

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ**  
**ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З.ГЖИЦЬКОГО**

**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ**  
**ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: “**Автоматизація технологічного процесу сушіння**  
**будівельної крейди із використанням контролерів фірми Siemens”**

Виконав: студент гр. Акт-42Сп  
Спеціальності 174 – „Автоматизація, комп’ютерно-  
інтегровані технології та робототехніка”  
(шифр і назва)

Петрина Іван Романович  
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Лиса О.В.  
(Прізвище та ініціали)

Рецензенти: д.т.н., проф. Власовець В.М.  
(Прізвище та ініціали)

**ЛЬВІВ-2025**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ  
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З.ГЖИЦЬКОГО

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ  
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
Спеціальність 174 – „Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та  
робототехніка”

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

д.т.н., проф. А.М. Тригуба

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

## ***ЗАВДАННЯ***

на кваліфікаційну роботу студенту

Петрина Іван Романович

1. Тема роботи: Автоматизація технологічного процесу сушіння будівельної  
крейди із використанням контролерів фірми Siemens

Керівник роботи Лиса Ольга Володимирівна, к.т.н., доцент.

Затверджені наказом по університету від 25 лютого 2025 року № 123/к-с.

2. Строк подання студентом роботи 16.06.2025 р.

3. Початкові дані до роботи: 1. Технологічна карта процесу сушіння будівельної  
крейди; 2. Функціональні ознаки технологічного процесу сушіння будівельної  
крейди; 3. ДСТУ, СНіПи.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1. Аналіз технологічного процесу сушіння будівельної крейди як об’єкта  
керування

2. Технічне обґрунтування вибору функціональної схеми та технічних  
засобів автоматизації

3. Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання

4. Охорона праці

5. Розрахунок економічної ефективності проектованої системи автоматизації  
Висновки.

Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік презентаційного матеріалу: Тема, автор, керівник роботи. Схема процесу сушіння в барабанній прямотечійній сушарці. Структурна схема зв'язку між технологічними параметрами досліджуваного об'єкта. Технологічна карта процесу сушіння крейди. Функціональна схема автоматизації технологічного процесу сушіння будівельної крейди. Програма контуру регулювання співвідношення витрати палива та первинного повітря. Програма функціонування контуру подачі вологого матеріалу. Схема під'єднання термоперетворювача опору Sitrans TH100. Структурна схема досліджуваної САР в Simulink середовища Matlab. Графік кривої розгону САР температури в камері згоряння з ПІ регулятором при зміні положення РО на 10%.

6. Консультанти з розділів:

| Розділ     | Прізвище, ініціали та посада консультанта            | Підпис, дата   |                  |
|------------|------------------------------------------------------|----------------|------------------|
|            |                                                      | завдання видав | завдання прийняв |
| 1, 2, 3, 5 | Лиса О.В., доцент кафедри інформаційних технологій   |                |                  |
| 4          | Городецький І.М., доцент кафедри інженерної механіки |                |                  |

7. Дата видачі завдання 8 вересня 2024 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи                                         | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1     | Написання першого розділу та означення головних завдань роботи              | 08.09.24-25.12.24             |          |
| 2     | Виконання другого розділу та формування головних показників для розрахунків | 26.12.24-01.02.25             |          |
| 3.    | Виконання третього розділу та узагальнення отриманих результатів роботи     | 02.02.25-11.04.25             |          |
| 4.    | Виконання четвертого розділу та узагальнення вимог охорони праці            | 12.04.25-21.04.25             |          |
| 5.    | Вартісне оцінення ефективності пропозицій роботи                            | 22.04.25-21.05.25             |          |
| 6.    | Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації     | 22.05.25-01.06.25             |          |
| 7.    | Завершення роботи в цілому                                                  | 02.06.25-16.06.25             |          |

Студент \_\_\_\_\_ Петрина І.Р.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Лиса О.В.  
(підпис)

УДК 631.365.2

Автоматизація технологічного процесу сушіння будівельної крейди із використанням контролерів фірми Siemens. Петрина І. Р. – Кваліфікаційна робота бакалавра. Кафедра інформаційних технологій – Львів, ЛНУВМБ ім. С.З.Гжицького, 2025.

64 с. текст. част., 28 рис., 6 табл., 31 літ. джерел.

Текстова частина включає вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел.

У першому розділі подано опис технологічного процесу сушіння будівельної крейди, зокрема особливості роботи барабанної прямоочної сушарки. Висвітлено теоретичні основи процесу в окремих апаратах, складено матеріальний і тепловий баланси. Обґрунтовано номінальні значення основних технологічних параметрів та допустимі межі їх відхилення.

У другому розділі здійснено технічне обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації, що базується на характеристиках досліджуваного об'єкта. Визначено локальні технічні засоби автоматизації, обрано мікропроцесорні засоби керування, зокрема контролер Siemens S7-300 серії 314C-2DP, що має оптимальну конфігурацію для реалізації задач даної системи. Подано логіку роботи ПЛК, принципи керування та описано зовнішні електричні з'єднання.

У третьому розділі визначено математичну модель об'єкта через відповідні передавальні функції. На основі отриманої моделі виконано моделювання роботи системи автоматичного регулювання із налаштуванням параметрів регулятора.

У четвертому розділі розроблені заходи з охорони праці і навколишнього середовища. У п'ятому розділі розраховано економічну ефективність від впровадження запропонованої системи автоматизації.

На підставі виконаної роботи зроблено відповідні висновки.

Ключові слова: автоматизація, технічні засоби, мікропроцесорний контролер, закон регулювання, моделювання, крива розгону, Matlab.

## **АНОТАЦІЯ**

У кваліфікаційній роботі бакалавра розглянуто питання автоматизації технологічного процесу сушіння будівельної крейди з використанням сучасних мікропроцесорних засобів керування на базі контролерів фірми Siemens. Об'єктом дослідження є барабанна прямоточна сушарка, що застосовується для видалення вологи з крейди в процесі її підготовки як будівельного матеріалу.

У роботі проведено аналіз технологічного процесу сушіння як об'єкта автоматичного керування, обґрунтовано вибір функціональної схеми та технічних засобів автоматизації. Здійснено добір засобів вимірювання та регулювання температури, тиску, розрідження, витрати та положення регулюючих органів. Запропоновано структуру системи на основі ПЛК Siemens S7-300, частотних перетворювачів, електропневматичних перетворювачів, датчиків температури Pt100 та інших компонентів. Особливу увагу приділено моделюванню системи автоматичного регулювання параметрів сушіння із застосуванням математичних методів та відповідного програмного забезпечення. Розроблена система забезпечує підвищення стабільності технологічного процесу, зменшення енергоспоживання, зростання якості продукції та зниження впливу людського фактору.

## **THE SUMMARY**

The bachelor's qualification work considers the issue of automating the technological process of drying building chalk using modern microprocessor control tools based on Siemens controllers. The object of the study is a drum direct-flow dryer used to remove moisture from chalk in the process of its preparation as a building material.

The work analyzes the technological process of drying as an object of automatic control, justifies the choice of a functional scheme and technical means of automation. The means of measuring and regulating temperature, pressure, vacuum, flow and position of regulating bodies are selected. The structure of the system is proposed based on the Siemens S7-300 PLC, frequency converters, electropneumatic converters, Pt100 temperature sensors and other components. Special attention is paid to the modeling of the system for automatic regulation of drying parameters using mathematical methods and appropriate software. The developed system ensures increased stability of the technological process, reduced energy consumption, increased product quality and reduced human factor influence.

## Зміст

|                                                                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Вступ.....</b>                                                                                                      | <b>7</b>  |
| <b>1. Аналіз технологічного процесу сушіння будівельної крейди як об'єкта керування .....</b>                          | <b>10</b> |
| 1.1. Опис технологічного процесу сушіння будівельної крейди .....                                                      | 10        |
| 1.2. Теоретичні основи технологічного процесу в окремих технологічних апаратах і машинах.....                          | 12        |
| 1.3. Матеріальний та тепловий баланси технологічного процесу.....                                                      | 15        |
| 1.4. Обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та допустимих відхилень від цих значень ..... | 17        |
| 1.5. Аналіз структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами досліджуваного об'єкта .....                | 18        |
| <b>2. Технічне обґрунтування вибору функціональної схеми та технічних засобів автоматизації .....</b>                  | <b>20</b> |
| 2.1 Технічне обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації .....                                             | 20        |
| 2.2. Вибір локальних засобів автоматизації .....                                                                       | 22        |
| 2.3. Вибір мікропроцесорних засобів автоматизації .....                                                                | 23        |
| 2.4. Опис програми функціонування контролера .....                                                                     | 29        |
| 2.5. Опис принципової електричної схеми зовнішніх з'єднань контролера .....                                            | 36        |
| <b>3. Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання.....</b>                                             | <b>42</b> |
| 3.1. Вхідні дані про сушарку об'єкт регулювання для подальших розрахунків.....                                         | 42        |
| 3.2. Знаходження динамічної моделі об'єкта регулювання каналом регулюючої дії .....                                    | 43        |
| 3.3. Опис схеми автоматизації.....                                                                                     | 55        |
| 3.4. Специфікація на засоби автоматизації.....                                                                         | 56        |
| <b>4. Охорона праці .....</b>                                                                                          | <b>59</b> |
| 4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці.....                                                            | 59        |
| 4.2. Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці....                                            | 60        |
| 4.3. Пожежна безпека.....                                                                                              | 62        |
| <b>5. Розрахунок економічної ефективності проектованої системи автоматизації.....</b>                                  | <b>64</b> |
| <b>Висновок.....</b>                                                                                                   | <b>66</b> |
| <b>Список використаних джерел.....</b>                                                                                 | <b>69</b> |

## ВСТУП

У сучасних умовах розвитку будівельної галузі значного значення набуває підвищення якості та ефективності виробництва будівельних матеріалів, зокрема будівельної крейди. Як широко використовуваний матеріал у будівництві, фарбуванні, шпаклюванні та виробництві сумішей, будівельна крейда повинна відповідати високим вимогам до вологості, дисперсності та чистоти. Одним із ключових етапів її виробництва є процес сушіння, який суттєво впливає на кінцеві властивості продукції.

Процес сушіння будівельної крейди, зокрема у барабанних прямоочних сушарках, супроводжується значними енерговитратами, потребує точного регулювання температурного режиму, швидкості обертання барабана, подачі теплоносія та вологої сировини. Традиційні способи управління таким процесом, засновані на ручному або локальному регулюванні, не дозволяють досягти оптимальної якості продукції, економії енергоносіїв та стабільності технології.

У зв'язку з цим, актуальною є задача автоматизації процесу сушіння за допомогою сучасних засобів промислової автоматики. Застосування програмованих логічних контролерів (ПЛК), зокрема обладнання фірми Siemens, дозволяє створювати гнучкі, надійні та ефективні системи керування, що забезпечують високу точність регулювання параметрів сушіння, адаптацію до змін зовнішніх умов і зниження експлуатаційних витрат.

Крім того, автоматизація сушіння дозволяє мінімізувати людський фактор, підвищити безпеку роботи обладнання, покращити контроль за технологічними параметрами та забезпечити простоту обслуговування. Все це відповідає загальним тенденціям цифровізації промисловості та розвитку концепції «Індустрія 4.0».

На сучасному етапі розвитку промисловості автоматизація відіграє дедалі важливішу роль як у виробничій, так і в соціальній сферах, оскільки дозволяє ефективно задовольняти зростаючі потреби суспільства. У контексті

глобального скорочення природних ресурсів, змін клімату та стрімкого зростання чисельності населення планети значення автоматизованих систем стрімко зростає, а напрями їх впровадження постійно розширюються.

Сучасні системи керування базуються переважно на мікропроцесорних технологіях, які поступово витісняють аналогові автоматизовані системи. Основною перевагою таких цифрових засобів є їх висока гнучкість, що дає змогу адаптувати роботу обладнання шляхом перепрограмування під нові завдання чи алгоритми без суттєвого втручання в апаратну частину. Компактні програмовані логічні контролери (ПЛК) здатні замінити громіздкі релейні схеми, які займають багато місця, мають обмежену надійність та вимагають складного технічного обслуговування.

Окрему увагу слід приділити технологічному процесу сушіння — процесу видалення вологи з матеріалів шляхом її випаровування та відведення утвореної пари. Сушіння твердих та пастоподібних матеріалів дозволяє зменшити їх вагу і об'єм, що сприяє здешевленню транспортування, підвищенню зносостійкості, а також запобігає корозії технологічного обладнання.

Хоча механічні методи видалення вологи (такі як відтискання, відстоювання чи центрифугування) дозволяють частково знизити її вміст, остаточне осушення до заданого рівня досягається переважно за допомогою термічних способів сушіння. У галузях хімічної та будівельної технології найбільше поширення мають конвективні та контактні методи.

При конвективному сушінні тепло передається від теплоносія (переважно гаряче повітря, димові або інертні гази) до поверхні матеріалу, що сушиться. Контактне сушіння передбачає теплопередачу через теплопровідну перегородку, яка безпосередньо стикається з матеріалом. У деяких специфічних випадках можуть застосовуватися також радіаційні методи сушіння — зокрема інфрачервоне випромінювання або високочастотне (електричне) сушіння.

Загалом процес сушіння — це складне поєднання теплообміну та масообміну, ефективність якого значною мірою залежить від правильно підбраного режиму роботи та наявності сучасних систем автоматизації.

В даній роботі розроблено систему автоматизації барабанної прямої сушарки для сушіння крейди як будівельного матеріалу.

Система автоматизації включає системи контролю та регулювання параметрів технологічного процесу (температури на вході в сушарку, вологості на виході з сушарки, розрідження та співвідношення витрат «паливо – повітря»). Система автоматизації виконана з врахуванням особливостей існуючого технологічного обладнання, сучасних методів та засобів вимірювання та керування технологічними процесами.

Метою дипломної роботи є розробка системи автоматизованого керування процесом сушіння будівельної крейди у барабанній прямої сушарці із використанням програмованих логічних контролерів Siemens, що дозволить забезпечити стабільність параметрів процесу, підвищити якість продукції та ефективність виробництва.

Об'єкт дослідження - технологічний процес сушіння будівельної крейди у барабанній сушарці.

Предмет дослідження - методи та технічні засоби автоматизації процесу сушіння, зокрема система автоматичного регулювання параметрів температури та подачі сировини на основі контролерів Siemens.

## **1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СУШІННЯ БУДІВЕЛЬНОЇ КРЕЙДИ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ**

### **1.1 Опис технологічного процесу сушіння будівельної крейди**

Сушіння — процес видалення вологи з твердих вологих матеріалів шляхом її випаровування і відведення парів. Найчастіше вологою, що видаляється є вода або леткі органічні розчинники.

Процес сушінням надає матеріалам певних властивостей, у багатьох випадках забезпечують їхнє тривале зберігання та виключають перевезення баласту. Часто сушіння є останнім етапом у процесі виробництва, що безпосередньо передує продажу або упакуванню продукції.

Вологому матеріалу властиві всі форми зв'язку з водою, і дуже складно розмежувати періоди сушіння, що відповідають різним видам зв'язку молекул води з молекулами речовини. Тому експериментальним шляхом будують ізотерми сорбції при постійній температурі. Ізотерми сорбції дозволяють встановити зв'язок між вологістю матеріалу і відносною вологістю повітря, а також визначити рівноважну вологість при сушінні.

У хімічній, харчовій та інших галузях залежно від способу підведення теплової енергії використовують конвективні, контактні, терморадіаційні (інфрачервоним опроміненням), діелектричні (електричним струмом високої частоти), акустичні (ультразвуком) та сублимаційні методи сушіння.

Вологість крейди має велике значення в промисловості і будівництві. Волога крейда, що надходить на завод або будівництво з місця видобутку погано перемішується і збивається. У будівництві вміст вологи в крейді дуже важливий, оскільки при створенні бетонної суміші дуже важливо дотримуватись співвідношень вмісту основних матеріалів. Використання вологої крейди при будівництві не дає змоги наперед визначити міцність бетонної конструкції, а також визначити час застигання суміші. Особливо це є важливим при будівництві багатоповерхових будівель. Використання висушеної крейди при приготуванні бетонної суміші дає змогу зменшити кількість цементу, оскільки при застосуванні вологої крейди потрібно використати

більше цементу. Застосування вологої крейди призводить до її збивання, що не дає змоги гарантувати якісне перемішування суміші, а це може становити загрозу міцності і якості виготовленої конструкції. Тому для усунення наведених недоліків у будівельному виробництві крейду сушать. Найчастіше для сушіння крейди використовують сушильні прямотечійні барабани (прямотечійні сушарки). Такі сушарки є сушарками неперервної дії і призначені для сушіння сипких матеріалів димовими газами або нагрітим повітрям.

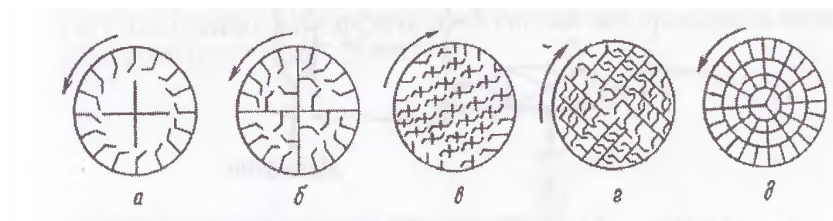
Усередині барабанної сушарки встановлюють насадки, конструкція яких залежить від властивостей висушуваного матеріалу. З боку завантажувальної камери встановлюється гвинтова насадка з числом спіральних лопатей від 6 до 16 залежно від діаметра барабана. При сушінні матеріалу з великою адгезією для уникнення налипання висушуваного матеріалу на стінки барабана встановлюють спеціальні ланцюги або ударні пристосування, розташовані з зовнішнього боку барабана.

У сушарках діаметром 1000 - 1600 мм для матеріалу з хорошою сипучістю і середнім розміром частинок до 8 мм встановлюють секторну насадку. Для матеріалів, що володіють підвищеною адгезією або сипких матеріалів із середнім розміром частинок більше 8 мм встановлюють підйимально - лопатеві пристрою. У сушарках діаметром 1000 - 3500 мм для матеріалів, схильних до налипання, але які відновлюють свої сипучі властивості в процесі сушіння, спочатку встановлюють підйимально - лопатеві перевалочні пристрої, а потім секторні насадки.

Основний матеріал для виготовлення барабанів сушарок, завантажувальних і розвантажувальних камер - вуглецеві сталі. Для окремих випадків додаткове виготовлення барабанів, розвантажувальних і завантажувальних камер частково або повністю може виготовлятися із жаростійких сталей спеціальних марок.

Барабанна сушарка - це зварний циліндр - барабан, на зовнішній поверхні якого укріплені бандажні опори, кільця жорсткості і привідний зубчастий вінець; відносно горизонту барабан може бути нахилений на кут від

2° до 7°. Барабанні сушарки виробляються різної довжини і різного діаметру, та для різних температурних режимів. Діаметр сушарки може бути від 0,5 до 3,8 м, довжина - від 4 до 100 м. Температура в сушарці може досягати 1600 °С. Також можливе обладнання внутрішньої насадки барабана, яке забезпечує рівномірний розподіл і добре перемішування матеріалу по перетині барабана (рис.1.1) в залежності від розмірів і властивостей сушильного матеріалу.



*Рис.1.1. Типи насадок барабанних сушарок: а - підйомно-лопатєва, б - секторна, в, г - розподільні, д - перевалочна.*

Барабанні сушарки використовуються в хімічній, харчовій, будівельній, металургійній та інших галузях промисловості.

## **1.2. Теоретичні основи технологічного процесу в окремих технологічних апаратах і машинах**

Найбільше поширення мають барабанні сушарки, в яких сушильним агентом є суміш димових газів з повітрям.

Усередині барабан а сушарки з боку завантаження матеріалу на ділянці довжиною 1 м розташована насадка з гвинтових лопатей. Інша частина барабана по всій довжині розділена на шість секторів (барабани старих моделей розділені на п'ять секторів) з Г-подібними лопатями, призначеними для перемішування матеріалу. Барабан з'єднаний з газоходами, з допомогою плаваючих торчакових ущільнень. Схема процесу сушіння крейди в барабанній прямотечійній сушарці зображена на рисунку 1.2.

У барабанній сушарці вологий матеріал бункера I дозатором II подається в барабан V, в який також н сушильний агент.. При обертанні барабана твердого матеріалу переміщаються уздовж його осі. У тому ж напрямі по барабану проходить сушильний агент, віддаючи тепло матеріалу і випаровуючи вологу,

що знаходиться в них. Висушений матеріал зсипається барабана в бункер VI, а відпрацьований сушильний агент через циклон VII відсмоктується вентилятором VIII. Тривалість сушіння в барабанних сушарках складає декілька десятків хвилин до однієї години. Частота обертання барабана змінюється від 4 до 9 об/хв.

Процес сушіння зазвичай регулюють по вологості теплоносія на виході з барабана. Регулятор вологості впливає на клапан, встановлений на лінії подачі паливного газу в камеру спалювання..

Для повного згоряння паливного газу в камеру згоряння подають первинне повітря, кількість якого підтримують постійним, за допомогою регулятора витрати. Необхідна температура сушильного агента на вході в барабан забезпечується регулятором температури, що впливає на подачу вторинного повітря в камеру змішування.

При зміні витрати палива змінюється витрата сушильного агенту, що впливає на вологість сухого матеріалу. Для підтримки постійного співвідношення витрати палива та первинного повітря слід встановити регулятор співвідношення цих витрат. Для знищення збурюючих впливів, які можуть надходити по іншим каналам, необхідно регулювати температуру сушильного агенту на вході в сушарку (змінюючи витрати вторинного повітря), тиск в сушарці (змінюючи витрати відпрацьованого сушильного агенту) і витрати вологого матеріалу.

При керуванні процесом сушарки слід контролювати витрату палива, первинного та вторинного повітря, вологого матеріалу, температури сушильного агенту на вході в сушарку и виході з неї, температуру в сушарці, тиск в камері змішування, вологість сухого матеріалу.

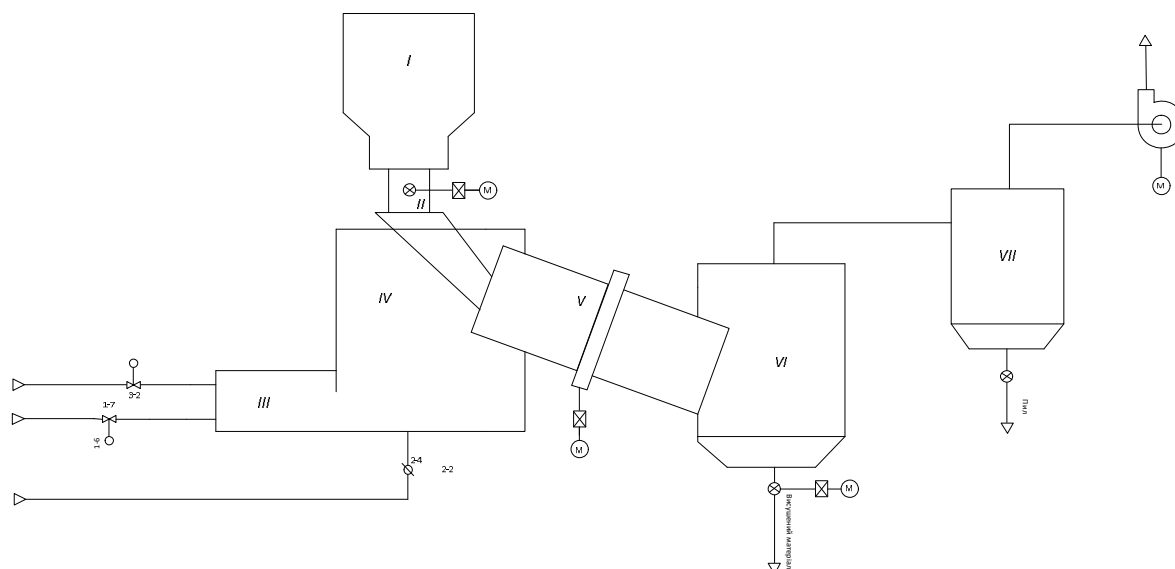
Навантаження сушарки по сушильному агенту підтримується на постійному значенні регулятором розрідження в камері змішувача що впливає на клапан, встановлений на лінії відведення відпрацьованого сушильного агента після циклону.

При постійному гідравлічному опорі барабана сушарки і відсутності

підсмоктування повітря атмосфери система регулювання розрідження забезпечує постійність швидкості проходження сушильного агента вздовж барабана. Оптимальне значення швидкості встановлюють з урахуванням того, що з її збільшенням зростає швидкість сушіння крейди і одночасно збільшуються втрати тепла з відпрацьованим сушильним агентом.

Контролю і реєстрації підлягають витрати паливного газу і вторинного повітря, а також розрідження і вологість матеріалу в сушильній камері, та температура в змішувальній камері.

Схема автоматизації барабанної сушарки забезпечує висушування вологої крейди до заданої залишкової вологості, лише при невеликих по величині змінах вхідних величин процесу сушіння.



*Рис.1.2. Схема процесу сушіння в барабанній проточній сушарці*

На схемі позначено:

- I. Бункер з вологою крейдою.
- II. Дозатор.
- III. Камера спалювання природного газу.
- IV. Змішувальна камера.
- V. Сушильна камера.
- VI. Бункер з висушеною крейдою.
- VII. Циклон.

## VIII. Вентилятор.

Переваги барабаних сушарок : велика продуктивність, висока економічність у відношенні витрат тепла і електроенергії, надійність у роботі, простота конструкції і зручність в експлуатації.

Недоліки сушарок: громіздкість конструкції, високі капітальні витрати, подрібнення матеріалу при сушінні, тривалий контакт матеріалу з тепловим агентом (до 1 години.), забруднення продуктів золою з камери спалювання (0,2 – 0,7% золи), налипання вологого матеріалу на внутрішню поверхню і насадки барабана.

### 1.3. Матеріальний та тепловий баланси технологічного процесу

Матеріальний баланс процесу розраховано за значеннями початкової і кінцевої вологості крейди для визначення продуктивності сушарки, витраті вологого матеріалу та кількістю випаруваної води.

Початкове, критичне і кінцеве значення вмісту води крейди визначають за залежностями:

$$u_0 = W_0 / (100 - W_0), \text{ кг/кг}; \quad u_k = W_k / (100 - W_k), \text{ кг/кг};$$

$$u_2 = W_2 / (100 - W_2), \text{ кг/кг}.$$

Початкове і кінцеве вмісту води можуть бути будь-якими, але критичне значення вмісту води залежить від властивостей висушуваного матеріалу. Критичне значення вмісту води характеризує перехід від випаровування поверхневої води до видалення внутрішньої води. Якщо критичне значення вмісту води у висушуваному матеріалі відсутнє, то у ньому міститься тільки поверхнева вода.

Продуктивність сушарки по абсолютній кількості висушеного матеріалу  $G_{\text{сух}}$  визначається залежністю:

$$G_{\text{сух}} = G_2 / (1 + u_2), \text{ кг/год},$$

де  $u_2$  – кінцеве значення вологості висушеної крейди,  $G_2$  – продуктивність по висушеному матеріалу.

Витрата вологого матеріалу  $G_1$  визначається залежністю,

$$G_1 = G_{\text{сух}}(1 + u_0), \text{ кг/год},$$

де  $u_0$  – початкова вологість крейди.

Кількість вологи, що випаровується визначається залежністю

$$W = G_{\text{сух}}(u_0 - u_2), \text{ кг/год}.$$

### ***Тепловий баланс сушарки***

Тепловий баланс сушарки розраховують для визначення кількості палива, яке необхідно для утворення сушильного агента в необхідній кількості та з необхідною температурою.

Якщо для отримання топкових газів використовується тверде паливо, яке використовується для утворення сушильного агента, то необхідно виконати перерахунок елементного складу палива на кінцеву вологість  $W_2$ , при якій висушена крейда виходить з сушарки.

$$A_2^r = A^r \cdot (100 - W_2^r) / (100 - W^r) = A^r \cdot K, \text{ \%};$$

$$C_2^r = K \cdot C^r; \quad H_2^r = K \cdot H^r; \quad N_2^r = K \cdot N^r; \quad O_2^r = K \cdot O^r; \quad S_{(p+o)2}^r = K \cdot S_{(p+o)}^r;$$

$$W_2^r + A_2^r + C_2^r + H_2^r + N_2^r + O_2^r + S_{(p+o)2}^r = 100 \text{ \%}.$$

Всі розрахунки для визначення кількості палива проводять виходячи з вищої теплоти згоряння на 1 кг палива.

Теплоту згоряння твердого та рідкого палива визначають за формулою

$$Q_s^r = 340C^r + 1260H^r - 109(O^r - S_{p+o}^r), \text{ кДж/кг}$$

Нижня теплота згоряння сухого газоподібного палива

$$Q_i^d = 22,4 (22,3 \text{ CH}_4 + 21,16 \text{ C}_2\text{H}_6 + 20,7 \text{ C}_3\text{H}_8 + 20,41 \text{ C}_4\text{H}_{10} + 4,53 \text{ CO} + 53,42 \text{ H}_2 + 6,87 \text{ H}_2\text{S}), \text{ кДж/кг}.$$

Верхня теплота згоряння газоподібного палива

$$Q_s^d = Q_i^d + 2514 \cdot \sum \frac{0,09 \cdot n}{12m + n} \cdot C_m H_n, \text{ кДж/кг}.$$

#### 1.4. Обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та допустимих відхилень від цих значень

На основі технологічного регламенту і аналізу досліджень процесу встановлені номінальні значення параметрів та їх допустимі відхилення. Ці значення є необхідні для ведення технологічного процесу з оптимальними показниками якості.

В процесі сушіння крейди поступає в сушильний барабан з вологістю від 050 до 100%; витрата природного газу  $90\text{м}^3/\text{год}$  ( $\pm 10\text{м}^3/\text{год}$ ) витрата первинного повітря  $800\text{м}^3/\text{год}$  ( $\pm 20\text{м}^3/\text{год}$ ); вологість висушеної крейди не повинна перевищувати 3%; розрідження в камері згоряння 50Па ( $\pm 5$  Па).

З метою визначення впливу різних факторів проводяться спеціальні дослідження, з допомогою яких визначаються експлуатаційні значення технологічних параметрів, яких слід дотримуватися для досягнення ефективної та економічної роботи процесу сушіння крейди. Значення технологічних параметрів, визначені по результатах досліджень, наводяться в технологічній карті, яка наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

##### Технологічна карта процесу сушіння крейди

| № п/п | Назва параметру                               | Одиниця вимірювання     | Номінальне значення | Допустиме відхилення |
|-------|-----------------------------------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|
| 1     | Витрата природного газу                       | $\text{м}^3/\text{год}$ | 90                  | $\pm 1$              |
| 2     | Витрата первинного повітря                    | $\text{м}^3/\text{год}$ | 800                 | $\pm 15$             |
| 3     | Температура в камері згоряння                 | $^{\circ}\text{C}$      | 850                 | $\pm 25$             |
| 4     | Температура в барабані сушарки                | $^{\circ}\text{C}$      | 450                 | $\pm 10$             |
| 4     | Температура відпрацьованого сушильного агента | $^{\circ}\text{C}$      | 200                 | $\pm 1$              |
| 5     | Вологість висушеного матеріалу                | %                       | 3                   | $\pm 0,5$            |

### 1.5. Аналіз структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами досліджуваного об'єкта

Основними параметрами, які впливають на процес сушіння крейди є: витрата вологої крейди, співвідношення витрат «паливо-повітря», витрата палива, витрата вторинного повітря. До збурень, які впливають на процес сушіння відносять: початкову вологість крейди на вході в сушарку, температура вторинного повітря, гранулометричний склад крейди. Вихідними параметрами є температура в камері згорання та розрідження в камері згорання. В процесі протікання процесу сушіння необхідно контролювати вологість висушеної крейди.

Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами досліджуваного об'єкта наведена на рисунку 1.3.

Позначення на рисунку 1.3:

*Вхідні величини:*

Г<sub>вх.мат</sub>- витрата вологої крейди, що поступає в сушарку;

Г<sub>пов.</sub>- співвідношення витрат витрата «паливо-повітря»;

Г<sub>газу</sub>- витрата палива (природного газу);

Г<sub>перв.пов.</sub>- витрата первинного повітря.

*Збурюючі величини:*

М<sub>вм</sub>- вологість крейди на вході в сушарку;

т<sub>пов</sub>- температура вторинного повітря;

- гранулометричний склад крейди.

*Вихідні величини:*

т<sub>зк</sub>- температура в камері згорання;

Р<sub>роз</sub> — розрідження в камері згорання.

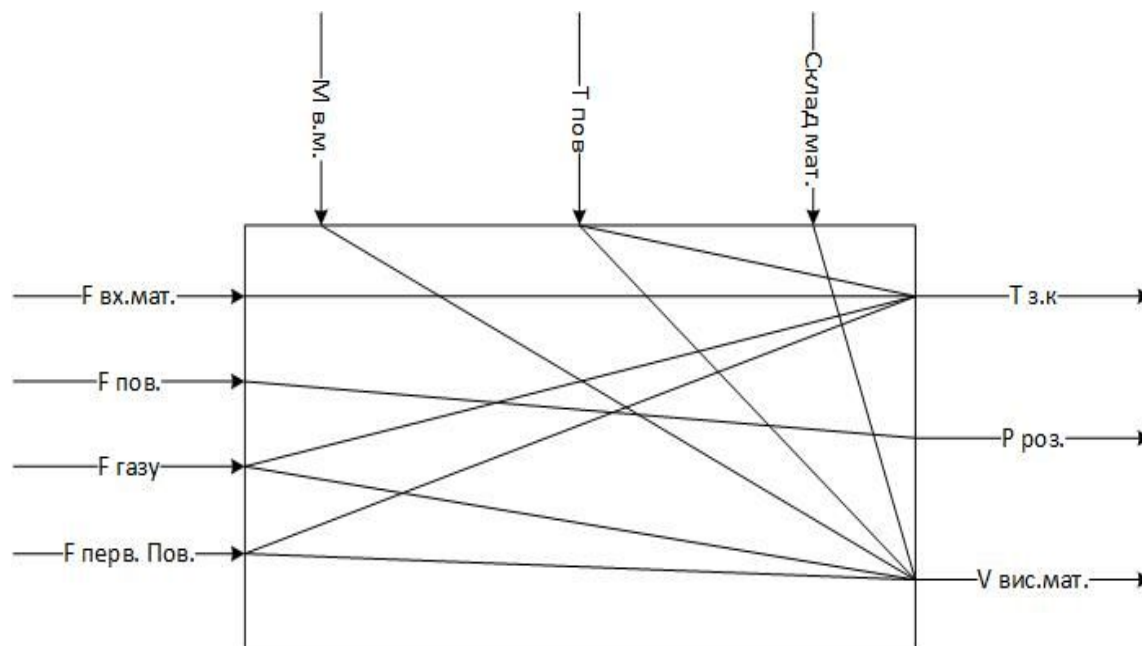


Рис.1.3. Структурна схема зв'язку між технологічними параметрами досліджуваного об'єкта

#### **Вплив вхідних величин**

- 1). *Витрата вологої крейди.* Витрата вологої крейди на вході в барабан сушарки впливає на кінцеву вологість крейди на виході з сушарки.
- 2). *Витрата палива* впливає на температуру сушильного агента в камері згорання, від неї залежить вологість крейди на виході із сушарки.
- 3). *Витрата вторинного повітря.* Витрата вторинного повітря впливає на температуру сушильного агента, який подається в сушарку і на розрідження в камері згорання.

#### **Вплив збурюючих величин**

- 1). *Вологість крейди на вході в барабан.* Початкова вологість крейди, що оступає в сушарку впливає на кінцеву її вологість на виході із сушарки.
2. *Температура вторинного повітря.* Впливає на температуру сушильного агента в камері згорання, а також на розрідження в барабані сушарки.
- 3). *Витрата первинного повітря* впливає на процес оптимального спалювання палива і на температуру сушильного агента в камері згорання.

## **2. ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

### **2.1. Технічне обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації**

Функціональна схема автоматизації (ФСА) технологічного процесу є документом, що визначає функціональну структуру системи автоматизації технологічного процесу, а також оснащення досліджуваного об'єкта керування приладами та засобами автоматизації. На функціональній схемі наводять зображення апаратів, що підлягають автоматизації, а також засобів автоматизації і керування. Засоби автоматизації зображають умовними позначеннями згідно чинної нормативно-технічної документації. На ФСА необхідно також вказувати лінії зв'язку між апаратами та засобами автоматизації.

Оптимальною схемою автоматизації, яка зображена на рисунку рис. 2.1, реалізовано такі контури регулювання:

1. Контур співвідношення витрат «паливо-повітря».
2. Контур регулювання температури в камері згоряння.
3. Контур регулювання розрідження в камері згоряння.
4. Контур регулювання вологості подачею вологого матеріалу.

Контроль та регулювання реалізовано на базі промислового контролера фірми Siemens S7-300. Аналогові сигнали від датчиків поступають на відповідні аналогові входи накладного модуля вводу/виводу сигналів, після обробки та перетворення сигнали керування через модуль вводу/виводу подаються на виконавчі механізми.

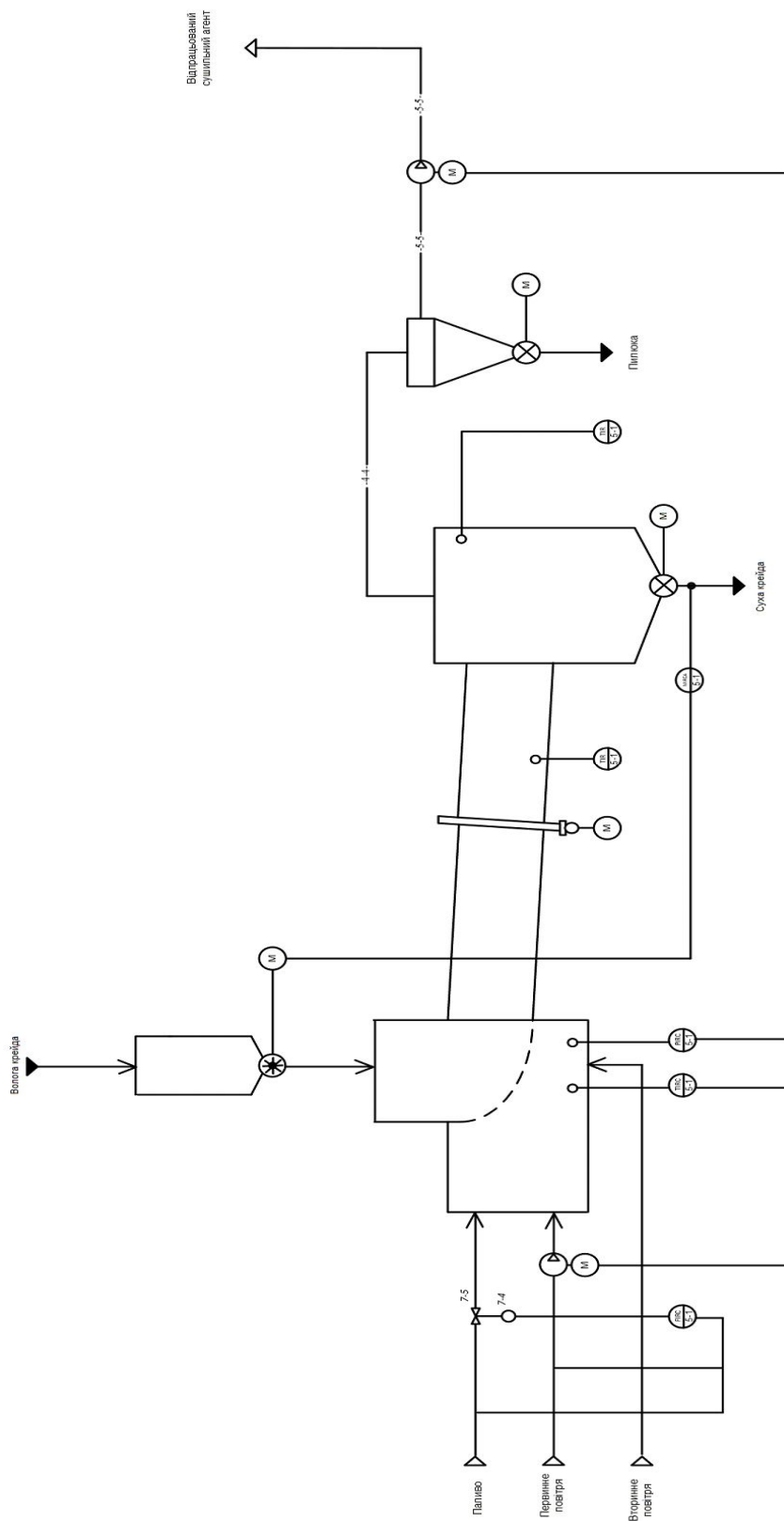


Рис. 2.1. Функціональна схема автоматизації (ФСА) технологічного процесу сушіння будівельної крейди

## 2.2. Вибір локальних засобів автоматизації

ФСА процесу сушіння крейди передбачено такі контури:

1. Автоматичне регулювання співвідношення витрат « паливо – повітря».
2. Автоматичне регулювання температури в камері згоряння.
3. Автоматичне регулювання розрідження в камері згоряння.
4. Автоматичне регулювання подачі вологої крейди.
5. Автоматична сигналізація і блокування при аварійних параметрах тиску газу, первинного повітря або при загасанні полум'я в камері згоряння.

Перелік локальних технічних засобів автоматизації та їх технічні характеристики наведені в специфікації на технічні засоби.

Для побудови надійної та ефективної системи автоматизації процесу сушіння будівельної крейди у барабанній прямоточній сушарці були підібрані сучасні локальні технічні засоби, що забезпечують точність вимірювань, стабільність регулювання та можливість інтеграції з контролерами Siemens.

Контроль температури всередині барабана здійснюється за допомогою платинових термоперетворювачів опору типу Pt100, які мають нормалізовану статичну характеристику (НСХ) та клас точності А. Це дозволяє досягти високої точності вимірювання в діапазоні від -50 до +400 °С, що повністю охоплює температурні режими сушіння. Межа допустимого відхилення не перевищує  $\pm(0,15 + 0,002t)$ , що гарантує надійний контроль температури в реальному часі.

Для керування швидкістю обертання вентиляторів та дозувального обладнання обрано частотний перетворювач потужністю 11 кВт. Він має широкі функціональні можливості: вихідна частота регулюється в межах 0–200 Гц, а напруга — 0–100%. Пристрій оснащено аналоговими входами/виходами (4–20 мА), а також імпульсними входами, що забезпечує зручну інтеграцію з ПЛК та дозволяє точно регулювати подачу повітря й сировини.

Контроль розрідження в камері згоряння реалізується через дифманометр-рівнемір, що працює в діапазоні від 1 до 10 мбар. Пристрій

передає вимірюване значення у вигляді стандартного аналогового сигналу 4–20 мА, має низьку похибку (0,1%) і високий допустимий тиск (до 40 бар), що робить його надійним для роботи в умовах підвищеного тиску і температури.

Для точного керування подачею палива в камеру згоряння використовується електропневматичний перетворювач. Він приймає вхідний аналоговий сигнал 4–20 мА і перетворює його у пневматичний тиск в діапазоні 20–100 або 40–200 кПа. Високі метрологічні характеристики (лінійність  $\pm 0,2\%$ , гістерезис  $\pm 0,3\%$ , відтворюваність  $\pm 0,1\%$ ) дозволяють забезпечити точне позиціонування виконавчих механізмів навіть у складних умовах експлуатації при температурах до 70 °С.

В якості виконавчого органу подачі газу застосовується пневматичний мембранний механізм, який працює із сигналом керування 20–100 кПа. Така схема дозволяє точно дозувати паливо, забезпечуючи стабільне горіння і необхідний тепловий режим у барабані сушарки.

Окрім того, контроль витрати повітря та газу реалізується за допомогою перетворювача різниці тисків, який працює з верхньою межею 6,3 кПа, має похибку  $\pm 0,5\%$  і вихідний сигнал 4–20 мА. Це дає змогу точно оцінювати витрату робочих середовищ, що важливо для підтримання енергоефективності процесу сушіння.

Таким чином, обрані технічні засоби забезпечують повну автоматизацію критичних параметрів процесу сушіння – температури, швидкості подачі сировини, розрідження та подачі палива. Усі елементи легко інтегруються у систему керування на базі ПЛК Siemens, що забезпечує зручність у програмуванні, розширюваність та надійність роботи системи в цілому.

### **2.3 Вибір мікропроцесорних засобів автоматизації**

Для здійснення функцій керування в кваліфікаційній роботі застосовано контролер фірми Siemens, серії Simatic, модель S7-300. За допомогою цього контролера здійснюється регулювання та сигналізація. Вхідні аналогові та

дискретні сигнали поступають на входи модулів розширення, і передаються на контролер, який обробляє їх та подає вихідні сигнали.

Застосування АСК ТП дає змогу забезпечити ефективне керування процесом сушіння крейди, підвищити вимоги до точності контролю і регулювання параметрів процесу та реалізувати більш складні системи керування.

Програмовано-логічні контролери (ПЛК) представляють собою пристрій, призначений для збору, перетворення, обробки, зберігання інформації та створення команд керування. Вони реалізовані на базі мікропроцесорної техніки та працюють в локальних та розподілених системах керування відповідно до заданої програми. За технічними можливостями, які визначають рівень вирішуваних задач, ПЛК поділяються на класи: нано-, мікро-, малі, середні та великі. Всі функції ПЛК реалізовані програмно.



*Рис.2.2. Загальний вигляд контролера Siemens Simatic S7-300*

Застосування ПЛК забезпечує високу надійність, простоту обслуговування пристроїв управління, пришвидшує монтаж і налагодження обладнання, забезпечує швидке оновлення алгоритмів керування. Вони дають реалізувати додаткові функції не збільшуючи собівартість готової продукції.

Для регулювання технологічних параметрів в даній роботі використано контролер фірми Siemens, серія Simatic, модель S7-300. За допомогою цього

контролера здійснюється регулювання та сигналізація. Загальний вигляд контролер показано на рисунку 2.2.

Siemens Simatic S7–300 – програмовані контролери SIMATIC S7-300 призначені для вирішення задач середньої складності. Їх застосовують для синтезу відносно простих і недорогих систем автоматичного керування.

Контролери здатні працювати в реальному часі і можуть бути використані як для побудови вузлів локальної автоматики, так і систем розподіленого введення-виведення інформації з організацією обміну даними через PPI (Point to Point Interface), MPI (Multi Point Interface), AS-Interface, PROFIBUS, Industrial Ethernet, Internet, а також модемний зв'язок. Перевагою контролерів є те, що в нього є віддалені станції, які можуть бути розташовані на відстані до 1 км.

Програмований логічний контролер SIEMENS 314C-2DP обладнаний вбудованим фіксованим набором засобів введення та виведення сигналів, що дозволяє застосовувати його без додаткових модулів у багатьох задачах автоматизації. Контролер має 24 дискретні входи, призначені для зчитування сигналів від кнопок, кінцевих вимикачів, датчиків положення тощо. Для керування виконавчими пристроями, такими як реле або електромагнітні клапани, передбачено 16 дискретних виходів.

Окрім цифрових каналів, контролер також підтримує обробку аналогових сигналів, що надходять від датчиків температури, тиску, рівня та інших аналогових вимірювальних приладів. У його конфігурації передбачено 5 аналогових входів і 2 аналогові виходи, які дають змогу зчитувати та генерувати сигнали у формі змінної напруги або струму (наприклад, 4–20 мА).

При необхідності розширення функціональності контролера, до нього можна підключити до 12 додаткових модулів розширення, що забезпечує масштабованість і можливість адаптації до складніших об'єктів керування. Така конфігурація робить SIEMENS 314C-2DP зручним та ефективним

рішенням для реалізації систем автоматизації промислових технологічних процесів.

Компоненти розширення вводу-виводу вибираються додатково до центрального процесора.

- **Модуль центрального процесора (CPU 314).** Залежно від ступеня складності вирішуваного завдання в контролерах можуть бути використані різні типи центральних процесорів, що відрізняються продуктивністю, об'ємом пам'яті, наявністю або відсутністю вбудованих входів-виходів і спеціальних функцій, кількістю і видом вбудованих комунікаційних інтерфейсів.
- **Модулі блоків живлення (PS).** Блоки живлення забезпечують можливість живлення контролера від мережі змінного струму напругою 120/230 В або від джерела постійного струму напругою 24/48/60/110 В.
- **Сигнальні модулі (SM).** Призначені для вводу-виводу дискретних і аналогових сигналів з різними електричними і часовими параметрами.
- **Комунікаційні процесори (CP).** Їх застосовують для підключення до мереж PROFIBUS, Industrial Ethernet, AS-Interface або організації зв'язку через RTP (point to point) інтерфейс.
- **Функціональні модулі (FM).** Функціональні модулі здатні самостійно вирішувати завдання автоматичного регулювання, позиціонування, обробки сигналів. Функціональні модулі мають вбудований мікропроцесор і здатні виконувати покладені на них функції навіть в разі зупинки центрального процесора програмованого контролера.
- **Інтерфейсні модулі (IM).** Модулі забезпечують можливість підключення до базового блоку (стійка з CPU) стійок розширення вводу-виводу. Контролери SIMATIC S7-300 дають змогу використовувати в своєму складі до 32 сигнальних і функціональних модулів, а також комунікаційних процесорів, розподілених по 4-х монтажних стійках. Всі модулі працюють з природним охолодженням.

Більшість типів центрального процесора модуля (CPU) мають вбудований

інтерфейс PROFIBUS DP для побудови системи розподіленого вводу-виводу. У такій системі центральний процесор виконує функції головного пристрою DP. Звернення до входів-виходів пристроїв розподіленого вводу-виводу з програми користувача проводиться тими ж способами, що і до входів-виходів системи локального вводу-виводу.

Мережа PROFIBUS DP підтримує також мульти майстерний режим роботи і дозволяє об'єднувати до 128 мережевих пристроїв. Її протяжність з електричними каналами зв'язку може досягати 9.6 км., з оптичними каналами зв'язку - 96 км. Максимальна швидкість передачі даних становить 12 Мбіт/с.

### **Розподіл пам'яті**

- **Завантажувальна пам'ять.** Її використовують для зберігання програми користувача без символів і коментарів. Завантажувальна пам'ять може бути виконана у вигляді RAM або FLASH EPROM .
- **Робоча пам'ять (вбудована RAM)** . Вона використовується для зберігання відповідної частини S7 - програми, що необхідна для виконання програми. Програма виконується виключно в робочій пам'яті.
- **Область вводу – виводу.** Вона дає прямий доступ до входів і виходів та пов'язаних з нею сигнальних модулів.
- **Системна пам'ять (RAM).** Містить області відображення вхідного і вихідного процесів, маркери, таймери і лічильники. Крім того, вона містить локальний стек, стек блоків і стек переривань.

Для написання програми для даного проекту мною вибрано мову LAD – так званий «перелік інструкцій».

Вся програма складається з блоків OB,FC,FB,DB,SFC,UTD. Дамо коротку характеристику кожному з них.

**OB (організаційні блоки).** Такі блоки здійснюють управління ходом виконання програми. Залежно від способу запуску (циклічне виконання, запуск по тимчасовому перериванню, запуск по події і так далі) організаційні блоки розділяються на класи, що мають різні рівні пріоритету. Організаційні блоки з

вищими рівнями пріоритету здатні переривати виконання блоків з нижчими пріоритетними рівнями. Передбачена можливість детального опису події, що викликає запуск організаційного блоку. Ця інформація може бути використана в програмі користувача.

Призначені для:

- організації циклічного виконання програми користувача (OB1);
- обробки подій:
- включення живлення (OB100);
- циклічного переривання (OB30-OB38);
- переривання по даті і часу (OB10-OB17);
- переривання по затримці часу (OB20-OB23);
- виникнення помилки (OB40-OB47, OB80-OB87, OB121, OB122).

Блоки викликаються автоматично операційною системою контролера у випадку виникнення тієї або іншої події.

**FC (функція).** Визначає фрагмент програми, який багаторазово використовується у програмі чи виконує типову задачу. Кожна функція формує фіксовану вихідну величину на основі отримуваних вхідних даних. До моменту виклику функції усі її вхідні дані мають бути визначені. Такий механізм дозволяє використовувати функції без блоків даних. Функція може також мати локальні змінні, які втрачаються при виході з блоку.

**FB (функціональний блок).** Такий блок містить окремі частини програми користувача. Виконання функціональних блоків супроводжується обробкою різних даних. Ці дані, а також внутрішні змінні і результати обробки завантажуються у виділений для цієї мети блок даних IDB (Instance - data Block). Управління даними, що зберігаються в IDB, здійснює операційна система програмованого контролера. Для кожного функціонального (FB) і системного функціонального (SFB) блоку операційна система контролера створює службовий блок даних IDB. IDB генеруються автоматично після компіляції FB і SFB. Доступ до даних, що зберігаються в IDB, може бути здійснений з програми

користувача або з системи людино-машинного інтерфейсу. Особливістю FB є наявність змінних типу STAT, які зберігають своє значення при виході з блоку.

**SFC** (системна функція). Це функція, вже наявна в ОС CPU. Вона призначена для виконання певних стандартних дій. Наприклад, функції таймерів, лічильників, передачі блоків даних, тощо.

**DB (зберігання даних користувача).** На відміну від даних, що зберігаються в IDB і використовуються одним блоком FB або SFB, дані, що зберігаються в DB, можуть використовуватися будь-яким з програмних модулів. У DB можуть зберігатися дані, що мають елементарний або структурний тип. Прикладами даних елементарного типу можуть служити дані логічного (BOOL), цілого (INTEGER), дійсного (REAL) або інших типів. Дані структурного типу формуються з даних елементарного типу. Для звернення до даних, записаних в DB, може використовуватися символічна адресація.

### **Розширення модулями вводу-виводу S7 – 300**

Для реалізації даної схеми автоматизації необхідно : 7 вхідних аналогових сигналів; 4 вихідний аналогових сигнали; 6 вхідних дискретних сигналів; 6 вихідних дискретних сигналів.

Для забезпечення необхідної кількості вказаних сигналів доцільно застосувати такі модулі розширення вхідних/вихідних сигналів :

SM 332 AO4x12Bit (6ES7332-5HD01-0AB0) - 4 аналогових виходи;

SM331 6ES7 331-7KF02-0AB0 - 8 аналогових входів.

Блок живлення PS 307 5A 6ES7 307-1EA01-0AA0.

Процесорний модуль CPU 314C-2DP 6ES7 314-6CG03-0AB0.

## **2.4. Опис програми функціонування контролера**

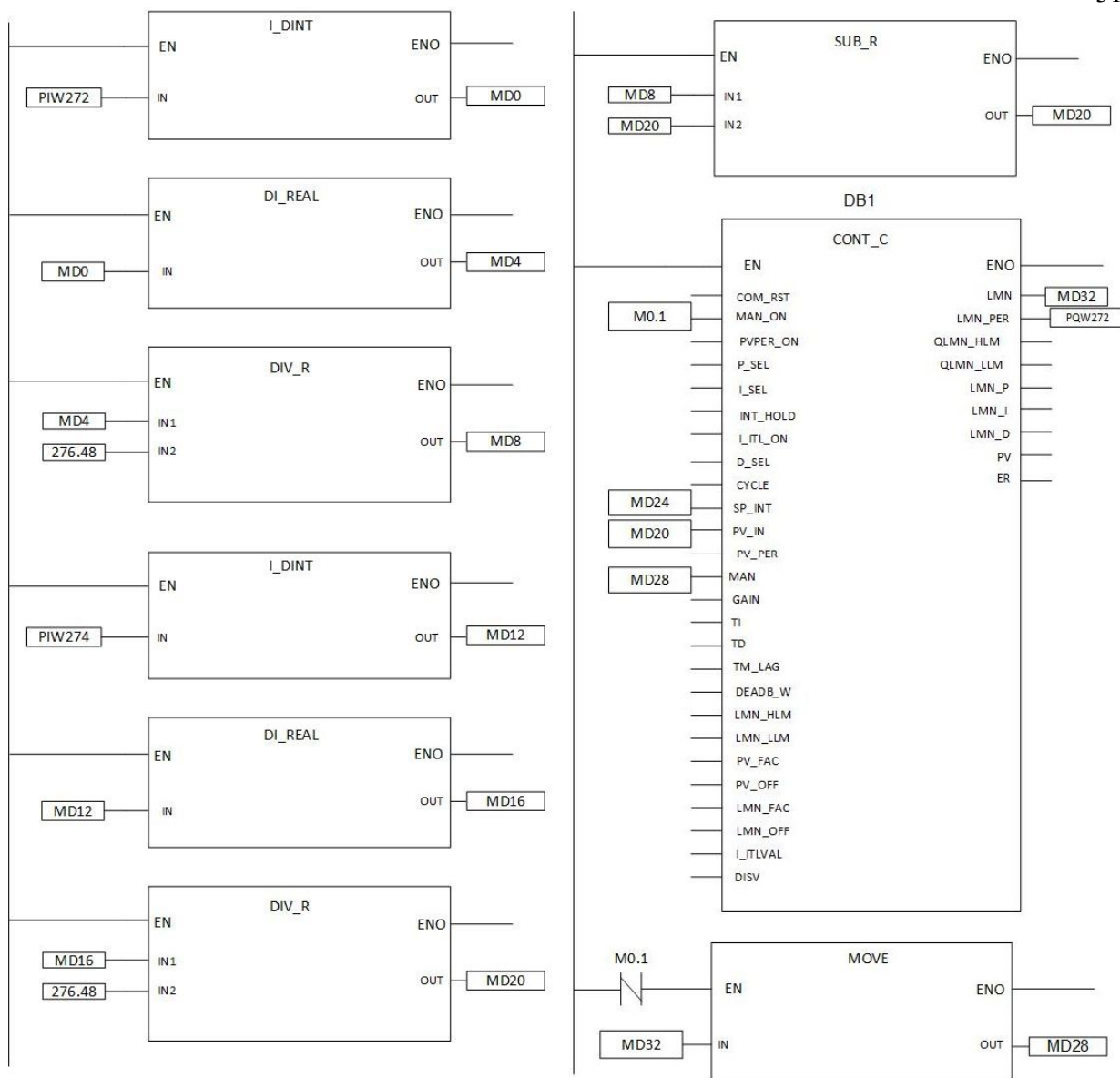
*Програма функціонування контуру регулювання співвідношення витрати*

*«паливо- первинне повітря»*

Для обробки вхідного аналогового сигналу, за допомогою блоку I\_DI переводимо значення регістру аналогового входу PIW272 з числового формату integer в double integer і зберігаємо в проміжній комірці MD0. Далі з допомогою

блоку DI\_R переводим значення, що в комірці MD0, в числовий формат Real, для подальшої обробки і зберігаємо (перезаписуємо) в проміжній комірці MD4. Оскільки АЦП контролера S7-300 має свою розрядність, то для нормування діапазону потрібно поділити на число 276,48. Результат запишемо в регістр MD8. Для обробки вхідного аналогового сигналу, за допомогою блоку I\_DI переводимо значення регістру аналогового входу PIW274 з числового формату integer в double integer і зберігаємо в проміжній комірці MD12. Далі з допомогою блоку DI\_R переводимо значення, що в комірці MD12, в числовий формат Real для подальшої обробки і зберігаємо (перезаписуємо) в проміжній комірці MD16. Оскільки АЦП контролера S7-300 має свою розрядність, то для нормування діапазону потрібно поділити на число 276,48. Результат запишемо в регістр MD20. За допомогою блоку SUB\_R здійснюємо співвідношення цих витрат. Результат записуємо в комірку MD 20 ,яке в форматі REAL подається на вхід аналогового регулятора PV\_IN. В регістрі MD24 записується завдання контуру регулювання. Ручне завдання записується на вхід MAN, через регістр MD28. Для переведення регулятора з автоматичного в ручний режим і навпаки використовується дискретний сигнал M0.1 Щоб перевести регулятор з автоматичного режиму керування в ручний переписуємо значення з виходу регулятора (регістр MD32) на вхід завдання (регістр MD28). Вихід основного регулятора LMN подаємо на аналоговий вихід PQW272, який подається пневматичний виконавчий механізм ір 4763. Програма наведена на рисунку 2.3.

Для обробки вхідного аналогового сигналу за допомогою блоку I\_DI переводимо значення регістру аналогового входу PIW276 з числового формату integer в double integer і зберігаємо в проміжній комірці MD36.



*Рис.2.3. Програма контуру регулювання співвідношення витрати палива  
ти первинного повітря*

*Програми контуру подачі вологої крейди*

Далі з допомогою блоку DI\_R переводимо значення, що в комірці MD36, в числовий формат Real, для подальшої обробки і зберігаємо (перезаписуємо) в проміжній комірці MD40. Оскільки АЦП контролера S7-300 має свою розрядність, тому для нормування діапазону потрібно поділити на число 276,48. Результат запишемо в регістр MD44.

Вихідна величина з регістру MD44 в форматі REAL подається на вхід аналогового регулятора PV\_IN. В регістрі MD48 записане завдання контуру

регулювання SP\_INT. Ручне завдання записується на вхід MAN, через регістр MD52. Для переведення регулятора з автоматичного в ручний режим і навпаки використовується дискретний сигнал M0.2. Щоб перевести регулятор з автоматичного режиму керування в ручний переписуємо значення з виходу регулятора (регістр MD56) на вхід завдання (регістр MD52). Вихід основного регулятора LMN подаємо на аналоговий вихід PQW274, який подається на регулюючий орган.

Програма функціонування контуру подачі вологого матеріалу наведена на рисунку 2.4.

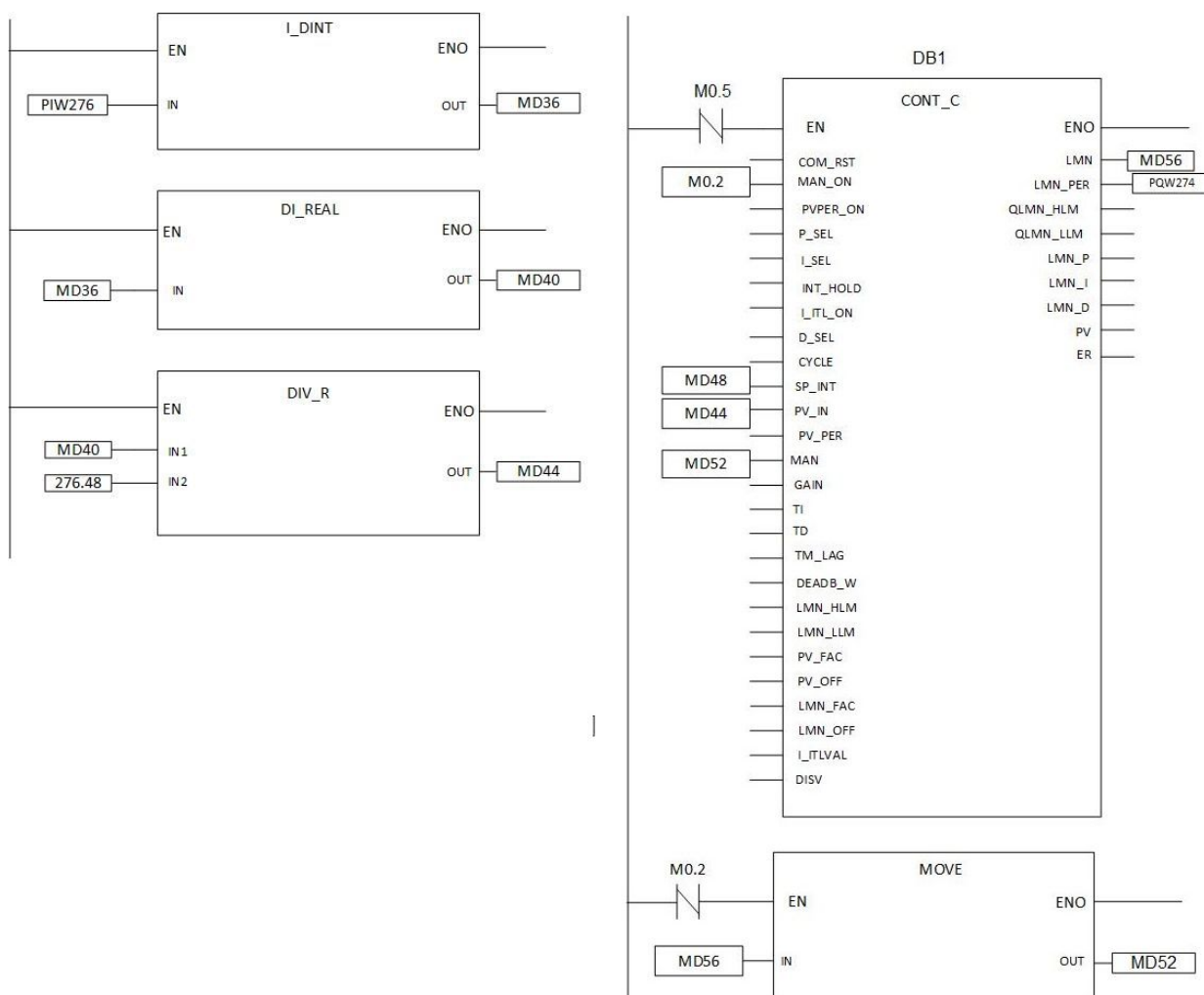
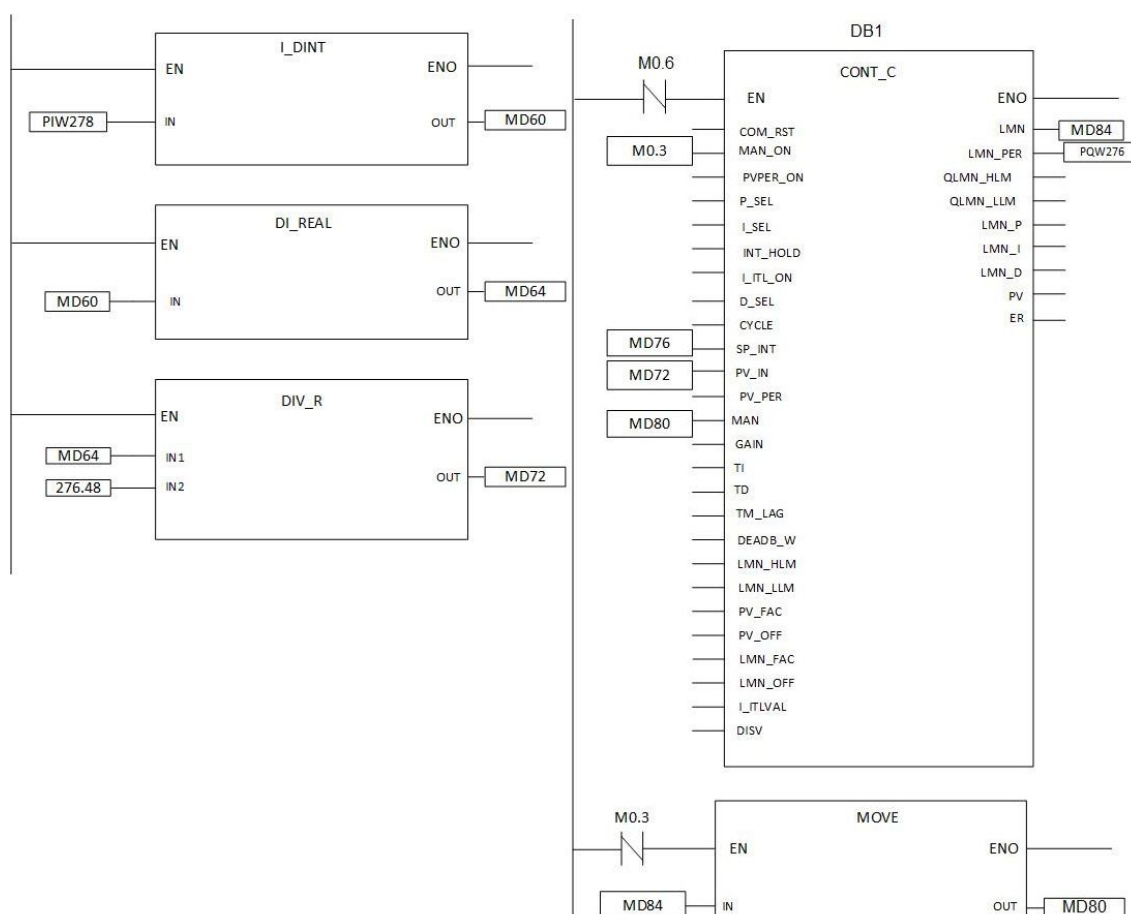


Рис.2.4. Програма функціонування контуру подачі вологого матеріалу  
Програма функціонування контуру регулювання температури в камері змішування

Для обробки вхідного аналогового сигналу, за допомогою блоку I\_DI переводимо значення регістру аналогового входу PIW278 з числового формату integer в double integer і зберігаємо в проміжній комірці MD60. Далі з допомогою блоку DI\_R переводимо значення, що в комірці MD60, в числовий формат Real для подальшої обробки і зберігаємо (перезаписуємо) в проміжній комірці MD64. Оскільки АЦП контролера S7-300 має свою розрядність, тому для нормування діапазону потрібно поділити на число 276,48. Результат запишемо в регістр MD72.



*Рис.2.5. Програма функціонування контуру регулювання температури в камері змішування*

Вихідна величина з регістру MD72 в форматі REAL подається на вхід аналогового регулятора PV\_IN. В регістрі MD76 записане завдання контуру регулювання SP\_INT. Ручне завдання записується на вхід MAN, через регістр MD80. Для переведення регулятора з автоматичного в ручний режим і навпаки

використовується дискретний сигнал M0.3. Щоб перевести регулятор з автоматичного режиму керування в ручний переписуємо значення з виходу регулятора (регістр MD84) на вхід завдання (регістр MD80). Вихід основного регулятора LMN подаємо на аналоговий вихід PQW276, який подається на регулюючий орган. Вихідна величина з регістру MD80 в форматі REAL подається у блок CMP для реалізації сигналізації температури в камері змішування. Програма функціонування контуру регулювання температури в камері змішування наведена на рисунку 2.5.

#### *Програми функціонування контуру регулювання розрідження*

Для обробки вхідного аналогового сигналу, за допомогою блоку I\_DI переводимо значення регістру аналогового входу PIW280 з числового формату integer в double integer і зберігаємо в проміжній комірці MD88. Далі з допомогою блоку DI\_R переводимо значення, що в комірці MD88, в числовий формат Real, для подальшої обробки і зберігаємо (перезаписуємо) в проміжній комірці MD92. Оскільки АЦП контролера S7-300 має свою розрядність, тому для нормування діапазону потрібно поділити на число 276,48. Результат запишемо в регістр MD96.

Вихідна величина з регістру MD96 в форматі REAL подається на вхід аналогового регулятора PV\_IN. В регістрі MD100 записане завдання контуру регулювання SP\_INT. Ручне завдання записується на вхід MAN, через регістр MD104. Для переведення регулятора з автоматичного в ручний режим і навпаки використовується дискретний сигнал M0.4. Щоб перевести регулятор з автоматичного режиму керування в ручний переписуємо значення з виходу регулятора (регістр MD108) на вхід завдання (регістр MD104). Вихід основного регулятора LMN подаємо на аналоговий вихід PQW278, який подається на пневматичний виконавчий механізм ip 4763. Вихідна величина з регістру MD108 в форматі REAL подається у блок CMP для реалізації сигналізації розрідження. Програма функціонування контуру регулювання розрідження наведена на рисунку 2.6.

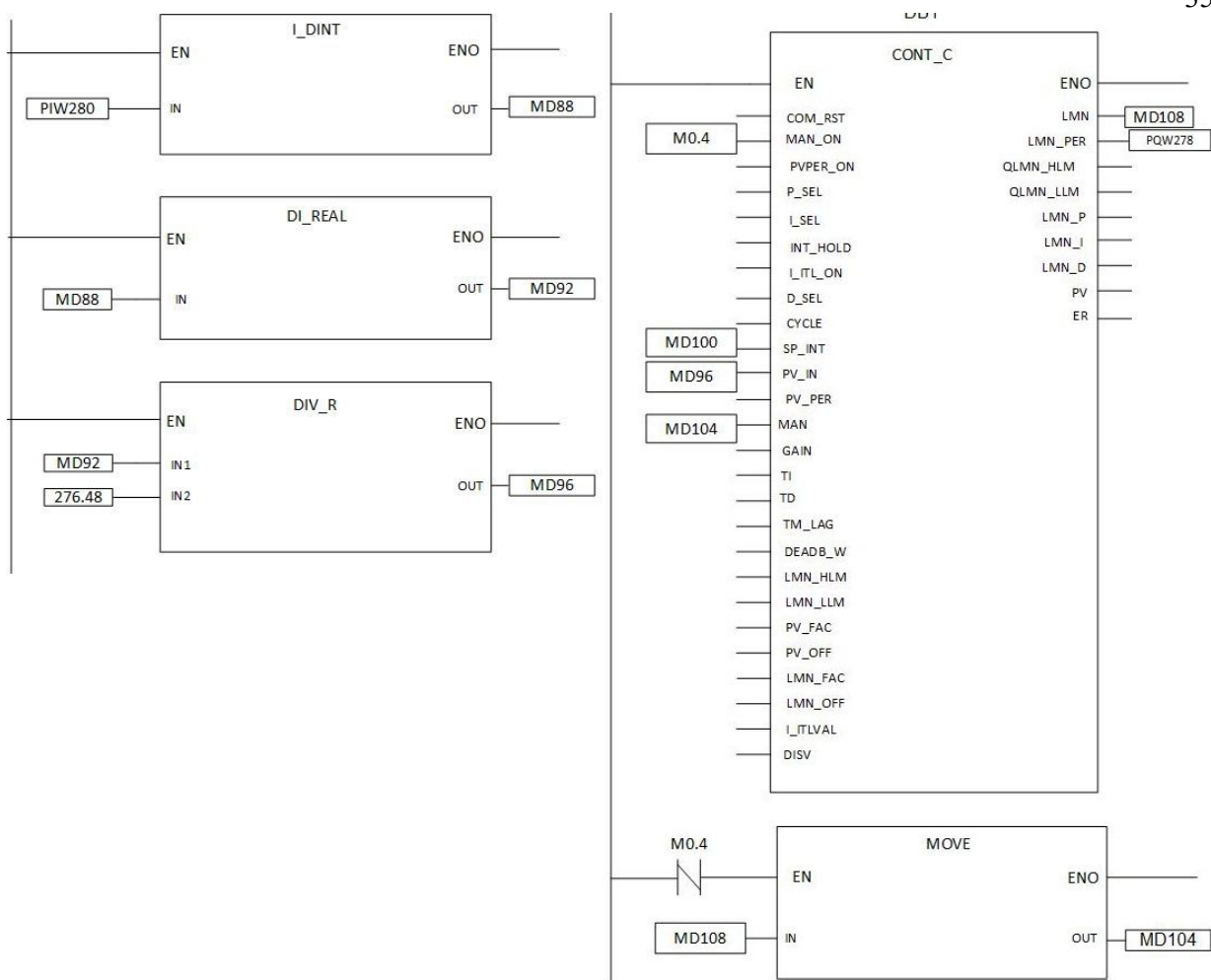


Рис.2.6. Програма функціонування контуру регулювання розрідження

### Програма контуру захисту і блокування

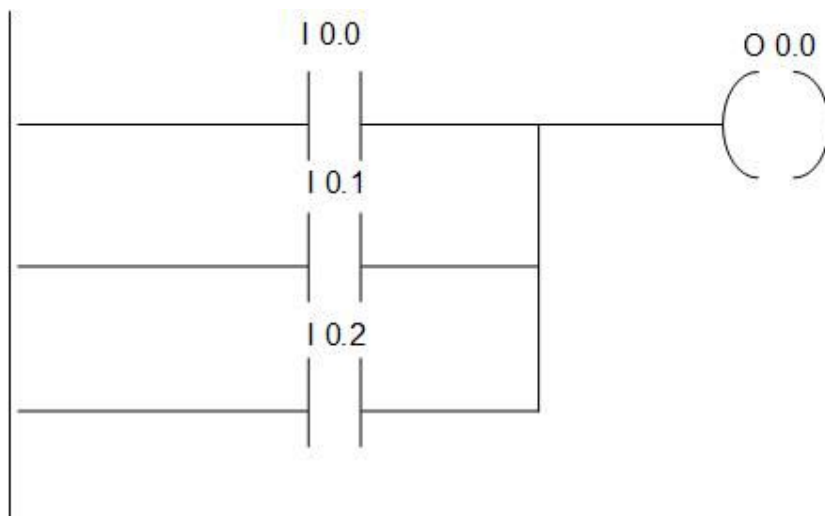


Рис.2.7. Програма контуру захисту і блокування подачі палива

Якщо хоч з одного дискретного входу (I 0.0 , I 0.1 , I 0.2 ,) подається сигнал на дискретний вихід (O 0.0), то спрацює відсічний клапан і перекриє подачу палива. Програма контуру захисту і блокування подачі палива наведена на рисунку 2.7.

## 2.5. Опис принципової електричної схеми зовнішніх з'єднань контролера

У даній бакалаврській роботі розглядається принципова електрична схема зовнішніх з'єднань контролера Simatic S7-300 з локальними технічними засобами автоматизації. Розглянуто підключення таких технічних засобів:

- Відсікач газу Maxon 8000
- Блок контролю полум'я БКП-2П
- Сигналізатор тиску Danfoss rt260a
- Термометр опору Sitrans TH100
- Розрідження в камері змішування Sitrans P DS III
- Вологомір M – Sens 2
- Тискомір Сафір 22ДД240
- Позиціонер Samson 3241-1
- Частотний перетворювач ALTIVAR ATV31HD11N4
- Пускач безконтактний ЕТІ СЕ07.ТОЕ

До аналогових входів, модуля розширення *SM 331AI8x12Bit (6ES7 331 7KF02 0AB0)* під'єднуються: 3 термоперетворювачі опору Sitrans TH100, вологомір M – Sens 2 і 2 витратоміри Сафір 22ДД240

До аналогових виходів модуля розширення *SM 332 AO4x12Bit (6ES7332-5HD01-0AB0)* під'єднуються:

3 частотних перетворювачі ALTIVAR ATV31HD11N4 і позиціонер регулятора подачі газу Samson 3241-1.

До дискретних входів і виходів процесора під'єднуються:

3 частотних перетворювача ALTIVAR ATV31HD11N4, 3 пускачі ЕТІ СЕ07.ТОЕ, відсікач подачі газу Maxon 8000, блок контролю полум'я БКП-2П, 2 сигналізатори аварійного тиску Danfoss rt260a.

Живлення контролера CPU 314C-2DP також здійснюється напругою 24 В постійного струму..

Вимірювання температури здійснюється термоперетворювачем опору Sitrans TH100. Схема під'єднання показана на рисунку рис.2.8.

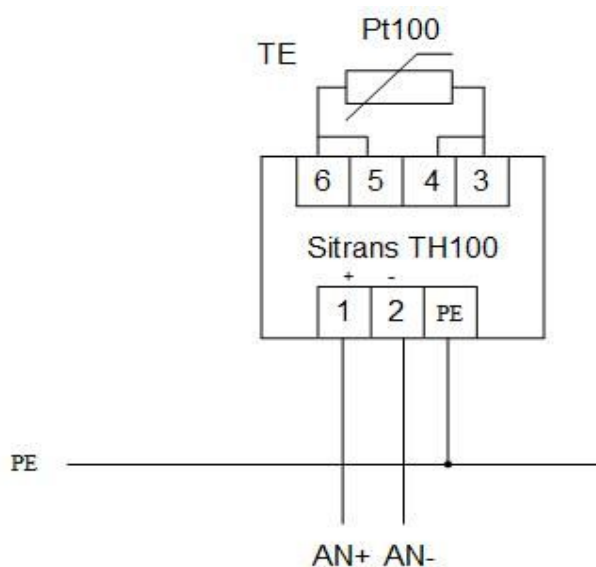


Рис.2.8. Схема під'єднання термоперетворювача опору Sitrans TH100

Вимірювання витрати здійснюємо за допомогою витратоміра Сафір 22ДД240. Схема під'єднання наведена на рисунку 2.9.

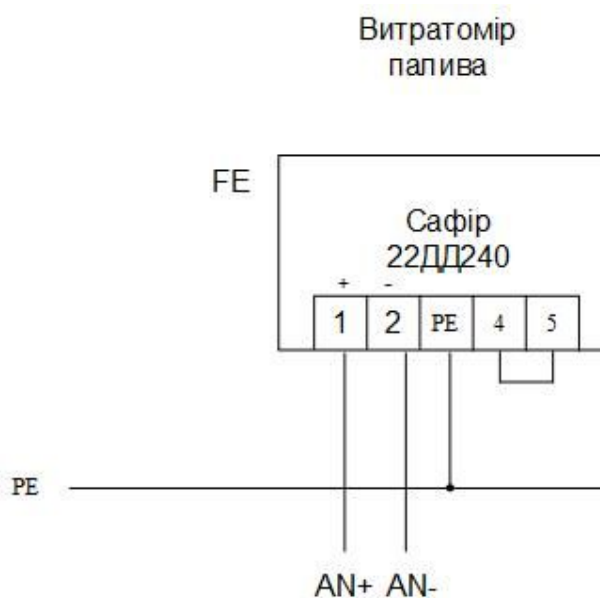


Рис.2.9. Схема під'єднання витратоміра Сафір 22ДД240

Для регулювання витрати застосовано частотний перетворювач ALTIVAR ATV31HD11N4, схема під'єднання наведена на рисунку 2.10.

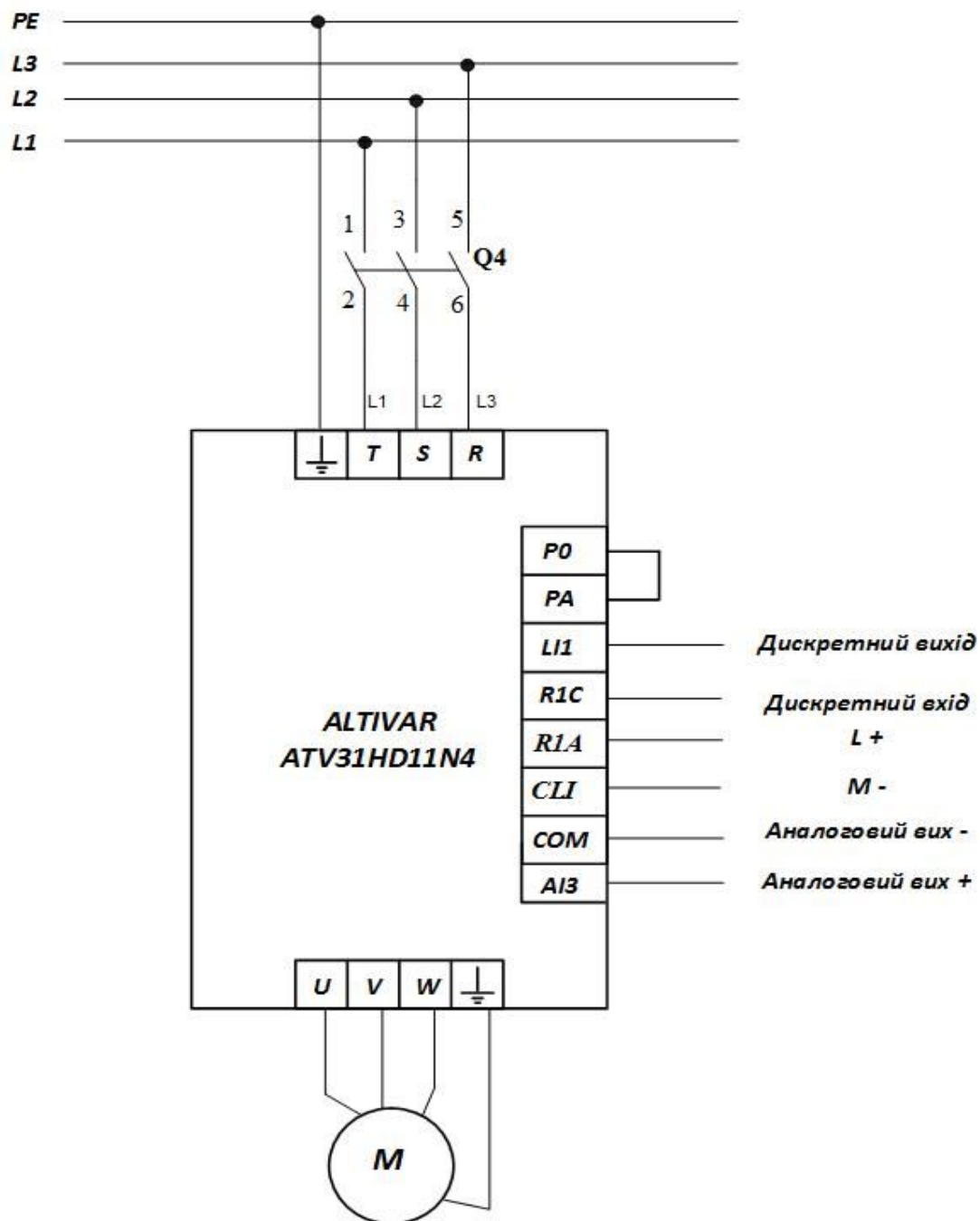


Рис.2.10. Схема під'єднання частотного перетворювача ALTIVAR ATV31HD11N4

Для вмикання трифазного двигуна дистанційно використовується пускач ETI CE07.TOE, схема під'єднання – на рисунку 2.11.

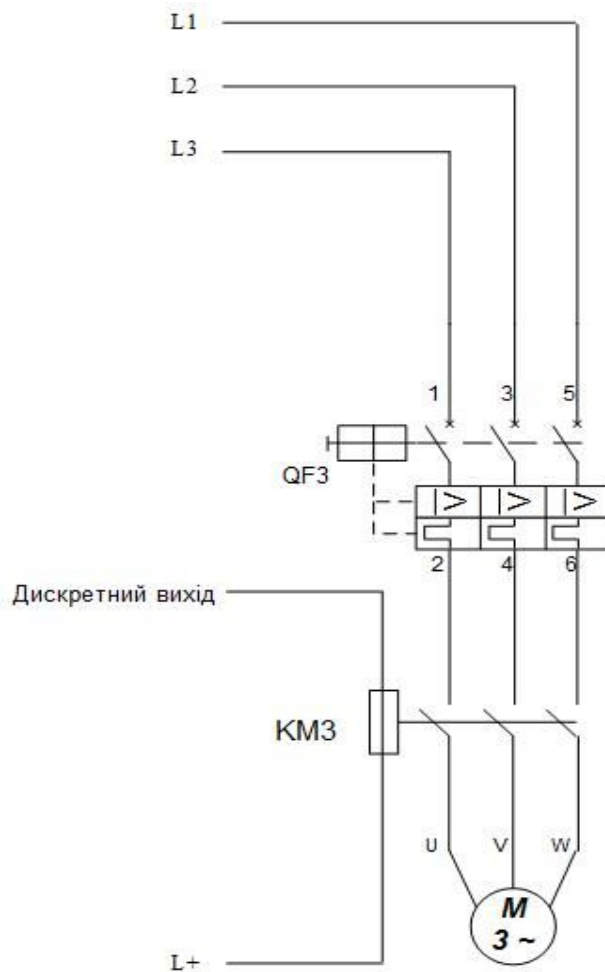


Рис.2.11. Схема під'єднання пускача ETI CE07.TOE

Відсікач подачі  
газу

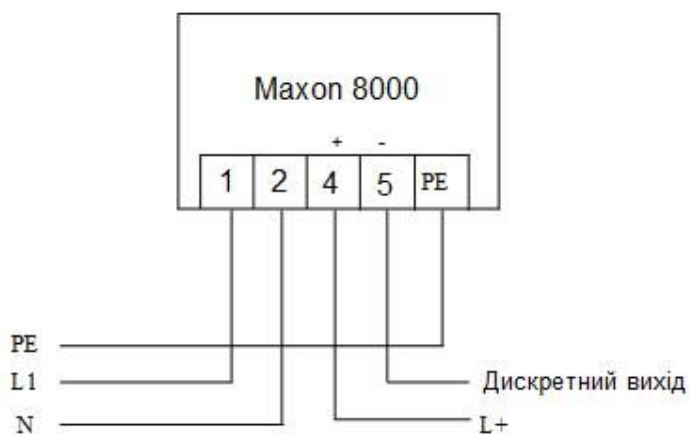


Рис.2.12 Схема під'єднання відсікача подачі газу Maxon 8000

Для забезпечення безпеки згоряння палива використовується відсікач

подачі газу Махон 8000, схема під'єднання показана на рисунку 2.12).

Для забезпечення безпеки згоряння палива використовується блоку контролю наявності полум'я БКП-2П (рисунок 2.13).

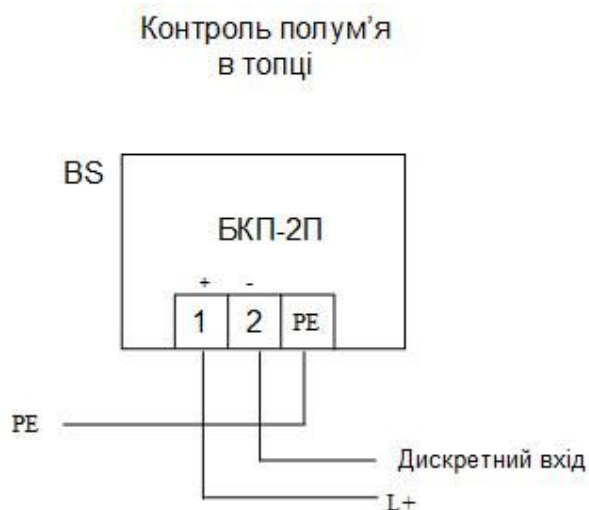


Рис.2.13. Схема під'єднання блоку контролю наявності полум'я БКП-2П

Для забезпечення безпеки згоряння палива використано сигналізатор аварійного тиску Danfoss rt260a, схема під'єднання якого зображена на рисунку 2.14.

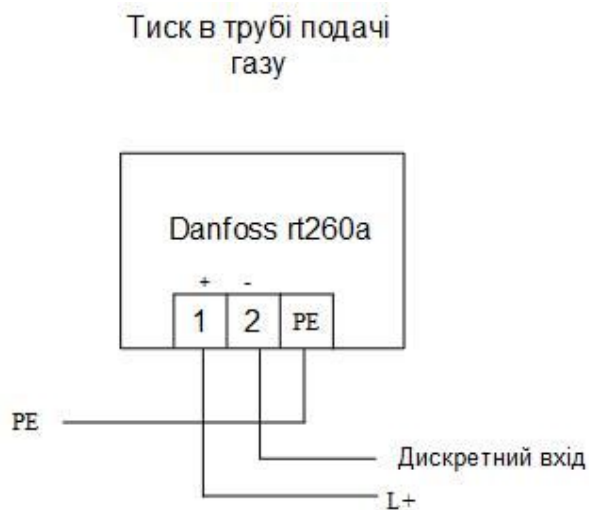


Рис.2.14. Схема під'єднання сигналізатора аварійного тиску Danfoss rt260a

Схема під'єднання позиціонера подачі палива Samson 3241-1 наведена на рисунку 2.15.

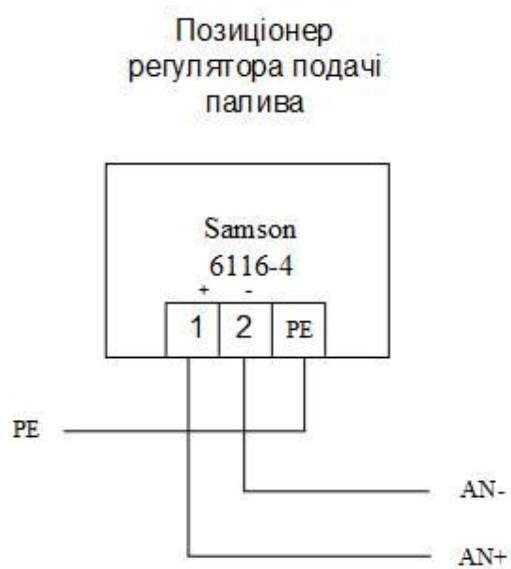


Рис.2.15. Схема під'єднання позиціонера подачі палива Samson 3241-1

### 3. РОЗРАХУНОК ТА МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

#### 3.1 Вхідні дані про сушарку об'єкт регулювання для подальших розрахунків

У даному розділі бакалаврської роботи здійснимо моделювання системи регулювання температури в камері згоряння палива.

Для протікання технологічного процесу сушіння крейди температура в камері згоряння повинна бути 850°C. Регулювання температури здійснюється за допомогою зміни положення регулюючого органу позиціонера Samson 6116-4. Вхідною величиною для сушарки є витрата газу, а вихідною – температура в камері згоряння.

Основним збуренням, яке діє на процес сушіння є зміна температури в камері змішування. Передавальна функція каналом збурення:

$$w(p) = \frac{0.99}{25s+1} + \frac{1}{20s+1}$$

Основними параметрами сушарки є:

- Регулююча дія- положення регулюючого органу (РО) на лінії подачі палива..

- Задане значення регульованої величини - 850 °C.

- Максимальна стрибкоподібна зміна регулюючої дії -10 % ходу РО.

Основними показниками якості перехідних процесів є:

1. Допустиме динамічне відхилення  $A_1 = 40$  °C.

2. Допустима похибка регулювання  $\Delta = 1,5$  °C.

3. Допустимий час регулювання  $t_p = 180$  с.

4. Ступінь коливальності  $m = 0,28$ .

Основою для дослідження вибраної САР є експериментальна крива розгону, отримана стрибкоподібною зміною відкриття РО на 10% на лінії подачі палива. Експериментальні дані для отримання кривої розгону наведено в таблиці 3.1.

**Експериментальні дані для отримання кривої розгону**

| Час, с | Температура, °C |
|--------|-----------------|
| 0      | 750.0           |
| 3      | 753.5           |
| 6      | 755.7           |
| 20     | 771.4           |
| 40     | 786.8           |
| 50     | 791.5           |
| 60     | 798.7           |
| 70     | 801.2           |
| 100    | 809.1           |
| 120    | 814.0           |
| 130    | 816.1           |
| 135    | 818.4           |
| 145    | 820.1           |
| 160    | 821.5           |
| 170    | 823.2           |
| 180    | 825.0           |

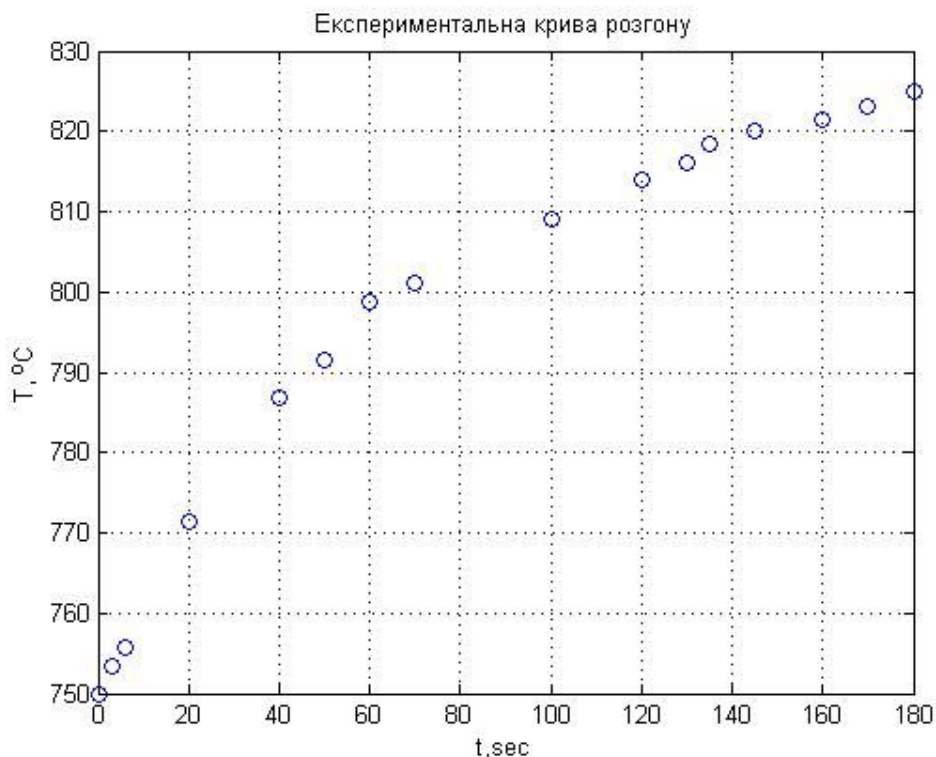
### 3.2. Знаходження динамічної моделі об'єкта регулювання каналом регулюючої дії

#### *Вибір структури моделі за каналом регулюючої дії та розрахунок їх параметрів*

Побудуємо криву розгону ОР по температурі для стрибкоподібної зміни регулюючої дії на 10%. Програма для побудови експериментальної кривої розгону ОР в середовищі Matlab:

```
t_ek=[0 3 6 20 40 50 60 70 100 120 130 135 145 160 170 180]; % sec
T_ek=[750.0 753.5 755.7 771.4 786.8 791.5 798.7 801.2 809.1 814.0 816.1 818.4
820.1 821.5 823.2 825.0];
plot(t_ek,T_ek, 'o');
grid;
```

Експериментальна крива розгону наведена на рисунку 3.1.



*Рис.3.1. Експериментальна крива розгону об'єкта регулювання*

Задача знаходження математичної моделі об'єкта за його кривою розгону розв'язується в три етапи:

а) за виглядом експериментальної кривої розгону і враховуючи відомі залежності між передавальними і перехідними функціями, вибирають структуру моделі об'єкта регулювання і відповідну до неї передавальну функцію в загальному вигляді;

б) за обраною методикою визначають числові значення параметрів моделі об'єкта для отримання конкретної передавальної функції моделі;

в) визначають розрахункові значення перехідної функції вибраної моделі і перевіряють точність апроксимації шляхом порівняння теоретичної кривої з експериментальною.

### ***Розрахунок математичної моделі об'єкта регулювання:***

За виглядом кривої розгону, обираємо передавальну функцію у вигляді послідовно з'єднаних декількох аперіодичних ланок:

$$W(p) = \frac{k}{(Tp+1)^n}$$

де  $T$  – стала часу;  $n$  – кількість аперіодичних ланок;  $k$  - коефіцієнт передачі

ОР.

### Знаходження параметрів передавальної функції об'єкта регулювання за допомогою функції `fminsearch`:

```
clear,clc
dx=10;
t_ek=[0 3 6 20 40 50 60 70 100 120 130 135 145 160 170 180]; % sec
T_ek=[750.0 753.5 755.7 771.4 786.8 791.5 798.7 801.2 809.1 814.0 816.1 818.4
820.1 821.5 823.2 825.0];
t=[0:3:180];
Tek=interp1(t_ek,T_ek,t);
k=9;
x0=[1 1];
x=fminsearch('summ',x0);
T1=x(1)
T2=x(2)
n1=k; d1=[T1 1]; n2=1; d2=[T2 1];
[N,D]=series(n1,d1,n2,d2);
Troz=step(N,D,t)*dx+750;
plot(t,Troz,'t_ek,T_ek','o');grid;
title('Крива розгону');
xlabel('t,sec');
ylabel('T, ^oC');
s=sum((Troz'-Tek).^2);
del=max(abs(Troz'-Tek)/180*100),
```

Підпрограма `summ.m`:

```
function s=summ(x);
dx=10;
k=9;
t_ek=[0 3 6 20 40 50 60 70 100 120 130 135 145 160 170 180]; % sec
T_ek=[750.0 753.5 755.7 771.4 786.8 791.5 798.7 801.2 809.1 814.0 816.1 818.4
820.1 821.5 823.2 825.0];
t=[0:3:180];
Tek=interp1(t_ek,T_ek,t);
T1=x(1); T2=x(2);
n1=k; d1=[T1 1]; n2=1; d2=[T2 1];
[N,D]=series(n1,d1,n2,d2);
Troz=step(N,D,t)*dx+750;
s=sum((Troz'-Tek).^2);
```

Результатом виконання програми є:

$T1 = 90.0562$        $T2 = 3.4947$        $s = 439.0301$        $del = 2.7371$ .

Експериментальна та апроксимована криві розгону, отримані при зміні положення РО на 10% наведена на рисунку 3.2.

Результати досліджень: максимальна зведена похибка  $\delta = 2.73$  %. Тому робимо висновок, що знайдена модель адекватна ОР.

Тоді передавальна функція має вигляд:

$$W(p) = \frac{9}{(90p+1)(3.5p+1)}$$

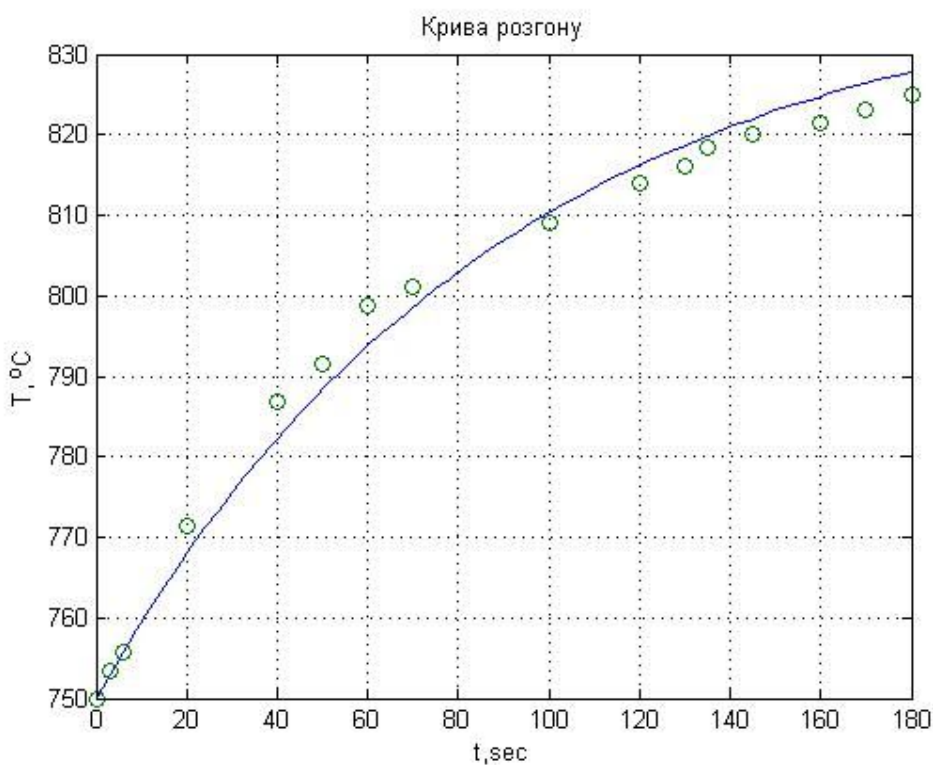


Рис.3.2. Експериментальна та апроксимована криві розгону, отримані при зміні положення РО на 10%

### **Визначення закону регулювання автоматичного регулятора**

В системах автоматизації технологічних процесів застосовують регулятори з такими законами регулювання:

- пропорційний закон (П) ;
- інтегральний закон (І);
- пропорційно-інтегральний (ПІ);
- пропорційно-диференціальний (ПД);
- пропорційно-інтегральний-диференціальний (ПІД).

П- і ПД регулятори застосовують для регулювання астатичних об'єктів.

ПІ- та ПІД регулятори застосовують для регулювання статичних об'єктів.

Застосування пропорційної складової в законі регулювання призводить до залишкового відхилення технологічного параметра від заданого значення після

закінченні перехідного процесу. Тому П-регулятор не доцільно застосовувати для регулювання в даній САР.

Інтегральної складова в регуляторі збільшує час регулювання тому І-регулятор також не доцільно застосовувати для регулювання в даній САР.

Диференційна складова в законі регулювання застосовують для регулювання інерційних об'єктів.

На основі наведеного аналізу робимо висновок, даної системи регулювання доцільно обрати ПІ-регулятор.

#### *Розрахунок оптимальних параметрів налаштування регулятора*

Пропорційно-інтегральний регулятор(ПІ-регулятор) є паралельним з'єднанням пропорційної та інтегральної ланок. Передавальна функція регулятора має вигляд:

$$W(p) = k_p + \frac{k_p}{T_{iz}} \cdot \frac{1}{p} = k_p \left( 1 + \frac{1}{T_{iz} p} \right),$$

де  $k_p$  – коефіцієнт передавання регулятора;  $T_{iz}$  - час ізодрому.

Для оптимального функціонування САР необхідно виконати розрахунок параметрів налаштування ПІ-регулятора. Розрахунок параметрів здійснюється в два етапи:

1) в площині параметрів налаштування регулятора знаходять границю

$$\left( k_p, \frac{k_p}{T_{iz}} \right)$$

області заданого запасу стійкості САР;

2) із знайденої границі області заданого запасу стійкості вибирають оптимальні значення параметрів налаштування регулятора. Оптимальними вважають такі параметри налаштування, які при заданому запасі стійкості САР забезпечують мінімальне значення вибраного критерію оптимальності. Для практичних розрахунків критерієм оптимальності зазвичай обирають інтегральну оцінку.

Значення параметрів налаштування ПІ-регулятора:

$$\frac{k_p}{T_{iz}} = - \frac{\omega(m^2+1)\sin\phi_{op}(m,\omega)}{A_{op}(m,\omega)};$$

$$k_p = \frac{-\cos\phi_{op}(m,\omega) - m\sin\phi_{op}(m,\omega)}{A_{op}(m,\omega)}.$$

Змінюючи частоту в діапазоні  $\omega \leq \omega \leq \omega^{**}$  ( $\omega, \omega^{**}$  – частоти, що відповідають параметрам налаштування відповідно складових І- та П-регуляторів) за рівняннями наведеної системи розраховують значення параметрів налаштування ПІ-регулятора. Ці параметри налаштування відповідають границі заданого запасу стійкості.

Для заданого  $m$  в площині параметрів  $k_p, \frac{k_p}{T_{iz}}$  треба побудувати границю області запасу стійкості, а вже з неї – визначити оптимальні значення параметрів налаштування  $(k_p)_{opt}, (\frac{k_p}{T_{iz}})_{opt}$ .

За розширеними частотними характеристиками об'єкта знаходимо частоту  $\omega^{**}$ , при якій розширена фазочастотна характеристика досліджуваного об'єкта (РФЧХ) регулювання досягає значення  $-\pi$

Програма для знаходження границі області заданого запасу стійкості САР з ПІ-регулятором:

```
clear; clc
w=[0:0.001:2];
T1=90.0562; T2=3.4947; k=9;
m=0.29;
p=-m*w+i*w;
Wop=k./((T1*p+1).(T2*p+1));
fi=phase(Wop);
j=1:length(w);
a(j)=-pi;
plot(w,fi,w,a); grid;
xlabel('w,rad/sec');
ylabel('fi,rad');
```

Результатом виконання програми є розширена фазочастотна характеристика об'єкта регулювання при  $w^{**} = 0.51$  рад/хв. (рисунок 3.3).

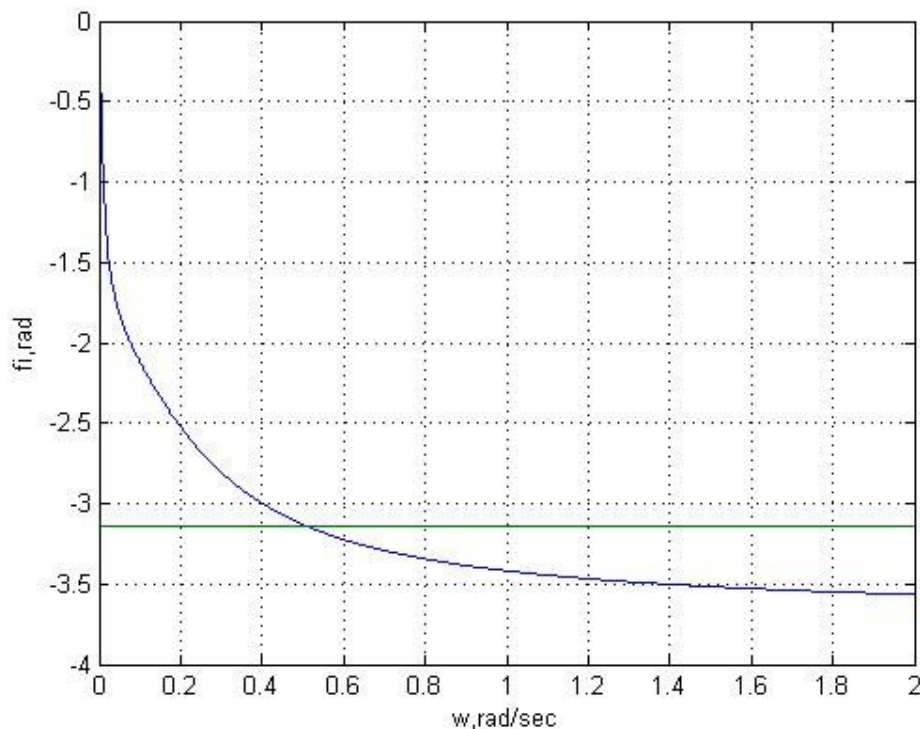


Рис.3.3.Розширена фазочастотна характеристика об'єкта регулювання, при  $w^{**} = 0.51 \text{ рад/хв}$

За аналогією визначаємо  $\omega^*$  для інтегральної складової регулятора. Розширена

фазочастотна характеристика ОР буде досягати значення  $\frac{-\pi}{2} + \arctg m$ .

Програма наведена нижче:

```
clear;
w=[0:0.001:0.05];
T1=90.0562; T2=3.4947; k=9;
m=0.29;
p=-m*w+i*w;
Wop=k./((T1*p+1).*(T2*p+1));
fi=phase(Wop);
j=1:length(w);
a(j)=-pi/2+atan(m);
plot(w,fi,w,a); grid;
xlabel('w,rad/sec');
ylabel('fi,rad');
```

Результатом виконання програми є розширена фазочастотна характеристика об'єкта регулювання при  $w = 0.0171 \text{ рад/хв}$ . (рисунок 3.4).

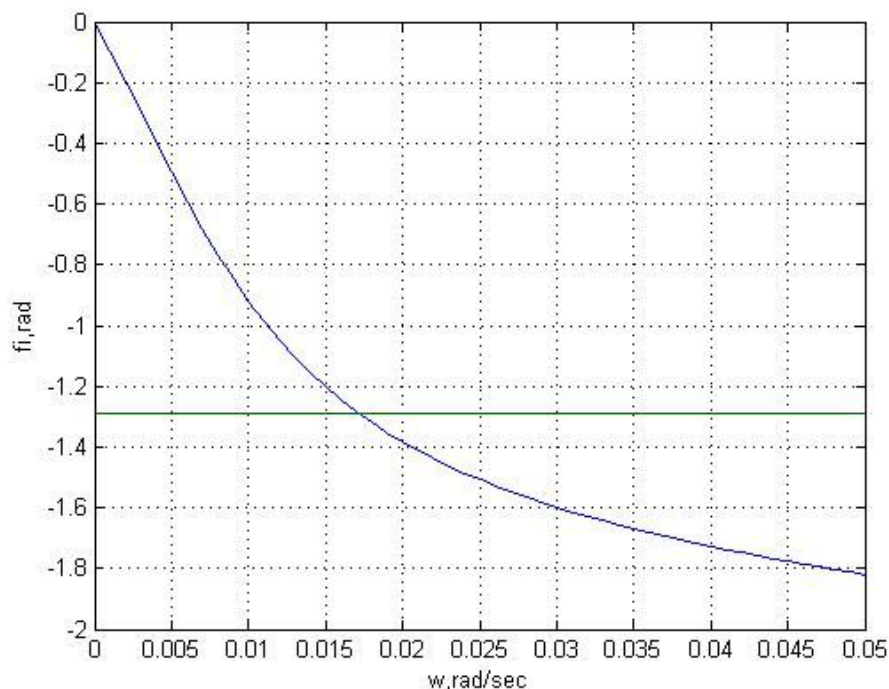


Рис.3.4. Розширена фазочастотна характеристика об'єкта регулювання,  $w = 0.0171$  рад/хв.

За значення частот з рисунків 3.3 і 3.4 знаходимо границю області заданого запасу стійкості САР з ПІ регулятором за програмою:

```
clear,clc
w=[0.0171:0.001:0.51];
T1=90.0562; T2=3.4947; k=9;
m=0.29;
p=-m*w+i*w;
Wop=k./((T1*p+1).*(T2*p+1));
fi=phase(Wop);
j=1:length(w);
a(j)=-pi;
b(j)=-pi/2+atan(m);
figure(1)
plot(w,fi,w,a,w,b); grid;
Aop=abs(Wop);
kp_Tiz=-((m^2+1).*sin(fi).*w)./Aop;
kp=(-cos(fi)-m*sin(fi))./Aop;
figure(2)
plot(kp,kp_Tiz,5.0113, 0.4385,'x'),grid
xlabel('kp');
ylabel('kp/Tiz');
[kp_TizMAX s]=max(kp_Tiz)
kpM=kp(s)
w0=w(s)
for i=1:length(w)
    t=[0:1:180];
    n1=k; d1=[T1 1];
    n2=1; d2=[T2 1];
    W1=tf(n1,d1);
```

```

W2=tf(n2,d2);
Wop=W1*W2;
War1=tf(kp(i),[1]);
War2=tf(kp_Tiz(i),[1 0]);
War=War1+War2;
Wcap=Wop/(1+Wop*War);
y=step(Wcap,t)*10;
y=abs(y);
q=trapz(t,y);
S(i)=q;
end
[Jmin x]=min(S)
kp_Tiopt=kp_Tiz(x)
kpopt=kp(x)
Tizodrom=kpopt/kp_Tiopt
Umov=kpM/Tizodrom
w0=w(x);
figure(3);
plot(kp, kp_Tiz,kpopt,kp_Tiopt,'*',kpM,kp_TizMAX, 'o');
grid; xlabel('kp'); ylabel('kp/Ti');
figure(4);plot(kp,S,kpopt,Jmin,'*'),grid;
xlabel('kp'); ylabel('J');

```

Результатом виконання програми є знаходження параметрів:

$kp\_TizMAX = 0.4385$   $s = 326$   $kpM = 5.0113$   $w0 = 0.3421$   $Jmin = 22.8053$

$x = 326$   $kp\_Tiopt = 0.4385$   $kpopt = 5.0113$   $Tizodrom = 11.4285$   $Umov = 0.4385$ .

Результати наведено на рисунках 3.5 і 3.6.

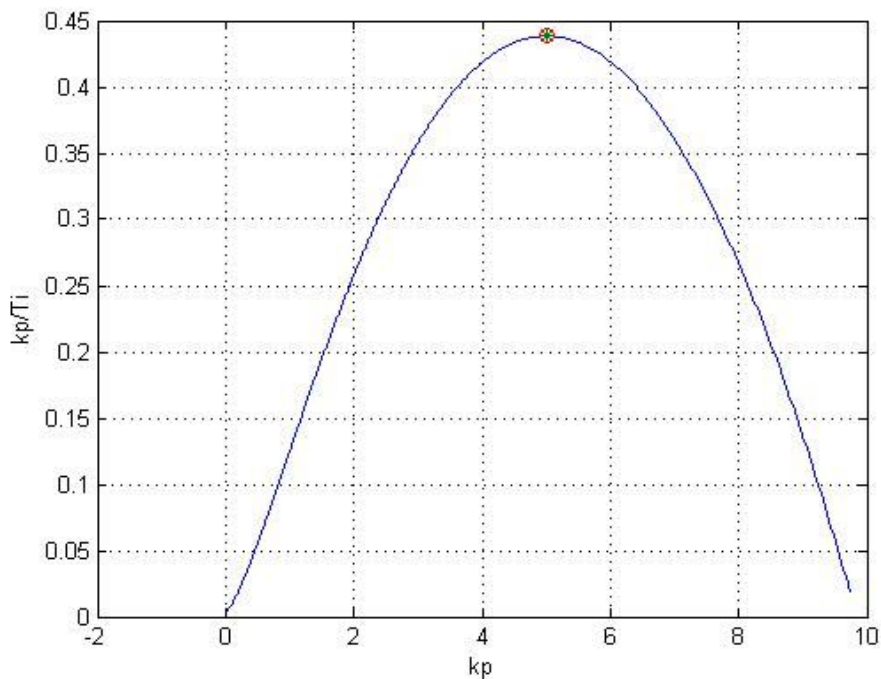


Рис.3.5. Границя області заданого запasu стійкості САР із ПІ-регулятором

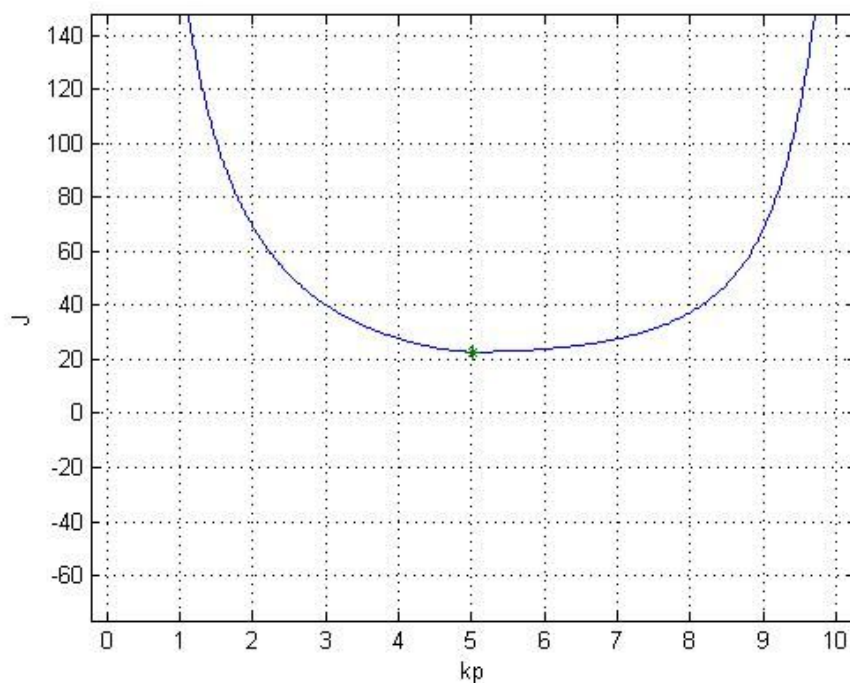


Рис.3.6. Графік залежності другої інтегральної оцінки перехідного процесу за регулюючою дією від передавального коефіцієнта регулятора  
Тоді передавальна функція регулятора має вигляд:

$$W_{AP}(p) = 5 + \frac{0.4385}{p}$$

### Побудова перехідного процесу розрахованої САР

Складаємо модель даного контуру регулювання у середовищі Simulink із отриманими параметрами ПІ-регулятора (рисунк 3.7) .

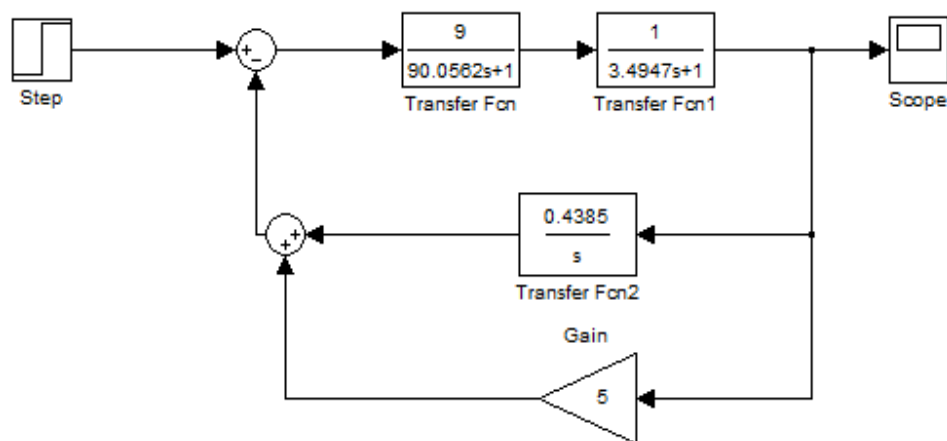


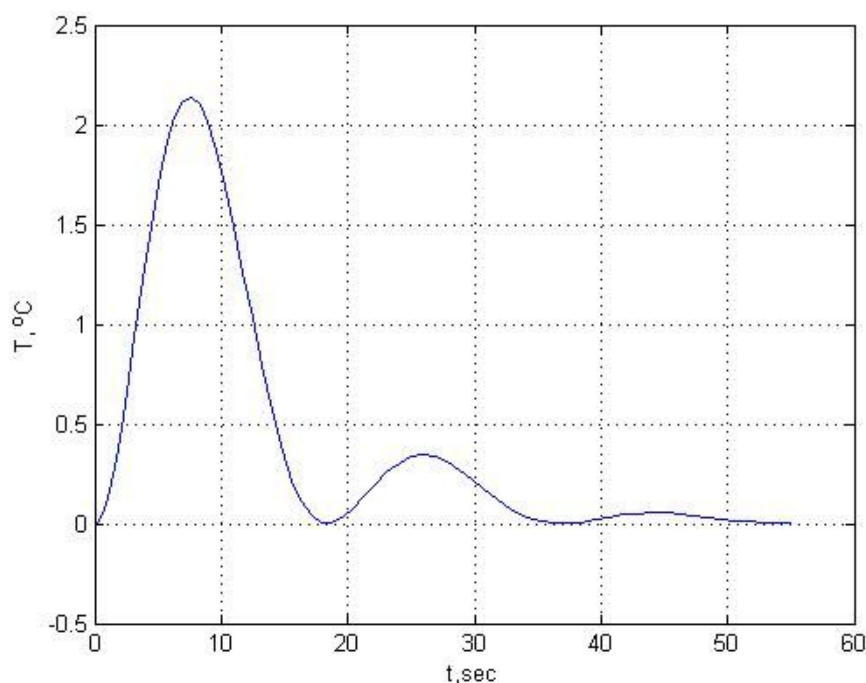
Рис. 3.7. Структурна схема досліджуваної САР в Simulink середовища  
Matlab

Графік кривої розгону САР температури в камері згоряння з ПІ-

регулятором при зміні положення РО на 10% наведено на рисунку 3.8.

Результати, отримані з графіка 3.8 показують, що отриманий перехідний процес із оптимальними параметрами налаштування ПІ-регулятора задовольняють необхідні умови якості:

- максимальне динамічне відхилення становить  $2,05\text{ }^{\circ}\text{C}$  (задане  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ );
- час регулювання -  $t_p=7\text{c}$  (задане –  $180\text{ c}$ );

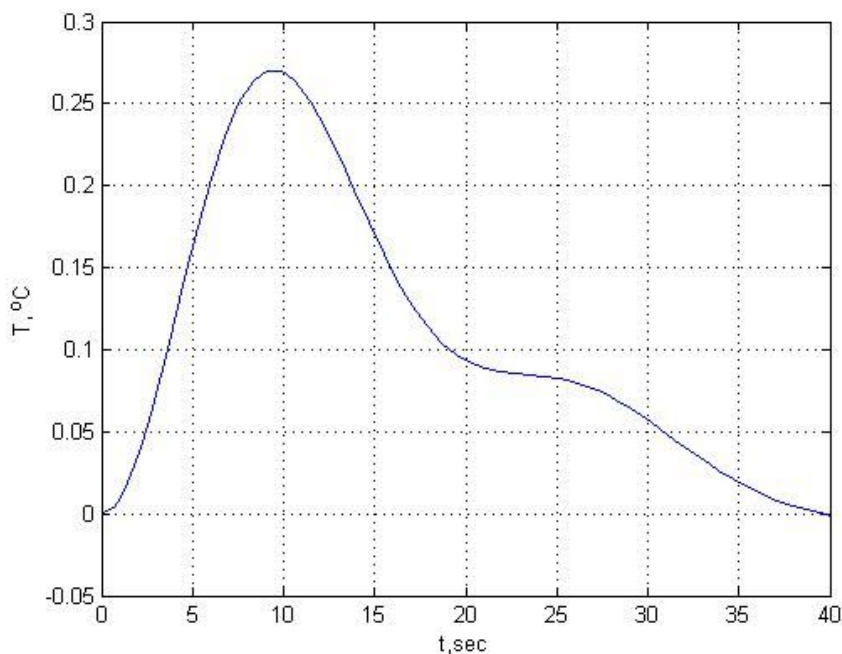


*Рис.3.8. Графік кривої розгону САР температури в камері згоряння з ПІ регулятором при зміні положення РО на 10%*

Перехідний процес САР із ПІ регулятором при зміні температури вторинного повітря на  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  наведено на рисунку 3.9.

Із графіка перехідного процесу робимо висновок, що при застосуванні ПІ-регулятора з оптимальними параметрами налаштування при зміні температури вторинного повітря на  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  виконуються вимоги до якості перехідного процесу:

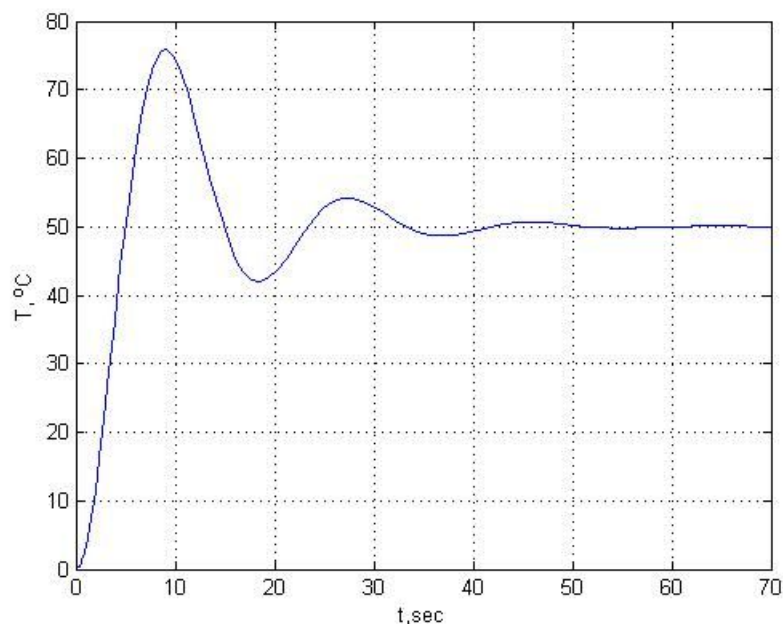
- максимальне динамічне відхилення  $A_1 = 0.26\text{ }^{\circ}\text{C}$  (задане -  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ );
- час регулювання –  $8\text{ c}$  (задане –  $180\text{ c}$ ).



*Рис.3.9. Перехідний процес САР із ПІ регулятором при зміні температури вторинного повітря на 10 °С*

Перехідний процес САР із ПІ регулятором при зміні завдання на 50 °С зображено на рисунку 3.10.

Показники якості перехідного процесу: максимальне динамічне відхилення  $A_1 = 25$  °С, час регулювання  $t_p = 32$  с.



*Рис.3.10. Перехідний процес САР із ПІ регулятором при зміні завдання на 50 °С*

### **3.3. Опис схеми автоматизації**

Опис схем автоматизації виконано по кожному контуру регулювання.

#### **Контур регулювання температури в камері згоряння**

Температура в камері згоряння вимірюється термоперетворювачем опору з номінальною статичною характеристикою (НСХ) Pt100. Сингал з перетворювача поступає на нормуючий перетворювач Sitrans TH100 з вихідним сигналом 4...20 м. Цей сигнал подається на аналоговий вхід контролера Siemens S7-300. Вихідний сигнал з контролера поступає на позиціонер регулятора подачі палива (природного газу) Samson 3241-1.

#### **Контур регулювання співвідношення витрат «паливо- повітря»**

Витрата палива і повітря вимірюється витратомірами Сафір 22ДД240. Вихідні аналогові сигнали з них поступають на аналогові входи контролера. Контролер подає аналоговий сигнал на частотний перетворювач, який змінює продуктивність двигуна вентилятора на лінії подачі повітря.

#### **Контур регулювання подачі вологої крейди**

Регулювання здійснюється за допомогою живильника, продуктивність приводу якого змінюється за допомогою частотного перетворювача.

#### **Контур регулювання розрідження в камері згоряння**

Розрідження в камері згоряння є одним з важливим параметром, що забезпечує оптимальне протікання процесу спалювання палива. Вимірювання розрідження здійснюється перетворювачем Sitrans P DS 3 з аналоговим вихідним сигналом. Регулююча дія – зміна продуктивності вентилятора димових газів, встановленого на вихідному трубопроводі.

#### **Контур відсікання палива**

Якщо в камері згоряння відсутнє полум'я або тиск в трубопроводах подачі газу і повітря вийшов за допустимі межі, то система повинна автоматично вимкнути подачу газу в камеру згоряння за допомогою відсікача Махон 8000 з дискретним входом. Час роботи відсікаючого клапана- 0.6с.. Перевірка наявності полум'я забезпечується блоком контролю полум'я БКП-2П

з дискретним виходом.

### Індикація температури

Вимірювання температури в технологічному процесі забезпечується термоперетворювачем опору з НСХ Pt100 і перетворювачам Sitrans TH100 з аналоговим вихідним сигналом.

### 3.4. Специфікація на засоби автоматизації

Специфікація на засоби автоматизації наведена в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

#### Специфікація на засоби автоматизації

| № п/п | № позиції   | Назва параметра, його номінальне значення                                                                      | Місце встановлення | Назва засобу та коротка техн. характеристика                                                                                                                                                                          | Тип                   | Кількість |
|-------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------|
| 1     | 1-1,7-1,7-3 | Температура в камері згоряння (750 °С)<br>Температура в барабані (75°С)<br>Температура у викидній шахті (40°С) | По місцю           | Термоперетворювачі опору платинові з НСХ Pt100 з діапазоном вимірювання: -50-400°С. Межа допустимого відхилення від НСХ, $\Delta = \pm (0,15 + 0,002t)$ . Клас допуску А.                                             | Pt100                 | 3         |
| 2     | 1-2,7-2,7-4 | Регулювання швидкості обертання двигунів вентиляторів і дозатора                                               | по місцю           | Термоперетворювач опору з номінальною статичною характеристикою Pt100. Має вбудований перетворювач в уніфікований струмовий сигнал 4-20 мА. Клас точності 0,25%<br>Діапазон вимірювання 0-200°С.                      | Siemens Sitrans TH100 | 3         |
| 3     | 2-5,3-2,4-2 |                                                                                                                | по місцю           | Частотний перетворювач:<br>Потужність – 11кВт;<br>Вихідна напруга – 0-100%;<br>Вихідна частота – 0-200 Гц;<br>Аналогові входи – 2 (4-20 мА);<br>Аналогові виходи – 1 (4-20 мА);<br>Імпульсні входи – 2 (0,1-110 кГц); | ALTIVA R ATV31H D11N4 | 3         |
| 4     |             | Розрідження в камері згоряння (50Па)                                                                           | по місцю           | Дифманометр-рівнемір:<br>Діапазон вимірювання 1...10 мбар; Монтажний фланець – 3 дюйма, номінальний тиск – 40 бар; Вихідний сигнал – 4-20 мА;<br>Похибка вимірювання витрати – 0,1 %.                                 | Sitrans DS III        | 1         |
| 5     | 1-4         | Регулювання положення регулюючого органу                                                                       | по місцю           | Електропневматичний перетворювач: Вхідні сигнали: 4                                                                                                                                                                   | Samson 6116-4         | 1         |

|    |             |                                           |          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                       |   |
|----|-------------|-------------------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---|
|    |             | подачі газу в камеру згоряння             |          | ... 20мА. Вихідні сигнали: 20 ... 100кПа, 40 ... 200кПа.<br>Лінійність: $\pm 0,2\%$ шкали.<br>Гістерезис: $\pm 0,3\%$ шкали.<br>Відтворюваність: $\pm 0,1\%$ шкали.<br>Тиск підведеного повітря: при вих. сигналі 20 ... 100 кПа: 140 кПа; Параметри навколишнього середовища: температура: -30 ... 70 ° С. |                                       |   |
| 6  | 1-3         | Регулювання подачі газу в камеру згоряння | по місцю | Пневматичний мембранний виконавчий механізм:<br>Вхідний сигнал: 20 ... 100 кПа.                                                                                                                                                                                                                             | Samson 240                            | 1 |
| 7  | 2-1,2-2     | Витрата повітря і газу                    | По місцю | Перетворювач різниці тисків.<br>Верхня межа вимірювання 6,3 кПа, Межа допустимого робочого тиску 4МПа. Похибка - $\pm 0,5\%$ .<br>Вихідний сигнал 4-20 мА                                                                                                                                                   | Сафір 22дд - 2410                     | 2 |
| 8  | 6-1,6-2,6-3 |                                           | На щиті  | Пускач безконтактний реверсивний                                                                                                                                                                                                                                                                            | ETI CE07.TOE                          | 3 |
| 9  | 3-1         | Вологість висушеного матеріалу (3%)       | По місцю | Діапазон вимірювання вологості 0 ... 65% (залежно від матеріалу)<br>Похибка вимірювання 0,1% .<br>Незалежний від матеріального потоку. Температурний режим: до 120 ° С Реєстрація поверхневої вологості і капілярної вологості .                                                                            | M – Sens 2                            | 1 |
| 10 | 5-1,5-2     |                                           | По місцю | Температура робочого середовища: -50 ° С до 150 ° С. 3 загасанням котушки макс 400 ° С<br>Температура середовища : від - 50 ° С до 70 ° С                                                                                                                                                                   | Danfoss rt260a                        | 2 |
| 11 | 5-3         |                                           | По місцю | Діапазон роботи: -40-500°С.                                                                                                                                                                                                                                                                                 | БКП-2П                                | 1 |
| 12 | 5-4         |                                           | По місцю | Діапазон температур навколишнього середовища від- 50 °С, до 60 °С).Температура газу від-50 °С), до100 °С.<br>Напруга живлення 24В.<br>Максимальний тиск 50кПа.                                                                                                                                              | Maxon 8000                            | 1 |
| 13 |             |                                           | По місцю | 16 аналогових входів                                                                                                                                                                                                                                                                                        | SM 331AI8x12Bit (6ES7 331 7KF02 0AB0) | 1 |

|    |  |  |             |                                                                 |                                                         |         |
|----|--|--|-------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------|
| 14 |  |  | По<br>місцю | 4 аналогових виходи                                             | SM 332<br>AO4x12<br>Bit<br>(6ES7332<br>-5HD01-<br>0AB0) | 58<br>1 |
| 15 |  |  | По<br>місцю | Вихідна напруга 24В. Вихідний<br>струм 5А. Вхідна напруга 220В. | PS 307<br>5A                                            | 1       |

## **4. ОХОРОНА ПРАЦІ**

### **4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці**

У процесі виробництва будівельної крейди, зокрема під час її сушіння, працівники можуть зазнавати впливу шкідливих виробничих факторів, пов'язаних як з фізичними, так і з хімічними чинниками. Тому питання забезпечення належного рівня виробничої санітарії та гігієни праці є особливо актуальними.

Одним з основних шкідливих факторів у приміщеннях сушарки є висока температура повітря, що утворюється внаслідок теплового випромінювання від апаратів сушіння. Температурні показники в робочій зоні повинні відповідати гігієнічним нормам, встановленим ДСН 3.3.6.042-99 (Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень). У разі перевищення допустимих значень обов'язковим є впровадження вентиляційних систем або теплової ізоляції обладнання.

Іншим важливим фактором є запиленість повітря робочої зони внаслідок механічного подрібнення, переміщення та сушіння крейди. Пил крейди може спричинити захворювання органів дихання при тривалому впливі. Для зменшення концентрації пилу необхідно використовувати витяжну вентиляцію, місцеві відсмоктувачі, а також передбачити застосування засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) – респіраторів, захисних окулярів тощо.

Також в зоні сушарки можливе перевищення рівнів шуму, зумовлене роботою вентиляторів, двигунів і дозувального обладнання. Гранично допустимі рівні шуму визначені нормативом ДСТУ ISO 1999:2016. У разі перевищення порогових значень передбачається використання шумоглушників, звукоізоляційних кожухів та видача працівникам протишумових навушників.

Не менш важливою є організація освітлення на робочих місцях, яка повинна відповідати вимогам ДБН В.2.5-28:2018 та СанПіН 2.2.4.548-96. Нормальне освітлення знижує втомлюваність працівників і підвищує рівень безпеки виконання технологічних операцій.

Важливим показником є також стан побутових приміщень, систем водопостачання та медичного обслуговування персоналу. Умови праці мають відповідати чинному законодавству в сфері охорони праці — зокрема, Закону України «Про охорону праці», а також Кодексу законів про працю України.

З урахуванням впровадження автоматизованої системи керування процесом сушіння значно знижується потреба у постійній фізичній присутності працівника біля обладнання. Це дозволяє мінімізувати вплив шкідливих факторів, зменшити ризики професійних захворювань та підвищити загальний рівень безпеки праці.

Таким чином, належна організація виробничої санітарії та гігієни праці є ключовим фактором ефективного функціонування підприємства, а автоматизація виробництва — дієвим засобом покращення умов праці та охорони здоров'я працівників.

#### **4.2. Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці**

Для забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці в процесі експлуатації обладнання сушарки будівельної крейди необхідно впровадити низку організаційно-технічних заходів, які відповідають вимогам чинного законодавства України у сфері охорони праці.

Організаційні заходи передбачають:

- Проведення інструктажів з охорони праці: вступного, первинного на робочому місці, періодичного, а також позапланового при зміні обладнання чи технології. Інструктажі мають бути задокументовані у відповідних журналах згідно з вимогами НПАОП 0.00-4.12-05.
- Підготовка та підвищення кваліфікації персоналу щодо правил експлуатації автоматизованих систем керування та технологічного обладнання.

- Організація режиму праці і відпочинку, відповідно до КЗпП України, із урахуванням особливостей роботи в умовах підвищеної температури, запиленості або шуму.

- Регулярне проведення медичних оглядів працівників, зайнятих у шкідливих або небезпечних умовах праці, згідно з наказом МОЗ № 246.

- Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) — зокрема респіраторами, захисними окулярами, берушами, спецодягом, рукавицями тощо.

Технічні заходи охоплюють:

- Автоматизацію процесу сушіння, що дозволяє мінімізувати прямий контакт працівників із джерелами високої температури, пилу та шуму. Контролери Siemens забезпечують дистанційне керування та моніторинг параметрів процесу, знижуючи потребу в постійній присутності оператора.

- Застосування систем вентиляції (загальнообмінної та місцевої витяжної), що дозволяє ефективно видаляти запилене повітря та знижувати концентрацію шкідливих речовин у робочій зоні.

- Ізоляція джерел шуму та вібрацій (вентилятори, двигуни, редуктори) за допомогою звукоізолювальних кожухів, віброопор та акустичних екранів.

- Застосування засобів контролю стану повітря, температури, тиску та концентрації пилу з виведенням сигналів тривоги при відхиленні від допустимих норм.

- Монтаж аварійного відключення обладнання з пультів керування та встановлення засобів пожежогасіння (вогнегасники, автоматичні спринклерні системи) згідно з правилами пожежної безпеки (НАПБ А.01.001-2004).

- Нанесення знаків безпеки та маркування на елементи електрообладнання, трубопроводи подачі газу, місця підвищеної небезпеки відповідно до ДСТУ ISO 7010:2006.

Таким чином, поєднання організаційних та технічних заходів сприяє не лише покращенню умов праці та зменшенню ризиків виробничого травматизму, але й підвищенню ефективності виробництва завдяки впровадженню сучасних автоматизованих технологій.

#### **4.3. Пожежна безпека**

Пожежна безпека на підприємстві, де здійснюється процес сушіння будівельної крейди, є одним із пріоритетних напрямів охорони праці. Процес сушіння супроводжується підвищеною температурою, можливим утворенням запиленого повітряного середовища, використанням газу як джерела енергії, що значно підвищує ризик виникнення пожежонебезпечних ситуацій.

Відповідно до вимог Кодексу цивільного захисту України, НАПБ А.01.001-2004 "Правила пожежної безпеки в Україні", а також галузевих нормативів, на підприємстві мають бути впроваджені комплексні заходи з пожежної профілактики та протипожежного захисту.

Основні джерела підвищеної пожежної небезпеки у виробничому процесі:

- камера згоряння сушарки, де відбувається подача та згоряння природного газу;
- електродвигуни вентиляторів та іншого обладнання з можливістю перегріву;
- запилене повітря в сушильному барабані, яке за певних умов може утворити вибухонебезпечну суміш;
- електрообладнання, яке в разі несправності може стати джерелом займання.

Для забезпечення належного рівня пожежної безпеки передбачаються такі заходи:

1. Проектування та експлуатація обладнання відповідно до пожежних норм – зокрема, усі елементи системи мають бути заземлені, електричні

з'єднання виконано у вогнестійкому кабелі з дотриманням категорій пожежонебезпеки.

2. Використання автоматизованої системи керування (ПЛК Siemens) дозволяє виключити людський фактор та оперативно зупинити роботу у випадку перевищення температур, тиску чи витоку газу.
3. Установлення систем виявлення та локалізації пожежі:
  - первинні засоби пожежогасіння (вогнєгасники порошкові або вуглекислотні) розміщені відповідно до норм;
  - автоматичні датчики температури і диму в технологічному приміщенні;
  - система аварійного відключення подачі газу та електроенергії у разі загрози пожежі.
4. Система вентиляції, що запобігає утворенню запиленого середовища з потенційною вибухонебезпечністю.
5. Регулярне навчання персоналу з пожежної безпеки, включаючи інструктажі, тренування з евакуації та використання вогнєгасників.
6. Маркування шляхів евакуації та аварійних виходів відповідно до ДСТУ ISO 7010 та забезпечення їх вільного доступу.
7. Контроль за справністю електрообладнання та газових магістралей, включаючи регулярні перевірки, термографію та технічне обслуговування.

Усі ці заходи дозволяють суттєво знизити ризик виникнення пожежі та мінімізувати її наслідки у разі виникнення, а також гарантують безпеку персоналу та збереження обладнання. Забезпечення пожежної безпеки є невід'ємною частиною загальної системи охорони праці на підприємстві.

## 5. ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Проектування та впровадження автоматизованої системи керування процесом сушіння будівельної крейди є економічно доцільним з огляду на сучасні вимоги до ефективності, точності й енергоощадності виробництва. Застосування технічних засобів автоматизації забезпечує підвищення стабільності технологічного процесу, зменшення відходів, покращення якості кінцевого продукту та зниження експлуатаційних витрат. Для оцінки економічної ефективності впровадження системи автоматизації проведено розрахунок витрат на закупівлю технічних засобів, розробку програмного забезпечення, монтажні та пусконаладжувальні роботи, а також очікуваний економічний ефект від зменшення експлуатаційних витрат.

Таблиця 5.1

### Вартість обладнання

| №  | Найменування обладнання                           | Тип                   | К-сть | Орієнт. ціна за од., € | Сума, € | Сума, грн |
|----|---------------------------------------------------|-----------------------|-------|------------------------|---------|-----------|
| 1  | Термоперетворювач опору Pt100 (без перетворювача) | Pt100                 | 3     | 45                     | 135     | 5 940     |
| 2  | Термоперетворювач Siemens Sitrans TH100 (4–20 мА) | Siemens Sitrans TH100 | 3     | 180                    | 540     | 23 760    |
| 3  | Частотний перетворювач 11 кВт                     | Altivar ATV31HD11N4   | 3     | 750                    | 2 250   | 99 000    |
| 4  | Дифманометр-рівнемір                              | Sitrans DS III        | 1     | 650                    | 650     | 28 600    |
| 5  | Електропневматичний перетворювач                  | Samson 6116-4         | 1     | 420                    | 420     | 18 480    |
| 6  | Пневматичний мембранний виконавчий механізм       | Samson 240            | 1     | 350                    | 350     | 15 400    |
| 7  | Перетворювач різниці тисків                       | Сафір 22дд-2410       | 2     | 200                    | 400     | 17 600    |
| 8  | Безконтактний реверсивний пускач                  | ETI CE07.TOE          | 3     | 160                    | 480     | 21 120    |
| 9  | Датчик вологості                                  | M-Sens 2              | 1     | 800                    | 800     | 35 200    |
| 10 | Термореле                                         | Danfoss RT260A        | 2     | 90                     | 180     | 7 920     |
| 11 | Термодатчик                                       | БКП-2П                | 1     | 65                     | 65      | 2 860     |
| 12 | Датчик температури/тиску газу                     | Maxon 8000            | 1     | 250                    | 250     | 11 000    |
| 13 | Модуль аналогових входів                          | SM 331 AI8x12Bit      | 1     | 350                    | 350     | 15 400    |
| 14 | Модуль аналогових виходів                         | SM 332 AO4x12Bit      | 1     | 300                    | 300     | 13 200    |
| 15 | Блок живлення                                     | PS 307 5A             | 1     | 280                    | 280     | 12 320    |

Загальна сума витрат на обладнання: 7 810 € ;  $7\,810 \times 44 = 343\,640$  грн

На основі обраного переліку технічних засобів системи автоматизації здійснено орієнтовний розрахунок вартості

Таблиця 5.2

### Вартість впровадження системи автоматизації

| Складова витрат                           | Сума, грн          |
|-------------------------------------------|--------------------|
| Вартість обладнання                       | 343 640            |
| Монтаж та пусконаладжувальні роботи (15%) | 51 546             |
| Розробка ПЗ та програмування ПЛК (10%)    | 34 364             |
| Навчання персоналу (5%)                   | 17 182             |
| <b>Загальна вартість впровадження</b>     | <b>446 732 грн</b> |

Таблиця 5.3

### Очікуваний економічний ефект (у гривнях на рік)

| Джерело економії                                       | Орієнтовна сума, € | Сума в грн (×44)   |
|--------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|
| Зниження енергоспоживання (10–15%)                     | 3 000              | 132 000 грн        |
| Зменшення втрат сировини та покращення якості сушіння  | 2 000              | 88 000 грн         |
| Скорочення простоїв обладнання та витрат на ремонт     | 1 000              | 44 000 грн         |
| Зменшення трудовитрат і часу технічного обслуговування | 1 000              | 44 000 грн         |
| <b>Загальний щорічний економічний ефект</b>            | <b>7 000 €</b>     | <b>308 000 грн</b> |

Термін окупності системи визначається за формулою:  $\text{Токупності} = \frac{\text{Сума витрат}}{\text{Щорічний економічний ефект}} = \frac{11011}{7000} \approx 1.57$  роки

Впровадження запропонованої системи автоматизації технологічного процесу сушіння будівельної крейди є економічно доцільним, оскільки:

- загальна вартість системи є помірною при високому рівні технічного оснащення,
- термін окупності не перевищує 2 років, що є прийнятним для підприємств цієї галузі,
- система забезпечує стабільну роботу, точність керування параметрами процесу, можливість подальшої модернізації.

Запропонований проект не тільки підвищує ефективність виробництва, а й дозволяє досягти відчутного економічного ефекту в короткі терміни.

## ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі бакалавра проаналізовано технологічний процес сушіння крейди в прямотечійній сушарці як об'єкта керування, визначено його статичні та динамічні характеристики.

Основними параметрами, які впливають на процес сушіння крейди є: витрата вологої крейди, співвідношення витрат «паливо-повітря», витрата палива, витрата вторинного повітря. До збурень, які впливають на процес сушіння відносять: початкову вологість крейди на вході в сушарку, температура вторинного повітря, гранулометричний склад крейди. Вихідними параметрами є температура в камері згоряння та розрідження в камері згорання. В процесі протікання процесу сушіння необхідно контролювати вологість висушеної крейди.

Проаналізувавши принципи побудови та програмування систем автоматизації з використанням мікропроцесорних засобів розроблено оптимальну функціональну схему автоматизації процесу сушіння крейди та складено відповідно специфікацію засобів автоматизації. ФСА процесу сушіння крейди передбачено такі контури: Автоматичне регулювання співвідношення витрат «паливо – повітря»; Автоматичне регулювання температури в камері згоряння; Автоматичне регулювання розрідження в камері згоряння; Автоматичне регулювання подачі вологої крейди; Автоматична сигналізація і блокування при аварійних параметрах тиску газу, первинного повітря або при загасанні полум'я в камері згорання. Контроль та регулювання реалізовано на базі промислового контролера фірми Siemens S7-300. За допомогою цього контролера здійснюється регулювання та сигналізація. Вхідні аналогові та дискретні сигнали поступають на входи модулів розширення, і передаються на контролер, який обробляє їх та подає вихідні сигнали. Аналогові сигнали від давачів поступають на відповідні аналогові входи накладного модуля вводу/виводу сигналів, після обробки та перетворення сигнали керування через модуль вводу/виводу подаються на виконавчі механізми.

Розроблено програму функціонування мікропроцесорного контролера фірми Siemens, серія Simatic, модель S7-300 та розроблено принципову електричну схему зовнішніх з'єднань цього мікропроцесорного контролера із обраними засобами автоматизації.

Для побудови надійної та ефективної системи автоматизації процесу сушіння будівельної крейди у барабанній прямоточній сушарці були підібрані сучасні локальні технічні засоби, що забезпечують точність вимірювань, стабільність регулювання та можливість інтеграції з контролерами Siemens.

Контроль температури всередині барабана здійснюється за допомогою платинових термоперетворювачів опору типу Pt100, які мають нормалізовану статичну характеристику (НСХ) та клас точності А. Це дозволяє досягти високої точності вимірювання в діапазоні від  $-50$  до  $+400$  °С, що повністю охоплює температурні режими сушіння. Межа допустимого відхилення не перевищує  $\pm(0,15 + 0,002t)$ , що гарантує надійний контроль температури в реальному часі.

Для керування швидкістю обертання вентиляторів та дозувального обладнання обрано частотний перетворювач потужністю 11 кВт. Він має широкі функціональні можливості: вихідна частота регулюється в межах 0–200 Гц, а напруга — 0–100%. Пристрій оснащено аналоговими входами/виходами (4–20 мА), а також імпульсними входами, що забезпечує зручну інтеграцію з ПЛК та дозволяє точно регулювати подачу повітря й сировини.

Контроль розрідження в камері згоряння реалізується через дифманометр-рівнемір, що працює в діапазоні від 1 до 10 мбар. Пристрій передає вимірюване значення у вигляді стандартного аналогового сигналу 4–20 мА, має низьку похибку (0,1%) і високий допустимий тиск (до 40 бар), що робить його надійним для роботи в умовах підвищеного тиску і температури.

Для точного керування подачею палива в камеру згоряння використовується електропневматичний перетворювач. Він приймає вхідний аналоговий сигнал 4–20 мА і перетворює його у пневматичний тиск в діапазоні

20–100 або 40–200 кПа. Високі метрологічні характеристики (лінійність  $\pm 0,2\%$ , гістерезис  $\pm 0,3\%$ , відтворюваність  $\pm 0,1\%$ ) дозволяють забезпечити точне позиціонування виконавчих механізмів навіть у складних умовах експлуатації при температурах до  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В якості виконавчого органу подачі газу застосовується пневматичний мембранний механізм, який працює із сигналом керування 20–100 кПа. Така схема дозволяє точно дозувати паливо, забезпечуючи стабільне горіння і необхідний тепловий режим у барабані сушарки.

Окрім того, контроль витрати повітря та газу реалізується за допомогою перетворювача різниці тисків, який працює з верхньою межею 6,3 кПа, має похибку  $\pm 0,5\%$  і вихідний сигнал 4–20 мА. Це дає змогу точно оцінювати витрату робочих середовищ, що важливо для підтримання енергоефективності процесу сушіння.

Проведено розрахунок та моделювання системи регулювання температури в камері змішування на виході із теплообмінника у середовищі MATLAB. Дослідженням перехідних процесів при зміні регулюючої дії, при зміні збурення та зміні завдання регулятора було визначено, що одноконтурна САР з розрахованими оптимальними параметрами налаштування ПІ- регулятора задовольняє вимоги до якості процесу регулювання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизація виробничих процесів: навч. посібник / Фединець В.О., Васильківський І.С., Николин Г.А.-Львів: СПОЛОМ, 2023.- 192 с.
2. Автоматизація виробничих процесів/ Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський О.К., Лящук О.Л .- Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011.-344 с.
3. Безвесільна О.М.. Толочко Т.О. "Технічні засоби автоматизації: навчальний посібник". – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023.
4. Батрак В. Г., Стукало В. М. Автоматизація технологічних процесів: навч. посібник. – Київ: Каравела, 2016. – 320 с.
5. Бондаренко, В.С., Ігнатенко, І.М. Основи проектування автоматизованих систем керування. — К.: Видавництво НАУ, 2018. — 244 с.
6. Вахненко, І.І., Шевченко, І.М. Автоматизація технологічних процесів у будівельній галузі. — К.: Ліра-К, 2019. — 312 с.
7. Воробйова О.М. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / Воробйова О.М., Флейта Ю.В. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2018. – 208 с.
8. Говорущенко, Я.М. Автоматизація технологічних процесів: підручник. — К.: Либідь, 2020. — 432 с.
9. Дрозд, В.Т., Семенов, І.М. Основи автоматизації технологічних процесів. — Київ: Вища школа, 2019. — 368 с.
10. ДСТУ 31348-2005. Засоби вимірювальної техніки. Загальні вимоги до побудови, технічного обслуговування та метрологічного забезпечення.
11. Єрмоленко, С.А., Мірошніченко, О.М. Прилади і засоби автоматизації: навчальний посібник. — Київ: Ліра-К, 2018. — 192 с.
12. Закон України "Про охорону праці" від 14.10.1992 № 2694-ХІІ. – [Електронний ресурс]. – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>
13. Колесніков О.В. *Контролери і системи автоматизації*. – К.: Ліра-К, 2021. – 352 с.
14. Копилов, І.П. Мікропроцесорні засоби автоматизації. — Х.: НТУ "ХПІ", 2019. — 360 с.
15. Лавриненко, П.М., Зінченко, В.П. Основи автоматизованого управління технологічними процесами. — Харків: НТУ "ХПІ", 2020. — 290 с.
16. Леонтьєв О. Є. "Теорія автоматичного керування: навчальний посібник". – Суми: Сумський державний університет, 2024.
17. Лобас, М.Г. Теоретичні основи автоматизованого керування технологічними процесами. — К.: Каравела, 2017. — 388 с.

18. Марченко, М.А. Технологія обробки сипких матеріалів і сушка. — К.: Основа, 2017. — 289 с.
19. Михайлов Г. П. Автоматичне регулювання та керування: підручник. — Київ: Каравела, 2019. — 328 с.
20. Наказ МНС № 1417 від 30.12.2014 "Правила пожежної безпеки в Україні". — [Електронний ресурс]. — <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0136-1>
21. Пархоменко І. В. Автоматизовані системи управління технологічними процесами. — Харків: ХНАМГ, 2020. — 234 с.
22. Пономаренко М. П., Назаренко А. О. Основи проектування автоматизованих систем керування. — К.: Либідь, 2020. — 244 с.
23. Савінов, А.О. Системи автоматичного регулювання: аналіз та моделювання. — К.: Вища школа, 2016. — 272 с.
24. • Сидоренко В. В. Основи автоматизації технологічних процесів. — Львів: Новий світ–2000, 2021. — 276 с.
25. Тесленко В. М. Основи автоматизації технологічних процесів: навчальний посібник. — К.: Ліра-К, 2021. — 340 с.
26. Тимченко С. М. Теоретичні основи автоматизованого керування технологічними процесами: навч. посібник. — Харків: ХНУРЕ, 2022. — 290 с.
27. Трофименко, С.В., Кучерявий, О.В. Системи автоматичного керування: підручник. — Львів: ЛНУ, 2021. — 356 с.
28. MathWorks. MATLAB & Simulink Documentation. — [Електронний ресурс]. — <https://www.mathworks.com/help>
29. Siemens. Технічний каталог та документація на датчики температури Pt100. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://support.industry.siemens.com>
30. Siemens AG. SIMATIC S7-300 Programmable Controller – System Manual. — Siemens AG, 2020. — [Електронний ресурс].
31. Siemens. SIMATIC STEP 7 Basic/Professional V15.1 – Getting Started. — Siemens Industry Online Support, 2020. — [Електронний ресурс].