

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: Система автоматичного керування лінії виробництва пороху

Виконала: студентка І І курсу, групи ТА-01мп
Роєнко Ірина Сергіївна
(прізвище ім’я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник ст. викладач П.В.Гікало
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

(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

Роєнко Ірині Сергіївні
(прізвище, ім’я, по-батькові)

1. Тема дисертації Система автоматичного керування лінії
виробництва пороху

науковий керівник дисертації Ст. викладач П.В.Гікало
(прізвище, ім’я, 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 Система сушки пороху

4. Вихідні дані
Установка для підготовки повітря у відділення сушки пороху

5. Перелік завдань, які потрібно розробити
Дослідити об'єкт керування, розробити ФСА, підібрати технічні засоби автоматизації, розрахувати налаштування регуляторів САР, оцінити доцільність використання каскадної САР відносно одноконтурної, дослідити систему на грубість, розробити програмний код та інтерфейс користувача, стартап-проект
6. Орієнтований перелік графічного (ілюстративного) матеріалу
Функціональна схема автоматизації, принципова електрична схема, загальний вигляд щита, вигляд клемного блоку, структурна схема ПТКЗА, структура та код програми ПЛК
7. Орієнтований перелік публікацій

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>Вивчення та аналіз об'єкту автоматизації</i>	10.09.2021	
3	<i>Підбір ПТКЗА</i>	20.09.2021	
4	<i>Виконання креслень та ілюстрацій</i>	28.09.2021	
5	<i>Розрахунок та дослідження САР</i>	4.10.2021	
6	<i>Дослідження САР на грубість</i>	16.10.2021	
7	<i>Розробка програмного забезпечення ПЛК</i>	26.10.2021	
8	<i>Розробка програми для НМІ-панелі</i>	09.11.2021	
9	<i>Стартап-проект</i>	22.11.2021	
10	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	01.12.2021	
11	<i>Підпис керівника магістерської дисертації</i>		
12	<i>Попередній захист магістерської дисертації</i>	10.12.2021	
13	<i>Захист</i>	21.12.2021	

Студент

Науковий керівник дисертації

Росенко І.С.
(підпис) (імя, ПРІЗВИЩЕ)

Гікало П.В.
(підпис) (імя, ПРІЗВИЩЕ)

Реферат

У рамках дисертації розроблено автоматизовану систему настільної сушки порошу.

У роботі розглянуто технологію виробництва порошу, особливості систем, що застосовуються на кожному з етапів виробництва, призначення сушильної установки, процеси, що протікають при сушці порошу. Встановлені параметри для процесу, їх діапазони та вимоги до їх підтримання, контролю, регулювання.

Також розглянуто різні способи виконання систем сушки, обладнання, що використовується у подібних системах, їх переваги та недоліки.

У ході роботи була розроблена система автоматизації сушки, що використовується для підтримки обраних параметрів в сушильному відділенні. Отримана математична модель об'єкта. З метою покращення якості регулювання були досліджені одноконтурна та каскадна САР, які були розраховані за аналітичним методом. У результаті порівняння отриманих перехідних процесів та їх критеріїв якості, як краща була обрана каскадна САР.

Розроблене програмне забезпечення ПЛК, створена програма для НМІ-панелі оператора для локального керування системою та індикації стану системи.

Ключові слова: виробництво порошу, конвективна сушка, автоматизація сушки, припливно-витяжна вентиляція, каскадна САР, програмування ПЛК, автоматизація.

Abstract

The report presents work on the study of the facility for the production of gunpowder and the development of an automated desktop drying system for gunpowder.

The paper considers the technology of gunpowder production, features of the systems used at each stage of production, the purpose of the drying unit, the processes occurring during the drying of gunpowder, its types. The parameters for the process, their ranges and requirements for their maintenance, control, regulation.

Different methods of drying systems, equipment used in such systems, their advantages and disadvantages are also considered.

During the work, a drying automation system was developed, which is used to maintain the selected parameters in the drying department. The mathematical model of the object is obtained. In order to improve the quality of regulation, single-loop and cascade ATS were studied, which were calculated by the analytical method. As a result of comparing the obtained transients and their quality criteria, the cascade SAR was chosen as the best.

Developed PLC software, created a program for the HMI-operator panel for local system control and system status indication.

Key words: gunpowder production, convective drying, drying automation, supply and exhaust ventilation, cascade SAC, PLC programming, automation.

Зміст

Вступ	7
1. Аналітичний огляд.....	8
1.1. Огляд стану сучасної галузі виробництва пороху	8
1.2. Технологічні особливості системи	9
1.3. Огляд існуючих сушильних систем	12
1.3.1. Шахтна сушка.....	12
1.3.2. Настільна сушка.....	14
1.4. Аналіз існуючих способів регулювання температури та вологості повітря.....	18
1.4.1. Водяний калорифер	18
1.4.2. Паровий калорифер	18
1.4.3. Електричний калорифер	19
1.4.4. Водяний охолоджувач.....	19
1.4.5. Компресорно-конденсаторний блок	20
1.4.6. Паровий зволожувач	22
1.4.7. Випарний зволожувач	23
1.4.8. Ультразвуковий зволожувач	23
1.5. Загальна постановка задачі.....	24
2. Опис об'єкту управління	25
2.1. Отримання математичної моделі об'єкту.....	25
2.2. Призначення і функції створюваної системи	26
2.3. Вимоги до реалізації функцій системи управління об'єктом.....	29
2.3.1. Опис функцій контролю	29
2.3.2. Опис функції регулювання	30
2.3.3. Опис функцій сигналізації.....	31
2.3.4. Опис функцій автоматичного захисту та блокування	31
2.4. Висновки	31
3. Розробка системи управління сушильною установкою.....	32
3.1. Функціональна структура системи автоматичної сушки.....	32
3.2. Розрахункова частина.....	34
3.2.1. Розрахунок одноконтурної САР	34

3.2.2. Розрахунок каскадної САР	38
3.2.3. Порівняння одноконтурної та двохконтурної САР.....	46
3.2.4. Перевірка САР на грубість.....	48
3.3. Розробка технічного забезпечення системи управління	52
3.4. Розробка програмного забезпечення	55
3.4.1. Розробка програми для ПЛК	55
3.4.2. Розробка НМІ-панелі.....	62
3.5. Висновки	65
4. Розробка стартап-проекту	66
4.1. Опис стартапу.....	66
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту	67
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	68
4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту	71
4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	72
4.6. Висновки	73
Висновки	74
Список використаної літератури.....	76

Вступ

У промисловості і сільському господарстві часто доводиться видаляти вологу з твердих матеріалів на різних етапах виробництва, це можуть бути сушка сировини, продуктів, напівфабрикатів, готових виробів. Переважно такий вид обробки використовується при підготовці їх до переробки, транспортування, використання і зберігання з метою поліпшення структурно-механічних і термічних властивостей матеріалів, збільшення теплотворної здатності палива, зменшення маси матеріалів, зміни їх фізико-хімічних властивостей та інших показників.

Способи сушки різняться залежно від цілей, найпростішим видом сушки є природна сушка при атмосферному тиску. Проте із зростанням масштабів виготовлення використання такої технології часто не задовольняє вимоги щодо тривалості процесу, його контрольованості, безпечності, якості. Тому із розвитком промисловості були розроблені більш релевантні способи сушки.

Конвективна сушка є одним з найбільш поширених способів сушіння. Він використовується у виготовленні широкого спектру продукції. Розвиток подібного обладнання - досить перспективний напрямок.

Важливим аспектом при створенні в Україні промисловості з виготовлення боєприпасів є налагоджування виробництва окремих компонентів, зокрема піроксилінового порошу. При виготовленні піроксилінового порошу однією з стадій є багатостадійна сушка.

Автоматизація системи сушки піроксилінового порошу дає можливість більш точної підтримки параметрів, що є важливим аспектом, враховуючи особливості об'єкту. Крім цього, автоматизація спрощує контроль над системою для підвищення якості та ефективності сушки. Також автоматизація сушки вводиться для забезпечення найбільш безпечного процесу та більшої економічної ефективності виробництва.

1. Аналітичний огляд

1.1. Огляд стану сучасної галузі виробництва пороху

Виготовлення димного пороху бере свій початок ще з восьмого століття в Китаї. З часом порох почав використовуватись у воєнних цілях, давши початок активному розвитку зброї. Однак димний порох мав значні недоліки – при вибуху він створював хмару диму, який осідав на зброї і швидко забруднював її, також потребував бережливого транспортування, так як міг втрачати свої властивості або вибухати від випадкової іскри. У 19 столітті спроби удосконалення пороху призвели до появи піроксилінового пороху, який мав тверду структуру і горів без диму. Крім того, варто також зазначити, що сучасний порох також має високий коефіцієнт корисної дії.

Сучасна класифікація пороху [1] передбачає наступні види пороху:

- сумішеві, тобто, димний порох;
- нітроцелюлозні, відповідно, бездимний.

На сьогоднішній день сфера застосування бездимного пороху це не лише боєприпаси, а й тверде ракетне паливо, що використовується у космічних апаратах та ракетних двигунах.

Серед нітроцелюлозного пороху, залежно від складу, виділяють:

- піроксиліновий порох;
- баліститний порох;
- кордитний порох.

Більш детально розглянемо піроксиліновий порох. Він застосовується у стрілецькій зброї та артилерії. Такий порох в своєму складі містить 91-96% піроксиліну, 1,2-5% летючих речовин (спирт, ефір і вода), 1,0-1,5% стабілізатора для підвищення стійкості при зберіганні, 2-6% флегматизатора для уповільнення горіння зовнішніх шарів порохового зерна і 0,2-0,3% графіту в якості добавок.

Наразі при виробництві піроксилінового пороху існують дві технології: періодична технологія з періодичним впливом окремих апаратів та неперервна технологія з використанням шнек-пресів та транспортерів.

1.2. Технологічні особливості системи

Незалежно від обраної технології, процес має характерні технологічні етапи:

- зневоднення піроксиліну за допомогою спирту;
- пластифікація, тобто приготування порохової маси;
- формування, тобто пресування порохової маси;
- різання порохових елементів;
- видалення розчинника – в'ялення, вимочування, сушка, зволоження.

Розглянемо процес виготовлення піроксилінового порошу детальніше [2].

При звичайній температурі нітрати целюлози не пластичні. Вони не можуть бути пластично деформованими при підвищенні температури, так як температури їх текучості вище, ніж температура запалу. Відповідно, переведення нітратів целюлози у текучий стан і їх переробка в порох шляхом лише термічного впливу майже неможлива.

Зниження температури склування нітратів целюлоз може бути досягнуто за рахунок застосування розчинників, тобто для переробки в порох їх необхідно піддати пластифікації.

З фізико-хімічної точки зору під пластифікацією розуміють зниження температури склування високополімеру в порівнянні з тими ж значеннями, що для нього характерні в початковому виді і текучості, а також зниження модуля пружності.

При виготовленні нітратцелюлозного порошу пластифікація здійснюється методом змішування нітратів целюлоз з спирто-ефірними розчинниками. Приготування порохової маси проводять в обмеженій кількості розчинника, що головним чином забезпечує процес обмеженого набухання піроксиліну з його частковим розчиненням. Але загалом це призводить до руйнування структури лише настільки, щоб забезпечити перетворення вихідного порошкоподібної вибухової речовини в пластичну масу, яку можна формувати у порохові елементи.

Технологічність порохової маси, придатної до переробки, визначається загальним вмістом розчинника та, з врахуванням початкової спиртової вологості піроксиліну, його зазвичай беруть в межах 75-85% від маси піроксиліну.

Піроксилін надходить на порохове виробництво з вологістю близько 30%. Такий вміст води в піроксиліні перешкоджає його набухання в розчиннику та ускладнює отримання пластичної порохової маси.

Однак, вода на пороховому виробництві займає особливе місце при пластифікації нітратів целюлози. У ході досліджень було встановлено, що наявність в піроксиліні 2-4% води сприяє пластифікації, проте надлишкова її кількість має бути видалена. Зневоднення піроксиліну – одна з дуже відповідальних стадій, що напряду впливає на подальшу технологію переробки та якість отриманого пороху. Основна ціль такого процесу – довести вміст води до потрібних значень.

Найбільшою кількістю води в піроксиліні розчиняють перші порції спирту, що знижує інтенсивність його впливу на поверхневі шари. Етиловий спирт, який має велику подібність з нітратом целюлози, частково заміщує воду.

При зневодненні піроксиліну відбувається його додаткова стабілізація у результаті вилучення розчинених в спирту речовин з низькою хімічною стійкістю. У результаті в зневодненому піроксиліні підвищується вміст азоту і його хімічна стійкість. Зайву води видаляють за допомогою пресування на гідравлічному або шнековому пресі та різних видів центрифуг.

Видалення розчинника з пороху є однією з найвідповідальніших стадій виробництва. Процес видалення розчинника – це складний фізико-хімічний процес, швидкість протікання якого залежить від зовнішніх факторів (середовища та параметрів процесу) та внутрішніх факторів (сировини та структури пороху).

Першим етапом видалення розчинника є пров'ялювання, в основі якого лежить процес пересування спирто-ефірного розчинника з внутрішніх шарів пороху до зовнішніх та випаровування з поверхні порохових елементів.

Температура повітря, що застосовується при пров'ялюванні, має бути в межах 28-30°C.

Вимочування виконується з метою більш повного видалення летучого розчинника. Основою вимочування є процес взаємної дифузії спирту та води. При цьому для більш активної дифузії поступово збільшують температуру води.

Призначення сушки полягає у видаленні з порошу вологи, набутої після вимочування. Сушкою завершується процес формування фізико-хімічних параметрів, характерні піроксиліновому порошу.

Після вимочування рідка фаза порошу складається з води та невеликої кількості спирто-ефірного розчинника. На початку сушки випаровується поверхнева волога, далі відбувається дифузія вологи з внутрішніх шарів і подальше поверхнєве випаровування.

Випаровування вологи з поверхневих шарів порошу в оточуюче середовище відбувається до тих пір, поки його рівноважна вологість буде більше тієї, що відповідає даній відносній вологості оточуючого середовища. З метою зменшення рівноважної вологості в готовому порошу необхідно провести його глибоку сушку до мінімальної кількості вологості, а потім зволожити порошок до необхідної вологості.

Практично встановлено, що при такому способі видалення надлишкової вологи з порошу покращується прогресивність і повнота його горіння, тому що порошок, зволожений після глибокої сушки, абсорбує вологу, переважно, у поверхневих шарах зерна, а в середині зерна капіляри утримують адсорбоване при сушці повітря. Тим більше, лише за допомогою сушки без зволоження досягнути потрібного вмісту вологи у порошу достатньо складно. Зволоження порошу здійснюють за допомогою повітря, відносна вологість якого 80-90%, або повітрям, насиченим паром.

1.3. Огляд існуючих сушильних систем

1.3.1. Шахтна сушка

На відміну від настільних сушок такий апарат має неперервну характеристику впливу з механізованими процесами завантаження та вивантаження.

При настільному методі сушки відбувається продування гарячим повітрям через нерухомий шар порошу, в наслідку чого значно збільшується час сушки. У шахтних сушках процес сушки відбувається шляхом продування гарячим повітрям через безперервно рухомий зверху-вниз потік і одночасним його переміщенням.

Таким чином забезпечується більш рівномірне обдування зерна свіжим повітрям, що значно зменшує час сушки, наприклад, для зернистого порошу 10-20год в порівнянні з столовою сушкою з тривалістю процесу 30-130год.

На рис.3.2. представлена технологічна схема шахтного сушильного апарату. Шахта складається з основних ланок 4, трьох проміжних ланок 5, верхньої ланки 2, нижньої ланки 6 і вивантажувального бункеру 7. Верхня ланка являє собою пустотілу прямокутну царгу, а порох, що в ній знаходиться, має роль засувки для повітря. Основні ланки 4 однакові, кожна складається з прямокутної царги, всередині якої у шаховій послідовності розташовані повітроводи у коробах, нижня частина яких відкрита.

Короба з одного боку в царзі відкриті, з іншого – закриті, при цьому вони розміщені почергово: якщо короби верхнього ряду відкриті з боку калорифера, то короби нижнього – з протилежного боку. Кожна основна ланка має 11 рядів коробів, з яких п'ять рядків відкриті з боку подачі гарячого повітря, а шість рядків відкриті з боку виходу відпрацьованого повітря. Короби призначені для рівномірного розподілу повітря як по висоті, так і по поперечному перетину кожної ланки, а також для перемішування порошу при його руху в шахті та відводу статичного струму. Перші три зони є зонами сушки, а четверта – зоною охолодження та зволоження. З боку кожна зона має

дифузор для подачі гарячого повітря від калорифера 12. У четвертій зоні, аналогічно, є дифузор з парою для зволоження.

ПВ – підігріте повітря, що надходить в сушку;

ОВ – відпрацьоване повітря;

ВП – водяна пара.

Проміжна ланка 5 має ряд коробів, торцева частина яких закрита з боку калорифера та відкрита з боку приймальної шахти для повітря. Через відкриті торці в короби проведені дренчерні пристрої 3. Нижня ланка 6 не має коробу, а розбита перегородками на шість секторів для більш рівномірного руху порошу.

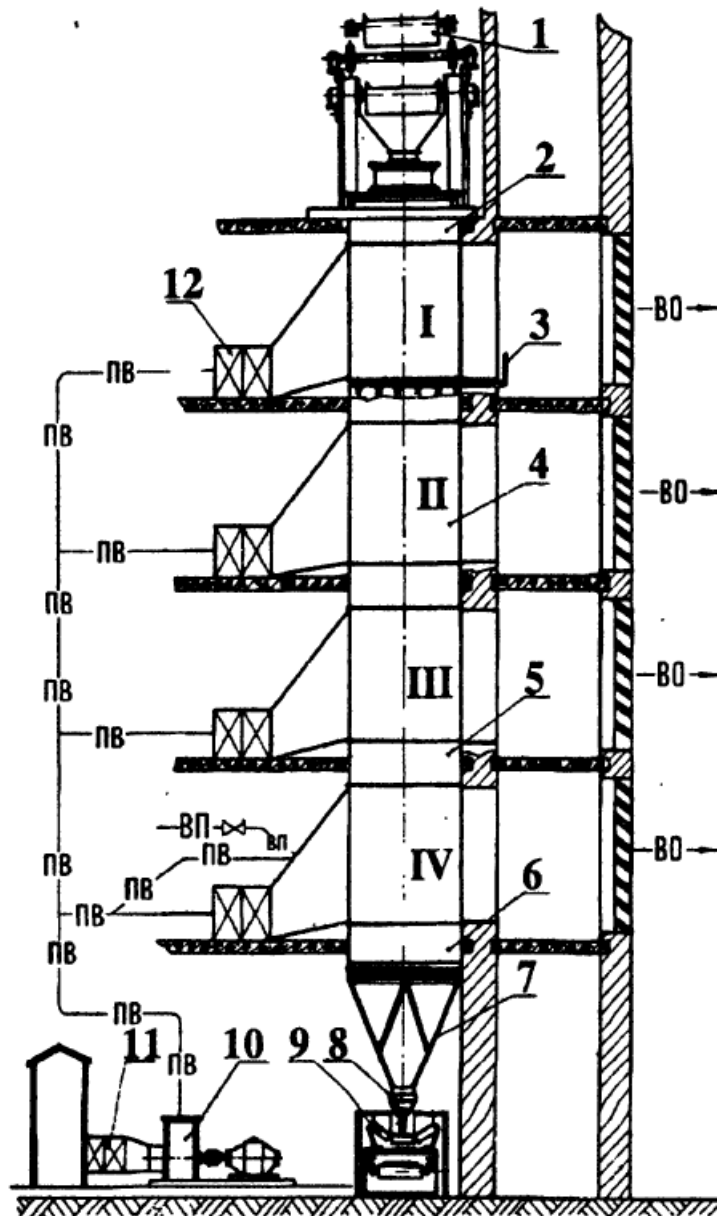
Вивантажувальний бункер 7 має два отвори, що поєднанні за допомогою патрубків у вивантажувальну трубку, через

котру відбувається вивантаження Рис.3.2. Технологічна схема шахтної сушки

шахти за допомогою вивантажувача 8.

Для попереднього нагрівання повітря встановлений калорифер 11, вентилятор 10 здійснює подачу повітря в секції.

Порох в загрузочний бункер шахти подається ковшовим елеватором, а висушений порошок подається стрічковим транспортером 9 в приміщення фасування.



Не дивлячись на переваги шахтної сушки в механізованих процесах та тривалості сушки, вони також мають і суттєві недоліки: пошкодження сировини через постійне перемішування, нерівномірна сушка вхідної продукції з високим вмістом вологи та постійне забруднення шахт і їх складному очищенні.

1.3.2. Настільна сушка

На столах сушать порошок всіх марок, як зернисті, так і трубчасті. У приміщенні зазвичай встановлюються десять столів по п'ять столів у відділенні або шість столів у приміщенні по три столи у відділенні.

На рис.3.1. показана технологічна схема сушки з витяжною вентиляцією.

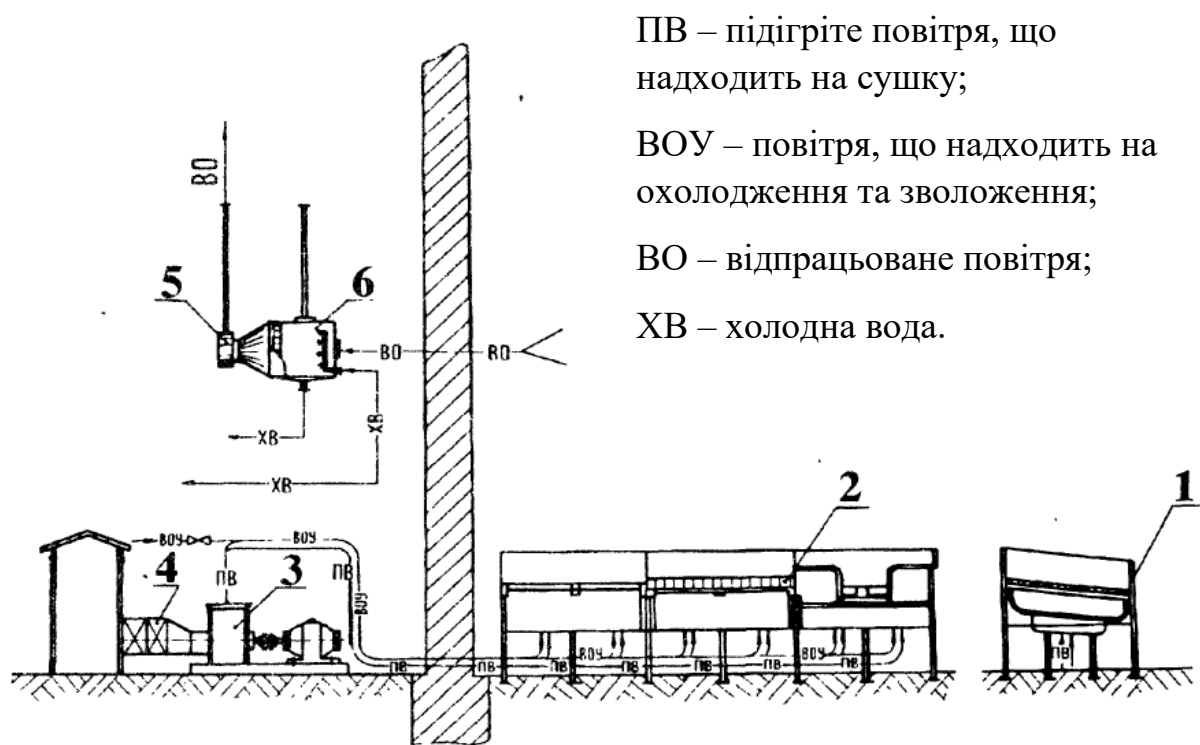


Рис.3.1. Технологічна схема сушки з витяжною вентиляцією

Сушильний стіл 1 з усіх боків має борти, що знижуються до сторони вивантаження та розділений на три секції. На відстані 300-400мм від дна у кожній секції вкладені дерев'яні решітки 2, розмір комірок яких 150x150мм. В основі кожної секції наявно по чотири патрубка для підведення повітря під решітку. Решітки в секціях покриваються чохлами з канви, зшитими по

розміру секції, на них відбувається завантаження порошу. Зернистий порошок завантажується насипним рівномірним шаром товщиною не більше 500мм, трубчасті – встановлюються вертикально, пучками.

Щоб визначити температуру порошу в процесі сушки у столах встановлюються датчики температури, виміри яких виводяться на вторинний пристрій.

Після завершення завантаження сушки порохом вмикається вентилятор 3.

Повітря через калорифер 4 по нагнітаючому повітропроводі подається під решітку, проходить через шар порошу та, насичуючись випарами води, виходить у приміщення сушки. Відпрацьоване повітря витягується з приміщення за допомогою вентилятору 5, попередньо пропускаючись через фільтр для позбавлення його від порохового пилу, та викидається в атмосферу.

Для першого етапу активного поверхневого випаровування в сушку подається повітря, нагрітого до 75°C. Після того, як порошок набуде температури 50°C, починається другий етап сушки. При цьому температура повітря для подачі в сушку знижується до 55°C.

При потребі порошок можна перевертати один раз, попередньо охолодивши його до температури 25-30°C.

Якщо досягнуто вмісту в порошу 0,2-0,7% летких речовин, його сушка припиняється та відбувається перехід до етапу охолодження його до температури 30-45°C. Потім починається його зволоження повітрям, в яке подається пара. Повітря зволожується до відносної вологості 80-95% і при цьому нагрівається до 30-45°C. У подальшому це повітря надходить на сушильні столи.

Зволоження порошу відбувається до досягнення встановлених норм вмісту видалених речовин. Потім порошок охолоджується до температури 25°C. У літній час його охолоджують до температури, не більшої за зовнішню більш ніж на 5°C.

Тривалість сушки та зволоження зернистих порохів залежить від висоти шару звантаженого пороху і знаходиться в межах від 40 до 130 год і від 2 до 10 год відповідно, залежно від марки пороху.

Для зняття статичного струму, що виникає в процесі сушки, дрібнозернистий порох після вимочування перед сушкою покривають графітом.

Експлуатація настільних сушок, так само як і шаф для в'ялення та басейнів для вимочування, пов'язана з ручним завантаженням та вивантаженням пороху.

Настільна сушка є видом теплової сушки, яка передбачає видалення вологи з матеріалу за допомогою теплової енергії для її випаровування. При цьому теплова сушка може бути природньою або штучною. Одним з видів теплових сушок є конвективні сушки. При конвективному способі сушки до матеріалу, який потрібно висушити, відбувається підведення тепла, яке може на собі переносити нагрітий сушильний носій. У подальшому цей носій може бути видалений за допомогою спеціальних витяжних пристроїв, наприклад, витяжних вентиляторів, димососів. В якості сушильних агентів можуть використовуватись повітря, пароповітряна суміш, димові гази, водяна пара, інші гази. Для настільної сушки сушильним агентом є повітря або повітря з парою.

Сушильні установки конвективного типу мають просту конструкцію та відносно невисоку вартість. Варто враховувати і те, що такі сушки мають досить високі енерговитрати, які зумовлені не лише витратами на процес, а й витоками тепла у зовнішнє середовище. Гнучкість зміни продуктивності сушки досягається зміною температури сушильного агенту, але при цьому є вірогідність стрімко збільшити випаровування вологи, що може пересушити продукцію. Також для даного методу сушки характерно довготривалість процесу сушки. Загалом, енергетична ефективність конвективної сушки дуже залежить від вартості обраного енергоносія.

У промисловості використовується безліч різноманітних сушок, які мають відмінності у методі підведенні тепла до матеріалу, конструкції, періодичності дії та інших аспектах.

Завданням було розробка системи автоматизації настільної сушки порошу, що буде контролювати параметри повітря, що подається до сушильних столів, враховуючи різні установлені параметри визначених режимів. Тобто, реалізувати систему подібну наведеній на рис.3.1. Така система представляє собою припливно-витяжну вентиляцію з калорифером, охолоджувачем та зволожувачем.

При розрахунку необхідної потужності установки було взято за умови необхідність подачі 5000 м³/год повітря до кожного столу [3].

1.4. Аналіз існуючих способів регулювання температури та вологості повітря

Розглянемо основні види калориферів, що застосовуються у вентиляційних системах [5].

1.4.1. Водяний калорифер

Вигляд водяного теплообмінника наведений на рис.4.1. Конструктивно теплообмінник виконаний у вигляді трубчастої конструкції, що закріплена в корпусі з листового металу. Вода циркулює по трубах з нижнього ряду до верхнього, в свою чергу трубки обдуваються повітрям, що збільшує теплообмін. Найбільш розповсюджений варіант в міру своєї відносно невисокої вартості, високої ефективності, можливості плавного налаштування. Проте варто враховувати наступні недоліки: залежність від наявності теплоносія, складність підведення теплоносія до місця встановлення та потреба періодичного обслуговування.



Рис.4.1. Водяний теплообмінник

1.4.2. Паровий калорифер

Конструктивно схожий на водяний калорифер, але в якості теплоносія використовується пара. Має наступні переваги: високий рівень тепловіддачі, швидкий нагрів повітря у приміщеннях з великою площею. Але для роботи такого калориферу, відповідно, потрібна підготовлена пара і її підведення до

калориферу, що ускладнює його встановлення. Зазвичай використовуються на підприємствах, де пара є побічним продуктом виготовлення або потрібна на кількох етапах.

1.4.3. Електричний калорифер

Конструктивно являє собою спіральний ТЕН у корпусі, наведений на рис.4.2. Для здійснення більш поступового керування ТЕНи вмикаються через семісторні блоки. Перевага електричного калорифера у простоті встановлення, без необхідності наявності магістралі з теплоносієм, має невеликі габарити та вагу. Ще одною значною відмінністю є те, що такі калорифери висушують повітря і, звичайно, працюють на електроенергії, тому постійне використання такого обігрівача часто не вигідне. Також варто зазначити їм невелику потужність, в порівнянні з водяними та паровими калориферами, тому зазвичай використовуються для опалення приміщень до 100 м².

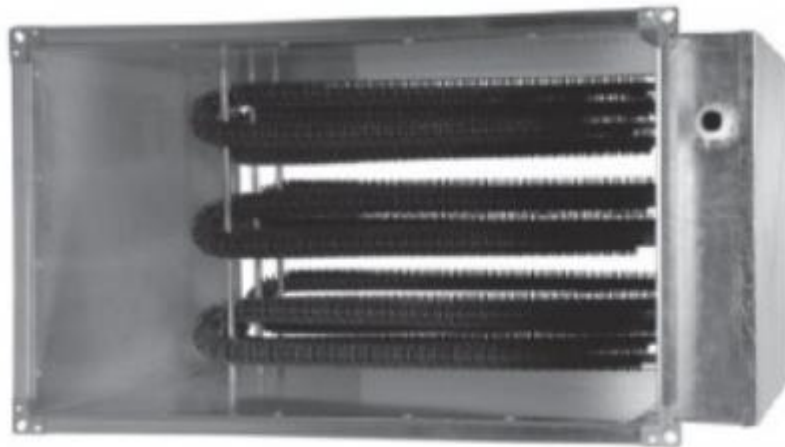


Рис.4.2. Електричний калорифер

Розглянемо основні види охолоджувачів, що застосовуються в каналних системах вентиляції.

1.4.4. Водяний охолоджувач

Зазвичай має виконання аналогічне водяному калориферу, часто доповнений краплеуловлювачем, так як в процесі різкого охолодження утворюється конденсат. Серед інших охолоджувачів має перевагу через

дешевизну та простоту експлуатації. Недоліками є нижча ефективність, ніж для ККБ, та в середньому можуть понизити температуру на 5-6°C.

1.4.5. Компресорно-конденсаторний блок

До складу ККБ [6] входять наступні елементи:

- компресор (один або більше);
- система керування та живлення;
- теплообмінник конденсатора (або виконання з винесеним конденсатором);
- вентилятор для обдуву конденсатора.

Схема ККБ наведена на рис.4.3.

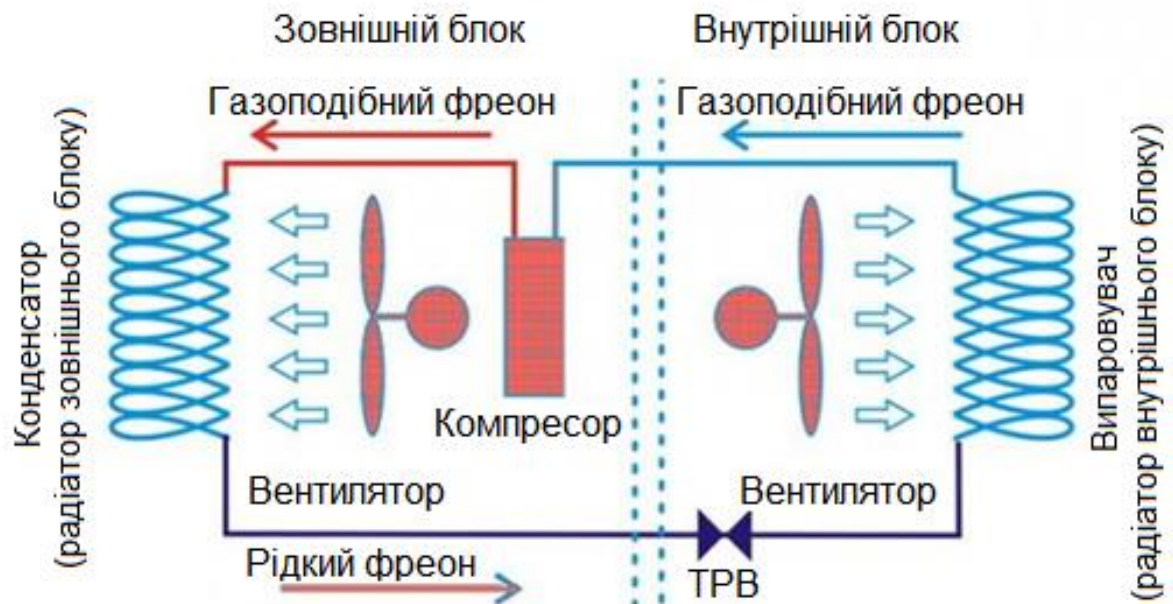


Рис.4.3. Схема компресорно-конденсаторного блоку

Принцип роботи полягає у наступному:

- в ККБ надходить газоподібний холодоагент;
- вмикається компресор, який стискає газ, через що його тиск та температура різко зростають;
- стиснутий газ надходить на теплообмінник-конденсатор, де він перетворюється в рідину, при цьому вивільняючи тепло;

- віддавши тепло, холодоагент проходить дроселюючий пристрій, де його тиск знижується і рідина охолоджується;
- охолоджена рідина надходить у випарник, в якому віддає холод та забирає тепло, закипає і перетворюється в газ;
- після теплообмінника холодоагент знову повертається в компресор і цикл повторюється.

Основні типи ККБ:

- ККБ з повітряним охолодженням з осьовим вентилятором. Такий тип передбачає вуличну установку блоку. Є найдешевшим варіантом виконання, потребує достатньо вільного місця на вулиці, щоб отримувати необхідну кількість повітря для охолодження конденсаторного блоку.
- ККБ з повітряним охолодженням з відцентровими вентиляторами. Такому типу надають перевагу, якщо встановлення блоку відбувається всередині приміщень з приєднанням його до повітропроводів, по яким буде надходити повітря для охолодження конденсатору.
- ККБ з водяним охолодженням. Використовуються при внутрішньому встановленні з використанням градирні для водяного охолодження конденсатору. Такий варіант, зазвичай, обирають при наявності легкодоступної охолоджувальної води.

Перевагами ККБ є:

- охолодження без проміжного холодоносія;
- вигідність генерації холоду;
- простий монтаж.

Серед недоліків таких апаратів:

- обмеження відстані від ККБ з повітряним охолодженням до фреонового випарника не має перевищувати 20-50 метрів;
- холодильна потужність залежить від температури зовнішнього повітря: чим тепліше на вулиці, тим ця потужність нижче і навпаки;

- грубе регулювання холодопродуктивності, тобто, компресорний агрегат працює по дискретному принципу, таким чином, коли температура на вулиці нижче, ніж прийнята при розрахунках, то можливе переохолодження повітря;
- висока вартість компресора. Часто його ціна перевищує половину вартості самого пристрою, тому при експлуатації важливо дотримуватись рекомендацій для продовження терміну служби. Крім того, вихід його з ладу може бути пов'язаним з початковим неправильним підбором обладнання.

Основні види зволожувачів, що використовуються у вентиляційних системах [7].

1.4.6. Паровий зволожувач

Принцип дії полягає у парі, який проходить по трубкам через фільтр і клапан приладу, після чого потрапляє до розподільчого колектору і звідти вже у повітропровід, де насичує повітря вологою. Паровий зволожувач наведено на рис.4.4.



Рис.4.4. Паровий зволожувач

Значною перевагою парового зволожувача є висока швидкість роботи, можливість зволоження до 100%, надійність. А недоліком є потреба у підведенні пари до пристрою.

1.4.7. Випарний зволожувач

Загальний вигляд подібного зволожувача наведено на рис.4.5. Зволожувач має піддон, який наповнюється водою, а також внутрішні касети, що добре поглинають воду. За допомогою насоса вода з піддону надходить до касет, наповнюючи їх, надлишкова вода повертається до піддону. Повітря проходить через касети, зволожується та надходить до приміщення. Побічним результатом є зниження температури повітря.



Рис.4.5. Випарний зволожувач

Перевагами є висока ефективність зволоження, зволоження без краплин, максимальна робоча температура близько 60°C.

1.4.8. Ультразвуковий зволожувач

Вважаються найбільш ефективними з існуючих. Приклад такого зволожувача наведено на рис.4.6.

Принцип їх дії наступний: за допомогою ультразвуку, вода перетворюється в туман, повітря проходить через хмару води та насичується мікроскопічними водними частками, діаметр яких 1-5 мікронів.



Рис.4.6. Ультразвуковий зволожувач

Перевагами ультразвукових зволожувачів є:

- безшумна робота;
- енергоефективність ;
- відсутність впливу на температуру у приміщенні.

Серед недоліків варто відмітити, що такі зволожувачі викидають у повітря всі домішки, наявні у воді. Тому для чистих приміщень потрібна підготовлена вода. А також необхідна періодична заміна мембранних випромінювачів.

1.5. Загальна постановка задачі

Задачею магістерської роботи є розробка системи автоматизації існуючої сушки порошку з подальшим впровадженням її на виробництві. Необхідним є розробка системи автоматичного регулювання температури та вологості повітря, програмна реалізація різних режимів сушки. При розробці потрібно провести дослідження об'єкту та розробити ефективну систему регулювання, що дозволить збільшити економічність системи.

2. Опис об'єкту управління

2.1. Отримання математичної моделі об'єкту

Установка для сушки порошу в номінальному режимі працює для підтримання температури в притоку та на столах за допомогою парового калорифера.

Розглянемо основні наявні збурення в системі сушки. Зміна температури теплоносія – пари – є несуттєвим через незначний діапазон відхилення та інерційність об'єкту. Зміна температури зовнішнього повітря є прогнозованим та може компенсуватись за допомогою введення блоку аналізу та прогнозування параметрів, залежно від часу доби та пори року.

Особливістю технології сушки є зміна режиму роботи і, відповідно, зміна завдання температури. При цьому, зміна необхідної температури між режимами може бути до 50 °С. Отже, система має оптимально реагувати на зміну завдання в системі.

Для системи сушки можна виділити контур температури в припливному каналі, на який впливає відкриття крану парового калорифера та контур по температурі продукту на столах, на яких аналогічно має вплив кран калорифера. З літератури [8], [9], [10], враховуючи характеристики системи, були отримані наступні передавальні функції, які характеризують випереджаючий та інерційний канали об'єкту.

$$W_{\text{вип}} = \frac{1.05}{10.2p + 1} e^{-2p}$$

$$W_{\text{інер}} = \frac{0.987}{269.8p^2 + 37p + 1} e^{-9p}$$

Для передавальної функції інерційного каналу об'єкту побудуємо розгінну характеристику, наведену на рис.2.1:

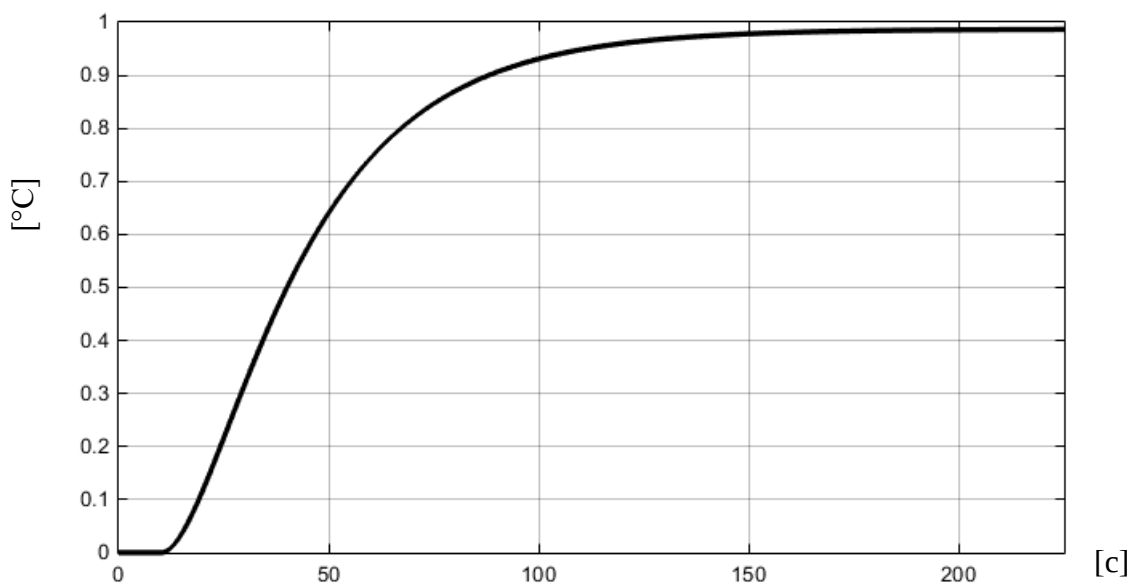


Рис.2.1. Перехідна характеристика отриманого об'єкта регулювання

2.2. Призначення і функції створюваної системи

Система автоматизації стадії сушіння повинна контролювати основні параметри, що забезпечують безпечне проведення процесу сушіння продукту. Передбачити можливість місцевого та дистанційного (з операторної) контролю основних показників процесу.

На пульт управління в операторне та машинне відділення вивести показання температури продукту для кожного технологічного обладнання. На підставі завдання розробити мнемосхему з відображенням основного технологічного та допоміжного обладнання, зав'язаного з ними технічних стадій.

У програму дистанційного керування процесом сушіння продукту вивести команди на:

- Увімкнення/вимкнення вентиляційного обладнання;
- Керування технологічним процесом;
- Контроль вологості повітря;
- Контроль температури продукту.

Короткий опис режимів сушіння продукту:

1) Сушіння:

1.1) Сушіння великих марок порошу - великі марки сушать при температурі припливного повітря 65-70°C без додаткового зволоження. Сушіння зупиняється при досягненні температури продукту 70°C або після заданого часу сушіння від 15 до 200 годин.

1.2) Сушіння дрібних марок порошу - процес сушіння ведуть при температурі повітря, що подається з повітроводу в відділення сушки в межах 50-55°C без додаткового зволоження. Сушіння зупиняється при досягненні температури продукту 55°C або після заданого часу сушіння від 15 до 200 годин.

2) Продування сухим холодним повітрям - продування ведуть повітрям з температурою в межах 20-30°C без додаткового зволоження. Час продування від 1 до 16 годин.

3) Зволоження в суху погоду - зволоження продукту в суху погоду ведуть за допомогою насичення повітря, що подається насиченою парою, при цьому температура повітря, що подається, не повинна перевищувати 50-55 °C, а вологість повітря 80-95%. Залежно від марки продукту, час процесу варіюється від 0,5 до 30 годин.

4) Продування вологим холодним повітрям - продування після процесу зволоження ведуть повітрям з температурою в межах 20-25 °C, з показником абсолютної вологості повітря 10-12г/м³. Час вологого продування від 0,5 до 4 годин. Процес продування закінчують або при досягненні заданого часу, або досягненні температури продукту на столах 25 °C.

5) Вивантаження/завантаження – При операціях вивантаження або завантаження продукту у приміщеннях сушіння підтримується температура 20-25 °C з абсолютною вологістю повітря 10-12г/м³.

Враховати, що забороняється проводити режими сушіння продукту 1-4 одночасно з проведенням режиму вивантаження/завантаження – 5.

Таблиця 2.1. Параметри процесів у сушці

Режим сушки	Вимірюваний або регульований параметр		
	Найменування	Межі вимірювання або регулювання макс.; хв.	Клас точності похибка виміру
1. Сушка			
1.1. Сушка великого порошу	Температура повітря	65-70°C	+1°C
	Температура продукту	70°C	+1°C
	Тривалість	15-200 год	-
1.2. Сушка дрібного порошу	Температура повітря	50-55°C	+1°C
	Температура продукту	55°C	+1°C
	Тривалість	15-200 год	-
2. Продування сухим холодним повітрям	Температура повітря	20-30°C	+1°C
	Тривалість	1-16год	-
3. Зволоження	Температура повітря	50-55°C	+1°C
	Вологість повітря	80-95%	+5%
	Температура продукту	55°C	+1°C
	Тривалість	0,5-30 год	-
4. Продування вологим холодним повітрям	Температура повітря	20-25°C	+1°C
	Вологість повітря	10-12г/м3	+1г/м3
	Температура продукту	25°C	+1°C
	Тривалість	0,5-4 год	-
5. Вивантаження/завантаження	Температура повітря	20-25°C	+1°C
	Вологість повітря	10-12г/м3	+1г/м3

При розробці системи вентиляції необхідно врахувати норми та вимоги ДБН В.2.5-67:2013 [11]. Та РМ 4-223-89 [12] щодо встановлення систем автоматизації у вибухонебезпечних зонах.

2.3. Вимоги до реалізації функцій системи управління об'єктом

АСУТП розглянутої сушильної установки має забезпечувати функції контролю, регулювання, сигналізації, захисту та блокування.

2.3.1. Опис функцій контролю

Технологічні параметри об'єкту та сигнали для контролю наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Параметри для контролю в системі

Назва	Умова (критична/інформаційна аварія)	
	Аналогові сигнали	
	Мінімальне значення	Максимальне значення
Температура в припливному каналі	(завдання припл. темп. - 5)°C	(завдання припл. темп. + 5)°C
Вологість у припливному каналі	(завдання припл. волог. - 10)%	(завдання припл. темп. + 10)%
Температура зворотньої пари	110°C	-
Температура пари в паропроводі	110°C	130°C
Дискретні сигнали		
Обрив заземлення	Розімкнений контакт	
Протипожежна сигналізація	Розімкнений контакт	

Термостат калориферу	Розімкнений контакт
Аварійний стан ККБ	Замкнений контакт
Перепад тиску на фільтру	Замкнений контакт
	Інші
Зв'язок з модулем розширення	Відсутній зв'язок

2.3.2. Опис функції регулювання

Автоматична система сушки має регулювати такі параметри:

1) Температура в припливному каналі

Сигнал від встановленого в припливному каналі датчика температури передається на контролер, де його значення оброблюється та формується сигнал на регулювання, що з контролеру надходить на привід керування клапаном витрати теплоносія парового калориферу.

2) Температура продукту на сушильних столах

Сигнали від встановлених на столах датчиків температури порошу передаються на контролер, опрацьовуються та за їх показами розраховується регулюючий сигнал, що надходить з контролеру на привід клапану калориферу.

3) Вологість в припливному каналі

Сигнал від встановленого в припливному каналі датчика вологості повітря передається на контролер, де його значення оброблюється та формується сигнал на регулювання рамками зволожувача, відповідно нього, з контролеру надходить сигнал відкриття/закриття на привід керування клапаном витрати парового зволожувача.

2.3.3. Опис функцій сигналізації

Для системи потрібно передбачити наступну технологічну сигналізацію:

- 1) Сигналізація про виникнення небезпечної для системи аварії, яка може привести до виникнення критичної аварії системи, зупинки чи виходу з ладу обладнання.
- 2) Сигналізація про виникнення критичної для системи аварії, що призводить до зупинки процесу та системи загалом. Про наявність критичної аварії має сигналізувати звуковий сигнал.

Детальніше параметри та сигнали для сигналізації описані в таблиці 2.2. Інформація про наявність аварій має бути виведена як на контролер, так і на НМІ-панель.

2.3.4. Опис функцій автоматичного захисту та блокування

Автоматичні захисти використовуються для уникнення аварій обладнання або зменшення їх згубного впливу на обладнання та систему загалом. При цьому, враховуючи особливість об'єкту, захист має забезпечувати найбільш безпечний варіант аварійної зупинки процесу та обладнання.

При виникненні аварії пожежі, обриву заземлення, несправності припливного вентилятора система швидко і повністю зупиняється. При виникненні інших критичних аварій, спрацьовує алгоритм, при якому система переходить у режим, що дозволяє зняти надлишкову температуру з парового калориферу та зменшити температуру продукту на сушільних столах.

2.4. Висновки

Автоматична система сушки має бути спроектована з врахуванням описаних функцій регулювання, контролю та сигналізації. При розробці алгоритмів керування пристроями та установкою варто враховувати особливістю об'єкту та технологічних процесів, що в ньому відбуваються. Необхідно розробити алгоритм керування для описаних в 2.2. режимів. Особливу увагу необхідно приділити технологічному захисту та блокування з найбільш безпечним реагуванням системи на аварійні ситуації.

3. Розробка системи управління сушильною установкою

3.1. Функціональна структура системи автоматичної сушки

На рис.3.1. приведена функціональна схема системи сушки порошу. Система виконує функції подачі та забору повітря і забезпечую загальний повітрообмін у сушильному відділенні з підтримкою заданих параметрів температури та вологості для повітря.

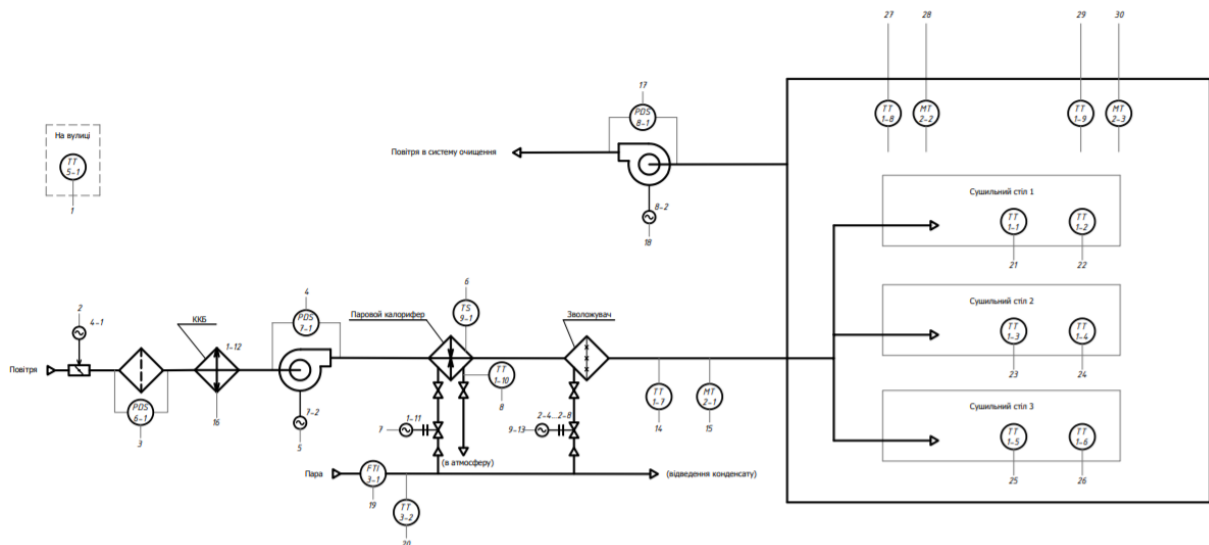


Рис.3.1. Функціональна схема системи сушки порошу

Інформація про температуру надходить з наступних датчиків:

- 1) Датчик температури на вулиці (поз.1) – для встановлення сезону роботи установки.
- 2) Датчик температури в припливному каналі (поз.14) – випереджаючий інформаційний канал для підтримки завдання температури продукту.
- 3) Датчики температури продукту на столах (поз.21-26) – інерційний інформаційний канал системи, також використовується для оцінки настання умов переходу сушки в інший режим роботи.
- 4) Датчик температури зворотної пари (поз.8) – для підтримки парового калорифера у стані готовності до роботи і уникнення обмерзання теплообмінника.
- 5) Датчик температури пара в паропроводі (поз.20) – інформаційний датчик.

6) Датчики температури повітря в сушильному відділенні (поз.27 та 29) – інформаційні датчики.

Дані про вологість надходять з наступних датчиків:

- 1) Датчик вологості в припливному каналі (поз.15) – інформаційний канал для регулювання паровим зволожувачем.
- 2) Датчики вологості повітря в сушильному відділенні (поз.28 та 30) – датчики для відображення та обмеження парозволожувача.

Також в системі додатково наявний витратомір в паропроводі (поз.19) для відображення витрати пари.

Повітряна заслінка припливного каналу керується приводом з дискретним керуванням (поз.2).

Припливний та витяжний вентилятори керуються за допомогою частотних перетворювачів (поз.5 та 18) сигналом з контролера 0-10В. Для контролю та аварійного захисту в системі наявні датчики наявності перепаду тиску на вентиляторах (поз.4 та 17), які сигналізують про роботу кожного з вентиляторів.

Паровий калорифер регулюється двоходовим краном (поз.7) з аналоговим керуванням з ПЛК. Для захисту парового калорифера встановлений термостат (поз.6) при спрацюванні якого відбувається аварійне відключення установки.

Компресорно-конденсаторний блок (поз.16) керується дискретним сигналом з ПЛК та віддає на контролер сигнал про наявність аварії на ньому.

Для керування рамками парового зволожувача використовується п'ять трьохпозиційних кранів (поз.9-13).

3.2. Розрахункова частина

3.2.1. Розрахунок одноконтурної САР

Для отримання параметрів налаштувань ПІ-регулятора - K та K_i , здійснимо розрахунок регулятора за допомогою аналітичного методу РАФХ. Особливістю даного методу, що перед початком розрахунку ми задаємось значенням кореневої ступені затухання m , що забезпечить ступінь затухання не гірше $\psi = 1 - e^{-2\pi m}$ за умови, що розширений годограф Найквіста для системи перетинає критичну точку $(-1j, 0)$.

Для розрахунків задаймося значенням $m=0.62$, якому відповідає значення $\psi = 0.98$. На основі цього побудуємо криву $m = \text{const}$ у площині параметрів налаштувань регулятора K та K_i . У середовищі Matlab здійснимо розрахунки та побудову кривої за допомогою програми, код якої наведений у лістингу 3.1:

Лістинг 3.1. Код програми побудови кривої $m=\text{const}$ у площині K , K_i

```
w = 0.001:0.0001:0.07;
m = 1.7;
fil= 1-exp(-2*pi*m);
p = w.*(1i - m);
W1=(0.987.*exp(-9.*p))./(269.8.*(p.^2)+37*p+1);
A = real(W1).^2 + imag(W1).^2 ;
K=-(real(W1)+ imag(W1).*m)./A;
Ki=-(imag(W1).*w.*(m^2+1))./A;
Kim = 0.02;
Ki1 = 0.95*Kim;
K1 = 0.56;
plot(K, Ki, 'k', 'linew', 2);
hold on;
plot(K1, Ki1, 'ok', 'linew', 2);
grid on; xlabel('K'); ylabel('Ki');
```

У результаті роботи програми отримуємо криву, наведену на рис. 3.2. Будь-яка точка на цій кривій забезпечить обрану ступінь кореневого

затухання, але при цьому вони матимуть різний вплив на інші показники якості перехідного процесу. Тому будемо обирати значення налаштування регулятора, як точку, що відповідає значенню K_i , рівним $0.95 \cdot K_i$ максимальне, та значення K , що відповідає перетину прямої K_i та кривої $m=\text{const}$ (рис.3.2).

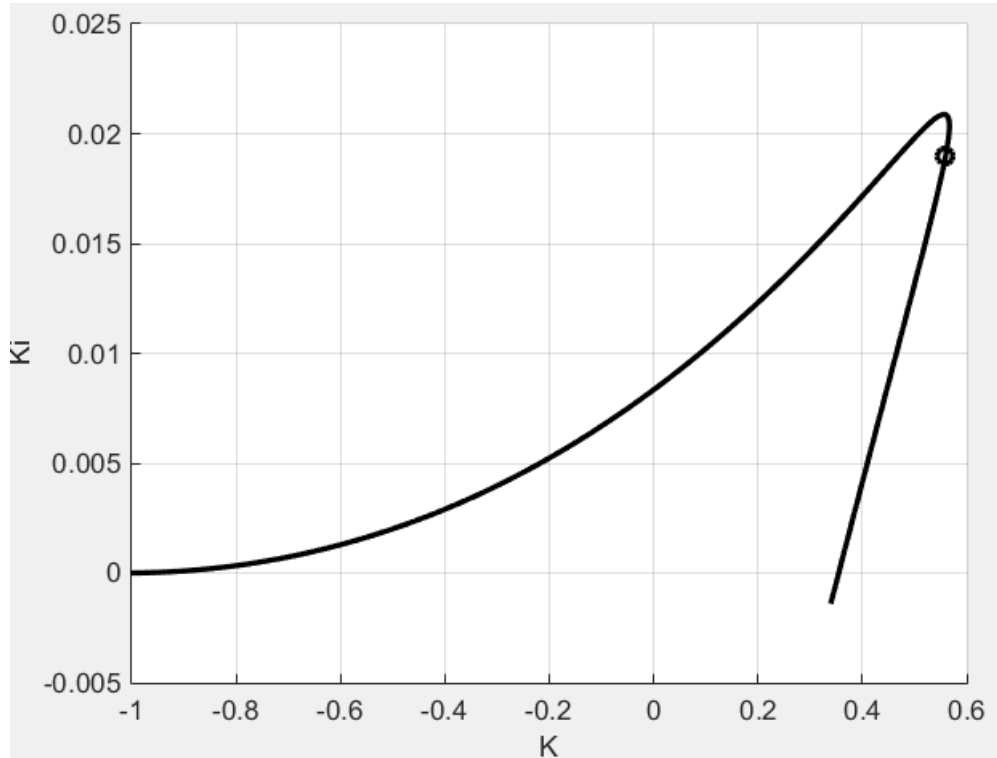


Рис.3.2. Крива $m=1.7$ у площині параметрів K_i , K та точка значень налаштування регулятора

Отримані налаштування регулятора: $K = 0.56, K_i = 0.019$. Для перевірки правильності розрахунків, побудуємо РАФХ для обраних налаштувань регулятора за допомогою програми у Simulink, код якої наведено у лістингу 3.2. Результат побудови показано на рис.3.3.

Лістинг 3.2. Код програми для побудови РАФХ системи

```
w = 0.0001:0.0001:0.035;
m = 1.7;
fil= 1-exp(-2*pi*m);
p = w.*(1i - m);
W1=(0.987.*exp(-9.*p))./(269.8.*(p.^2)+37*p+1);
A = real(W1).^2 + imag(W1).^2 ;
K=-(real(W1)+ imag(W1).*m)./A;
Ki=-(imag(W1).*w.*(m^2+1))./A;
Kim = 0.02;
```

```

Ki1 = 0.95*Kim;
K1 = 0.56;
Wr= K1+(Ki1./p);
W = W1.*Wr;
hold on;
xlabel('Re(Wрозш)');
ylabel('Im(Wрозш)');
grid on;
plot(real(W),imag(W),'k','linewidth',2);

```

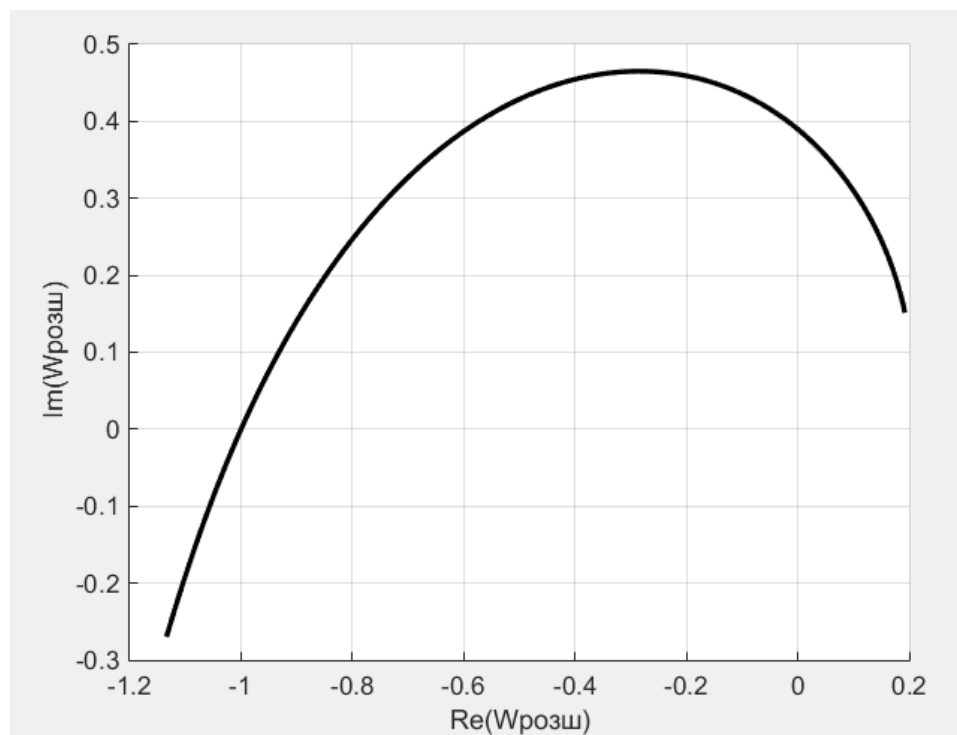


Рис.3.3. Годограф розширеної системи з обраними налаштуваннями регулятора

На рис.3.3 отриманий годограф проходить через критичну точку $(-1j,0)$, тому система з таким ПІ-регулятором забезпечить ступінь згасання не гірше заданої при розрахунку.

Побудуємо перехідні процеси у системі з розрахованим ПІ-регулятором. На рис.3.4 наведено структурну схему системи з регулятором з налаштуваннями, розрахованими за методом РАФХ. На рис.3.5 зображений перехідний процес за каналом збурення-вихід, на рис.3.6. за каналом завдання-вихід системи з ПІ-регулятором.

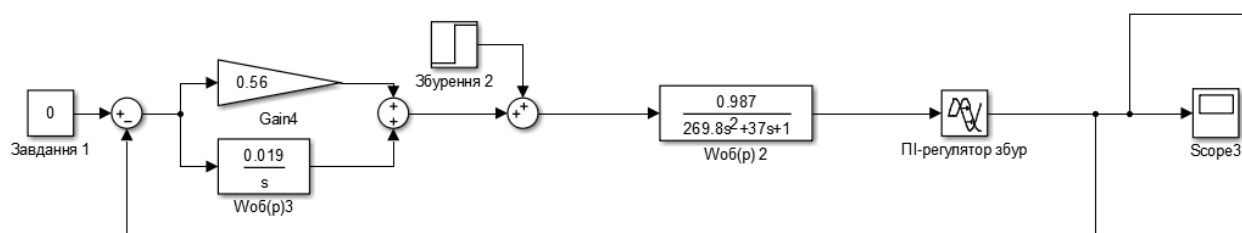


Рис.3.4. Структурна схема 1-системи з ПІ-регулятором, метод РАФХ

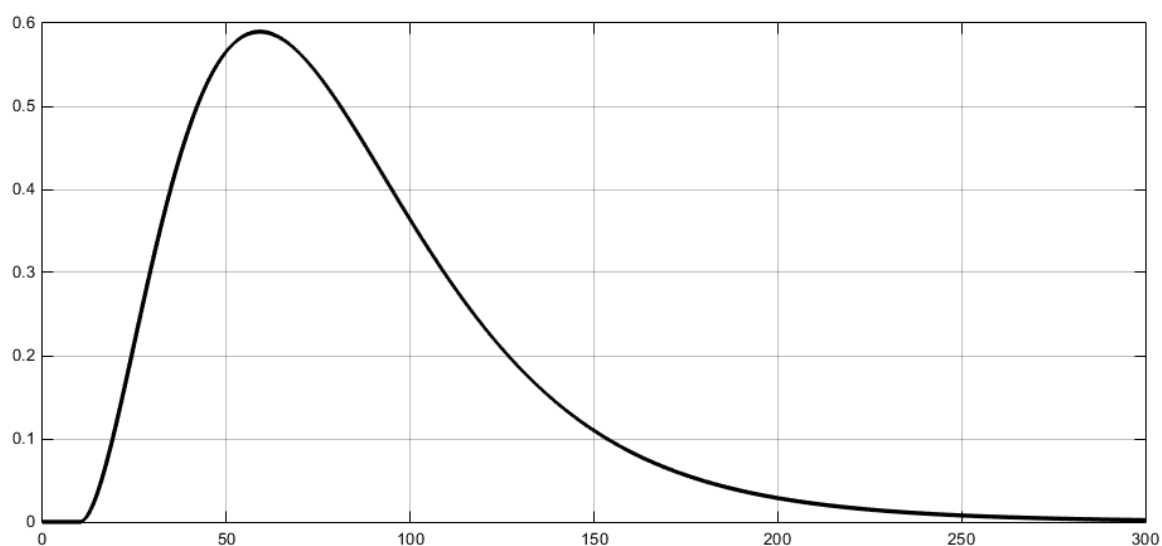


Рис.3.5. Перехідний процес збур.-вих. з ПІ-регулятором, метод РАФХ

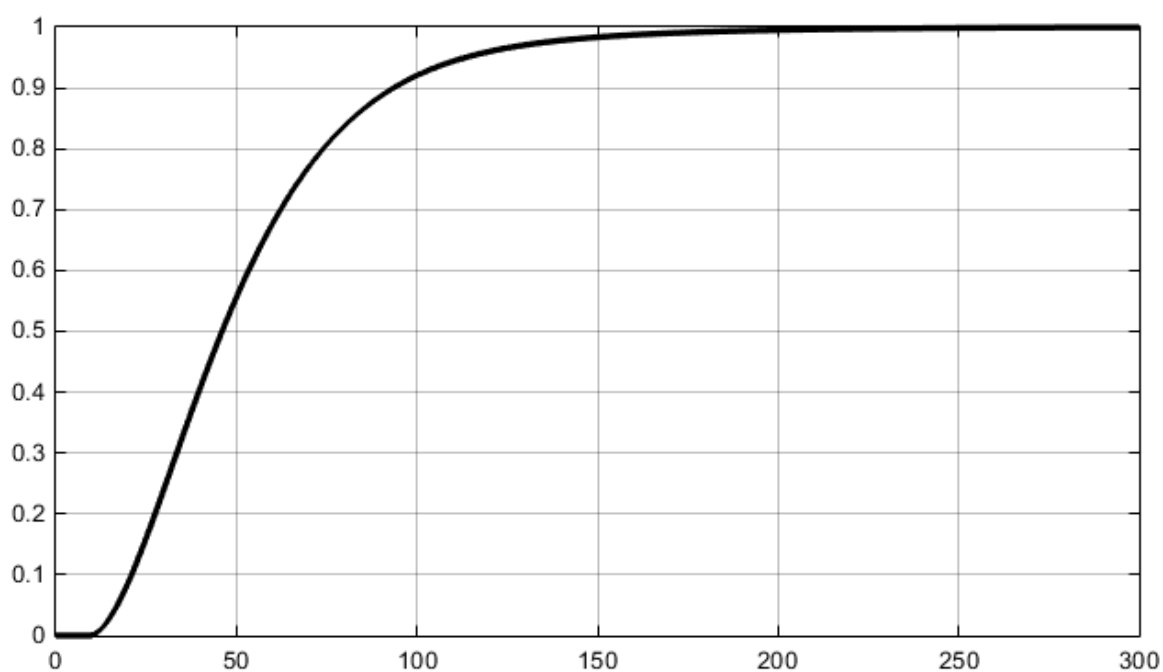


Рис.3.6. Перехідний процес завд.-вих. з ПІ-регулятором, метод РАФХ

Для оцінки перехідного процесу розрахуємо прямі та інтегральні критерії якості, наведені у табл.3.1:

Табл.3.1. Критерії якості перехідного процесу збур-вихід, метод РАФХ

	Δy	σ	ψ	$t_{пп}$	$y_{ст}$	$I_{абс}$	$I_{кв}$
Збур.	0.59	1%	1	199	0	52.5	21.3
Завд.	0	0%	1	0	1	245.7	230

3.2.2. Розрахунок каскадної САР

Так як $T_{об}, \tau_{об} > T_{вип}, \tau_{вип}$ – кратна різниця, то для розрахунку даної каскадної системи будемо керуватись припущенням, що перехідний процес у внутрішньому контурі не залежить від перехідного процесу у зовнішньому контурі. Проведемо дослідження різних комбінацій видів регуляторів в внутрішньому та зовнішньому контурах системи, а саме з внутрішнім П-регулятором та зовнішнім ПІ-регулятором та із внутрішнім та зовнішнім ПІ-регуляторами.

1) Розрахунок внутрішнього П-регулятора

Передавальна функція об'єкта для даного регулятора:

$$W_{\text{об}} = \frac{1.05}{10.2p + 1} e^{-2p}$$

Лістинг 3.2. Код програми побудови кривої $m=\text{const}$ у площині K

```
w = 0.01:0.0001:0.7;
m = 1.7;
fil= 1-exp(-2*pi*m);
p = w.*(1i - m);
W1=(1.05.*exp(-2.*p))./(10.2*p+1);
K=-(real(W1)+ imag(W1).*m)./A;
Ki=-(imag(W1).*w.*(m^2+1))./A;
K1 = 1.79; Wr= K1;W = W1.*Wr;
hold on;
plot(K, Ki,'k','linew',2);
```

```
plot(K1, 0, 'ok','linew',2);
grid on; xlabel('K'); ylabel('Ki');
```

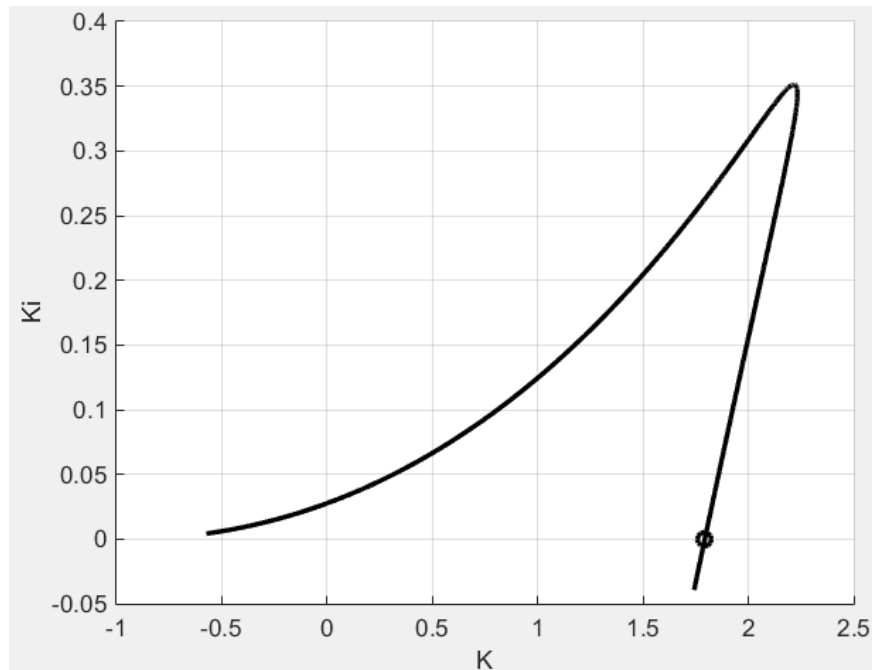


Рис.3.7. Крива $m=1.7$ у площині параметрів K та точка значень налаштування регулятора

Отримане налаштування регулятора $K=1.79$. Для перевірки правильності розрахунків, побудуємо РАФХ для обраних налаштувань регулятора. Результат побудови наведено на рис.3.8 і на ньому видно, що годограф проходить через критичну точку $(-1j,0)$, тому система з обраним налаштуванням П-регулятора матиме ступінь згасання не гірше заданої.

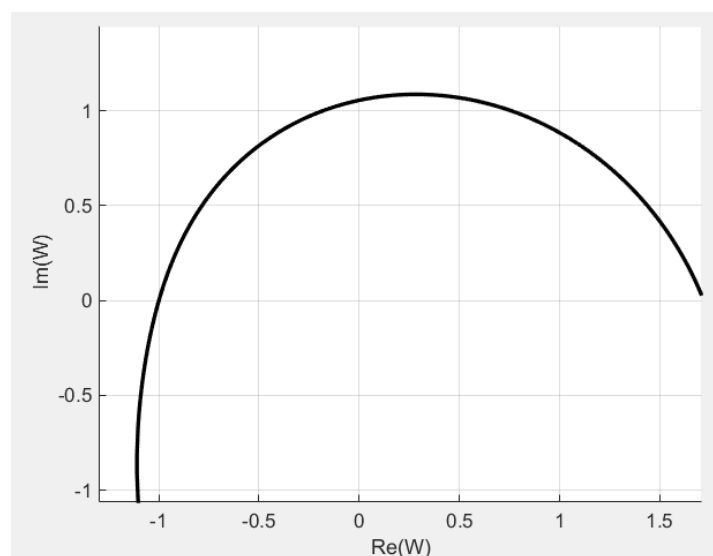


Рис.3.8. Годограф розширеної системи з обраними налаштуваннями регулятора

2) Розрахунок внутрішнього ПІ-регулятора

Передавальна функція об'єкта для даного регулятора:

$$W_{\text{out}} = \frac{1.05}{10.2p + 1} e^{-2p}$$

Лістинг 3.3. Код програми побудови кривої $m=\text{const}$ у площині K

```
w = 0.01:0.0001:0.17;
m = 1.7;
fil= 1-exp(-2*pi*m);
p = w.*(1i - m);
W1=(1.05.*exp(-2.*p))./(10.2*p+1);
A = real(W1).^2 + imag(W1).^2 ;
K=-(real(W1)+ imag(W1).*m)./A;
Ki=-(imag(W1).*w.*(m^2+1))./A;
Kim = 0.351;
Kil = 0.95*Kim;
K1 = 2.23;
Wr= K1+(Kil./p);
W = W1.*Wr;
hold on; grid on;
plot(K, Ki, 'k', 'linew', 2);
plot(K1, Kil, 'ok', 'linew', 2);
xlabel('K'); ylabel('Ki');
```

Отримана побудова наведена на рис.3.9.

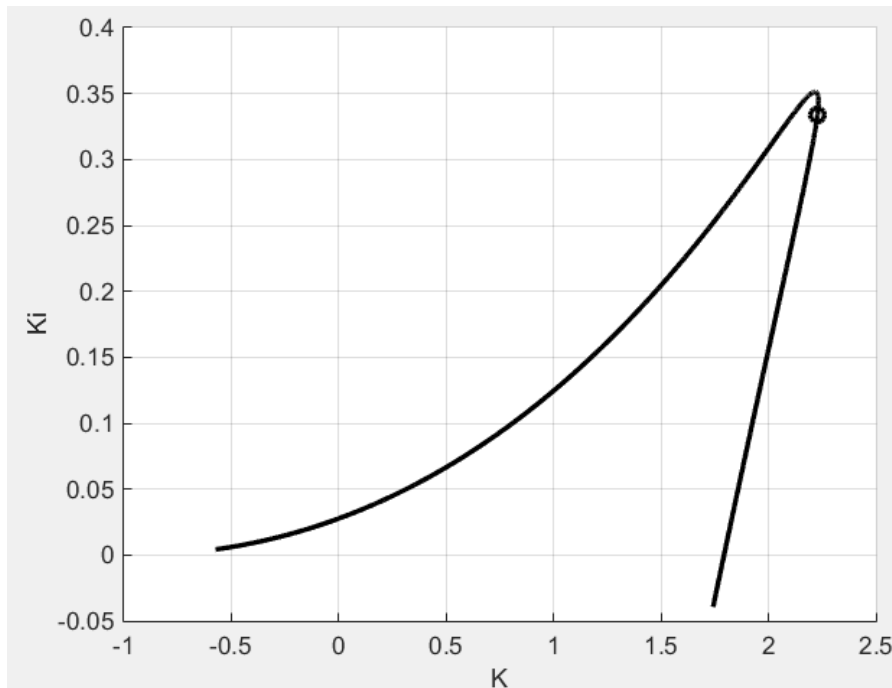


Рис.3.9. Крива $m=1.7$ у площині параметрів K та K_i та точка значень налаштування регулятора

Отримане налаштування регулятора $K = 2.23, K_i = 0.33$. Для перевірки правильності розрахунків, побудуємо РАФХ для обраних налаштувань регулятора. Результат побудови наведено на рис.3.10 і на ньому видно, що годограф проходить через критичну точку $(-1j, 0)$, тому система з обраними налаштуваннями ПІ-регулятора матиме ступінь згасання не гірше заданої.

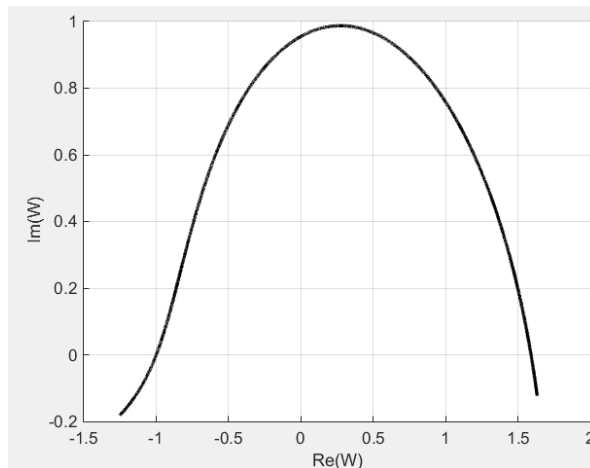


Рис.3.10. Годограф розширеної системи з обраними налаштуваннями регулятора

3) Розрахунок зовнішнього ПІ-регулятора з внутрішнім ПІ-регулятором

Передаточна функція об'єкта для даного регулятора:

$$W^*_{об}(p) = \frac{W_{вн}(p) \cdot W_{інер}(p)}{1 + W_{вн}(p) \cdot W_{вип}(p)} = \frac{3 \cdot \frac{0.98 \cdot e^{-9p}}{269.8p^2 + 37p + 1}}{1 + 3 \cdot \frac{1.05 \cdot e^{-2p}}{10.2p + 1}}$$

Лістинг 3.4. Код програми побудови кривої $m = \text{const}$ у площині K, K_i

```
w = 0.01:0.0001:0.17;
m = 1.7;
p = w.*(1i - m);
W2=(1.05.*exp(-2.*p))./(10.2*p+1);
W3=(0.987.*exp(-9.*p))./(269.8.*(p.^2)+37*p+1);
W4=1.79;
W1=(W4.*W3)./(1+(W4.*W2));
K=-(real(W1)+ imag(W1).*m)./A;
Ki=-(imag(W1).*w.*(m^2+1))./A;
Kim = 0.076; Ki1 = 0.95*Kim;
K1 = 1.728;
Wr= K1+(Ki1./p);
W = W1.*Wr;
hold on; grid on;
plot(K, Ki, 'k', 'linew', 2);
xlabel('K'); ylabel('Ki');
```

Отримана побудова наведена на рис. 3.11.

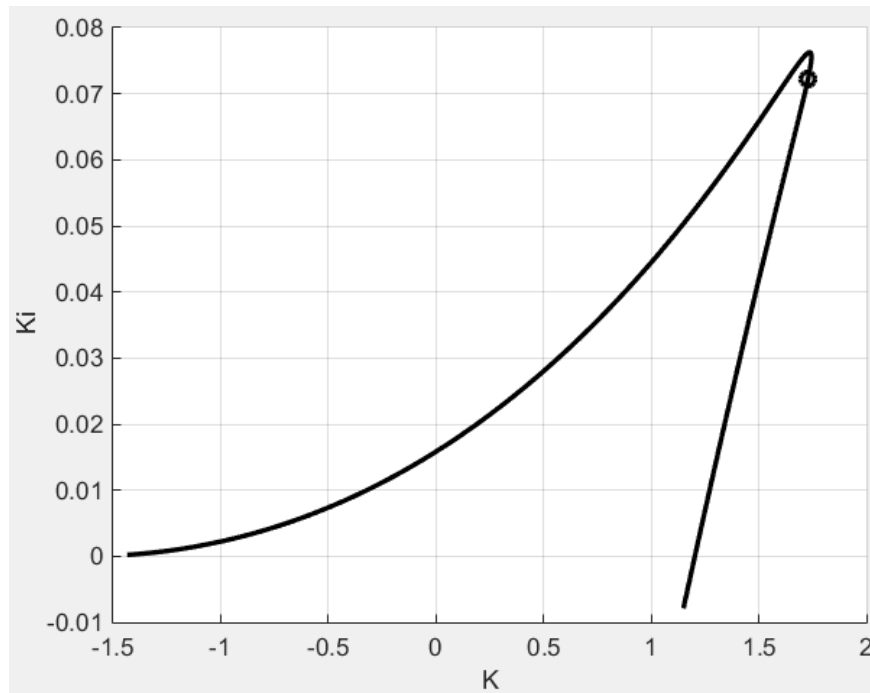


Рис.3.11. Крива $m=1.7$ у площині параметрів K та K_i та точка значень налаштування регулятора

Розраховані налаштування регулятора $K = 1.728, K_i = 0.072$. Для перевірки правильності розрахунків, побудуємо РАФХ для обраних налаштувань регулятора. Результат побудови наведено на рис.3.12 і на ньому видно, що годограф проходить через критичну точку $(-1j, 0)$, тому система з обраними налаштуваннями ПІ-регулятора матиме ступінь згасання не гірше заданої.

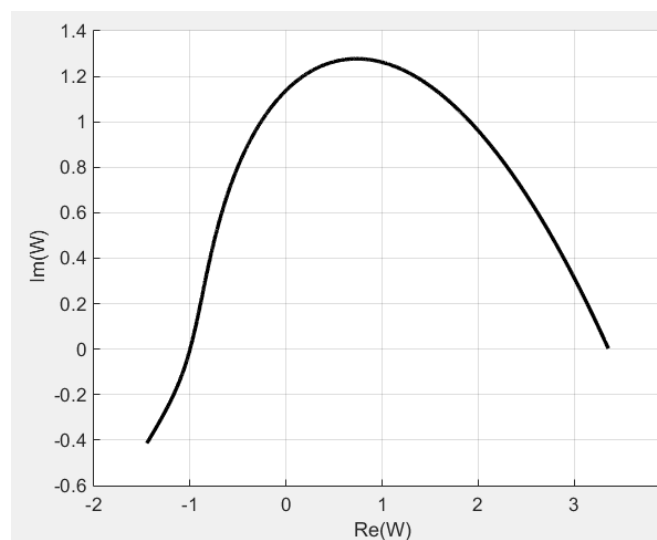


Рис.3.12. Годограф розширеної системи з обраними налаштуваннями регулятора

4) Розрахунок зовнішнього ПІ-регулятора з внутрішнім ПІ-регулятором

Передавальна функція об'єкта для даного регулятора:

$$W^*_{об}(p) = \frac{W_{вн}(p) \cdot W_{інер}(p)}{1 + W_{вн}(p) \cdot W_{вип}(p)} = \frac{(2.96 \cdot \frac{0.5539}{p}) \cdot \frac{0.98 \cdot e^{-9p}}{269.8p^2 + 37p + 1}}{1 + (2.96 \cdot \frac{0.5539}{p}) \cdot \frac{1.05 \cdot e^{-2p}}{10.2p + 1}}$$

Лістинг 3.5. Код програми побудови кривої $m=\text{const}$ у площині K, K_i

```
w = 0.01:0.0001:0.17;
m = 1.7;
p = w.*(1i - m);
W2=(1.05.*exp(-2.*p))./(10.2*p+1);
W3=(0.987.*exp(-9.*p))./(269.8.*(p.^2)+37*p+1);
W4=2.23+(0.33./p);
W1=(W4.*W3)./(1+(W4.*W2));
A = real(W1).^2 + imag(W1).^2 ;
K=-(real(W1)+ imag(W1).*m)./A;
Ki=-(imag(W1).*w.*(m^2+1))./A;
Kim = 0.096; Ki1 = 0.95*Kim;
K1 = 1.46;
Wr= K1+(Ki1./p);
W = W1.*Wr;
hold on; plot(K, Ki,'k','linew',2);
plot(K1, Ki1, 'ok','linew',2);
grid on; xlabel('K'); ylabel('Ki');
```

Отримана побудова наведена на рис.3.13.

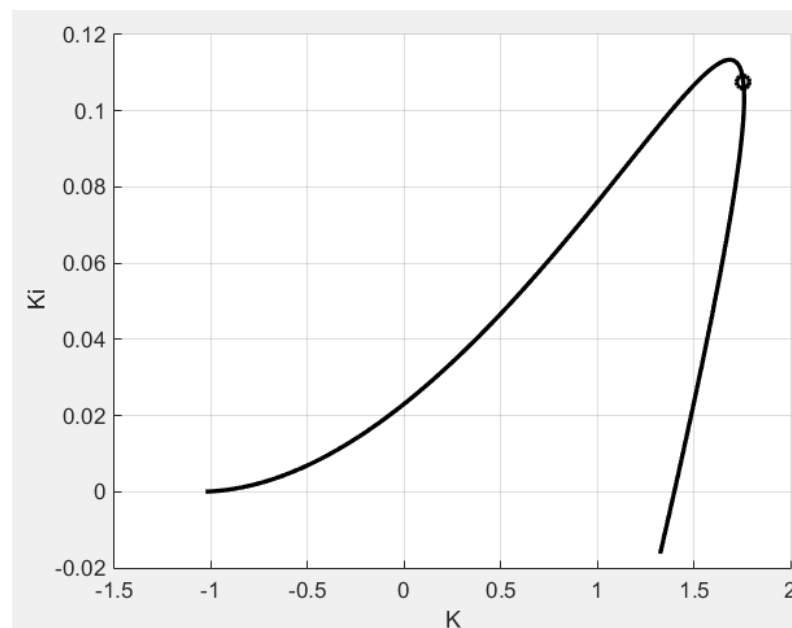


Рис.3.13. Крива $m=1.7$ у площині параметрів K, K_i та точка значень налаштування регулятора

Розраховані налаштування регулятора $K = 1.46, K_i = 0.0912$. Для перевірки правильності розрахунків, побудуємо РАФХ для обраних налаштувань регулятора. Результат побудови наведено на рис.3.14 і на ньому видно, що годограф проходить через критичну точку $(-1j, 0)$, тому система з обраними налаштуваннями ПІ-регулятора матиме ступінь згасання не гірше заданої.

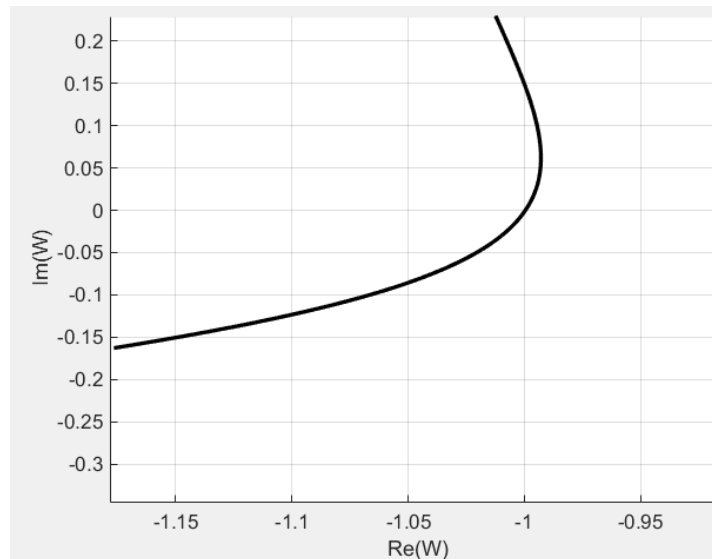


Рис.3.14. Годограф розширеної системи з обраними налаштуваннями

5) Порівняння каскадних САР

Побудуємо перехідні процеси у системі з розрахованими регуляторами. На рис.3.15 наведено структурну схему системи з внутрішнім ПІ-регулятором та зовнішнім ПІ-регулятором, а на рис.3.16 – з внутрішнім та зовнішнім ПІ-регуляторами з налаштуваннями, розрахованими за методом РАФХ у попередніх пунктах. На рис.3.17 зображені перехідні процеси за каналом збурення-вихід, на рис.3.18. за каналом завдання-вихід описаних систем.

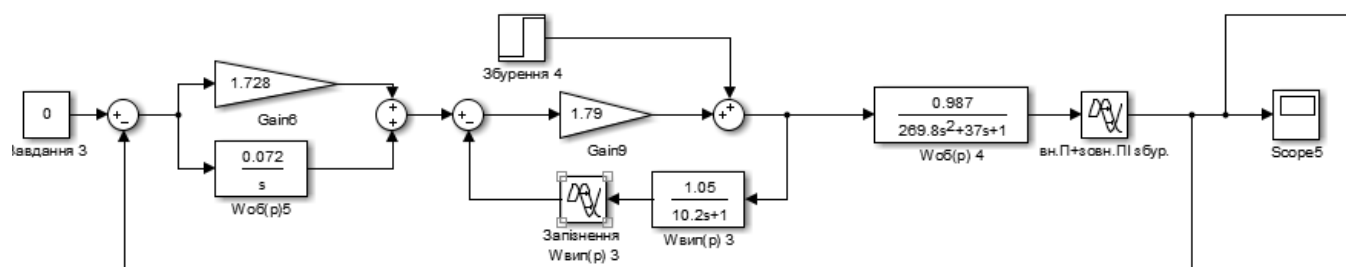


Рис.3.15. Структурна схема системи з вн.ПІ- і зовн.ПІ-регулятором

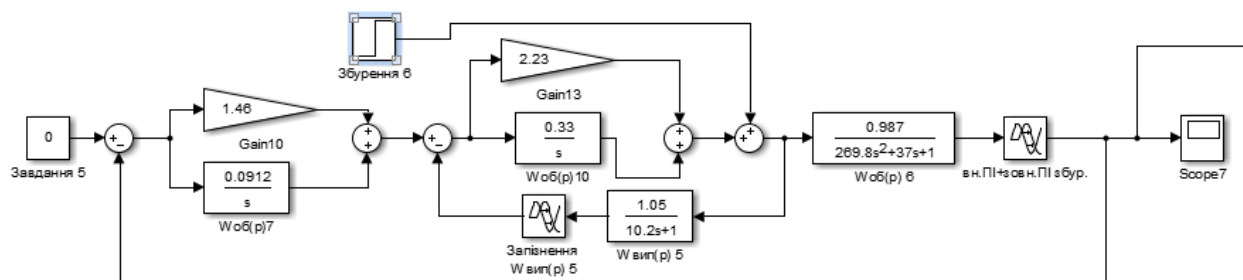


Рис.3.16. Структурна схема системи з вн.ПІ- і зовн.ПІ-регулятором

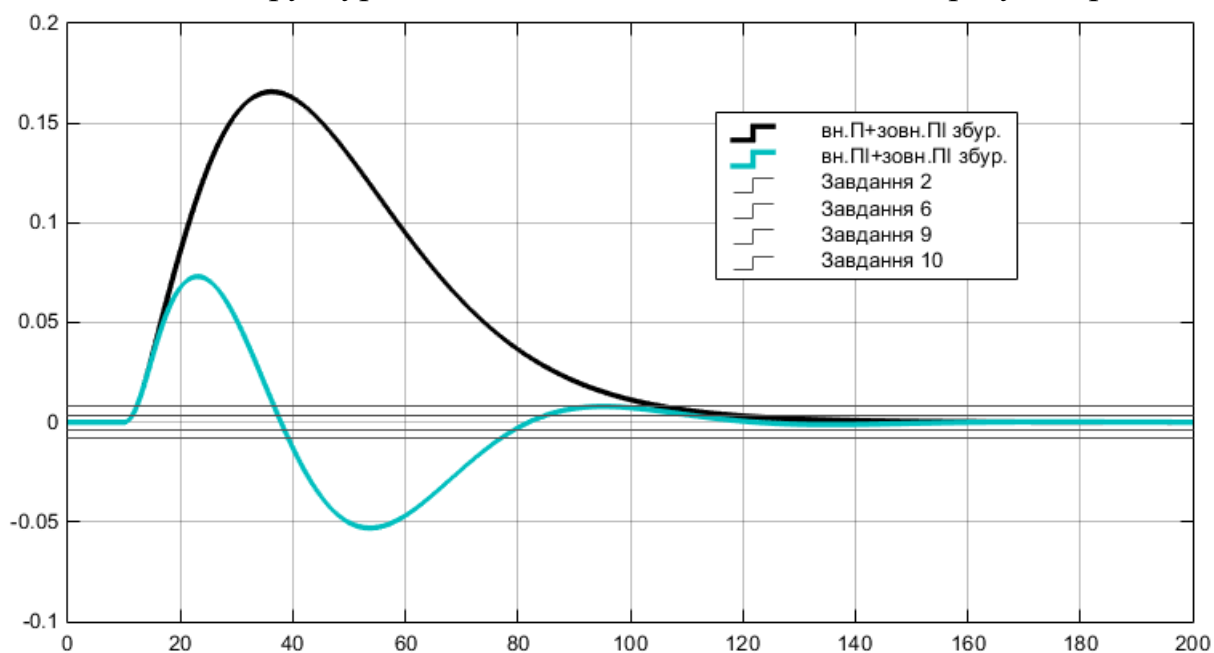


Рис.3.17. Перехідний процес збур.-вихід каскадних систем, метод РАФХ

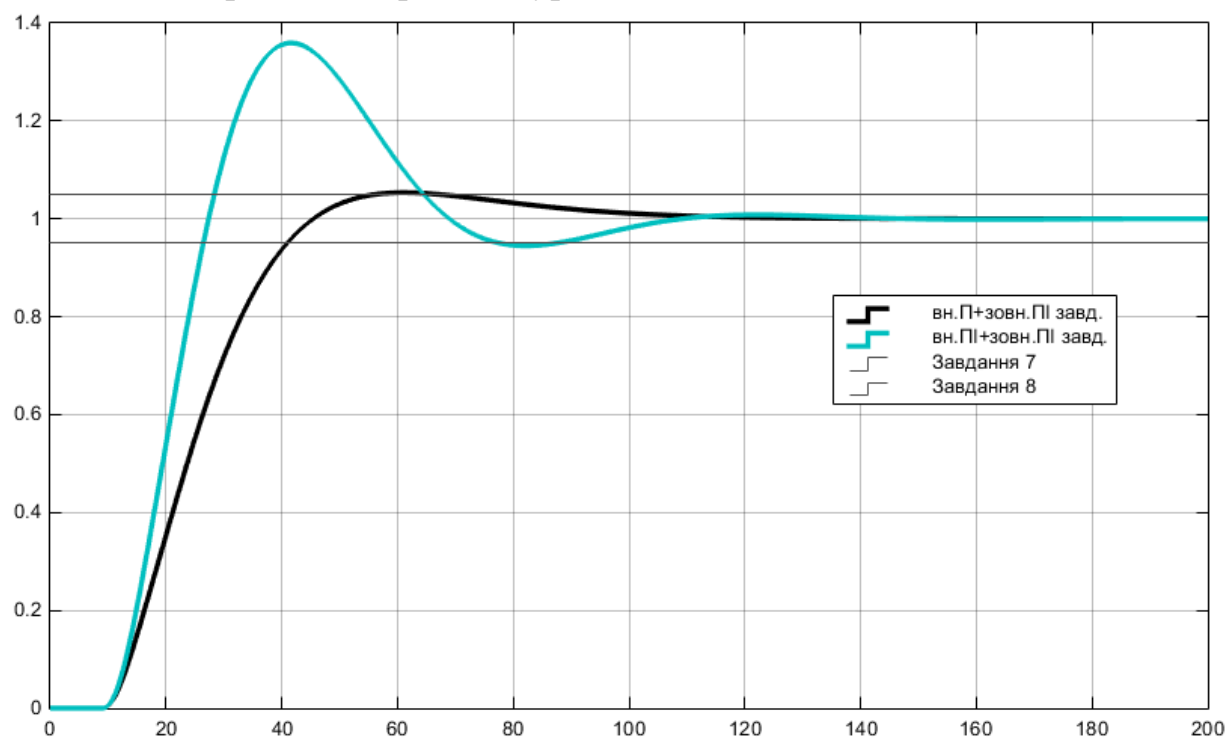


Рис.3.18. Перехідний процес збур.-вихід каскадних систем, метод РАФХ

Для оцінки перехідних процесів були розраховані показники якості, які наведені в таблиці 3.2.

Табл.3.2. Критерії якості перехідного процесу в каскадній системі

	Δy	σ	ψ	$t_{пп}$	$y_{ст}$	$I_{абс}$	$I_{кв}$
П+ПІ Збур.	0.165	0%	1	105	0	7.76	0.9
ПІ+ПІ Збур.	0.07	75%	0.86	110	0	2.78	0.12
П+ПІ Завд.	0.05	5%	1	0	1	177.4	174.4
ПІ+ПІ Завд.	0.36	36%	0.98	87	1	188.3	195.8

Проаналізувавши показники якості, була обрана система з внутрішнім ПІ і зовнішнім ПІ регуляторами, так як вона має перехідний процес без коливань, меншим перерегулюванням. Хоч така система має більше динамічне відхилення по каналу збурення-вихід, проте воно все ж невелике. Тим більше, система з ПІ+ПІ регуляторами має кращі показники якості по каналу завдання-вихід.

3.2.3. Порівняння одноконтурної та двохконтурної САР

Для оцінки доцільності застосування каскадної системи керування в обраній САР порівняно отримані перехідні процеси в системі для каналів збурення-вихід та завдання-вихід. Порівняння перехідних процесів наведено на рис.3.19 та 3.20. Порівняння показників якості перехідного процесу наведено в таблиці 3.3.

Табл.3.3. Порівняння критеріїв якості перехідного процесу

	Δy	σ	ψ	$t_{пп}$	$y_{ст}$	$I_{абс}$	$I_{кв}$
ПІ Збур.	0.59	0%	1	199	0	52.5	21.3
П+ПІ Збур.	0.165	0%	1	105	0	7.76	0.9
ПІ Завд.	0	0%	1	0	1	245.7	230
П+ПІ Завд.	0.05	5%	1	0	1	177.4	174.4

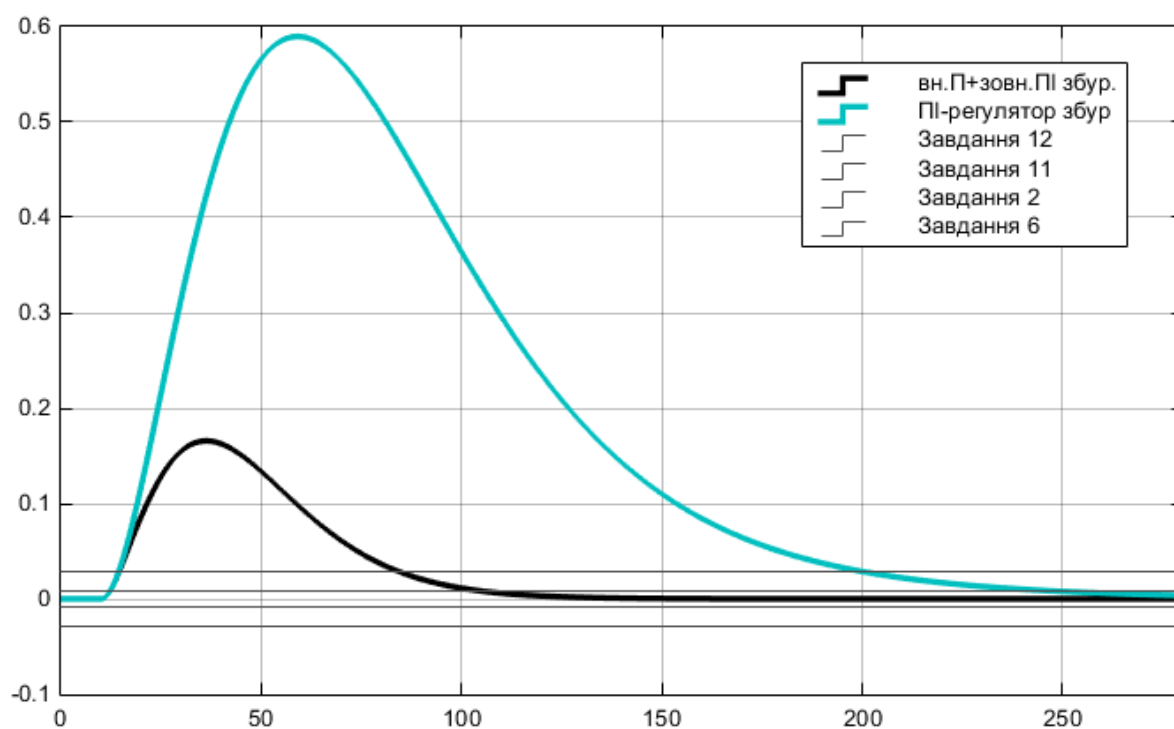


Рис.3.19. Порівняння перехідних процесів по каналу збур.

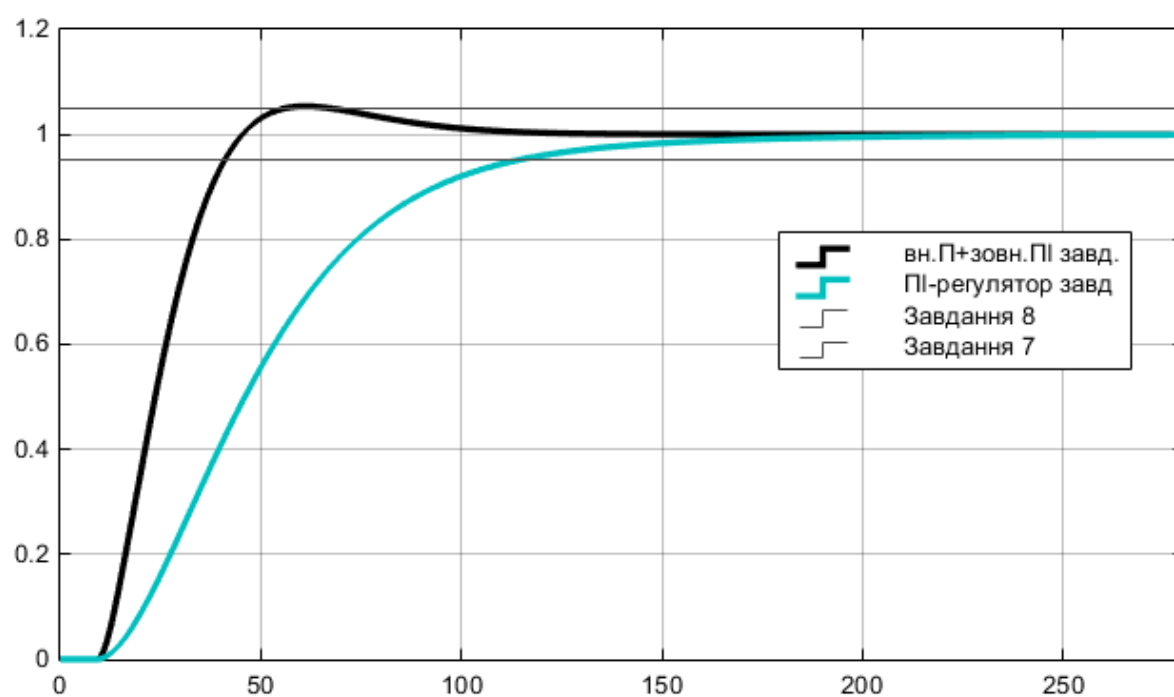


Рис.3.20. Порівняння перехідних процесів по каналу завд.

У результаті проведеного дослідження, спираючись на дані з таблиці 3.3., можна сказати, що введення випереджаючого сигналу в систему позитивно впливає на регулювання температури продукту на столах. Перехідний процес з каскадним регулюванням закінчується швидше, має мінімальне перерегулювання. При цьому по каналу збурення-вихід перехідний процес має

менше динамічне відхилення, ніж процес у одноконтурній системі. Враховуючи це, система з каскадним регулюванням має перевагу над одноконтурною та в перспективі дасть кращий економічний ефект для системи сушки.

3.2.4. Перевірка САР на грубість

Для оцінення отриманої САР на грубість було проведення варіювання параметрів об'єкта K , $Ti2$, Ti та τ в межах $\pm 15\%$ від початкового значення. Значення параметрів після варіації наведені в таблиці 3.4. Дослідження було проведено за каналом збурення-вихід.

Таблиця 3.4. Варіація параметрів об'єкту

	K	$Ti2$	Ti
Початкове	0,987	269,8	37
+15%	1,13505	310,27	42,5
-15%	0,83895	229,33	31,45

Отримані перехідні процеси при варіюванні параметру K об'єкту наведено на рис.3.21. Критерії якості процесів занесені в таблицю 3.5.

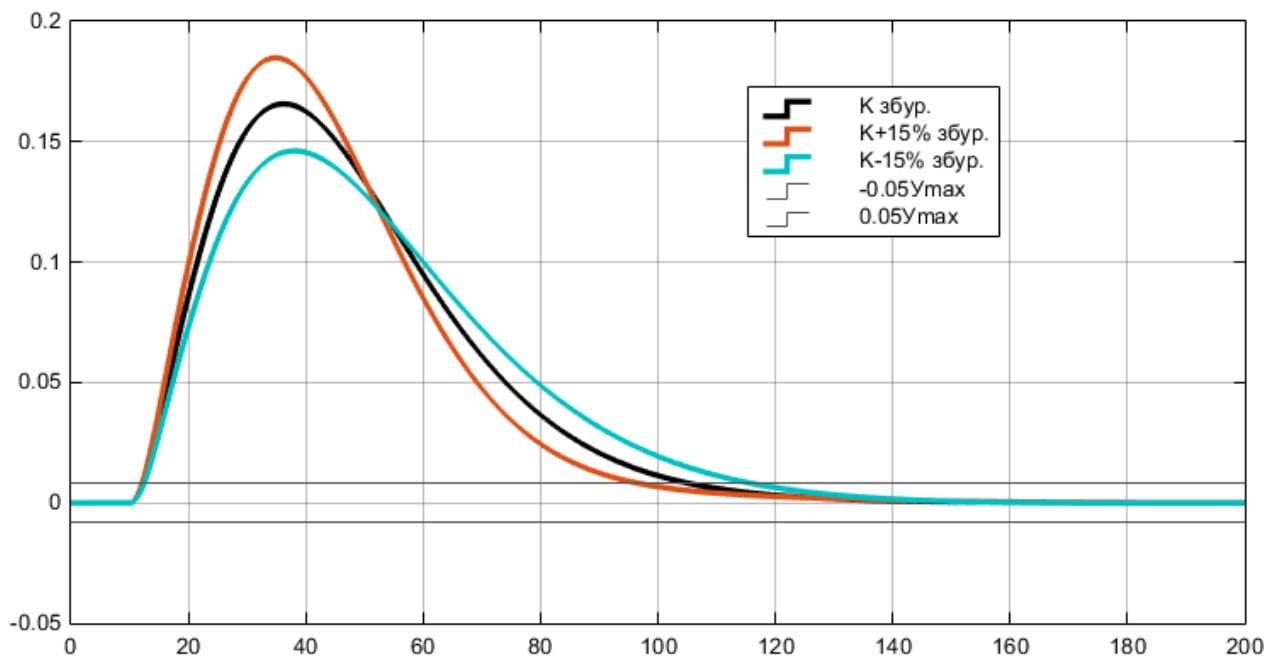
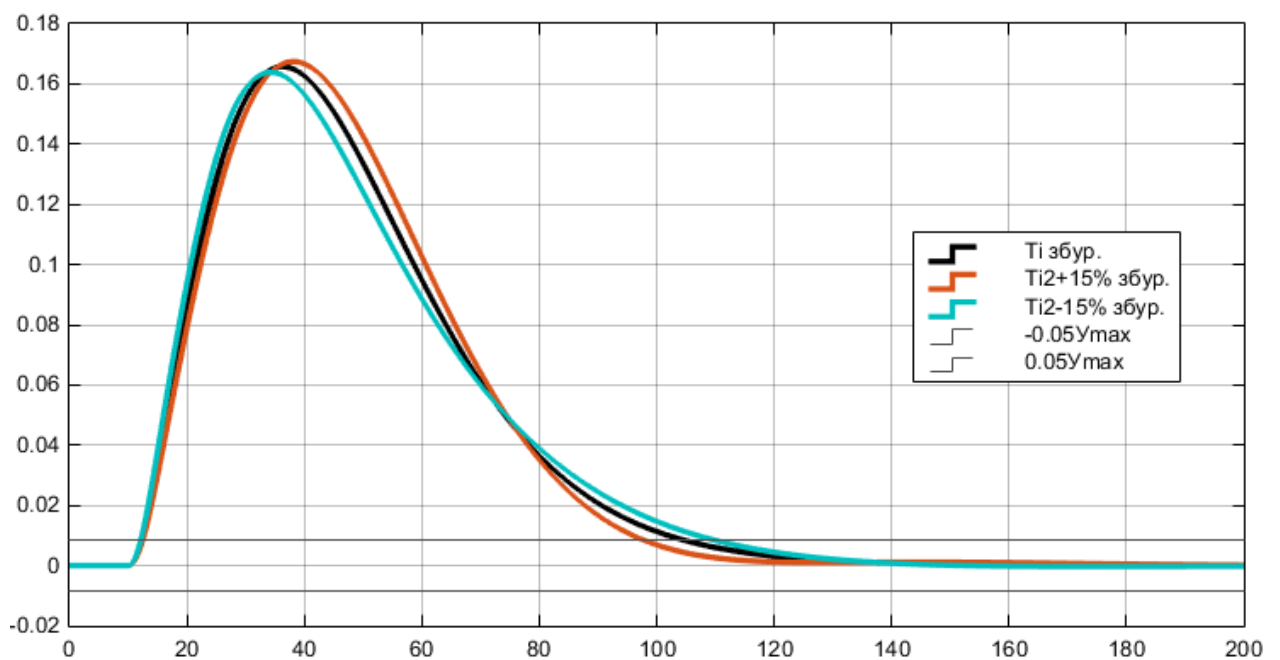


Рис.3.21. Порівняння перехідних процесів по каналу збур. при варіації K

Таблиця 3.5. Критерії якості при варіюванні К

	Δy	σ	$t_{\text{пп}}$
К збур.	0,165	0%	105
К+15% збур.	0,185	0%	96
К-15% збур.	0,145	0%	115

Отримані перехідні процеси при варіюванні параметру $Ti2$ об'єкту наведено на рис.3.22. Критерії якості процесів занесені в таблицю 3.6.

Рис.3.22. Порівняння перехідних процесів по каналу збур. при варіації $Ti2$ Таблиця 3.6. Критерії якості при варіюванні $Ti2$

	Δy	σ	$t_{\text{пп}}$
$Ti2$ збур.	0,165	0%	105
$Ti2+15\%$ збур.	0,185	0%	96
$Ti2-15\%$ збур.	0,145	0%	115

Отримані перехідні процеси при варіюванні параметру T_i об'єкту наведено на рис.3.23. Критерії якості процесів занесені в таблицю 3.7.

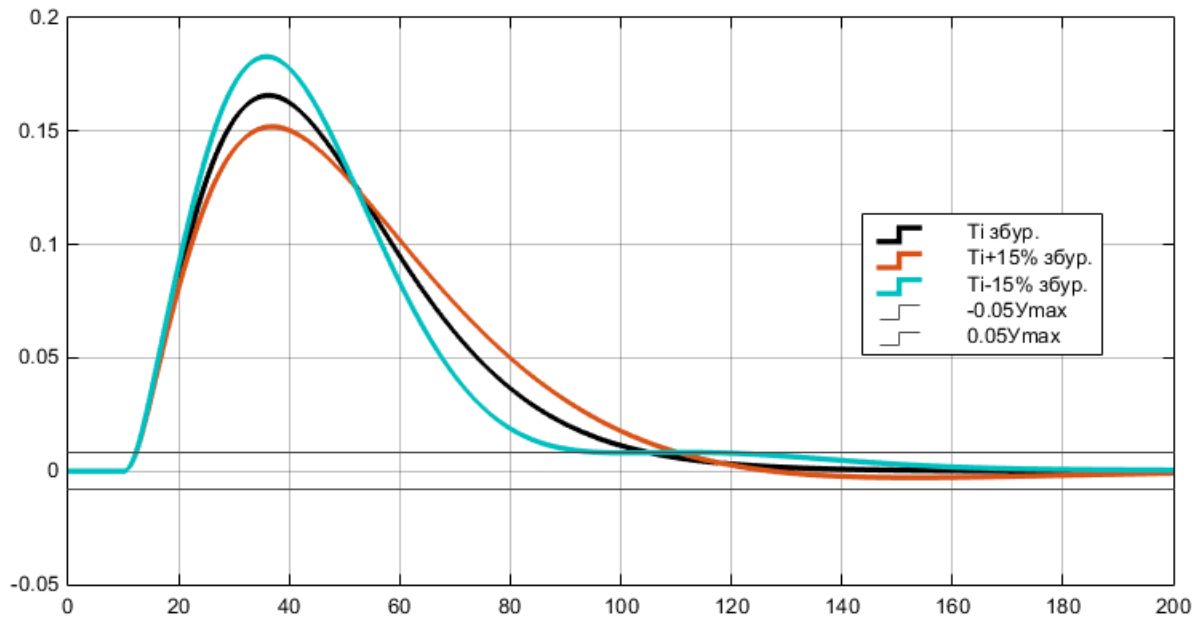


Рис.3.23. Порівняння перехідних процесів по каналу збур. при варіації T_i

Таблиця 3.7. Критерії якості при варіюванні T_i

	Δy	σ	$t_{\text{пп}}$
T_i Збур.	0,165	0%	105
$T_i+15\%$ Збур.	0,1675	0%	110
$T_i-15\%$ Збур.	0,164	2%	115

Для визначення робастності системи використаємо формулу відносного показника чутливості:

$$\chi = \frac{\frac{|Y - Y_{opt}|}{Y_{opt}}}{\frac{|X - X_{opt}|}{X_{opt}}}$$

де Y – значення параметру у змінному режимі роботи; Y_{opt} – значення параметра при роботі обладнання в режимі, при якому налаштовано регулятори; X – значення параметра об'єкта в змінному режимі роботи; X_{opt}

– значення параметра об'єкта в режимі, при якому налаштовано регулятори. Система буде вважатися стійкою, якщо значення показника χ буде менше 1.

Відносний показник чутливості розраховано для динамічного відхилення та часу перехідного процесу по каналу збурення-вихід та занесено в таблицю 3.8.

Таблиця 3.8. Розрахунок робастності

Параметр	K	Ti2	Ti	Відносний показник чутливості по каналу збурення-вихід	
				χ для Δu	χ для $t_{\text{пп}}$
K+15%	1,13505	269,8	37	0,8	0,57
K-15%	0,83895	269,8	37	0,8	0,64
Ti2+15%	0,987	310,27	37	0,1	0,3
Ti2-15%	0,987	229,33	37	0,05	0,63
Ti+15%	0,987	269,8	42,5	0,68	0,44
Ti-15%	0,987	269,8	31,45	0,32	0,32

Отже, за результатами проведеного дослідження, розрахована система є не чутливою до зміни параметрів об'єкту, так як всі отримані відносні показники чутливості менші 1.

3.3. Розробка технічного забезпечення системи управління

Контроль параметрів в системі будуть здійснювати наступні прилади:

- 1) Температура повітря на вулиці – датчик зовнішньої температури WF269(NTC 10k), клас точності 0,25.
- 2) Температура зворотньої пари та пари в паропроводі – накладний датчик температури WF269-WT((NTC 10k), клас точності 0,25.
- 3) Температура та вологість в припливному каналі та в приміщенні сушки – датчик температури та вологості каналний QFM 2160, клас точності 0,5.
- 4) Температура в сушильних столах – датчик температури EM-24 з захистом від іскр та виходом 4-20мА, клас точності 0.1.
- 5) Витрата пари в паропроводі - вихровий витратомір-лічильник ONICON F-2600 IN-LINE з виходом 4-20мА, клас точності 0.1.
- 6) Термостат захисту парового калорифера – термостат KP61 6м. М/10 з дискретним виходом.
- 7) Перепад тиску на вентиляторах та фільтру – датчик перепаду тиску LF32-05

Для здійснення керуючих функцій було підібрано наступні прилади:

- 1) Керування повітряною заслінкою – привід повітряної заслінки GCA326.1E, АС 240 В, 2-поз., 18 Нм, пруж.
- 2) Керування краном парового калориферу – привід крану VVF43.65-50 з керуванням 0-10В.
- 3) Керування кранами парового зволожувача – привід крану VVF42.15-4 з трьохточковим керуванням.
- 4) Керування обертами вентиляторів – частотний перетворювач FC-051 7,5кВт (3х380В).

Індикація, реєстрація та обробка сигналів здійснюється за допомогою контролера Schneider Electric TM172PDG42R 42 I/O з модулем розширення

TM171EP27R 27 I/O та під'єднаною до нього панеллю оператора POL8T1.70/STD, 7.

Технічні характеристики обраного контролера TM172PDG42R 42 I/O:

- Напруга живлення ~ 24 В, 50 Гц, = 24 В
- Споживана потужність, не більше 15 Вт
- Програмування в середовищі EcoStruxure Machine Expert - HVAC стандартом IEC 61131-3
- Обсяг пам'яті пам'ять для FBD-програм 192 кб
- пам'ять для графічного меню 1500 кб
- Входи аналогові Pt1000, Ni1000, (0-10) В, (4-20) мА – 12 штук
- Входи дискретні – 12 штук.
- Виходи аналогові (0-10) В – 4 штуки, (4-20) мА або (0-10)В – 2 штуки.
- Виходи дискретні – 12 штук.
- Інтерфейси RS-485 (протоколи MODBUS-RTU) - 2 штуки.
- Ethernet з Modbus TCP та BACnet IP з вебсервером
- 1 CAN port - спосіб зв'язку з інтерфейсним модулем роз'єм з модулями розширення провідний інтерфейс
- 1 USB тип А - USB type A та USB тип В
- Корпус Монтаж На DIN-рейку
- Ступінь захисту IP20
- Умови експлуатації температура, °C +5 ... +45, вологість (без конденсації), не більш% 80, домішки агресивних парів, газів і аерозолів в навколишньому повітрі не припустимі
- Підключення провід, перетином не більше 1 мм²

Регулювання температури пороку на столах відбувається наступним чином:

- значення температури пороку вимірюються діаметрально встановленими датчиками температури ЕМ-24;
- струмовий сигнал 4-20мА передається на аналоговий вхід контролеру;

- значення температури припливного повітря вимірюється датчиком QFM 2160;
- сигнал 0-10В передається на аналоговий вхід контролеру;
- за алгоритмом каскадної системи керування, формується завдання на відкриття клапану парового калориферу;
- аналоговий сигнал 0-10В передається на привід клапану парового калориферу, змінюючи витрату теплоносія.

Регулювання температури зворотнього пару здійснюється так:

- значення температури пару вимірюється датчиком WF269-WT;
- сигнал термоопору передається на аналоговий вхід контролеру;
- за алгоритмом одноконтурного керування з ПІ-регулятором формується завдання на відкриття крану калорифера;
- аналоговий сигнал 0-10В передається на привід клапану парового калориферу, змінюючи витрату теплоносія.

Для регулювання вологості виконується:

- значення вологості вимірюються датчиком QFM 2160;
- сигнал 0-10В передається на аналоговий вхід контролеру;
- за алгоритмом одноконтурного керування з ПІ-регулятором формується завдання для парового зволожувача в масштабах 0-100%. Значення регулятора рівномірно розбивається на 5 секцій, для кожної з яких формується сигнал керування, залежно від поточного положення секції, -відкрити або закрити;
- дискретний контакт відкрити/закрити з ПЛК передається на привід секції зволожувача;

3.4. Розробка програмного забезпечення

3.4.1. Розробка програми для ПЛК

Для розробки програми для ПЛК Schneider TM172 використовується спеціалізоване середовище Schneider Electric EcoStruxure Machine Expert – HVAC. Розробка була здійснена за стандартом IEC 61131-3 за використання мови FDB.

Першим кроком є обробка вхідних сигналів, для обробки сигналів від датчику температури з виходом 4-20мА був розроблений блок FB_Sensor_0_10, наведений на рис.3.24., який на вході отримує значення з аналогового входу, коригування та діапазон обраного датчику.

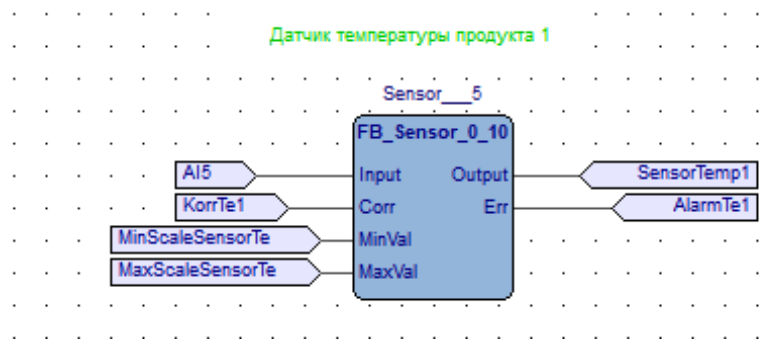


Рис.3.24.Блок для обробки датчику 4-20мА

На виході з блоку після обробки маємо значення датчику та сигнал про наявність аварії датчику. При виникненні умови аварії датчику генерується аварія, що потребує усунення аварії датчику та ручного скидання оператором. Крім цього, в системі передбачені аварії, що генеруються при відхиленні значення з датчика від діапазону. Зокрема на рис.3.25. наведено блок обробки та генерації аварії високої вологості з автоматичним її усуненням, якщо значення датчика повертається в установлений завданням та гістерезисом діапазон.

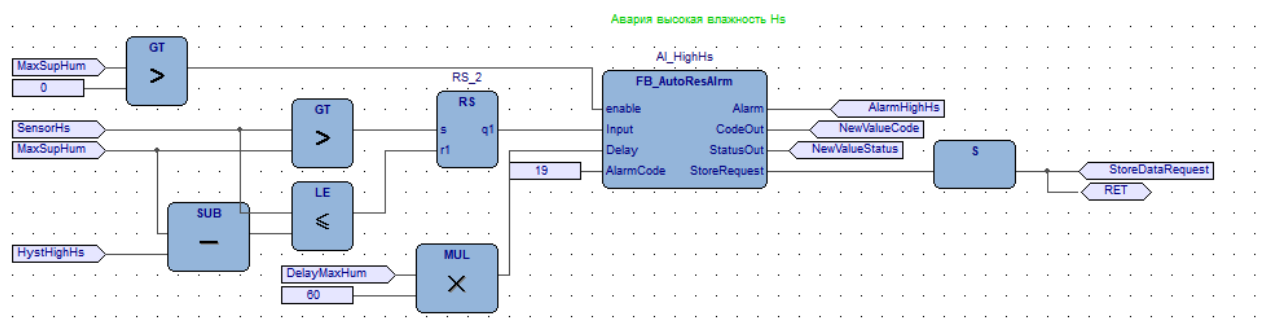


Рис.3.25. Обробка та генерація аварії високої вологості в припл.каналі

Для контролю температури в припливному каналі і, відповідно, в продукті та приміщенні, використовується паровий калорифер, потужність якого змінюється відкриттям двоходового клапану, та ККБ для охолодження з дискретним управлінням.

Блок парового калорифера наведений на рис.3.26. Всередині блоку реалізовані алгоритми для підтримки температури пари в зворотному каналі в черговому режимі, алгоритми аварійного захисту, погодозалежне налаштування мінімального відкриття клапану. Алгоритм ініціалізації продування калорифера при вимкненні установки та генерація аварій і управління.

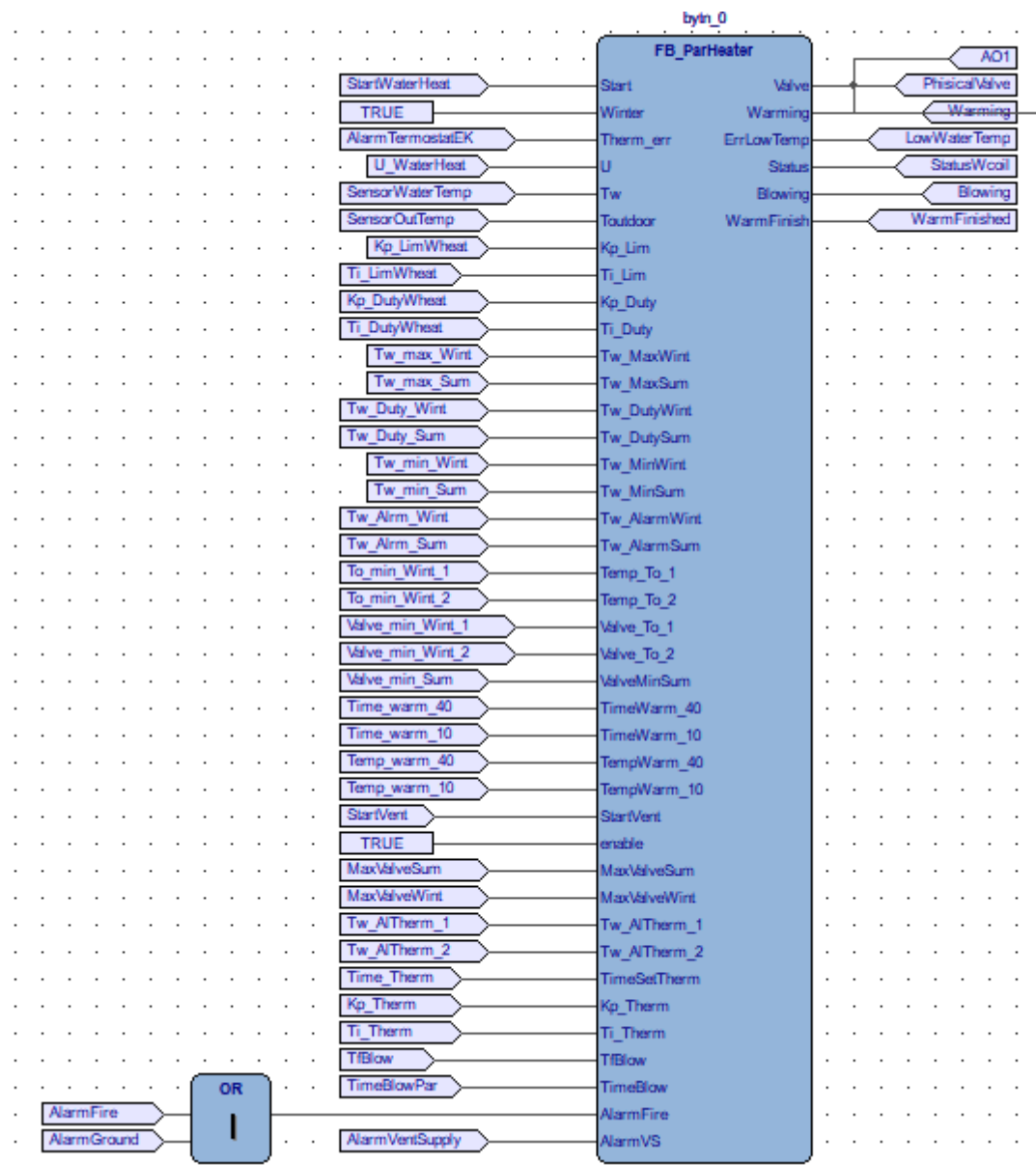


Рис.3.26. Блок парового калорифера

Для управління аналоговим ККБ був написаний блок, який наведено на рис 3.27. Необхідність запуску визначається наявністю дозволу на пуск ККБ, відсутності його аварійного стану та відсотком регулятора. При значенні регулятора більшим, ніж встановлений відсоток ввімкнення, подається пуск на ККБ, при значенні регулятора меншим, ніж відсоток вимкнення, пуск знімається.

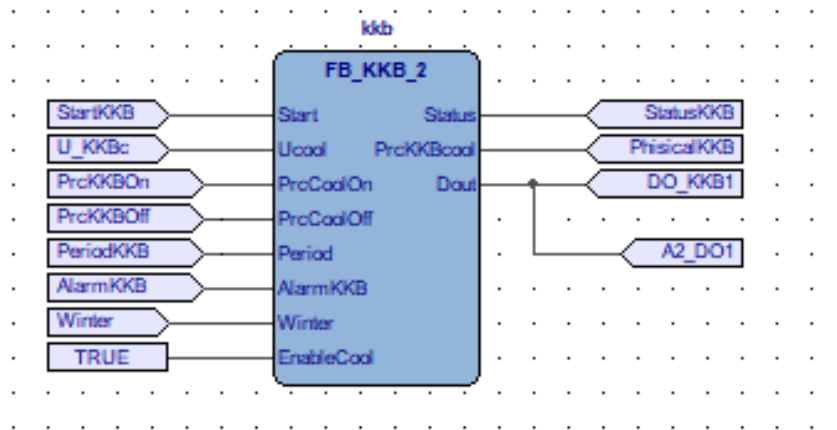


Рис.3.27. Блок ККБ

Для ефективного керування пристроями застосовується послідовний алгоритм їх включення. При роботі на обігрів, відсутній дозвіл для регулятору ККБ і починає рахувати регулятор ПК. При досягненні завдання по температурі та перегріванні, спочатку скидає регулятор ПК і після того, як вихід регулятора буде 0, починає рахувати регулятор ККБ.

Запуск установки залежить від обраного режиму керування - місцевий, таймер та дистанційний. При місцевому режимі запуск відбувається кнопкою на керування на панелі або контролері. У режимі таймер при настанні попередньо налаштованого часового проміжку. При запуску в режимі таймер сушка запускається лише для підтримки температури повітря. Дистанційно установка запускається з кнопки на посту.

При запуску установки в холодний сезон виконується підготовка та прогрівання парового калориферу. Після виконання прогрівання в системі відкриваються повітряні заслінки та потім відбувається пуск вентиляторів.

Для контролю показників вологості використовується паровий зволожувач з п'ятьма рамками, що керуються за допомогою трьох позиційних клапанів. В системі передбачений ПІ-регулятор для зволожувача, який наведено на рис.3.28.

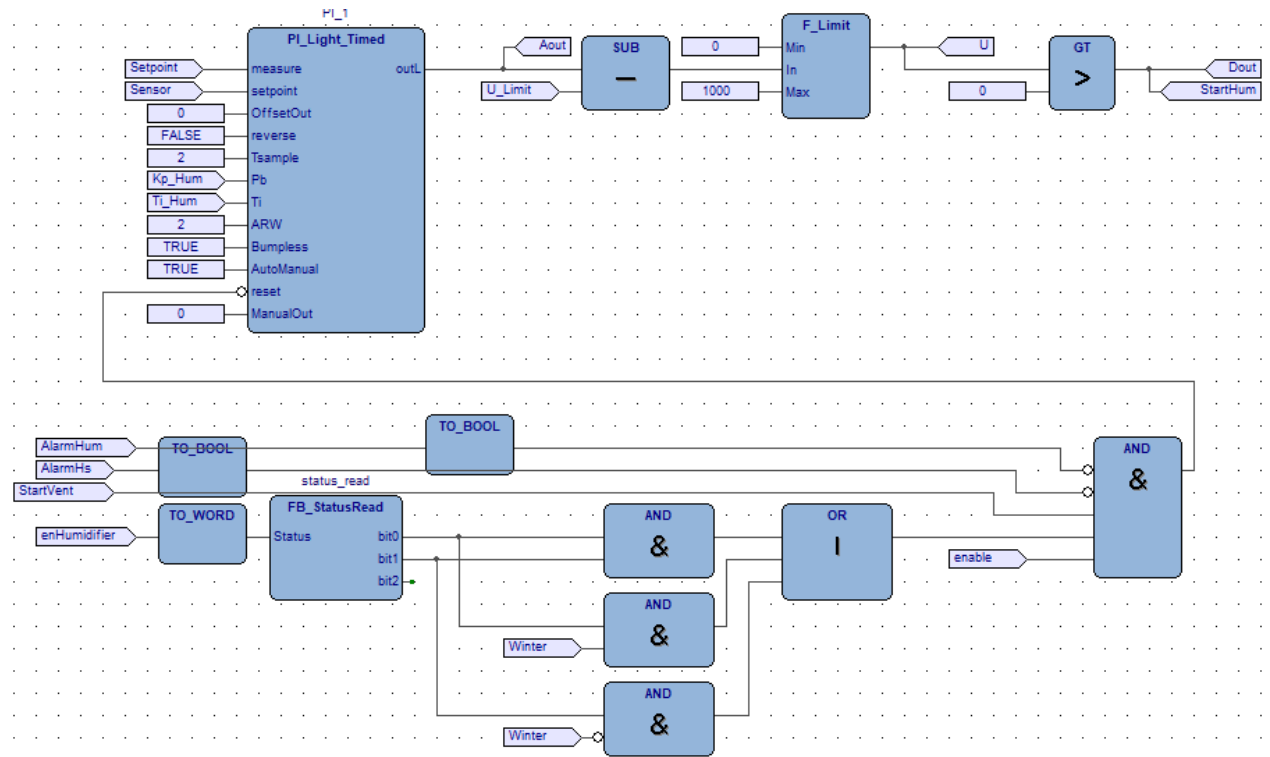


Рис.3.28. ПІ-регулятор для зволожувача до дозволу для його роботи

Залежно від відсотку регулятора формується сигнал на ввімкнення секцій зволожувача та завдання для них. На рис.3.29. наведена частина коду з використанням стандартного блоку трьох точкового керування “ThreePointActuator”. Перед початком роботи здійснюється програмне калібрування клапану з метою отримати дані про фактичний час відкриття клапану для більш точного подальшого розрахунку положення клапану.

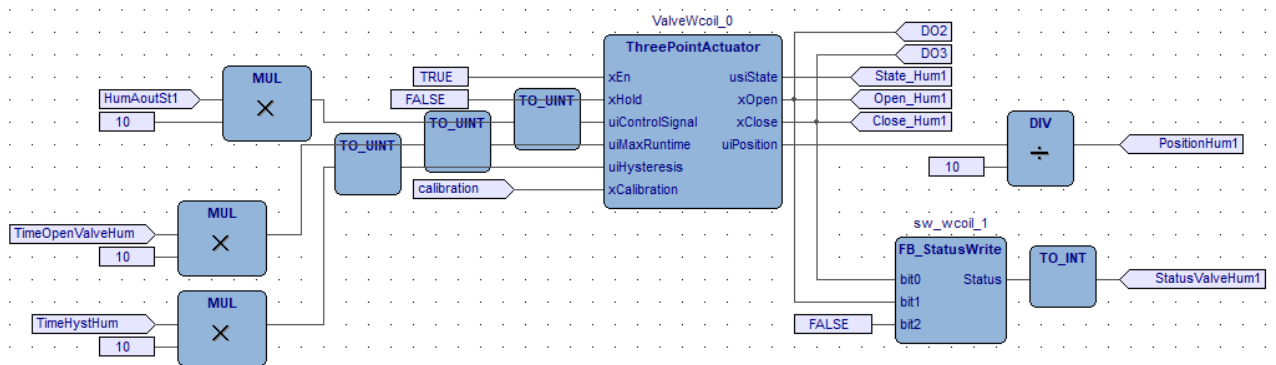


Рис.3.29. Код для реалізації керування трьох позиційним клапаном

Отже, для секцій зволожувача залежно від загального регулятора по вологості формуються сигнали на дискретне ввімкнення та змасштабований регулятор 0..100% для кожної секції. Таким чином реалізується близьке до аналогового керування за використання клапанів з трьох позиційним управлінням.

Особливістю даної системи є наявність різних режимів роботи. Їх опис наведено у наступній таблиці 3.9:

Таблиця 3.9. Опис режимів

Режим	Умови настання
Сушка великого порошу	Час, температура продукту, ручний перехід
Сушка дрібного порошу	Час, температура продукту, ручний перехід
Продувка сухим холодним повітрям	Час, температура продукту, ручний перехід
Зволоження	Час, температура продукту, ручний перехід
Продувка вологим холодним повітрям	Час, температура продукту, ручний перехід
Завантаження/Вивантаження	Час, ручний перехід
Очікування	Запуск без вибору режиму
Підтримання температури	Вибір вручну
Аварійна зупинка	Виникнення критичних аварій

Для переходу по температурі продукту передбачено, що при знаходженні температури з двох датчиків на столі в межах, визначених завданням температури продукту “SetProdTemp” та гістерезису “HystProdTemp” в обидва боки, з’являється дозвіл на перехід у наступний режим, для якого передбачена умова переходу по температурі. Достатньо виконання умови хоча б для одного столу. На рис.3.30 наведено реалізацію:

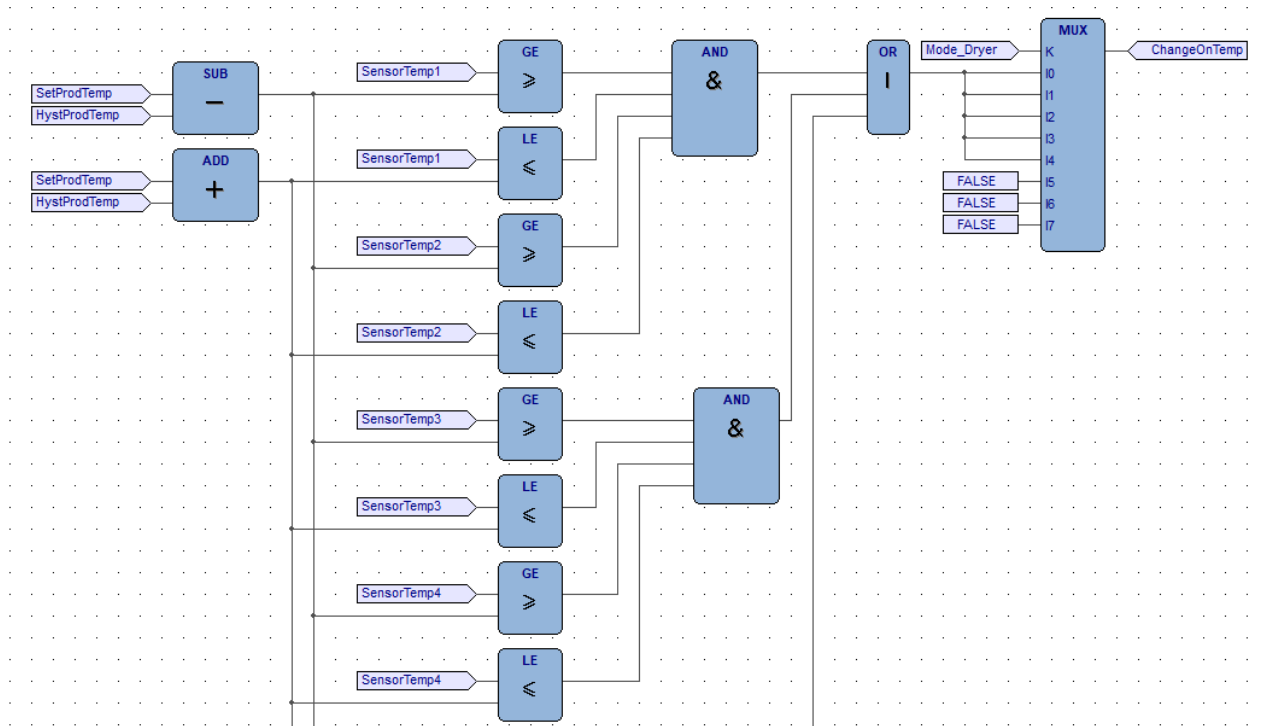


Рис.3.30. Реалізація перевірки умови переходу по температурі продукту

Також була реалізована умова переходу по часу режиму, де наявний лічильник часу, який активується щоразу при зміні режиму, наведений на рис.3.31:

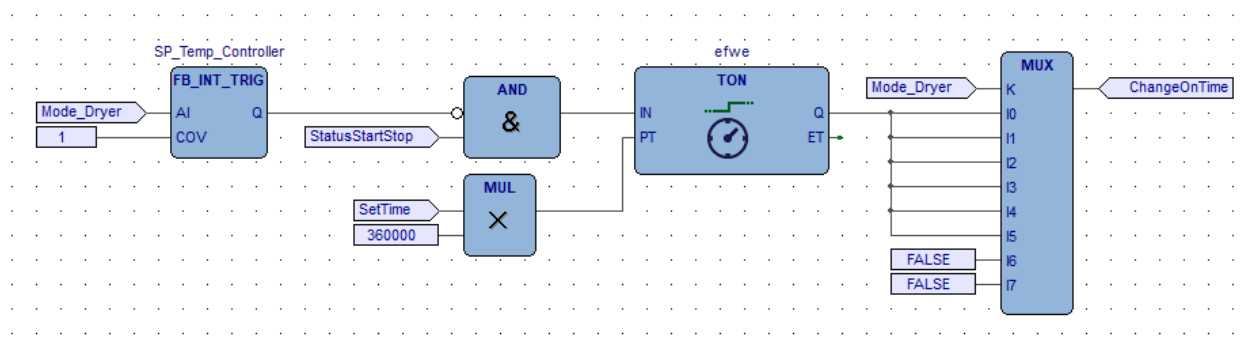


Рис.3.31. Реалізація перевірки умови переходу по часу режиму

Також на зміну режиму роботи впливають дії оператори “Prev” – перехід у попередній режим, “ConfNext” – підтвердження переходу в наступний режим від оператора, “StartDryer” – початок сушки з початку, “StopDryer” – зупинка сушки, “StartLoad” – початок завантаження/вивантаження, “StartBaseMode” – запуск в режимі підтримання температури. Реалізація зміни режимів сушки наведена на рис.3.32a і 3.32б:

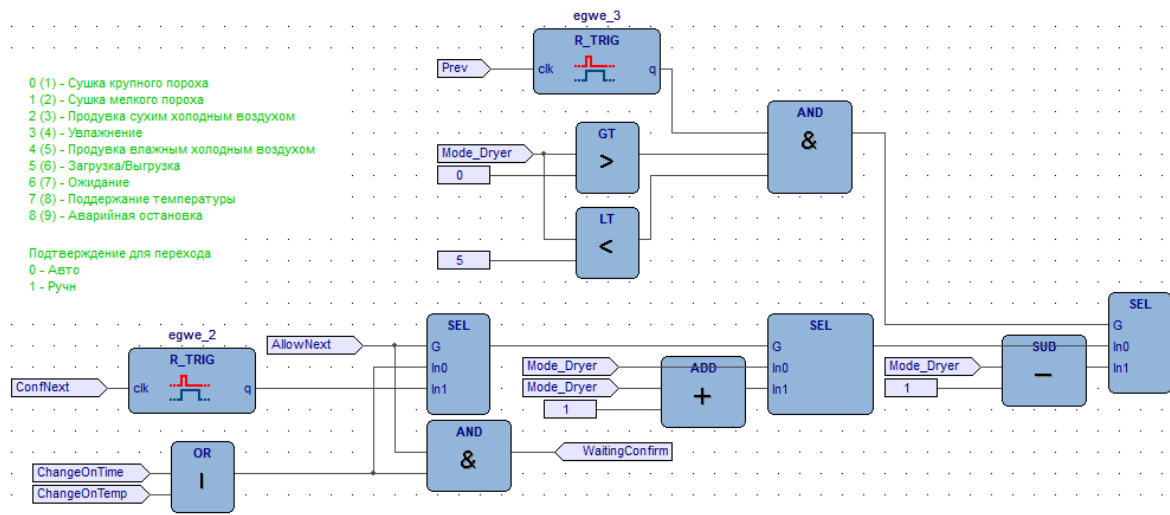


Рис.3.32а. Реалізація зміни режимів сушки (початок)

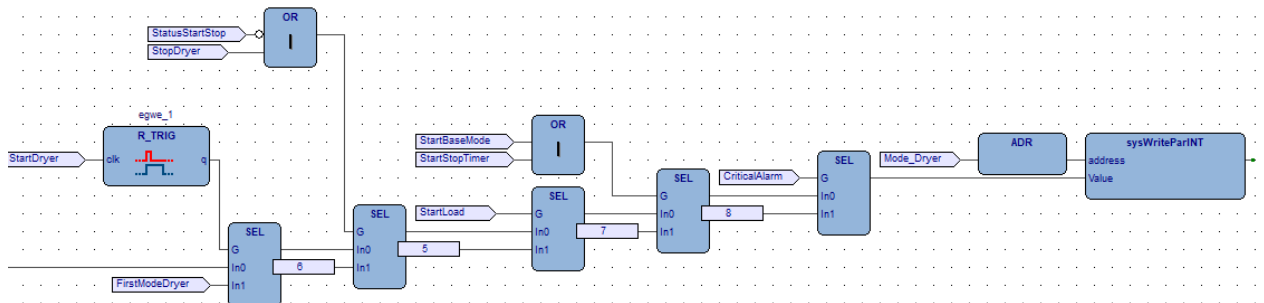


Рис.3.32б. Реалізація зміни режимів сушки (продовження)

Головний екран на контролері виглядає наступним чином(рис.3.33) :

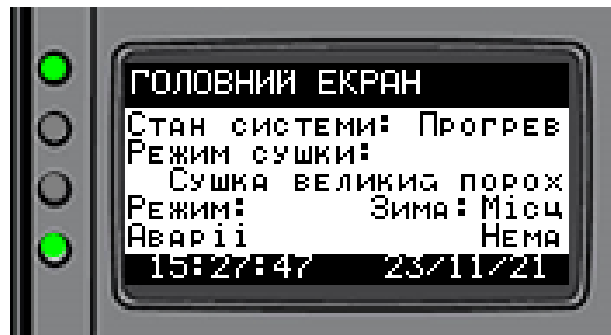


Рис.3.33. Головний екран на контролері

Приклади інших розроблених екранів наведено на рис.3.34 та рис.3.35:



Рис.3.34. Екран опцій на контролері

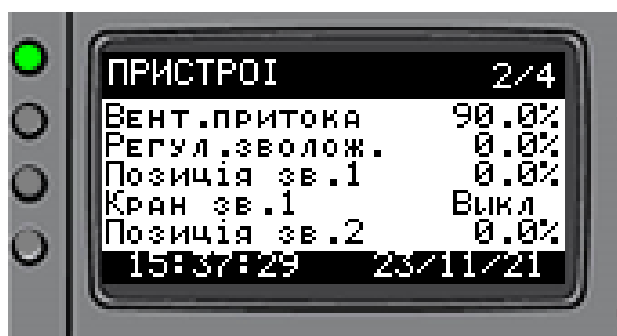


Рис.3.35. Екран стану пристроїв на контролері

3.4.2. Розробка НМІ-панелі

Для більш зручного локального керування була розроблена програма НМІ-панелі. На головному екрані в табличному вигляді виведені основні параметри для припливного каналу, приміщення та процесу, інформація про стан системи, наявність аварій, їх важливість та поточні завдання параметрів температури та вологості для режиму. Головний екран наведено на рис. 3.36.

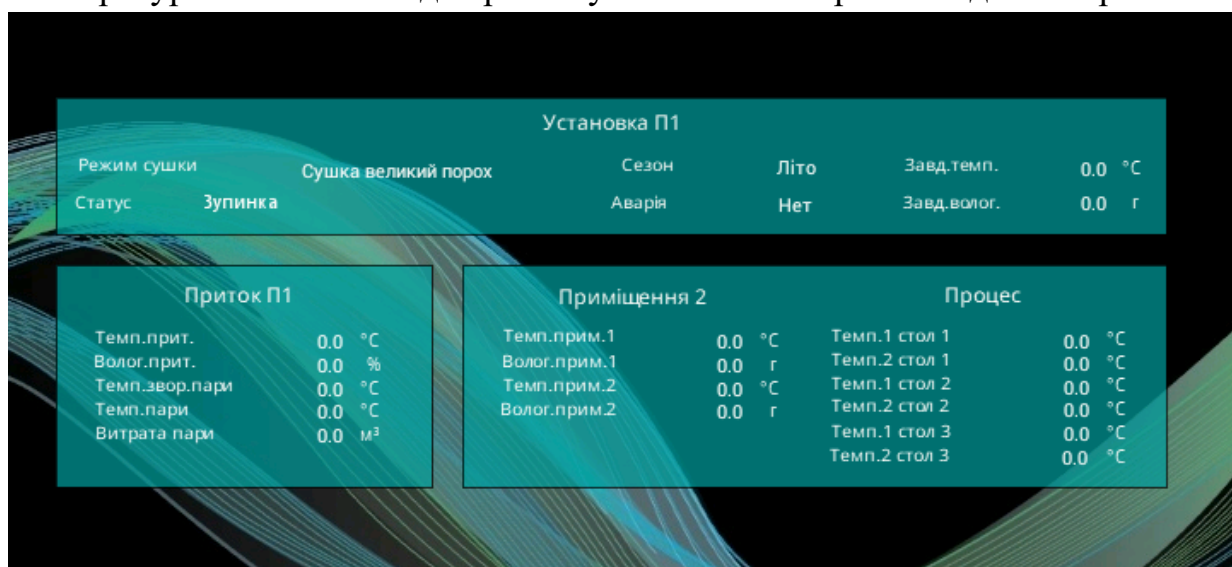


Рис.3.36. Головний екран НМІ-панелі

При натисканні на довільну ділянку відбувається перехід на вікно установки. Його наведено на рис.3.37. На ньому розміщені відповідні пристрої та їх положення. Зверху екрану блоком згруповані покази від датчиків температури, встановлених на столах. Так само згруповані значення датчиків температури та вологості в приміщенні сушки. У верхньому лівому кутку виділене поточне завдання температури продукту на столах. У центрі зображена схема припливного каналу з розміщеними в ньому елементами. Для пристроїв виведено відповідні параметри їх поточного стану. Датчики розміщені відповідно до їх встановлення на ФСА. Під припливним каналом також показано паропровід та його відгалуження до парового калорифера та рамок парового зволожувача. На ньому відображені встановлені датчик температури пару та витратомір. Також внизу розміщені кнопки для управління режимами процесу. У нижній частині екрану знаходяться функціональні клавіші для керування установкою, перехід на екран налаштувань, екран аварій, рядок з відображенням статусу установки та рядок з наявними аваріями. У лівому нижньому кутку є кнопка зі стрілочкою для переходу на головний екран.

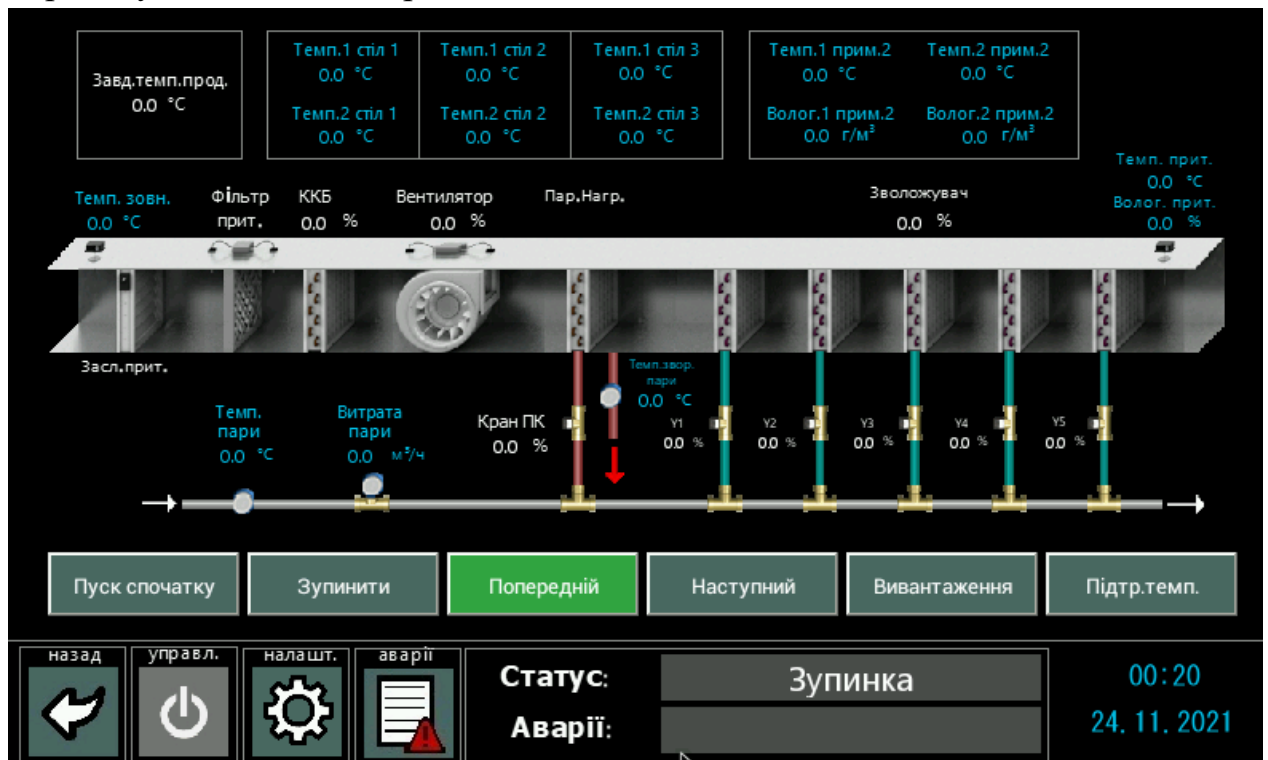


Рис.3.37. Екран з мнемосхемою та кнопками керування установкою

Також був розроблений екран із налаштуваннями установки.(рис.3.38)

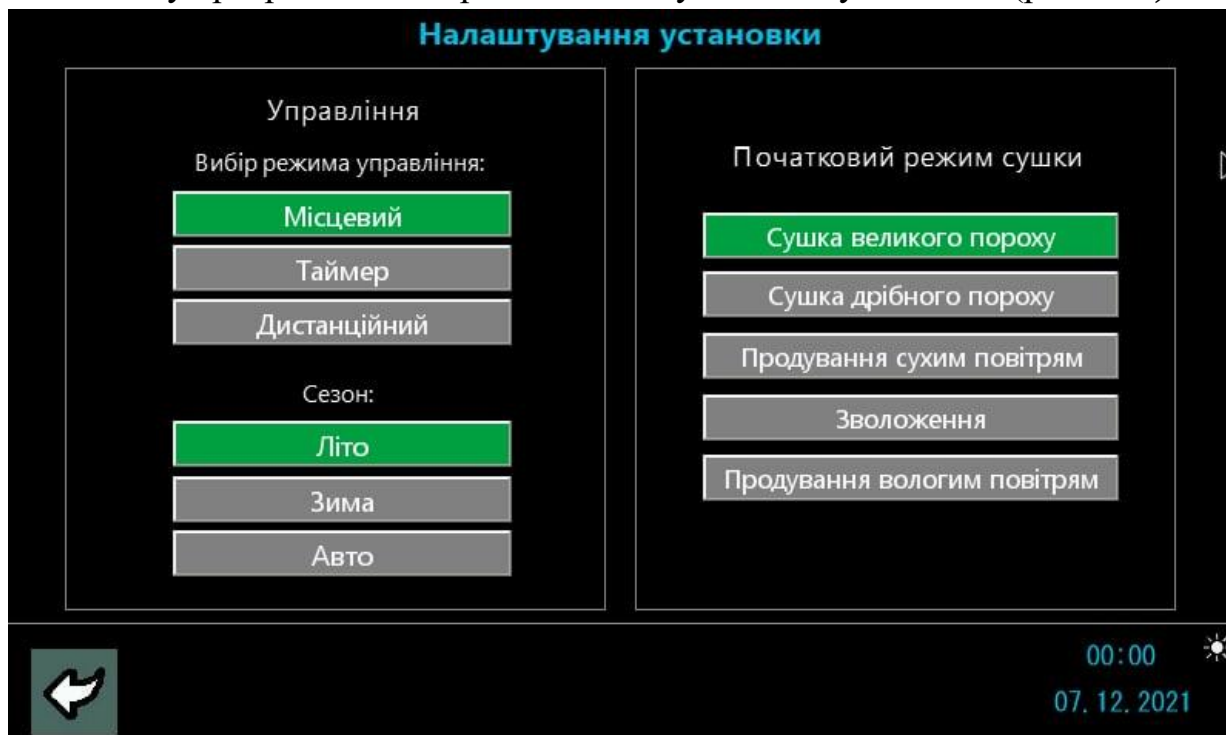


Рис.3.38. Екран налаштувань установки

Перехід на екран налаштувань можливий лише з екрану з мнемосхемою та лише після авторизації з'являється доступ до управління. У налаштуваннях можна обрати початковий режим сушки порошу, з якого буде починатись робота при натисненні клавіші “Пуск спочатку”, режим управління установкою та сезон. Кожний з блоків передбачає лише один активний вибір, одночасний вибір кількох опцій з блоку неможливий.

Для відображення інформації про аварії, що виникають в системі, було розроблено екран аварій, показаний на рис.3.39. Перехід на нього доступний з екрану з мнемосхемою. На ньому розміщені таблиці з поточними аваріями, журналом аварій. Для кожної таблиці доступні поля з часом виникнення аварії, датою та текстом, що описує аварію. У нижній частині наявні кнопки для очистки журналу та скидання аварій в системі.

Поточні аварії:		
Час	Дата	Повідомлення

Журнал аварій:		
Час	Дата	Повідомлення



Очистити журнал

Скинути аварії

00:08
07.12.2021

Рис.3.39. Екран аварій установки

3.5. Висновки

У даному розділі була описана розроблена система автоматизації сушки пороху. У пункті 3.1. описана функціональна схема автоматизації сушильної установки, зокрема основні контури регулювання. У пункті 3.2. було розглянуто одноконтурну та каскадну САР. Для розрахунку налаштувань регуляторів використовувався метод РАФХ з однаковим завданням $m=1.7$. Для каскадної системи прямим порівнянням було перевірено, які структури регулятора краще підходять для регулювання в системі. У результаті порівняння одноконтурної та каскадної системи регулювання, була обрана каскадна, так як вона мала кращі показники якості для системи. Наступним кроком було проведене дослідження системи на грубість і результати показали, що система не чутлива до зміни параметрів. У пункті 3.4. було наведено створену програму для системи автоматизації. З опису видно, що крім прямого регулювання параметрів повітря, був розроблений і алгоритм керування відповідно режимів і перехід між ними, як це вимагалось у завданні. Для зручного керування оператором, був розроблений інтерфейс НМІ-панелі з винесеними на неї основними параметрами процесу та налаштування.

4. Розробка стартап-проекту

4.1. Опис стартапу

Ідеєю стартап-проекту є виготовлення піротехнічних засобів із зменшеним рівнем шуму при вибуху – «тихих» феєрверків на основі бездимного піроксилінового порошу.

Звичайні феєрверки через гучність вибуху мають ряд недоліків, розглянемо їх далі. Звуки феєрверків можуть лякати та викликати паніку у тварин та птахів. Зокрема у деяких регіонах після свят, коли традиційно використовують феєрверки, іноді спостерігають померлих птахів, які через переляк втрачають орієнтацію в просторі та врізаються у будинки чи інші предмети. Аналогічно такі звуки лякають і великих ссавців, наприклад оленів, які в результаті вибігають на дороги, де їх можуть збити машини. У притулках для тварин після «гучних» свят спостерігають наплив собак, що втекли з дому. У людей гучні феєрверки можуть викликати порушення слуху. Ще більш вразливими до феєрверків є діти, при чому як до порушень слуху, так і до переляку, викликаного вибухами.

У деяких країнах, зокрема Великобританії, встановлений поріг шуму для споживчих феєрверків дозволяє використання лише тихих феєрверків, щоб зменшити описаний вище негативних вплив на тварин та людей поряд.

Отже для збільшення асортименту тихих феєрверків пропонується налагодити виготовлення описаної продукції. Для отримання менш шумних феєрверків необхідно змінити склад суміші, зменшивши кількість вибухового порошу. Більш детальний опис стартапу наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартапу

Зміст ідеї	Напрями застосування	Вигода для користувача
Налагодження лінії з виготовлення тихих феєрверків з використанням бездимного піроксилінового порошу	Виготовлення тихих феєрверків для споживчого використання	Більш безпечні для тварин феєрверки
		Безпечніші феєрверки для слуху
	Оптовий продаж «тихих» феєрверків	Легко інтегрувати тихі феєрверки в шоу з музичним супроводом

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Загальна наявність та доступність потрібних для реалізації проекту технологій наведена в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Лінія з виготовлення тихих феєрверків з використанням бездимного піроксилінового порошу	Виготовлення направляючих трубок	Здійснюється на спеціалізованому станку	Потребує навчання робітників, доступна
	Запресування глини в направляючі трубки	Здійснюється на спеціалізованому станку	Потребує навчання робітників, доступна
	Формування комплектів з фітелем	Здійснюється вручну	Доступна
	Наповнення трубок порохом, піроелементом та закриття пичем	Здійснюється вручну у спеціально підготованих приміщеннях	Доступна
	Упакування	Здійснюється вручну через особливість продукції	Доступна

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Аналіз ринку допоможе виділити бажаний сегмент ринку для продажу продукції та допомогти знайти потенціальних замовників. Завчасний аналіз ринкових можливостей дозволяє більш точно спланувати стратегію розвитку проекту, проаналізувати його сильні сторони, акцентувавши на них увагу споживача, та пропрацювати слабкі сторони, що зменшують його конкурентоспроможність.

Для початку розглянемо потенціальних замовників продукту.

Таблиця 4.3 Характеристика потенційних замовників

Потреба	Цільова аудиторія	Особливість у поведінці цільових груп	Вимоги до кінцевого продукту
«Тихі» феєрверки	Магазини з піротехнічною продукцією	Сезонність попиту	Сертифікована продукція Безпечність використання Відповідність стандартам Високий відсоток спрацювання Відповідність заявленим візуальним ефектам
	Event-агентства		

Проведемо дослідження ринкового середовища загалом. Фактори загрози та можливостей наведені в таблицях 4.4 та 4.5.

Таблиця 4.4 Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція	Зменшення клієнтів	Розробка ширшого асортименту, аналіз продукції

Продовження таблиці 4.4

2	Затримки поставок	Порушення термінів відвантаження, збитки	Спеціальні пропозиції, знижки для клієнтів, на яких це вплинуло. Договір з постачальниками із зазначеними мірами при порушенні термінів.
3	Зміна законодавства регулювання	Додаткові витрати та час на сертифікацію,	Зосередження на етапах підготовки, реалізація продуктів з запасів.

Таблиця 4.5 Фактори можливостей

№	Фактор	Можливість	Можлива вигода
1	Вихід на міжнародний ринок	Розширення зони поставки товарів	Збільшення прибутку
2	Зміна законодавства	Поява законопроектів з обмеженням дозволеного шуму піротехніки	Монополізація ринку

Також був проведений аналіз конкуренції, результати якого наведені в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Прямі конкуренти	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Не існує компаній, що займаються такою ж діяльністю на локальному ринку	Компанії-імпортери аналогічної продукції з закордону	Існує не дуже велика, проте достатня кількість постачальників	Наявна велика кількість зацікавлених замовників	Наразі існують товари-замінники, проте вони не мають основної переваги продукту

На основі проведеного аналізу, можна зробити висновки, що даний проект є конкурентоспроможним, бо не має аналогів на локальному ринку. Слабкою стороною проекту є відсутність відомої марки, що зменшує рівень довіри замовника до якості результату.

Також для оцінки проекту був проведений SWOT-аналіз, опис результатів якого наведений у таблиці 4.7.

Таблиці 4.7 SWOT-аналіз

Сильні сторони	Слабкі сторони
- Відсутність такого ж виробництва на локальному ринку - Локальні постачальники сировини - Більш швидкі терміни поставки - Соціальна перевага продукту	- Велика кількість обмежень у перевезенні продукції, кількості продукції для зберігання - Небезпечне виробництво
Можливості	Загрози
- Монополізація ринку - Сприяння локальній економіці - Залучення більшої кількості клієнтів - Створення позитивного бачення бренду	- Недостатня кількість запасів на складі для покриття вимушених зупинок - Грошова/моральна шкода

4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Опис цільових груп потенційних споживачів наведено в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 Вибір цільових груп потенційних споживачів

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
Магазини з піротехнічною продукцією	Середня	Середня	Середня	Середня
Event-агентства	Висока	Середня	Середня	Середня

Отже, цільові групи мають однакову значимість для проекту, тому компанія буде співпрацювати з усім ринком і використовувати стратегію масового маркетингу.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку, вона наведена в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Основні конкурентноспроможні позиції	Базова стратегія розвитку
Розповсюдження продукту	Стратегія масового маркетингу	Звукові характеристики продукту	Стратегія диференціації

Далі варто здійснити вибір стратегії конкурентної поведінки. Вона описана в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 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 та залучати нових	Будуть копіюватись візуальні характеристики	Стратегія заняття конкурентної ніші

Таким чином було визначено, як буде працювати стартап на обраному ринку.

4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Метою цього етапу є розробка маркетингового плану, який допоможе розвивати стартап на ринку серед цільової аудиторії. Для початку була визначена маркетингова концепція товару, приведена в таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 Визначення ключових переваг потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
Більш тихі феєрверки	Аналогічні за візуальним ефектом феєрверки	Значно нижчий рівень шуму
Приємний досвід використання	Високий відсоток спрацювань та безпека	Легкий зв'язок з виробником
Різноманіття	Широкий асортимент	Наявність власного виробництва

Наступним є крок з визначення цінового діапазону продукції. Так як для виготовлення продукту буде використовуватись продукція, що закуповується в інших виробництв, кінцева вартість одиниці значно залежить від цін при закупці. Тому при ціноутворенні буде враховуватись собівартість одиниці продукції з націнкою 40%. Такий розмір націнки є середнім для ринку та дозволить забезпечити маржинальність на рівні 25%.

Основний канал збуту це оптовий продаж продукції напряму посередникам. Додатковим каналом збуту є участь у тендерних публічних закупівлях, які, крім продажів, будуть підвищувати довіру до виробника.

Також передбачені рекламні витрати на інтернет-ресурс компанії, таргетовану рекламу в соцмережах. Орієнтовні витрати на рекламні засоби наведені в таблиці 4.12.

Таблиця 4.12 Рекламні витрати компанії

Вид реклами	Витрати, \$
Реклама в соцмережах	1500
Сайт компанії	4500
Таргетинг у пошукових джерелах	1000

4.6. Висновки

У результаті розробки стартап-проекту було проаналізовано ринок збуту продукції, конкурентів проекту та схожі товари. Виявлено сильні та слабкі сторони в порівнянні з аналогічними рішеннями, виділено можливості для подальшого розвитку проекту та ризики, які потрібно враховувати перед виходом проекту на ринок. Отримано характеристики продукту щодо конкурентоздатності проекту, стратегії його просування на ринку, плани пошуку потенційних замовників та маркетингу проекту.

Висновки

Виробництво пороху передбачає складний процес, що складається з наступних етапів: зневоднення піроксиліну за допомогою спирту, приготування порохової маси, пресування порохової маси, різання порохових елементів, видалення розчинника. Останній в собі містить кілька етапів – в'ялення, вимочування, сушка та зволоження. Метою розробленої системи є автоматизація процесу сушки та зволоження для підвищення якості продукції та більш безпечної взаємодії працівників виробництва з вибухонебезпечними сумішами.

Система для сушки та зволоження пороху передбачає контроль параметрів температури та вологості повітря, температури продукту на столах. При цьому вимоги передбачають підтримку температури до 70°C і вологості до 95%, що має враховуватись при підборі обладнання. Система сушки та зволоження являє собою припливно-витяжну установку з нагрівачем, охолоджувачем та зволожувачем. Для контролю температури на столах сушки передбачено встановлення датчиків температури безпосередньо у столах. Система має періодичний характер впливу. Для системи були підібрані необхідні для автоматизації вимірювальні пристрої, приводи для керування пристроями з контролеру. При виборі обладнання були враховані особливості об'єкту автоматизації та дотримано встановлені норми. Зокрема у системі використовується бар'єри з іскрозахистом та наявний контроль заземлення.

Для отримання якісного продукту була проведена дослідницька робота у результаті якої обрана каскадна система керування та розраховані налаштування для регуляторів в ній. При розрахунку була задана умова отримати процес без коливання. Отримані налаштування задовільняють умову, перехідний процес в системі проходить без коливань і з мінімальним перерегулюванням. У результаті проведеного дослідження системи на робастність система виявилась не чутливою до зміни параметрів об'єкту.

З метою удосконалення існуючих систем була розроблена програма для контролера, що реалізує завдання з управління, сигналізації, індикації,

блокування. Для зручності персоналу використовується рецептурне керування з можливістю переходу на будь-яку фазу процесу вручну або в автоматичній послідовності. Також для більш зручного локального керування та контролю оператором була розроблена НМІ-панель. Додатково слід звернути увагу на наявність різних рівнів доступу для керування установкою та зміни параметрів процесу. Це було здійснено аби уникнути несанкціонованого доступу недопущених до цього осіб, проте зберігати інтуїтивну зрозумілість інтерфейсу.

Перспектива мирного і більш безпечного для оточення використання пороху була описана в розділі з стартап-проектom. Його ідея полягає у виробництві «тихих» феєрверків, що можуть стати альтернативою звичним феєрверкам. Підсумовуючи, такий стартап є гарним варіантом для реалізації на обраному ринку і на даний момент не має аналогів на території України.

Список використаної літератури

1. Що таке порох: різновиди, характеристики, застосування [Електронний ресурс] // doblest.club. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://doblest.club/enciklopediya/143-chto-takoe-poroh>.
2. Гіндич В. І. Технологія піроксилінових порохів / В. І. Гіндич. – Казань: Тат. газ.-журн., 1995. – 959 с.
3. Тарасов, А.П. Виробництво бездимних порохів. Довідкові матеріали. М: Будинок техніки, 1963. 300 с.
4. Лебедев П. Д. Теплообмінні, сушильні та холодильні установки. Підручник для студентів технічних вишів. Вид. 2-ге, перероб. М., "Енергія", 1972. 319с.
5. Калорифери (теплообмінники) опис, типи та переваги [Електронний ресурс] // Панорамавент – Режим доступу до ресурсу: <https://panoramavent.ru/poleznye-statii/kalorifery-teploobmenniki-opisanie-tipy-i-preimushhestva/>.
6. Компресорно-конденсаторний блок: види, принцип роботи, призначення [Електронний ресурс] // Дом и ремонт. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://dom-i-remont.info/posts/obshhie-voprosy/kompressorno-kondensatornyj-blok-princzip-raboty-naznachenie-vidy/>.
7. Застосування зволожувача повітря каналного типу [Електронний ресурс] // Tehnika.expert. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://tehnika.expert/klimaticheskaya/uvlazhnitel-vozduxa/kanalnyj.html>
8. Таліпова І. П. Розрахунок сушильних установок / І. П. Таліпова, І. М. Арсланов. – Небережние Челни: Вид.-поліграфіч.центр НЧІ КФУ, 2019. – 69 с.
9. Górecki H. Analiza i synteza układów regulacji z opóźnieciem / Henryk Górecki. – Warszawa: Wydaw. Nauk.-Techn., 1971. – 371 с.
10. Роєнко І.С. Автоматизація системи керування тепличним господарством. Дипломна робота на здобуття ступені бакалавра. – Київ, 2020.

11. ДБН В.2.5-67:2013. ОПАЛЕННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЯ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ. Київ, 2013. 232 с.
12. РМ 4-223-89. РМ 4-223-89 Системы автоматизации технологических процессов. Требования к выполнению электроустановок систем автоматизации во взрывоопасных зонах. Москва, 1989. 21 с.
13. Батурин В. В. Основы промислової вентиляції / В. В. Батурин. – Москва: Профиздат, 1990. – 448 с.
14. Becker A. Lüftungsanlagen / A. Becker. – Germany: Vogel Industrie Medien, 2000. – 232 с.