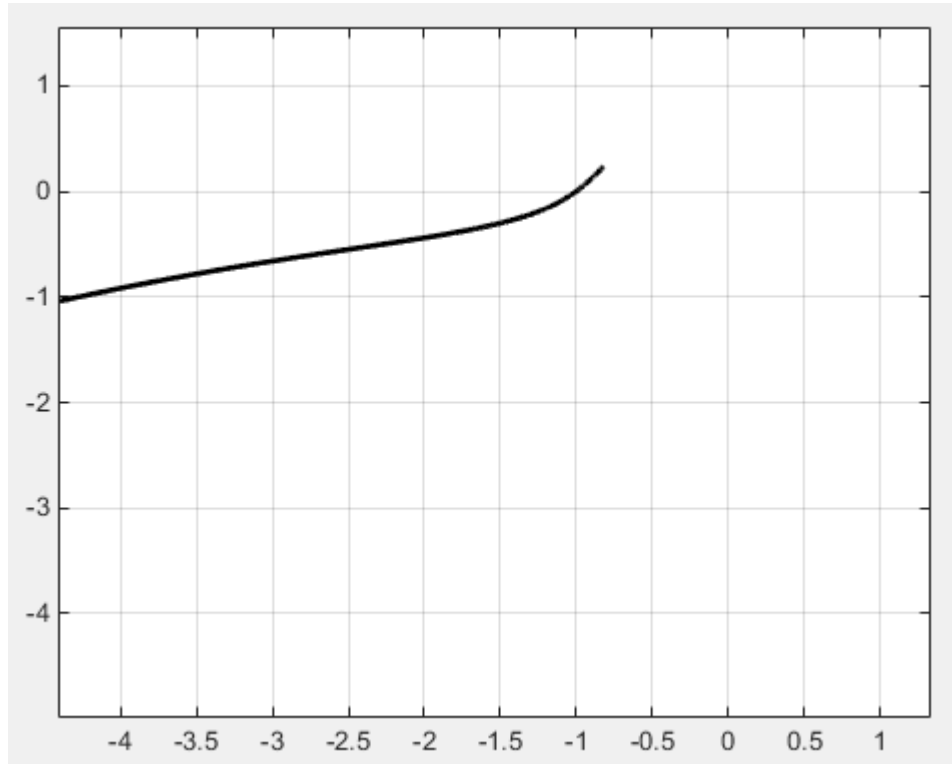


Рис.3.2.28. АФЧХ<sub>розш</sub> РС для зовнішнього контуру літнього режиму

Отже, передавальна функція для зовнішнього ПІ-регулятора має вигляд:

$$W_{\text{ПІ}_{\text{зовн}}}(p) = 5.455 \cdot \left(1 + \frac{1}{308.19 \cdot p}\right)$$

Побудуємо систему із ПІ-регуляторами, із знайденими налаштуваннями в Simulink (рис. 3.2.29, 3.2.31), та отримаємо перехідні процеси в замкнутій системі (рис. 3.2.30, 3.2.32) :

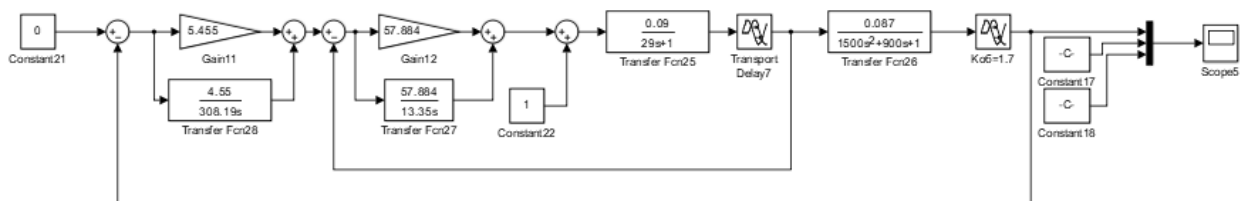


Рис.3.2.29. Схема каскадної системи по каналу збурення-вихід

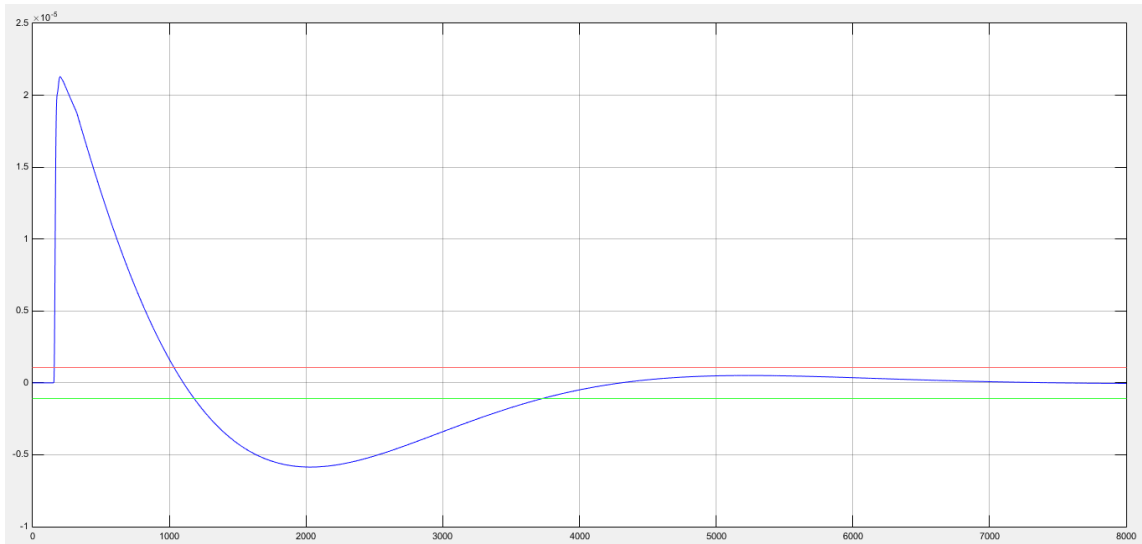


Рис.3.2.30. Перехідний процес в каскадній системі за каналом збурення-вихід

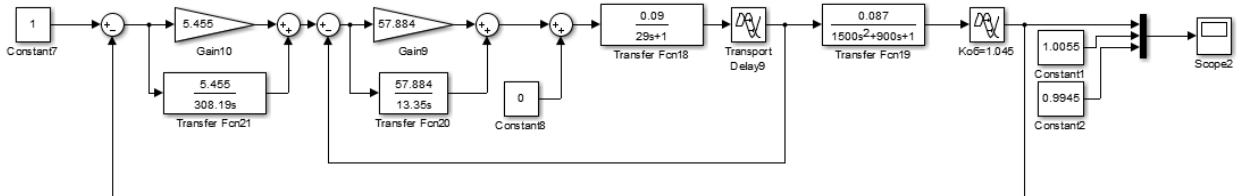


Рис.3.2.31. Схема каскадної системи по каналу завдання-вихід

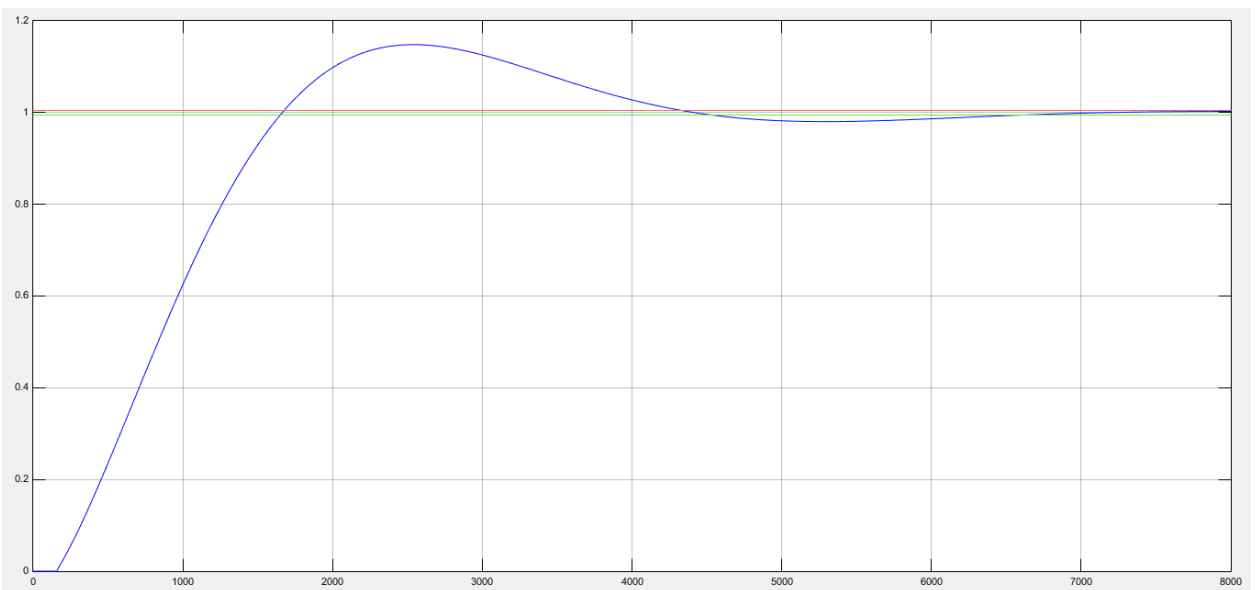


Рис.3.2.32. Перехідний процес в каскадній системі за каналом завдання-вихід

Знайдемо показники якості:

Табл.3.2.2. Прямі показники якості перехідних процесів.

	$\Delta y$	$\sigma$ (%)	$\psi$	$t_{пп}$ (с)	$y_{ст}$
Збурення-вихід	0,0000213	27,4648	0,97559	5693	0
Завдання-вихід	0,115	17,3913	0,9476	6600	1

Побудуємо систему із MPC-регулятором в Simulink для зимового режиму(рис. 3.2.33, рис. 3.2.35), та отримаємо перехідні процеси в замкнутій системі (рис. 3.2.34, 3.2.36) .

Процес моделювання починається із налаштувань регулятора. Усе це з легкістю можна зробити в робочому вікні Simulink, там підключається MPC-регулятор до математичної моделі об'єкта, яка задана передаточними функціями. Відповідні сигнали підключаються до входів та виходів регулятора:

- mo (measurement object) – вимірюваний параметр.
- ref (reference trajectory) – уставка вимірюваного параметра.
- mv (manipulated variable) – керуючий вплив.

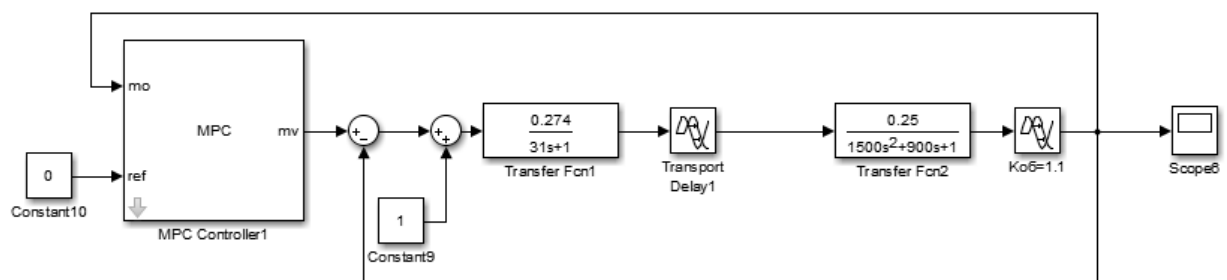


Рис.3.2.33. Схема системи з MPC-регулятором для зимового режиму по каналу «збурення-вихід»

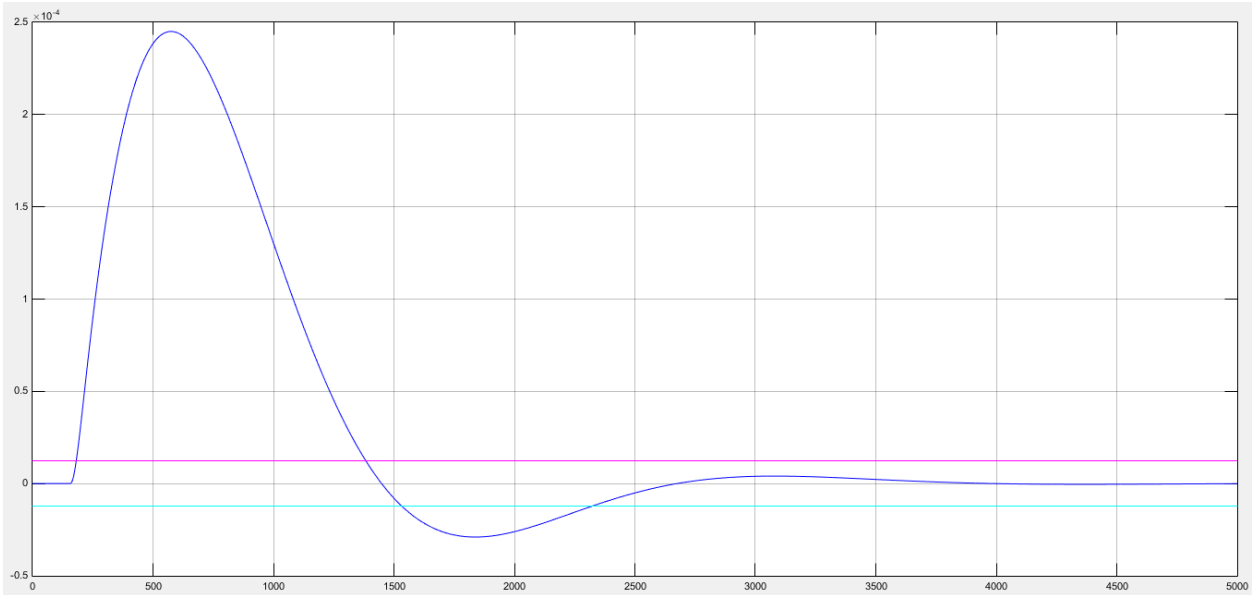


Рис.3.2.34. Перехідний процес за каналом збурення-вихід

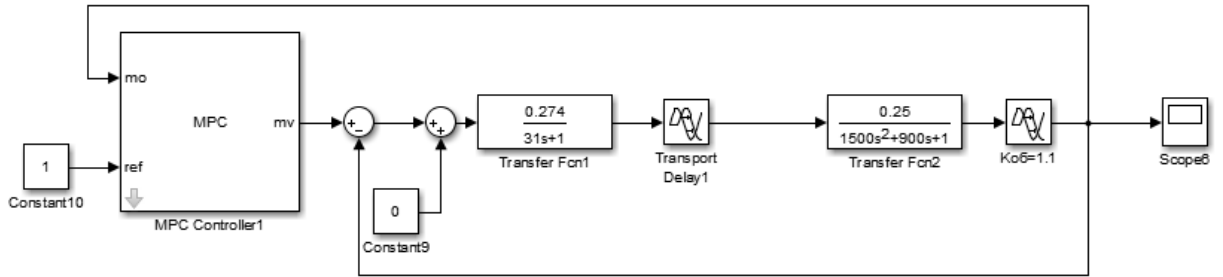


Рис.3.2.35. Схема системи з MPC-регулятором для зимового режиму по каналу «завдання-вихід»

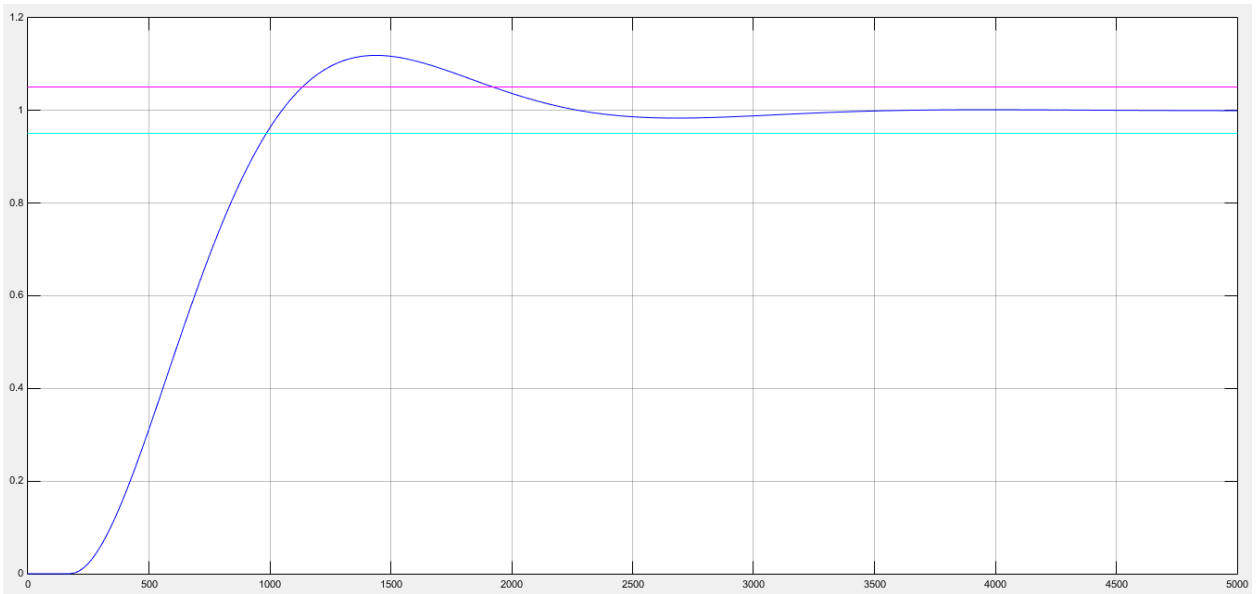


Рис.3.2.36. Перехідний процес за каналом завдання –вихід

Знайдемо показники якості:

Табл.3.2.3. Прямі показники якості перехідних процесів.

	$\Delta y$	$\sigma$ (%)	$\psi$	$t_{пп}$ (с)	$y_{ст}$
Збурення-вихід	0,0002451	1,18318	0,9836	2322	0
Завдання-вихід	0,12	13,333	0,9271	1940	1

Виконаємо ті ж самі дії для літнього режиму (рис.3.2.37-3.2.40):

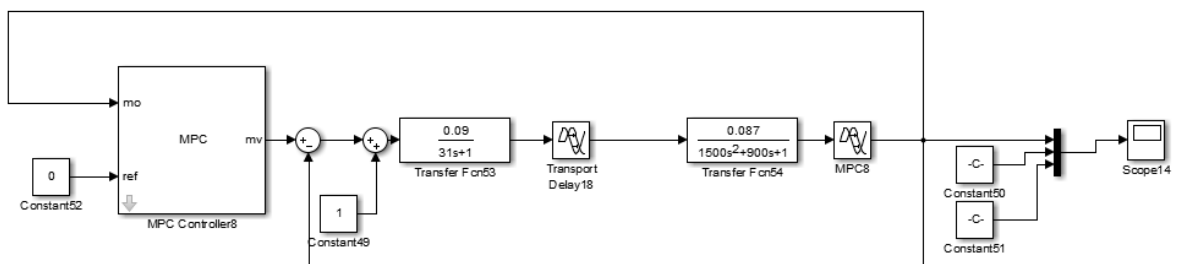


Рис.3.2.37. Схема системи з MPC-регулятором для літнього режиму по каналу «збурення-вихід»

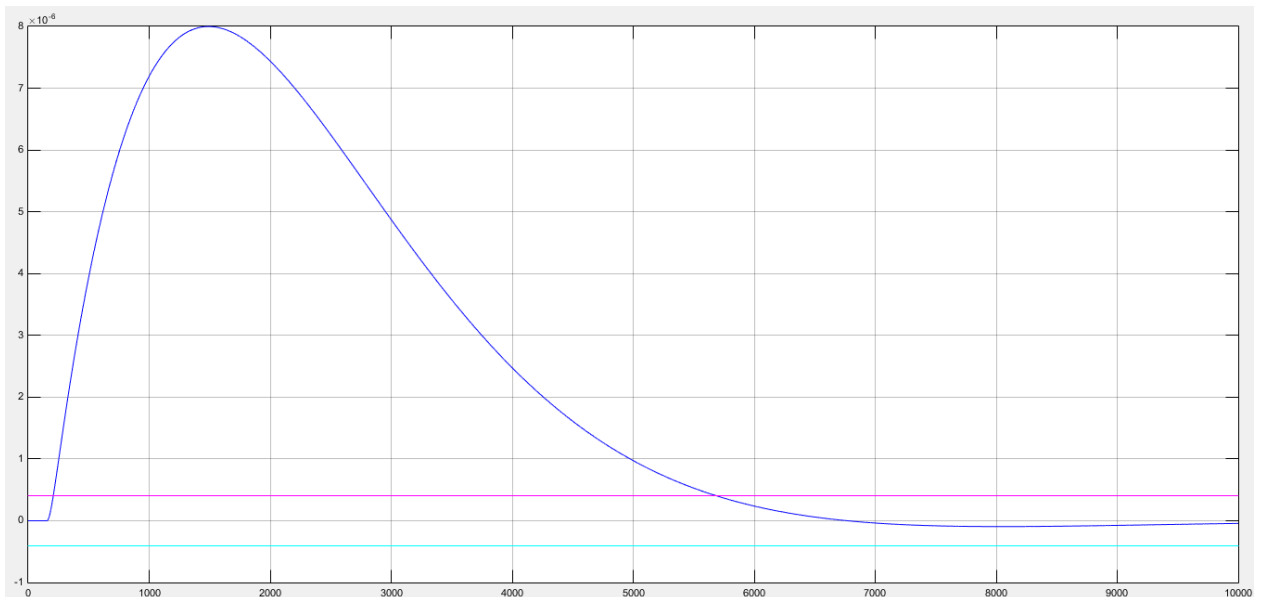


Рис.3.2.38. Перехідний процес за каналом збурення-вихід

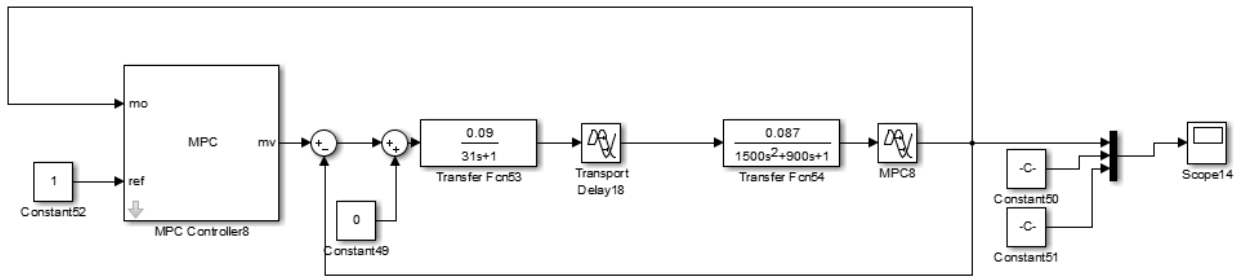


Рис.3.2.39. Схема системи з MPC-регулятором для літнього режиму по каналу «завдання-вихід»

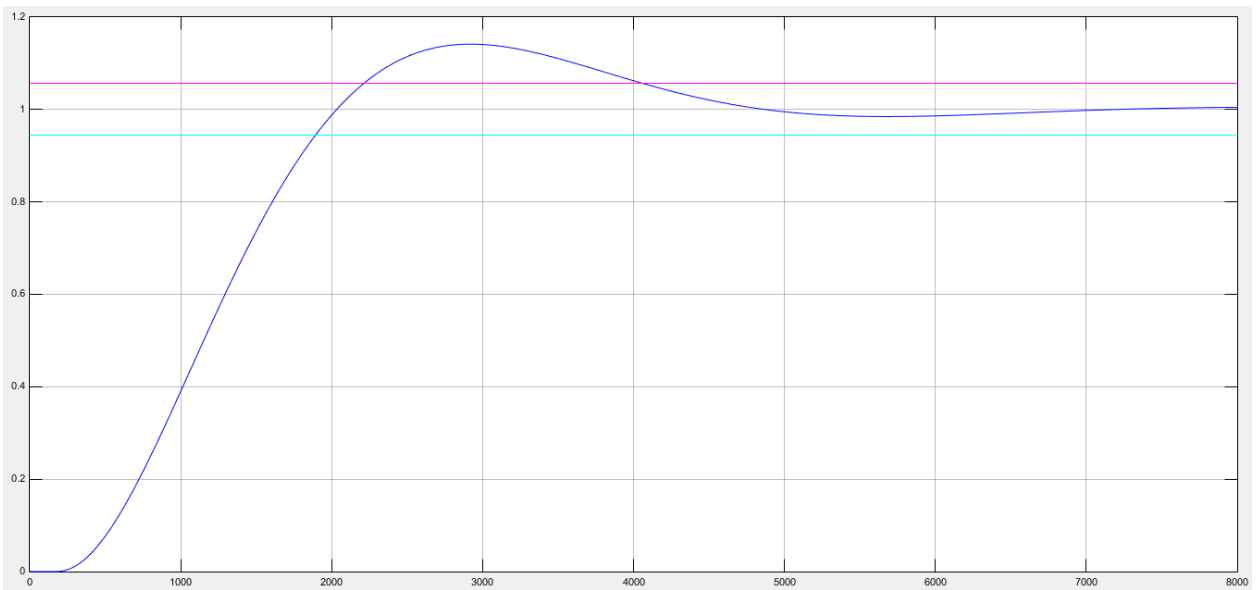


Рис.3.2.40. Перехідний процес за каналом завдання –вихід

Знайдемо показники якості:

Табл.3.2.4. Прямі показники якості перехідних процесів.

	$\Delta y$	$\sigma$ (%)	$\psi$	$t_{пп}$ (с)	$y_{ст}$
Збурення-вихід	0,000008	1,25	1	5692,6	0
Завдання-вихід	0,14	11,428	0,9607	4067	1

Проведемо порівняння системи при роботі на різних регуляторах у літньому та зимовому режимах.

Для зимового режиму створимо схему системи (рис.3.2.41, рис.3.2.43) та побудуємо перехідні процеси по каналам «завдання-вихід» та «збурення - вихід» (рис.3.2.42, рис.3.2.44):

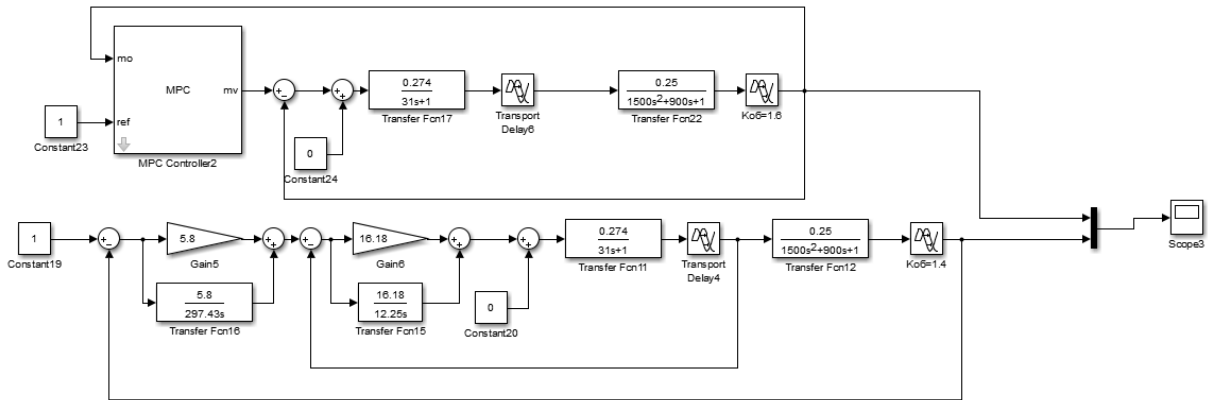


Рис. 3.2.41 Схема системи зимового режиму по каналу «завдання-вихід»

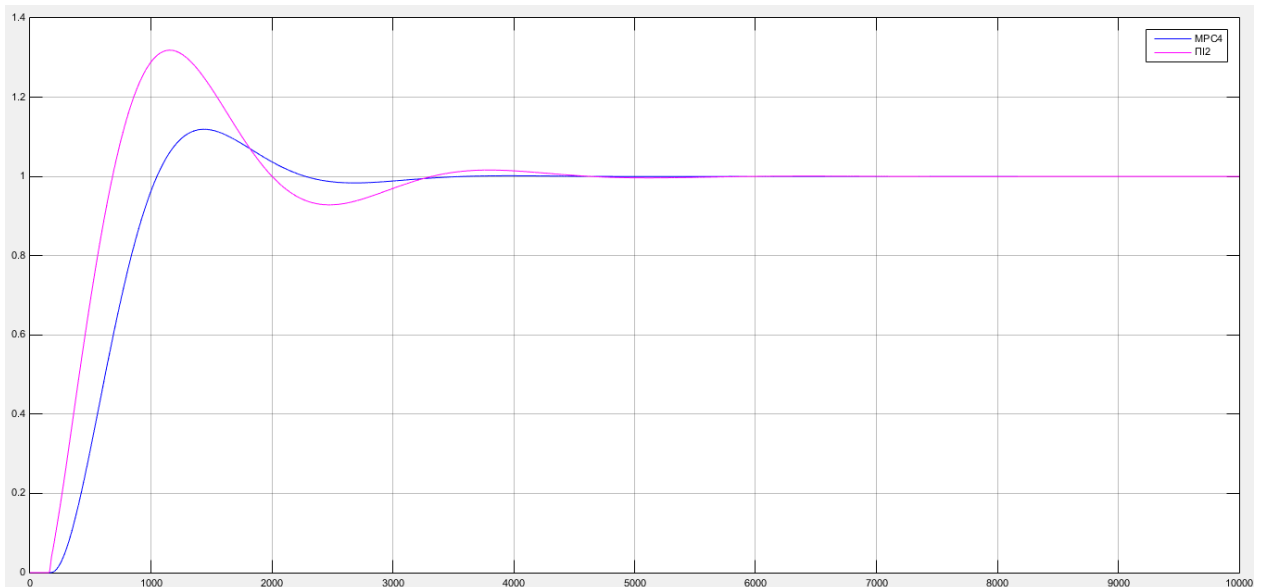


Рис.3.2.42. Перехідний процес за каналом завдання-вихід

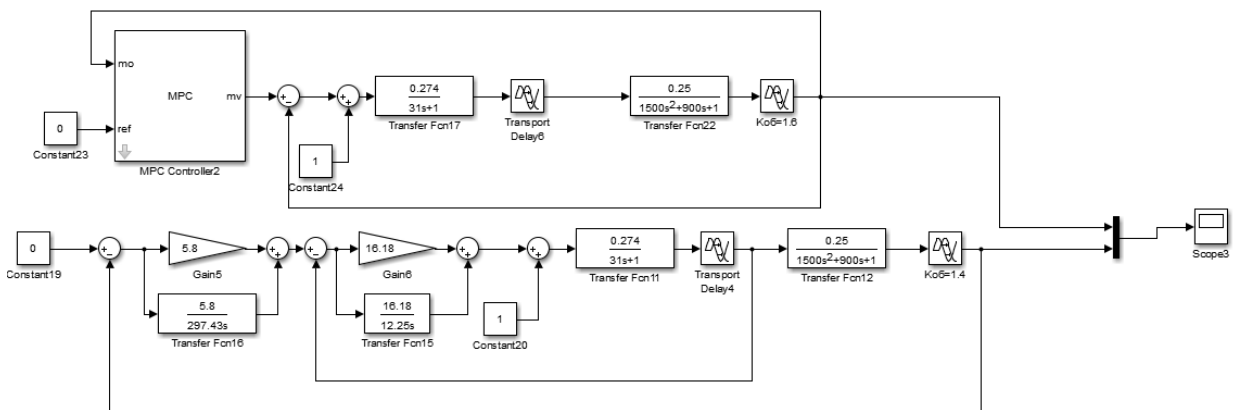


Рис. 3.2.43 Схема системи зимового режиму по каналу «збурення-вихід»

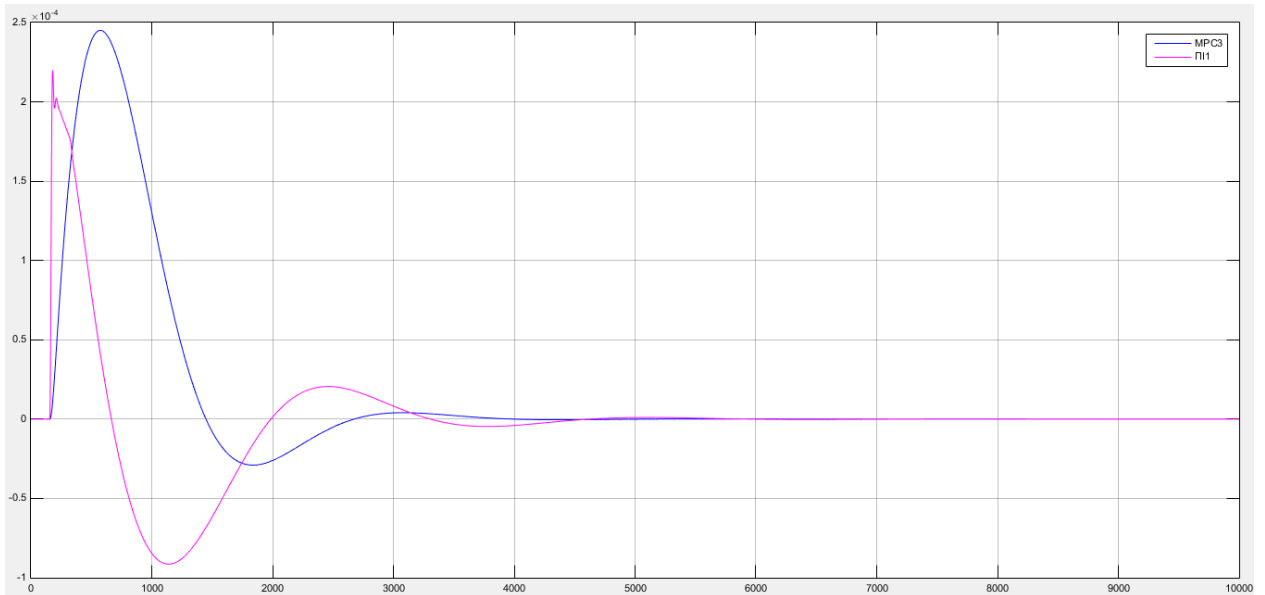


Рис.3.2.44. Перехідний процес за каналом збурення-вихід

Зрівняємо отримані значення у таблиці:

Табл.3.2.5. Прямі показники якості перехідних процесів.

	$\Delta y$	$\sigma$ (%)	$\psi$	$t_{\text{пп}}$ (с)	$u_{\text{ст}}$
Збурення- вихід (МРС)	0,0002451	1,18318	0,9836	2322	0
Збурення- вихід	0,0002205	41,4785	0,90476	2912	0
Завдання- вихід (МРС)	0,12	13,333	0,9271	1940	1
Завдання - вихід	0,318	35,7292	0,9434	3947,5	1

Літній режим також було опрацьовано (рис.3.2.45, рис.3.2.47) та побудуємо перехідні процеси по каналам «завдання-вихід» та «збурення - вихід» (рис.3.2.46, рис.3.2.48):

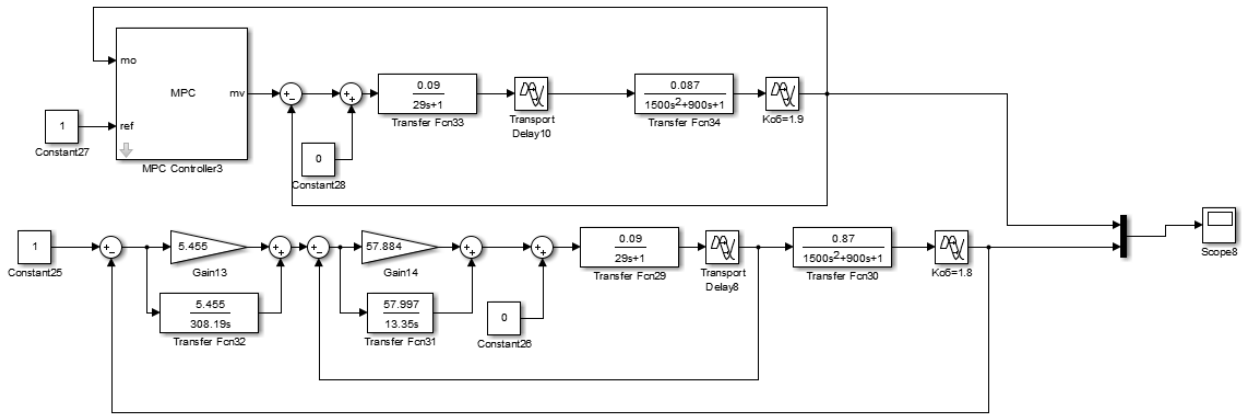


Рис. 3.2.45 Схема системи літнього режиму по каналу «завдання-вихід»

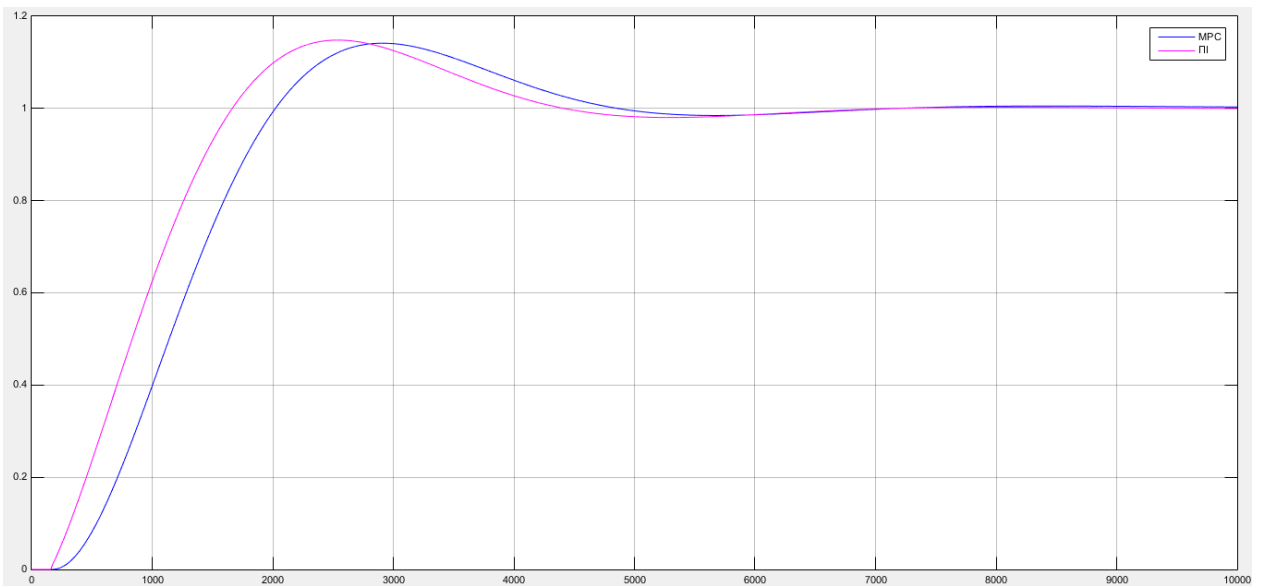


Рис.3.2.46. Перехідний процес за каналом завдання-вихід

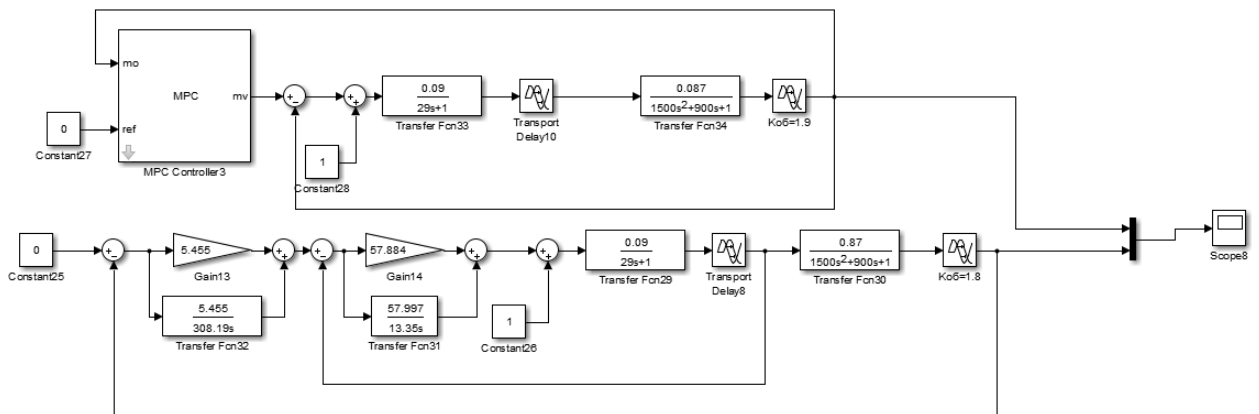


Рис. 3.2.47 Схема системи літнього режиму по каналу «збурення-вихід»

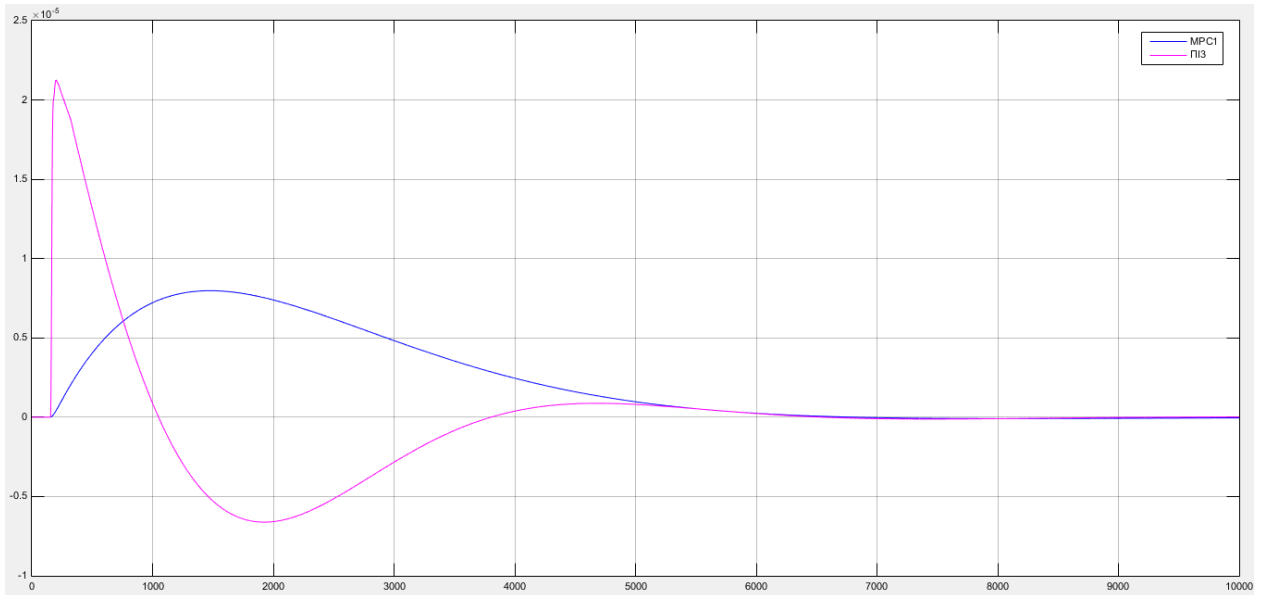


Рис.3.2.48. Перехідний процес за каналом збурення-вихід

Зрівняємо отримані значення у таблиці:

Табл.3.2.6. Прямі показники якості перехідних процесів.

	$\Delta y$	$\sigma$ (%)	$\psi$	$t_{пп}$ (с)	$U_{ст}$
Збурення-вихід(МРС)	0,000008	1,25	1	5692,6	0
Збурення-вихід	0,0000213	27,4648	0,97559	5693	0
Завдання-вихід(МРС)	0,14	11,428	0,9607	4067	1
Завдання-вихід	0,115	17,3913	0,9476	6600	1

### 3.3 Розробка технічного забезпечення системи управління

Дана система має дворівневу структуру, що зображено на рис.3.3.1.

Перший рівень займають виконавчі механізми, регулюючі органи, датчики та контролерні засоби.

До контролерних засобів входить один контролер Segnetics SMH4, модулі входів та виходів Segnetics MC0402 та Segnetics MR504 зв'язані в одну шину за допомогою кабелю СВ-MR-1500, а також виносний сенсорний

дисплей POL8T1.70/STD 7', що зв'язаний з контролером за допомогою ModBus RTU (RS 485).

Серед ВМ, РО та датчиків позначено контактори, що вмикають/вимикають УФ-лампи, насоси водяних калориферів та гліколевого рекуператора, враховано сигнали ЧП, пресостатів, датчиків, зволожувача, електроприводів, регуляторів.

ПЛК, отримані аналогові/дискретні сигнали, передає у цифровому вигляді їх на верхній рівень – SCADA – рівень, на якому використовують ПК для дистанційної роботи з об'єктом. Оператор може давати вказівки для ПЛК, який передає сигнали із завданням на ВМ та РО.

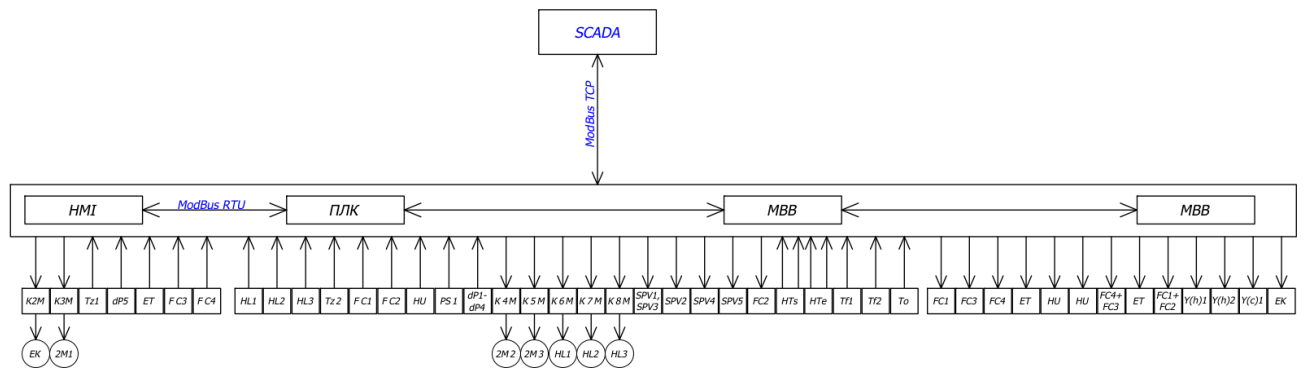


Рис.3.3.1 Структурна схема ПТК

### 3.4 Розробка програмного забезпечення системи управління

Обраний Segnetics SMH4 бажано програмувати у SMLogix, дане середовище розробки дозволяє швидко створювати керуючі програми та адаптувати їх під конкретний об'єкт. Програмування здійснювалося на мові FBD.

На Рис.3.4.1 зображено блоки аварій вентиляторів, сигналу «Пожежа» окрім цього програмне забезпечення здійснює контроль усіх датчиків температури, ультрафіолетових ламп, фільтрів, рекуператора, зволожувача повітря, та насосів. Сигнали, що надходять із відповідних пристроїв перевіряються протягом 60 секунд, у випадку, якщо сигнал не змінюється

сигнали про ймовірну аварію висвітяться на ПЛК, НМІ-панелі та передадуться у SCADA.

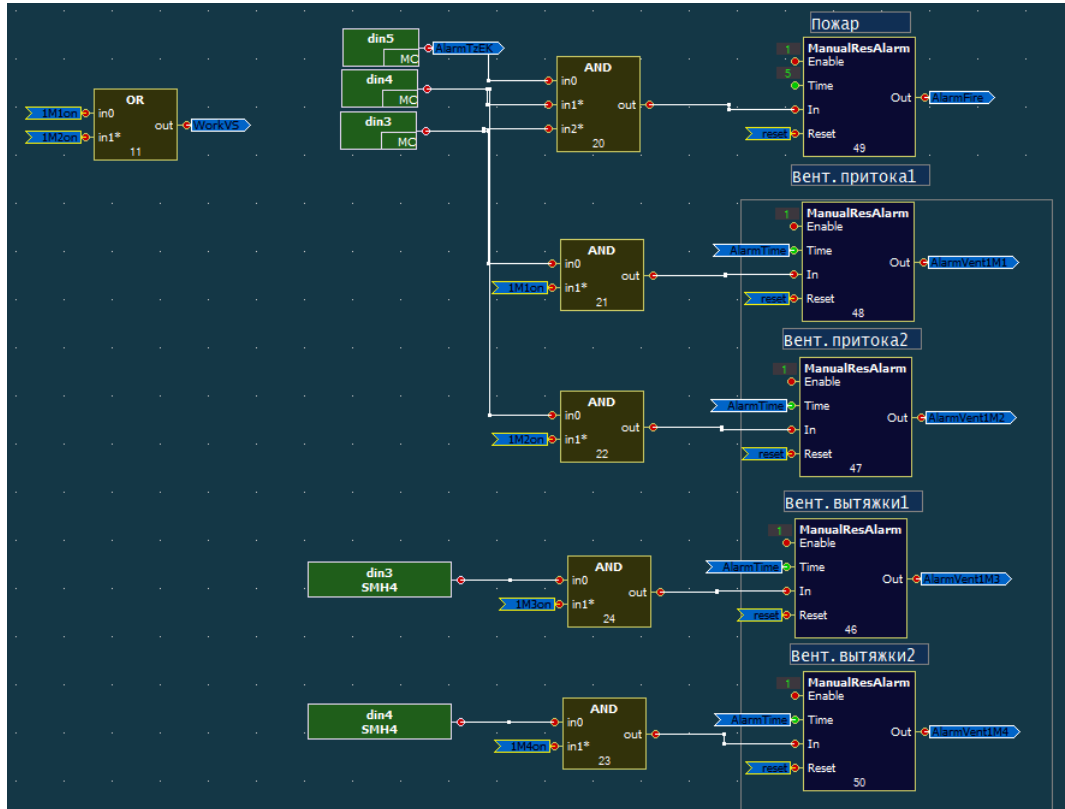


Рис.3.4.1 – Аварії вертиляторів. Сигнал «Пожежа».

Після вказаного вище етапу, коли повідомлення надходить до оператора, він може підтвердити це повідомлення, та скинути аварії. Реалізація скидання аварій зображена на Рис.3.4.2:

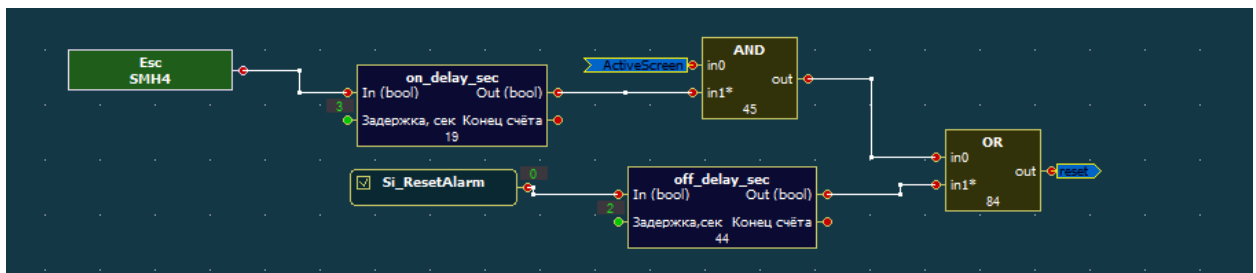


Рис.3.4.2 – Скидання аварій.

Робота установки починається із сигналу на відкриття заслінок (Рис.3.4.3), а згодом і роботи самих вентиляторів Рис.3.4.4). Вентилятори отримують сигнал на запуск лише після того, як повністю відкривються клапани припливної та витяжних секцій:



зблокованою із роботою заслінок (Рис.3.4.5):

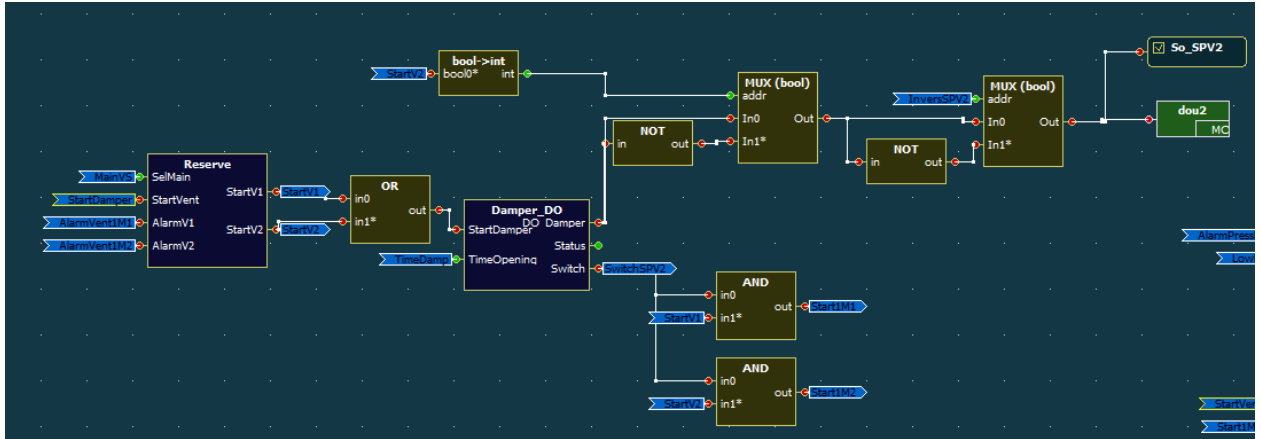


Рис.3.4.5 Заслінки та УФ-лампи припливного каналу.

Було також запрограмовано роботу водяного та електричного нагрівача, електричного нагрівача, гліколевого рекуператора. Наявні статуси системи, робота по розкладу.

Важливою перевагою є те, що у даному ПЛК наявний власний дисплей.

На рисунку 3.4.6 зображено головний екран. На ньому можна побачити та задати процент відкриття клапану гліколевого рекуператора, водяного калорифера, а також водяного охолоджувача, наступним пунктом є можливість налаштувати відсоток увімкнення електрокалориферу та парового зволожувача.

На головному екрані також можна побачити на скільки відсотків працює вентилятор (основний чи резервний) припливної та витяжної секції.

Відображається також режим та є можливість його вибору - місцевий та дистанційний. У першому випадку регулювання відбувається з самої панелі ПЛК, що знаходиться на дверцях щита автоматизації, у іншому ж випадку – регулювання з панелі оператора, або ж НМІ панелі. По додатковій витяжній системі відкритий до перегляду режим її роботи, на даному рисунку зображено режим «Жалюзі», що означає процес відкриття заслінок на вході в систему. Трішки нижче ми бачимо поле, де можна задати, або просто переглянути уставку по температурі, а також по вологості.

З самого низу панелі відображено поточні час та дату, ярлик сонця, що означає режим «Літо», та можна змінити на режим «Зима», а також

сповіщення, в конкретному випадку це «Небезпечна аварія», що сигналізує про її виникнення, та що вона може бути критичною для всієї системи.

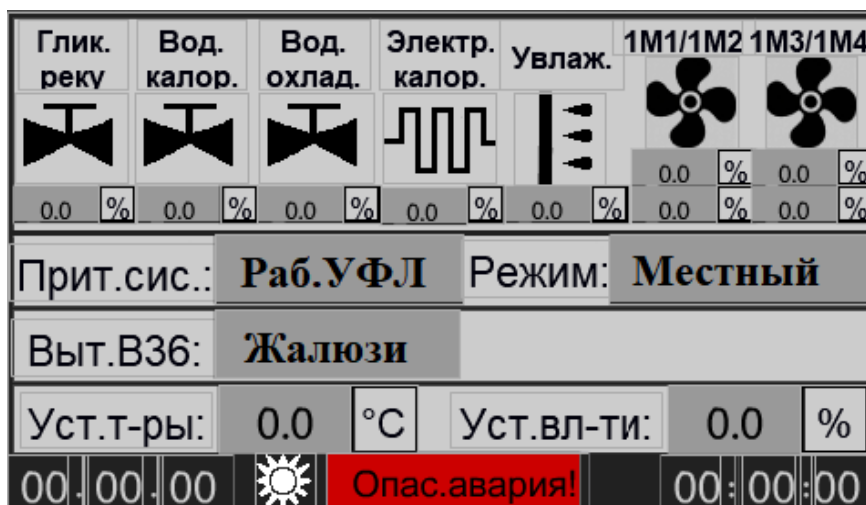


Рис.3.4.6. Головний екран.

З даної панелі є можливість переглянути журнал аварій, що відбулися протягом певного часу, це можуть бути як і критичні аварії, так і незначні, які не загрожують роботі системи в даний період, що дозволяє своєчасно їх ліквідувати та завадити поломці системи, в цілому. Журна аварій зображено на рис. 3.4.7:

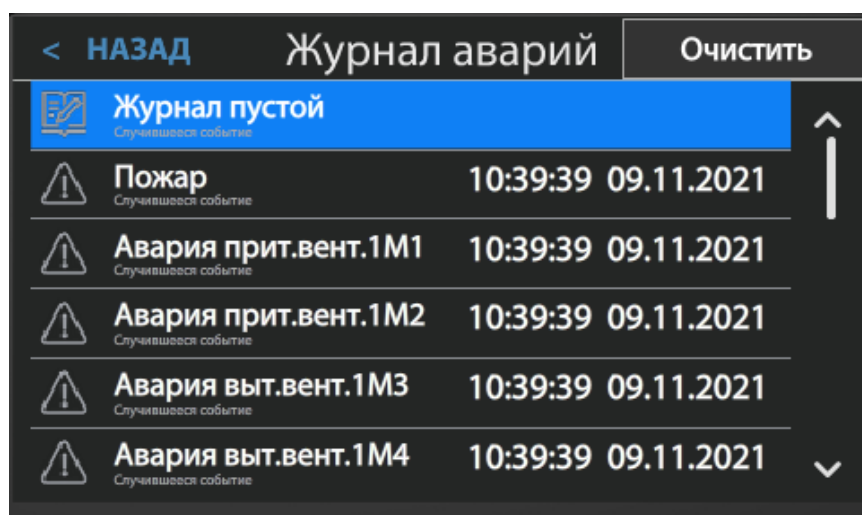


Рис.3.4.7. Журнал аварій.

Перейшовши на екран «Опції» (рис.3.4.8), людина, що має доступ до редагування параметрів може задавати уставки, проценти відкриття заслінок, обирати режим роботи, а також вводити налаштування по усьому обладнанню, що знаходиться в системі.

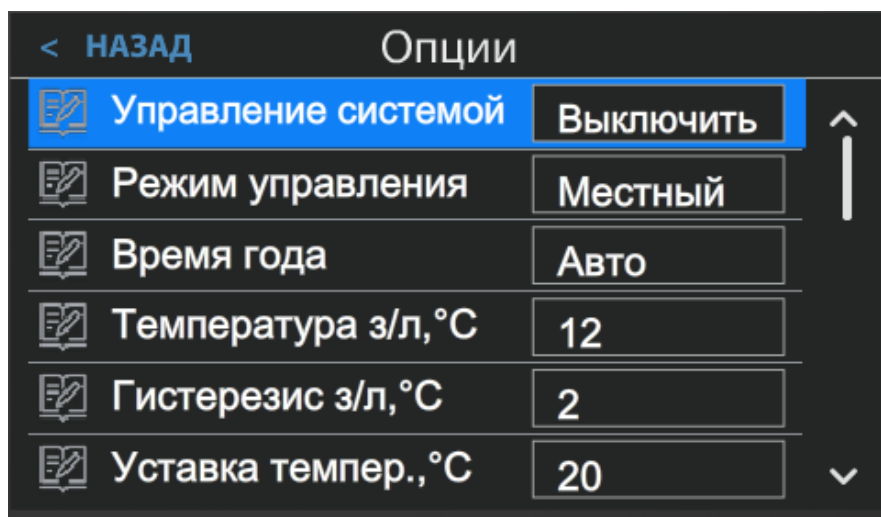


Рис.3.4.8 Опції

Система може працювати не тільки по прописаній логіці, але й по заданому вручну розкладу, для цього оператору достатньо зайти на екран «Розклад» (Рис.3.4.9), обрати день, на який необхідно виставити інший час роботи та ввести значення часу та температури, яка необхідна в даний період у приміщенні.

< НАЗАД	Расписание	Понедельник			
		Точка 1		Точка 2	
Понедельник	...	00 : 00	Вкл	00 : 00	Вкл
Вторник	...	00 : 00	sp°C: 10.0	00 : 00	sp°C: 10.0
Среда	...	Точка 3		Точка 4	
Четверг	...	00 : 00	Вкл	00 : 00	Вкл
Пятница	...	00 : 00	sp°C: 10.0	00 : 00	sp°C: 10.0
Суббота	...	00:00:00		00:00:00	

Рис.3.4.9. Розклад

У полі додаткових налаштувань (рис. 3.4.10) оператор може відредагувати параметри для більш комфортної роботи установки, наприклад, затримка на роботу вентиляторів, у ручному режимі увімкнути ультрафіолетові лампи, що знаходяться в припливному та витяжних каналах.

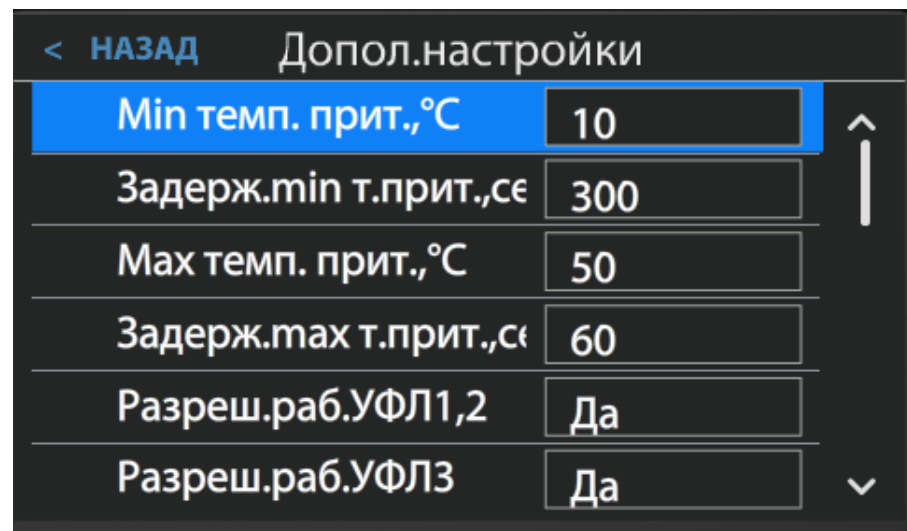


Рис.3.4.10. Додаткові налаштування

Усі ці екрани можна відвідати з головного меню. Дане рішення є хорошим у випадках, коли персонал, що має доступ до редагування роботи системи не має можливості потрапити до приміщення оператора та своєчасно зреагувати на можливі зміни у системі.

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

Для даної системи було підібрано НМІ-панель, що зв'язується з ПЛК за допомогою інтерфейсу RS-485. Функціонал панелі досить схожий із функціональними можливостями панелі ПЛК.

На головному екрані (рис.3.5.1) зображено інформацію по обладнанню, яке приймає участь в роботі установки:

#### 1. Обладнання:

- Заслінка припливної та витяжної секції;
- Водяний охолоджувач та нагрівач, його основний та резервний насоси;
- Гліколевий рекуператор та насос об'язки рекуператора;
- Електрокалорифер;
- Зволожувач;
- Вентилятори та секції ультрафіолетових ламп.

#### 2. Датчики:

- Температури припливної та витяжної секцій;
- Температури зворотного теплоносія;
- Вологості.

### 3. Уставки:

- Температури та вологості;
- Результуючої температури та вологості

На нижній частині екрану розташовані кнопки переходу на інші екрани (управління, налаштування, аварії), висвічується поточна аварія та її статут, режим роботи за порою року (літо/зима), та поточні дата та час.

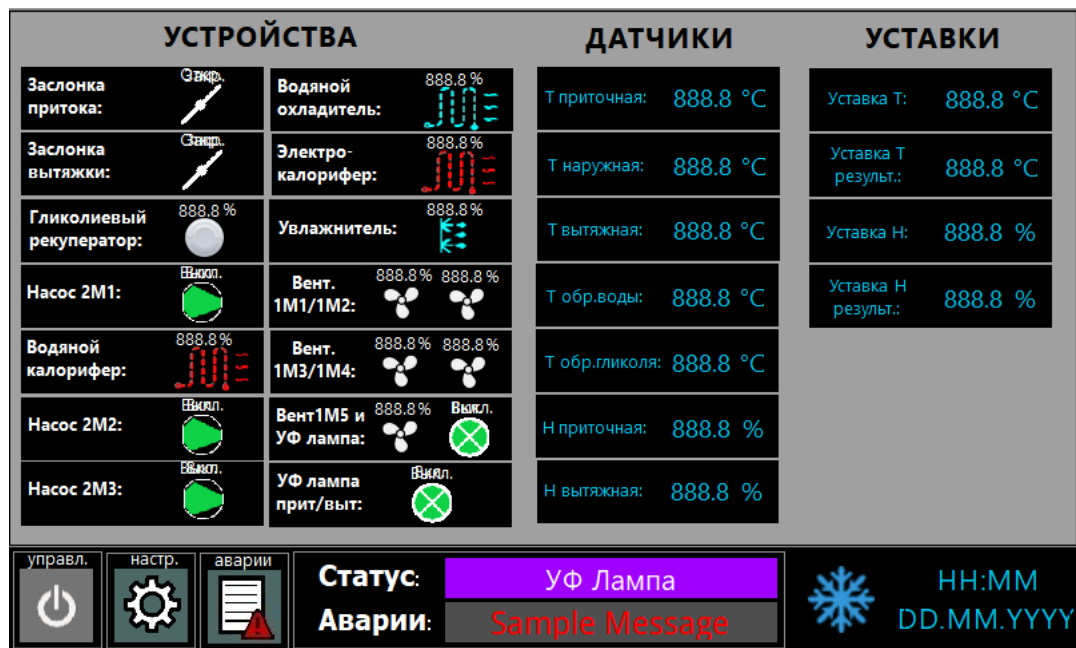


Рис.3.5.1 Головний екран НМІ панелі.

Перейшовши за кнопку «Аварії» на екрані з'являється (рис.3.5.2) журнал аварій, у якому зберігаються усі аварії, що відбулися в нашій установці, а також аварії, що сталися в даний момент. Таке рішення є дуже зручним для відслідковування стану обладнання в установці, що дозволяє своєчасно зреагувати на поломки, або ж уникнути їх. Завдяки цьому час зношування значно зменшиться, і обладнання прослужить довше. Також швидке вирішення проблем на одній ділянці дозволяє вберегти від різких перепадів напруг та струму інші сегменти установки.

Текущие аварии:		
Время	Дата	Сообщение
13:10	23.04.2019	

Журнал аварий:		
Время	Дата	Сообщение
13:11	23.04.2019	


Очистить журнал
Сброс аварий
HH:MM  
DD.MM.YYYY

Рис.3.5.2 Журнал аварий та поточні аварії

Перейшовши до повних налаштувань (рис. 3.5.3) можна задати уставку температури, вологості, а також швидкості вентилятора додаткової витяжної секції та його режим роботи. В оператора не виникне труднощів із ввімкненням необхідного вентилятора, завданням його режиму та вибором швидкості. Не менш важливим є вибір роботи насоса, а також вибір режиму – літо/зима та місцеве управління, чи за встановленим розкладом.


Настройки		
Выбор режима управления: <input checked="" type="checkbox"/> МЕСТ <input type="checkbox"/> ТАЙМ	Скорость вент.: <input checked="" type="checkbox"/> АВТО <input type="checkbox"/> СК.1 <input type="checkbox"/> СК.2 <input type="checkbox"/> СК.3	Уставка температуры: 888.8 °C
Время года: <input checked="" type="checkbox"/> ЛЕТО <input type="checkbox"/> ЗИМА <input type="checkbox"/> АВТО	Основной вент.прит.: <input checked="" type="checkbox"/> 1М1 <input checked="" type="checkbox"/> 1М2 <input type="checkbox"/> АВТО	Уставка влажности: 888.8 %
Основной насос ВК: <input type="checkbox"/> 2М2 <input type="checkbox"/> 2М3 <input type="checkbox"/> АВТО	Основной вент.выт.: <input checked="" type="checkbox"/> 1М3 <input type="checkbox"/> 1М4 <input type="checkbox"/> АВТО	Уставка скор. вент.выт.1М5: 8888 %
<input checked="" type="checkbox"/> Выкл <input type="checkbox"/> Вкл <input type="checkbox"/> АВТО	  <span>Sample Message</span> <span>HH:MM DD.MM.YYYY</span>	

Рис.3.5.3 Журнал аварий та поточні аварії

### **3.6 Висновки**

В даному розділі було детально описано функціональну схему установки та її обладнання, проведено розрахунки, які показали, що МРС-регулятор, хоч і не набагато, але краще впорався з регулюванням, що в подальшому допоможе в покращенні функціонування підприємства/закладу.

Було розроблено програмне та технічне забезпечення до даного проєкту, у ПЗ враховані усі поведінки обладнання та створено усі умови для своєчасної ліквідації алармів. Завдяки власній панелі контролера, людина, що має доступ до щитової може швидко отримати усю необхідну інформацію.

Окрім того було запрограмовано НМІ панель, яка дублює функції панелі ПЛК, та дозволяє керувати установкою в ручному режимі.

## Розділ 4

### 4.1 Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології)

Ідеєю проекту є створення системи регулювання об'єктами за допомогою технології МРС. Цей регулятор працює на основі математичної моделі самого об'єкту. Для коректної роботи МРС-регулятора необхідно отримати математичну модель, що описуватиме поведінку цього об'єкта в різних робочих режимах та його динамічні характеристики. Таку модель можна отримати під час аналітичних розрахунків, або ж в ході експерименту. Одразу ж необхідно перевірити її правильність та адекватність. Регулятор налаштовується згідно вимог, які висуваються до АСК (показники, можливі впливи, точність); відповідно до них налаштовуються вагові коефіцієнти та обмеження. Автоматизована система на основі МРС-регулятора зможе покращити технологічний процес, адже при використанні функції розрахунку прогнозованого значення зміна параметрів у ході експлуатації ризик неякісного регулювання – мінімальний.

МРС-регулятор із легкістю вирішить проблеми з великою кількістю змінних, що впливають на проходження процесу; затримки в часі та періодично нестабільна робота обладнання.

Керування технологічними об'єктами можна вважати ефективним, якщо воно може упередити аварії, зменшити швидкість зношування обладнання, збільшити тривалість експлуатації, в цілому.

Виходячи з цього, ідеєю проекту є розробка автоматизованої системи керування вентиляційної системи приміщення медичного закладу.

Товар за задумом : програмне забезпечення, що реалізує автоматизовану систему керування припливно-витяжної установки.

Товар у виконанні: Автоматизована система керування припливно-витяжної установки з додатковим витяжним каналом з використанням МРС-технології, що орієнтоване на використання математичної моделі даної системи у двох режимах роботи.

Товар з підкріпленням: Створення систем управління для більшої кількості об'єктів (будівлі торгових центрів, архівів, офісних центрів і т.д.)

Таблиця 4.1.1 Основні питання створення інноваційного продукту

№ з/п	Питання	Відповідь
1	Системи, до яких можливе застосування продукту	Системи вентиляції промислових та соціально-побутових будівель
2	Функції продукту	Вирішення задач підтримки мікроклімату в приміщеннях загального користування
3	Етапи функціонування продукту	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Отримання первинної інформації про об'єкт, вивчення та аналіз його властивостей та основних сценаріїв функціонування</li> <li>- Побудова математичної моделі, що забезпечує достатню адекватність</li> <li>- Налаштування MPC на необхідні та бажані показники, зважаючи на вихідні коефіцієнти та накладені обмеження</li> <li>- Пошук програміста та написання коду для програмування контролерів</li> <li>- Тестування</li> </ul>
4	Вимоги до продукту	Продукт має забезпечувати ефективність регулювання та підтримування параметрів, що регулюються на необхідному рівні в усіх робочих режимах.
5	На що спрямовано удосконалення продукту?	Удосконалення продукту спрямоване на ефективніше регулювання при різних режимах роботи об'єкту.

## 4.2 Маркетингове планування бізнес процесу

У цьому розділі розроблено маркетингове планування бізнес процесу. За основу було взято шаблон бізнес-моделі «Canvas» Олександра Остервальдера та Іва Пінье, та показує, які існують загрози проекту, його переваги, інтереси споживачів:.

Таблиця 4.2.1. Маркетингове планування бізнес-процесу

КЛЮЧОВІ ПАРТНЕРИ	КЛЮЧОВІ ВИДИ ДІЯЛЬНОСТІ	ЦІННІСНІ ПРОПОЗИЦІЇ
<p>Ключовими партнерами проекту є компанія, що створила проект, постачальники вентиляційних установок та обладнання (розробка проекту згідно технічного завдання), субпідрядні організації (створення щитів управління та підбір автоматики, монтаж, доставка).</p> <p>Відносини з партнерами є комерційними, на основі договорів та гарантійних зобов'язань.</p>	<p>Створення програмного забезпечення з використанням МРС-регулятора, тестування, допомога при пусконаладжувальних роботах.</p> <p><b>КЛЮЧОВІ РЕСУРСИ</b></p> <p>Матеріальні: виробничі потужності, устаткування, компанії продажу</p> <p>Інтелектуальні: інтелектуальна власність – торгова марка, патент, авторські права, партнерські/клієнтські бази даних</p> <p>Персонал</p> <p>Фінанси – кредитні лінії, фондовий резерв.</p>	<p>Основна цінність – забезпечення більш якісного регулювання процесом, внаслідок чого підвищиться строк експлуатації обладнання, процес стане більш економічним.</p> <p>Зниження ризиків – клієнт отримує гарантію.</p>

## Продовження таблиці 4.2.1.

<b>СТРУКТУРА ВИТРАТ</b>	
Витрати, що пов'язані з проектом це оплата робіт. Найбільшою витратою є оплата праці висококваліфікованого спеціаліста, що розроблятиме програмне забезпечення. Діяльність –Розробка ПЗ, тестування та запуск.	
<b>ВЗАЄМОВІДНОСИНИ ЗІ СПОЖИВАЧАМИ</b>	<b>СПОЖИВЧІ СЕГМЕНТИ</b>
Взаємовідносини зі споживачем починаються з моменту отримання технічного завдання до задачі об'єкту. Підтримуються протягом встановленого строку гарантійних зобов'язань.	Стартап-проект орієнтований на клієнтів будь-яких країн світу, яким необхідно удосконалити керування вентиляційними установками, або розробити його. В залежності від виду приміщення та мотиву його використання.
<b>КАНАЛИ ЗБУТУ</b>	
Інформаційний етап просування товару (сайт фірми; різнопланове використання реклами, робота з потенційними клієнтами на конференціях та виставках. Продажний (продаж послуг в онлайн та офлайн режимах) Постпродажний (зв'язок з клієнтом, служба підтримки за гарантійними умовами).	
<b>ПОТОКИ НАДХОДЖЕННЯ ДОХОДІВ</b>	
Продаж активів компанії. Продаж послуг. Продовження гарантії.	

**4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту**

Перед запуском проекту перш чинном необхідно оцінити загальний стан ринку, динаміку, вимоги та обсяг продаж. Попередня характеристика представлена в таблиці 4.3.1.

Таблиця 4.3.1. Характеристика ринку стартап-проекту.

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж	100000
3	Динаміка ринку	Зростає
4	Наявність обмежень	Немає
5	Вимоги до сертифікації та стандартизації	Вимоги до відповідності стандартам, вимоги до точності.
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	60%

Після аналізу ринку необхідно проаналізувати, хто є нашими потенційними клієнтами та їх вимоги, дані наведено у таблиці 4.3.2.

Таблиця 4.3.2. Потенційні клієнти стартап-проекту

№ п/п	Потреби, сформовані ринком	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці цільових груп	Вимоги споживачів
1	Потреба якісного регулювання та роботи вентиляційних установок.	Особи, що мають у власності приміщення промислового та соціально-побутового призначення	Фінансові можливості. Мета використання.	Висока якість, доступна вартість, швидка розробка ПЗ.

Окремим пунктом аналізу є фактори загроз та можливостей (табл. 4.3.3., 4.3.4.).

Таблиця 4.3.3. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Реакція компанії (можлива)
1	Криза	Зменшення об'єму продаж	Зменшення собівартості послуг. Проведення акцій.
2	Висока конкурентність	Зменшення об'єму продаж	Проведення рекламних кампаній з висвітленням переваг продукту. Системи знижок.

Таблиця 4.3.4 - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Реакція компанії (можлива)
1	Доступність	Встановлення середніх по ринку цін	Залучення інвесторів.
2	Впровадження новітніх технологій	Покращення функціонування та розширення можливостей	Підвищення ціни.

Аналіз конкуренції на ринку було здійснено за допомогою аналізу конкуренції в галузі за М. Портером (табл. 4.3.5).

Таблиця 4.3.5. - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	-	Високий бар'єр входження в ринок	-	Відносно низька ціна продукту	Факторів загроз з цього боку немає
Висновки	Низька інтенсивність прямих конкурентів	Є потенційні конкуренти, однак даний проєкт представляє собою покращений спосіб керування системами.	Проєкт передбачає надання послуг	Збільшення співвідношення ціни та якості	На даний момент не наявні подібні проєкти

Фактори конкурентоспроможності наведені у табл. 4.3.6.

Таблиця 4.3.6 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1.	Довготривале використання	Використання нового методу регулювання, що дозволить спрогнозувати можливі аварії обладнання та вберегти від негативних наслідків
2.	Доступність	Є широкодоступним для різних цільових аудиторій через співвідношення якості/ціна.
3.	Простота у використанні	Створення якісного та складного ПЗ ніяким чином не впливає на користування ним
4.	Використання нового закону регулювання	Це дозволяє покращити регулювання установками та отримати якісніший продукт за приблизно ту ж ціну.

SWOT- аналіз стартап-проєкту, який застосовується при стратегічному плануванні, яке полягає в сортуванні явищ та чинників на чотири категорії: сильні та слабкі сторони, можливості реалізації, та загроз (табл. 4.3.7.)

Таблиця 4.3.7. - SWOT аналіз стартап-проєкту

Сильні сторони: можливість залучити інвестора, новітність ідеї, краще функціонування та регулювання процесу, доступність	Слабкі сторони: пошуки досвідченого та універсального спеціаліста, не випробувана технологія
Можливості: великий попит на послуги, розширення	Загрози: повільний розвиток, малий попит

Загальна тенденція впровадження проєкту на ринок – зростає.

#### 4.4 Розроблення ринкової стратегії проєкту

Розроблення ринкової стратегії передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (Таблиця 4.4.1, 4.4.2)

Таблиця 4.4.1. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Володарі приміщення промислового та соціально-побутового призначення	Повністю готові	Високий	Висока	Просто
2	Звичайні люди	Не повністю готові	Низький	Середня	Просто

Таблиця 4.4.2. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	Залучення потенційних клієнтів	Поширення реклами продукції (банери листівки, Інтернет, виставки. Конференції), формування стійкого попиту	Реклама Формування попиту	Стратегія спеціалізації Стратегія диференціації
2.	Встановлення конкурентно-спроможних цін	Моніторинг ринку, коригування вартості відносно від ситуації на ринку.	Вивчення ринку та цін, спостереження за ними.	Стратегія спеціалізації

Після визначення стратегії розвитку необхідно визначити стратегію конкурентної поведінки (таблиця 4.4.3):

Таблиця 4.4.3. - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	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
1.	Так.	Компанія самостійно шукатиме нових споживачів у вибраній цільовій аудиторії, але буде намагатися привертати увагу клієнтів конкурентних фірм.	Компанія має свою стратегію та ідею, але під час моніторингу ринку звертатиме увагу на справи конкурентів.	Спочатку стратегія наслідування лідера, пізніше - Стратегія виклику лідера

#### 4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Визначимо основні переваги концепції (Таблиця 4.5.1):

Таблиця 4.5.1. - Ключові переваги концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Якість	Забезпечення більш якісного регулювання процесом	Застосування МРС-регулятора
2.	Доступність	Доступність для кожного користувача/дослідницької групи.	Помірна вартість.
3.	Надійність	Виключення доступу до регулювання людей, що не мають на це повноважень	Доступ до зміни параметрів лише для користувачів, що знають пароль.

У таблиці 4.5.2 опишемо три рівні моделі товару :

Таблиця 4.5.2. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Програмне забезпечення, що реалізує автоматизовану систему керування припливно-витяжної установки.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Н м	Вр/Тх /Тл/Е/ Ор
	1. Використання технологій керування на основі прогнозуючих моделей	Нм	Тл
	2. Типи технологічних об'єктів	М	Тл
	Якість: патент, авторське право, ІЕС 61131-3.		
Пакування: відсутнє.			
III. Товар із підкріпленням	До продажу: бібліотека блоків, які реалізують АСК вентиляційними установками на основі МРС-регулятора, аналіз, виключення похибок.		
	Після продажу: Створення ПЗ систем керування. Можливість написання ПЗ для різних видів систем.		

Далі визначаємо оптимальну системи збуту, в межах якої приймається рішення (табл. 4.5.3.).

Розроблення концепції маркетингових комунікацій (табл. 4.5.4.).

Таблиця 4.5.3. - Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Клієнти купують послугу у компанії, що надає цю послугу	- Аналіз та моніторинг ринку - Встановлення прямих зв'язків з покупцями - Поширення реклами, участь у конференціях, виставках	Без посередників.	Онлайн (сайт виробника), офлайн (через компанію)

Таблиця 4.5.4. - 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.	Потенційні покупці дізнаються про товар з різного роду реклами, виставок, конференцій	Формальні та неформальні канали комунікації.	Якість Доступність Ефективність	Демонстрація більшої ефективності, вищої якості за ту ж ціну	Увага на унікальність та іноваційність даного продукту.

## Висновки

У рамках збору, опрацювання інформації, а також виконання магістерської дисертації на тему: «Автоматизована система керування вентиляційної установки приміщення медичного закладу на базі МРС-регулятора» було більш детально вивчено можливості вентиляційних установок. За основу роботи була взята припливно-витяжна система з гліколевим рекуператором, водяним нагрівачем та охолоджувачем, електричним калорифером та паровим зволожувачем.

Власне, у першому розділі розробленого проєкту було взято до уваги стан галузі, та проблеми сьогодення; після чого було обрано сам об'єкт та описано його технологічну схему. У цьому ж розділі було визначено та поставлено задачу.

Другий розділ містить у собі модель об'єкту управління, де описано, чому було обрано саме МРС-регулятор; описано, які функції виконує система по кожному з її елементів, а також висунуто вимоги до реалізацій цих функцій, серед яких також описані вимоги до температурного режиму.

Було створено функціональну структуру для управління об'єктом; розраховано каскадну систему регулювання за допомогою методу РАФХ для двох режимів роботи установки – літнього та зимового, а також розраховано систему регулювання з МРС-регулятором для їх порівняння. З даного порівняння з'ясувалося, що система з МРС-регулятором має дещо кращі результати, що показує, що даний тип регулювання під такі системи є працездатним та економічно вигіднішим. У третьому розділі також наявне розроблене технічне та програмне забезпечення, функціонуюча НМІ панель.

При розробці стартап-проєкту було виведено ідею продукту, здійснено маркетингове планування, де описані різні фактори, такі як споживчий сегмент, вид діяльності, взаємодія з цільовою аудиторією та ін. Було проаналізовано можливості запуску проєкту, розроблено ринкову стратегію та маркетингової програми, що показало, що вихід на ринок із цим стартап-проєктом можливий.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Колодкина А.С., Марьясин О.Ю. Математическое моделирование элементов системы теплоснабжения зданий // Тр. 25-й Междунар. науч. конф. «Математические методы в технике и технологиях». Т. 8. Волгоград: Волгогр. гос. техн. ун-т, 2012. – С. 50-53.
2. Dounis A.I. and Caraiscos C. Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment: A review. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 13(7), 2009. – 1246-1261 pp.
3. Barata F.A., Igreja J.M., Neves-Silva R. Model predictive control for thermal house comfort with limited energy resources. In: 10th Portuguese Conference on Automatic Control, Funchal, Portugal, 2012. – 146-151 pp.
4. Системы управления нестационарным объектом на основе МРС регулятора и ПИД регулятора с нечеткой логикой. Надеждин И. С., Горюнов А. Г. // Национальный исследовательский томский политехнический университет, Томск
5. Довідковий посібник до лекцій і курсового проектування з дисциплін “Основи автоматизації теплоенергетичних процесів”, “Автоматизація теплоенергетичних процесів і виробництв”, дипломного проектування. Для студентів спеціальностей 7.092501 “Автоматизоване управління технологічними процесами” і 7.092502 “Комп’ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва” напряму 6.0925 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології.
6. MODEL PREDICTIVE CONTROL TOOLBOX [Електронний ресурс]: [exponenta.ru](https://exponenta.ru) – 2020. – Режим доступу: <https://exponenta.ru/model-predictivecontrol-toolbox>
7. Е.С.Бондарь, А.С. Гордиенко, В.А Михайлова, Г.В.Ниміч. Під загальною ред. Е.С.Бондарь. Навч. Посібник Автоматизація систем вентиляції. ТОВ «Видавничий будинок «Аванпост-Прим» 2005.- 560с
8. Язвінська Н.В. Методологічні підходи формування вигравних конкурентних позицій підприємства / Н.В.Язвінська // Стратегія

- розвитку України (економіка, соціологія, право): Наук. журнал. – Вип.1-2 / К.: НАУ, 2004. – С. 78-82
9. Царьова Т.О. Оцінювання конкурентоспроможності технології: п'ятирівнева модель технології як товару // Бізнес-Інформ. – 2014 (437). – № 6. – С. 413–418.
  10. Круш П. В. Механізми економічного управління та регулювання: еволюція, напрями розвитку / П. В. Круш // Економічний вісник НТУУ «КПІ» : збірник наукових праць. – 2008. – № 5. – С. 32–36.
  11. Васильченко О. О. Аналітичний звіт про стан і перспективи розвитку малого та середнього підприємництва в Україні [Електронний ресурс] / О. О. Васильченко // Державна служба України з питань регуляторної політики та розвитку підприємництва. – 2014. – Режим доступу : <https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiBtfCfhKfMAhWBAJoKHR68AVcQFggaMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.dkrp.gov.ua%2Ffiles%2F8cd09.docx&usg=AFQjCNGLPztEZ6Y23v3dBsTJlOi8lhzwDw&bvm=bv.119745492,d.bGs>.
  12. Model Predictive Control with Integral Action: A simple MPC algorithm, Telemark University College: 2005, 13 pp.
  13. Марголис, Б.И. Синтез настроек регуляторов в системах автоматического управления методом расширенных частотных характеристик / Б.И. Марголис, И.С. Мешков // Вестник Костромского государственного университета имени Н.А. Некрасова. Кострома, 2014. № 2. С.31–33.
  14. NAYHOUSE, M. Modeling and control of ibuprofen crystal growth and size distribution / M. Nayhouse, A. Tran, J.S.I. Kwon, M. Crose, G. Orkoulas, P.D. Christofides // Chemical Engineering Science. – 2015. – Vol. 134. – P. 414-422.
  15. Марголис, Б.И. Программы расчета настроек регуляторов в каскадных

- системах автоматического регулирования / Б.И.Марголис // Вестник ТвГТУ. Вып. 18. Тверь: ТвГТУ, 2011. С.72–76.
16. Бланк, С. Стартап. Настольная книга основателя / С. Бланк, Б. Дорф ; пер. с англ. Т. Гутман, И. Окунькова, Е. Бакушева. – 2-е изд. – Москва : Альпина Паблишер, 2014. – 614 с
  17. Статистика смертности и советы по безопасности для стартапов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vc.ru/p/startup-eset>
  18. Ятченя М.Ю. «Автоматизована система підтримки температури в цеху з виробництва пінобетонних блоків»: дипломна робота на здобуття ступеню бакалавра: Київ, 2020. – 97с.