

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ ТА СИСТЕМ КЕРУВАННЯ
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

ДО БАКАЛАВРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА
ТЕМУ: «АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ СОНЯШНИКУ В
СУШАРЦІ КИПЛЯЧОГО ШАРУ»

**«AUTOMATION OF SUNFLOWER DRYING PROCESS IN FLUIDIZED BED
DRYER»**

Студент групи АВ-43 Налисник Максим Юрійович

| | | |
|-------------------|----------|--|
| Керівник роботи: | _____ | <u>/доц. Іван СТАСЮК/</u> (ім'я та прізвище) |
| | (підпис) | |
| Консультанти: | _____ | <u>/доц. Ігор КОСТИК/</u> (ім'я та прізвище) |
| | (підпис) | |
| | _____ | <u>/доц. Ганна КРИХ/</u> (ім'я та прізвище) |
| | (підпис) | |
| | _____ | <u>/доц. Юрій КИТ/</u> (ім'я та прізвище) |
| | (підпис) | |
| | _____ | <u>/доц. Наталія МИХАЙЛИК/</u> (ім'я та прізвище) |
| | (підпис) | |
| Завідувач кафедри | _____ | <u>/проф. Федір МАТІКО/</u> (ім'я та прізвище) |
| | (підпис) | |

Львів – 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

Інститут енергетики і систем керування Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

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

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Завідувач кафедри АВКТ:
д.т.н., проф. Федір МАТІКО
“ ___ ” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Налиснік Максим Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Автоматизація процесу сушіння соняшнику в сушарці киплячого шару
затверджена наказом по університету від від “ 26 ” травня 2025 р., № 1766-4-08

2. Термін подання студентом закінченої роботи “ ___ ” _____ 20 ___ р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. *Опис технологічного процесу.*
2. *Функціональна схема автоматизації.*

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які належить розробити):

Вступ

1. *Технологічні основи об'єкта дослідження.*
2. *Дослідження технологічного процесу як об'єкта автоматизації.*
3. *Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації.*
4. *Розроблення функціональної схеми автоматизації розгорнутим способом та її опис.*
5. *Програмне забезпечення системи автоматизації.*
6. *Принципові електричні схеми з'єднань засобів автоматизації.*
7. *Розрахунок і моделювання системи автоматичного регулювання температури в киплячому шарі.*
8. *Охорона праці та навколишнього середовища*
9. *Економічна доцільність та ефективність впровадження системи автоматизації.*

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1. *Функціональна схема автоматизації.*
2. *Програма функціонування мікропроцесорного програмного засобу автоматизації*
3. *Принципова схема електричних з'єднань засобів автоматизації*
4. *Моделювання системи автоматичного регулювання температури.*

6. Перелік програмних продуктів, які належить використати в процесі роботи:

1. *Alfa.*
2. *Matlab.*
3. *Visio.*

Консультавання роботи, із зазначенням розділів роботи

| Розділ | Консультант | Підпис, дата | |
|---|------------------------------|----------------|------------------|
| | | Завдання видав | Завдання прийняв |
| <i>Економіки</i> | <i>доц. Наталія МИХАЙЛИК</i> | | |
| <i>Охорони праці</i> | <i>доц. Юрій КІТ</i> | | |
| <i>Моделювання</i> | <i>доц. Ганна КРИХ</i> | | |
| <i>Мікропроцесорних програмованих засобів автоматизації</i> | <i>доц. Ігор КОСТИК</i> | | |

7. Дата видачі завдання: 26.05.2025

Керівник роботи _____ /Іван СТАСЮК/
(підпис) (ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання _____ /Максим НАЛИСНИК/
(підпис) (ім'я, прізвище)

Календарний план

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|--------------------------------|----------|
| 1 | <i>Технологічні основи об'єкта дослідження</i> | <i>21.05.2025р.</i> | |
| 2 | <i>Дослідження технологічного процесу як об'єкта автоматизації.</i> | <i>21.05.2025р.</i> | |
| 3 | <i>Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації</i> | <i>22.05.2025р.</i> | |
| 4 | <i>Розроблення функціональної схеми автоматизації розгорнутим способом та її опис.</i> | <i>23.05.2025р.</i> | |
| 5 | <i>Програмне забезпечення системи автоматизації</i> | <i>26.05.2025р.</i> | |
| 6 | <i>Принципові електричні схеми з'єднань засобів автоматизації.</i> | <i>28.05.2025р.</i> | |
| 7 | <i>Розрахунок і моделювання системи автоматичного регулювання температури в киплячому шарі</i> | <i>30.05.2025р.</i> | |
| 8 | <i>Охорона праці та навколишнього середовища</i> | <i>02.06.2025р.</i> | |
| 9 | <i>Економічна доцільність та ефективність впровадження системи автоматизації</i> | <i>05.06.2025р.</i> | |
| 10 | <i>Оформлення записки до бакалаврської кваліфікаційної роботи та графічної частини.</i> | <i>10.06.2025р.</i> | |

Студент _____ / Максим НАЛИСНИК /
(підпис) (ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____ / Іван СТАСЮК /
(підпис) (ім'я, прізвище)

АНОТАЦІЯ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі представлено 106 сторінок, включено 52 ілюстрації, 14 таблиць, використано 24 джерела інформації та розроблено 4 графічних плакати.

Кваліфікаційна робота присвячена проектуванню та дослідженню системи автоматизованого керування процесом сушіння насіння соняшника у сушарці киплячого шару.

Об'єктом дослідження є технологічний процес сушіння насіння соняшника, а предметом — створення ефективної системи автоматизації, що дозволяє забезпечити стабільне функціонування сушарки та покращити якість обробки сировини.

Мета роботи полягає у створенні системи автоматизованого керування, яка оптимізує теплотехнологічний режим сушіння, підвищує енергоефективність установки, зменшує вплив людського фактора та підвищує загальну безпеку технологічного процесу.

У межах дослідження проаналізовано принципи функціонування сушарки киплячого шару, побудовано структурну та функціональну схеми автоматизації, здійснено вибір технічних засобів керування. Розроблено програмне забезпечення для мікропроцесорного контролера типу МК-51Н, а також виконано схематичне з'єднання пристроїв у системі керування.

Проведено моделювання температурного режиму сушіння з урахуванням перехідних процесів, підібрано параметри для оптимальної роботи регулятора.

Окремий розділ присвячено аналізу ризиків для персоналу, що виникають під час експлуатації обладнання, та методам їх усунення згідно з чинними нормативними документами.

У завершальному розділі подано економічне обґрунтування доцільності впровадження автоматизованої системи, розраховано термін окупності, витрати на впровадження та очікуваний економічний ефект від реалізації проекту.

ABSTRACT

The bachelor's qualification thesis consists of 106 pages, includes 52 illustrations, 14 tables, 24 information sources, and 4 graphic posters.

Qualification work is devoted to the design and research of an automated control system for the sunflower seed drying process in a fluidized bed dryer.

The object of the study is the technological process of drying sunflower seeds, while the subject is the development of an efficient automation system that ensures the stable operation of the dryer and improves the quality of raw material processing.

The aim of the work is to create an automated control system that optimizes the thermal regime of the drying process, increases the energy efficiency of the equipment, reduces the influence of the human factor, and enhances the overall safety of the technological operation.

Within the scope of the study, the principles of operation of the fluidized bed dryer were analyzed, both structural and functional automation schemes were developed, and appropriate technical control devices were selected. Software was created for a microprocessor-based controller of the MIK-51N type, and a schematic layout of the control system components was implemented.

The thermal drying mode was modeled with consideration of transient processes, and parameters were selected for the optimal operation of the temperature regulator.

A separate section is devoted to the analysis of occupational risks that may occur during the operation of the equipment, as well as methods for their prevention according to current regulatory standards.

The final section presents the economic justification for implementing the proposed automated system, including calculations of payback period, implementation costs, and the anticipated economic benefit of the project

Зміст

| | |
|--|----|
| АНОТАЦІЯ | 4 |
| ABSTRACT | 5 |
| ВСТУП..... | 10 |
| РОЗДІЛ 1 | |
| ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ОБ’ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ | 12 |
| 1.1 Аналіз та опис основних етапів технологічного процесу..... | 12 |
| 1.2 Розрахунок матеріального і теплового балансу об’єкта..... | 14 |
| РОЗДІЛ 2 | |
| ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ’ЄКТА | |
| АВТОМАТИЗАЦІЇ..... | 17 |
| 2.1 Аналіз чинників, що впливають на перебіг технологічного процесу .. | 17 |
| 2.2 Технологічна карта процесу | 18 |
| 2.3 Складання структурної схеми взаємозв’язку між технологічними | |
| параметрам об’єкта | 18 |
| 2.4 Обґрунтування і вибір координат вимірювання, контролю, сигналізації, | |
| дистанційного керування, захисту, блокування та регулювання..... | 20 |
| 2.5 Визначення функціональних ознак систем автоматизації..... | 21 |
| РОЗДІЛ 3 | |
| ОБґРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ..... | 24 |
| 3.1.1 Вимірювальні перетворювачі та виконавчі механізми | 24 |
| 3.1.2 Технічні характеристики вибраних вимірювальних перетворювачів | |
| | 25 |
| 3.2 Мікропроцесорний програмований засіб автоматизації..... | 39 |
| 3.2.1 Обґрунтування вибору мікропроцесорного програмованого | |
| засобуавтоматизації та опис його технічних характеристик..... | 39 |
| 3.2.2 Концепція вибору компонентів мікропроцесорного програмованого | |
| засобу..... | 43 |
| 3.3 Специфікація технічних засобів автоматизації | 44 |
| РОЗДІЛ 4 | |
| РОЗРОБЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ | |
| РОЗГОРНУТИМ СПОСОБОМ ТА ЇЇ ОПИС | 48 |
| РОЗДІЛ 5 | |
| ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ..... | 50 |

| | |
|---|-----------|
| 5.1 Перелік та опис функціонального призначення графічних блоків для розробки алгоритмів системи автоматизованого керування..... | 50 |
| 5.2 Налаштування та масштабування аналогових сигналів | 58 |
| 5.3 Налаштування ПІД-закону регулювання..... | 58 |
| 5.4 Налаштування програми керування частотним перетворювачем | 59 |
| РОЗДІЛ 6 | |
| ПРИНЦИПОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ СХЕМИ З'ЄДНАНЬ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ..... | 60 |
| РОЗДІЛ 7 | |
| РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В КИПЛЯЧОМУ ШАРІ..... | 62 |
| 7.1 Знаходження динамічної моделі об'єкта регулювання..... | 63 |
| 7.2 Перевірка адекватності динамічної моделі | 67 |
| 7.3 Вибір структурної схеми системи регулювання температури в киплячому шарі, закону регулювання, розрахунок параметрів налаштування пропорційно-інтегрального регулятора | 68 |
| 7.4 Знаходження оптимальних параметрів для налаштування ПІ-регулятора | 71 |
| 7.5 Дослідження перехідних процесів в САР температури в киплячому шарі..... | 74 |
| РОЗДІЛ 8 | |
| ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА | 78 |
| 8.1. Характеристика технологічного процесу з позиції небезпек для персоналу | 79 |
| 8.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії..... | 79 |
| 8.3. Вентиляція..... | 80 |
| 8.4. Вимоги до виробничого освітлення..... | 81 |
| 8.5. Шум та вібрація..... | 83 |
| 8.6. Пожежна безпека..... | 85 |
| 8.7. Захист від ураження електричним струмом..... | 86 |
| 8.8. Розрахунок можливого тиску вибуху пилу луски соняшнику..... | 88 |
| РОЗДІЛ 9 | |
| ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ | 90 |

| | |
|---|-----|
| 9.1. Аналіз економічної доцільності впровадження автоматизації | 90 |
| 9.2. Аналіз ключових техніко-економічних параметрів | 90 |
| 9.3. Аналіз змін техніко-економічних показників у результаті автоматизації | 94 |
| 9.4 Розрахунок чисельності основних робітників та їх річного фонду заробітної плати | 94 |
| 9.5. Розрахунок річного фонду заробітної плати (основних робітників).... | 95 |
| 9.6. Розрахунок явочної кількості основних працівників..... | 97 |
| Висновки | 101 |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ..... | 103 |

ВСТУП

З найдавніших часів людина прагнула зменшити фізичні зусилля та підвищити ефективність власної праці. Це прагнення стало основою для впровадження механізмів і автоматизованих систем, які сьогодні активно застосовуються в усіх сферах промисловості, зокрема в агропромисловому комплексі.

В аграрному секторі, особливо у виробництві харчової продукції, обробка сільськогосподарських культур часто включає енергоємні, але критично важливі процеси. Одним із таких процесів є сушіння насіння соняшника, що дозволяє забезпечити його збереження, стійкість до псування та відповідність технологічним нормам подальшої переробки.

Волога в насінні може частково видалятися механічними методами — пресуванням, центрифугуванням, фільтрацією. Проте ці способи дозволяють усунути лише вільну (поверхневу) вологу, тоді як основна частина — зв'язана — потребує теплової обробки.

Саме сушіння виступає ключовим етапом підготовки насіння соняшника до довготривалого зберігання та подальшого використання у харчовій або олійній промисловості. Ефективне сушіння знижує ризики самозігрівання, утворення плісняви чи втрати масової частки олії внаслідок біохімічних змін.

На сьогодні розроблено багато типів сушарок, проте більшість із них не позбавлені недоліків: нерівномірний розподіл температури, надто тривалий процес сушіння, або ж неможливість точного контролю параметрів. Це може призводити до погіршення якості насіння — як посівних характеристик, так і поживних властивостей. Саме тому актуальною є задача розробки та впровадження сучасної автоматизованої системи сушіння насіння соняшника, яка дозволить оптимізувати технологічний процес, зменшити енергоспоживання та підвищити якість готового продукту.

Один з найбільш перспективних методів сушіння насіння соняшника — це використання сушарок із «киплячим» шаром. Принцип цього методу полягає в тому, що насіння, розташоване на спеціальній розподілювальній решітці, за

допомогою потоку газу приводиться в псевдозріджений стан. Параметри швидкості повітряного потоку через решітку підбираються таким чином, щоб насіння перебувало в підвішеному, «киплячому» стані, що дозволяє забезпечити рівномірне нагрівання. У цьому стані кожне насіння «омивається» гарячими газами, що гарантує ефективний і стабільний контакт насіння соняшника з тепловим агентом, що, в свою чергу, дозволяє забезпечити високий коефіцієнт теплопередачі і зменшити час.[1]

РОЗДІЛ 1

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз та опис основних етапів технологічного процесу

Сушіння — це процес видалення вологи з вологих твердих матеріалів або пастоподібних суспензій шляхом їх випаровування та відведення утвореного пари.

Вологість насіння соняшника визначається кількістю вологи, яка надійшла разом із сировиною, а також об'ємом вологи, що видаляється в процесі сушіння. Важливим показником є витрата матеріалу, яка залежить від продуктивності сушарки. Вона повинна бути стабільною, тому важливо стабілізувати витрату вологого насіння, що досягається за допомогою автоматичних дозаторів, що регулюють подачу сировини.

Вологість насіння також залежить від попередніх етапів технологічного процесу, тому зміна цього параметра може викликати значні збурення в роботі системи. Крім того, під час керування процесом сушіння необхідно контролювати витрату палива, первинного та вторинного повітря, а також витрату вологого та сухого насіння, температуру сушильного агента на вході та виході з сушарки, а також температуру всередині самого обладнання.

У разі значного відхилення ефективності процесу від заданих параметрів, або при небезпечному підвищенні температури сушильного агента на вході в сушарку, необхідно надати сигнал персоналу про необхідність втручання.

Основним показником ефективності процесу сушіння насіння соняшника в сушарці з киплячим шаром є температура в киплячому шарі. У разі застосування великих сушильних установок, де температура в різних частинах шару змінюється, за більш точний показник можна взяти температуру сушильного агента на виході, оскільки вона є середньою температурою матеріалу в киплячому шарі.

Сушарка киплячого шару являє собою вертикальну шахту розділену на дві камери: верхню і нижню. Через нижню камеру подається у сушарку гаряче повітря.

У верхній частині пристрою розташовані завантажувальний і розвантажувальний механізми. У таких сушарках насіння розміщується на решітці, через яку продувається сушильний агент. Швидкість повітряного потоку підбирається таким чином, щоб утворити ефективний киплячий шар насіння, що забезпечує оптимальні умови для сушіння.[1]

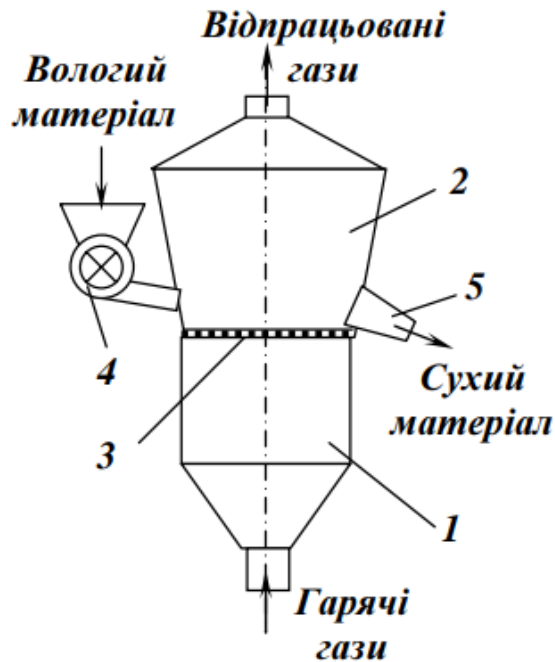


Рис 1.1. Схема конструкції сушарки з киплячим шаром

1 – нижня камера; 2 – верхня камера; 3 – решітка; 4 – завантажувальний пристрій ; 5 – розвантажувальний пристрій.

У сушарці подача вологого насіння соняшника здійснюється через живильник, який подає його на спеціальну решітку. Газодувка забезпечує подачу атмосферного повітря в калорифер, де воно нагрівається завдяки конденсації гарячої пари. Після цього повітря подається під решітку, проходячи через неї.

Газ, що виходить через отвори газорозподільної решітки, має велику швидкість, що сприяє переходу матеріалу в псевдозріджений стан. Це, в свою чергу, дозволяє ефективно видаляти вологу з насіння соняшника. Висота киплячого шару в таких пристроях становить від 0,3 до 0,7 метра. Сушарка оснащена системою пиловловлення, через яку проходить відпрацьоване повітря разом з випареною вологістю, що викидається в атмосферу.[2, с. 231]

1.2 Розрахунок матеріального і теплового балансу об'єкта

Процес теплового розрахунку сушарки включає формування теплового та матеріального балансів установки, а також визначення габаритів апарату, необхідних для досягнення заданої продуктивності по сухому матеріалу. Крім цього, виконується розрахунок і підбір допоміжного обладнання – топок, калориферів, пиловловлювачів тощо.

Результатом рішення будуть: кількість сушильних апаратів та їх розміри, витрати палива, газів, електроенергії, води й інші показники. На основі цих даних обґрунтовують оптимальний спосіб сушки та конструктивні особливості обладнання.

Матеріальний баланс

Під час процесу сушіння важливо дотримуватись балансу маси, що відображає співвідношення між кількістю вхідної сировини, висушеного продукту та вологи, яка видаляється. Загальний матеріальний баланс у найпростішому вигляді записується рівнянням:

$$G_1 = G_2 + W \quad (1.2.1)$$

де:

G_1 – загальна маса вологої сировини, що надходить до сушарки, виражена в кілограмах за одиницю часу (кг/год);

G_2 – маса продукту після сушіння, тобто залишкова маса матеріалу з урахуванням зменшеної вологості (кг/год);

W – кількість води, що була випарена з продукту в процесі сушіння (кг/год).

Це базове рівняння свідчить, що маса вхідного вологого матеріалу дорівнює сумі маси висушеного продукту та вологи, яка видаляється. Такий підхід дозволяє

точно розраховувати витрати сировини, визначати продуктивність сушарки, а також забезпечувати оптимальні параметри процесу сушіння.

Для більш глибокого аналізу також враховують вологості до і після сушіння, що дозволяє пов'язати ці значення з абсолютною масою сухої речовини:

$$G_s = G^1 \cdot \left(1 - \frac{w^{10}}{100}\right) = G^2 \cdot \left(1 - \frac{w^{20}}{100}\right) \quad (1.2.2)$$

де:

G_s – маса абсолютно сухої речовини (без води), кг/год;

w_1^0 і w_2^0 – відповідно початкова та кінцева вологість матеріалу у відсотках від загальної маси.

На основі цих співвідношень можна вивести корисні залежності, які допомагають визначити необхідну кількість теплоти, контролювати ефективність сушіння, а також планувати експлуатаційні витрати сушильних установок.

Тепловий баланс

Під час процесу сушіння не вся тепла енергія використовується безпосередньо для видалення води. Частина тепла втрачається, частина залишається в матеріалі, а решта – виводиться разом із повітрям. Щоб оцінити ефективність використання тепла, складають тепловий баланс, який враховує всі потоки енергії, що входять і виходять із системи. У загальному вигляді тепловий баланс сушильної установки описується рівнянням:

$$Q^1 + Q^2 = Q^3 + Q^4 + Q^5 \quad (1.2.3)$$

де:

Q_1 – основна кількість теплоти, що подається в сушильну камеру разом із гарячим сушильним агентом (зазвичай повітрям або паром);

Q_2 – теплова енергія, яка надходить до системи з вологим (сирим) матеріалом, що має початкову температуру;

Q_3 – енергія, що виноситься разом з відпрацьованим повітрям після завершення сушіння (включає як чутливе тепло, так і тепло випаровування вологи);

Q_4 – залишкове тепло, яке зберігається у висушеному продукті після виходу з сушарки;

Q_5 – теплові втрати, що відбуваються внаслідок теплообміну із зовнішнім середовищем (через стінки сушильного апарату, витоки повітря тощо).

Це рівняння демонструє, що вся енергія, яка подається в систему (ліва частина рівняння), перетворюється на суму витрат теплоти (права частина), включаючи як корисну, так і втрачану енергію.

Тепловий баланс дозволяє:

- оцінити ефективність сушильного обладнання;
- оптимізувати режим сушіння (температури, витрати повітря тощо);
- виявити потенціал для теплоутилізації або зменшення втрат.

Для підвищення енергоефективності важливо мінімізувати величину Q_5 , впроваджуючи теплоізоляцію, використання рекуператорів, повторне використання тепла вихідного повітря та інші технічні рішення.

Висновок: Проведено детальний аналіз технологічного процесу сушіння, визначено послідовність етапів і умови їх реалізації. Обчислено матеріальний і тепловий баланси, що стало основою для подальшого вибору параметрів автоматизації.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Аналіз чинників, що впливають на перебіг технологічного процесу

Технологічний процес сушіння значною мірою залежить від таких параметрів, як: 1) витрати первинного та вторинного повітря; 2) витрати палива; 3) витрати вологого матеріалу; 4) температура димових газів, що надходять у сушильну камеру.

Під час автоматизації сушарок з киплячим шаром основним параметром, що визначає ефективність роботи установки, є температура в цьому шарі. Температура в шарі залежить від низки чинників, серед яких основними є:

- вологість сульфату амонію, який надходить у сушарку: чим більший вміст води в матеріалі, тим вищою має бути температура в киплячому шарі та температура сушильного агента;

- витрата матеріалу, що надходить у сушарку: чим більше матеріалу потрапляє на вхід, тим більше часу знадобиться для його сушіння;

- витрати первинного та вторинного повітря; • температура первинного та вторинного повітря;

- витрата димових газів;

- температура димових газів.

2.2 Технологічна карта процесу

У цьому підрозділі представлена технологічна карта, яка містить номінальні параметри, що мають бути підтримані на заданому рівні під час процесу сушіння зерна в сушарці з киплячим шаром. Також у таблиці 2.2 наведені допустимі відхилення від цих номінальних значень.

Технологічна карта

Таблиця 2.2

| /п | Назва параметру | Одиниці вимірювання | Номінальне значення | Допустимі відхилення |
|----|---|---------------------|---------------------|----------------------|
| | Витрата сушильного агенту | м ³ /год | 2000 | ±100 |
| | Температура сушильного агенту | °С | 85 | ±5 |
| | Температура киплячого шару | °С | 55 | ±5 |
| | Витрата палива | м ³ /год | 62,5 | ±5 |
| | Витрата первинного повітря | м ³ /год | 750 | ±50 |
| | Перепад тиску (над і під киплячим шаром) | кПа | 3,6 | ±0,4 |
| | Розрідження в сушарці | кПа | -5 | ±1 |
| | Волгість осушеного соняшнику | % | 10 | ±2 |
| | Початкова вологість соняшнику | % | 22 | ±2 |
| | Продуктивність сушарки | кг/год | 800 | ±50 |
| | Витрата соняшнику | кг/год | 800 | ±50 |

2.3 Складання структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрам об'єкта

З метою пояснення взаємозв'язку параметрів у процесі сушіння зерна в сушарці з киплячим шаром було побудовано структурну схему, подану на рисунку 2.1.

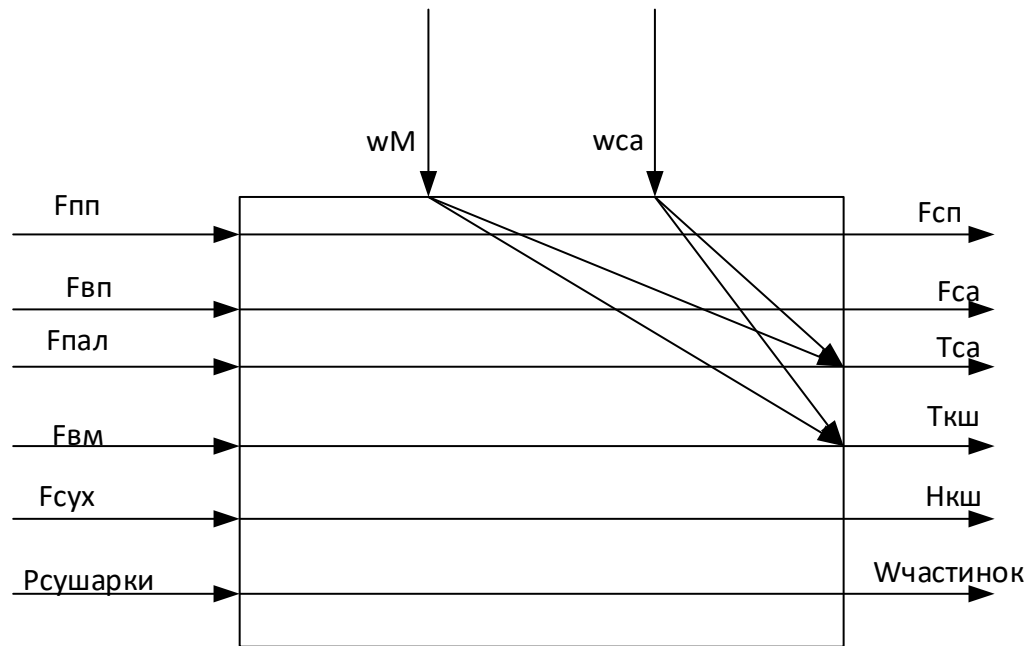


Рис.2.1. Структурна схема між технологічними сушарки

У структурній схемі, що подана, враховано такі основні параметри:

$P_{\text{сушарки}}$ – ступінь розрідження на виході з сушарки;

$W_{\text{частинок}}$ – кількість частинок висушеного матеріалу, що виносяться;

$F_{\text{сух}}$ – витрата сухого матеріалу;

$H_{\text{кш}}$ – висота (рівень) киплячого шару;

$F_{\text{вм}}$ – витрата сировини з підвищеною вологістю;

$T_{\text{кш}}$ – температура у зоні киплячого шару;

$F_{\text{пал}}$ – витрата палива;

$T_{\text{са}}$ – температура сушильного агенту;

$F_{\text{вп}}$ – витрата вторинного повітря;

$F_{\text{са}}$ – витрата сушильного агенту;

$F_{\text{пп}}$ – витрата первинного повітря;

$F_{\text{сп}}$ – співвідношення витрат палива та первинного повітря;

w_M – вологовміст матеріалу;

$w_{\text{са}}$ – вологовміст сушильного агенту.

2.4 Обґрунтування і вибір координат вимірювання, контролю, сигналізації, дистанційного керування, захисту, блокування та регулювання

До основних регульованих параметрів технологічного процесу відносяться ті вихідні величини, що мають вирішальний вплив на ефективність функціонування сушарки. Серед них ключовими є:

- температура у зоні киплячого шару;
- температура сушильного середовища;
- об'ємна витрата сушильного агенту.

Під час вибору параметрів для вимірювання важливо дотримуватись принципу оптимальності: кількість датчиків має бути мінімальною, але інформаційно достатньою для повного контролю над перебігом технологічного процесу. Передусім вимірюються ті показники, які необхідні для стабільної роботи обладнання, запуску та налагодження систем:

- температура у киплячому шарі;
- температура сушильного середовища;
- витрата та вміст вологи у сушильному агенті;
- кількість спожитого палива;
- витрати первинного і вторинного повітря.

Вибір параметрів для сигналізації здійснюється після ретельного аналізу ризиків, пов'язаних з вибухонебезпечністю, пожежною загрозою, а також токсичністю чи агресивністю оброблюваних речовин. Сигналізуються ті значення, які при виході за межі допустимого діапазону можуть спричинити аварійну ситуацію або призвести до суттєвого порушення режиму роботи.

Оскільки основними зовнішніми збуреннями для сушарки є зміни вологості вхідного матеріалу та сушильного агенту, необхідно мінімізувати їхній вплив. Це досягається шляхом стабілізації витрати сушильного середовища, забезпечення постійної подачі матеріалу на вхід установки та підтримання сталої температури сушильного агенту.

Системи автоматичного блокування відіграють важливу роль у запобіганні неправильним діям — вони блокують запуск або зупинку обладнання при невиконанні попередніх умов, а також унеможливають виконання операцій у порушеному технологічному порядку.

2.5 Визначення функціональних ознак систем автоматизації

Таблиця функціональних ознак систем автоматизації

Таблиця 2.3

| № п/п | Назва параметра | Показ | Сигналізація | Дискретне керування | Захист | Блокування | Автоматичне регулювання |
|-------|----------------------------|-------|--------------|---------------------|--------|------------|-------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | Витрата палива | + | | | | | |
| 2 | Витрати первинного повітря | + | | + | | | + |
| 3 | Витрати СА | + | | + | | | + |
| 4 | Температура СА | + | | + | | | + |
| 5 | Температура КШ | + | | + | | | |

Продовження таблиці 2.3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|-------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| 6 | Тиск в трубопроводі з паливом | | + | | + | + | |
| 7 | Тиск первинного повітря | | + | | + | + | |
| 8 | Тиск в киплячого шару | | + | | + | + | |
| 9 | Наявність полум'я в топці | | + | | + | + | |

На основі функціональних характеристик систем автоматизації, поданих у таблиці 2.3, розроблено спрощену функціональну схему процесу сушіння соняшника в сушарці з киплячим шаром і такі контури регулювання:

- контур 1. Співвідношення витрати палива і первинного повітря;
- контур 2. Регулювання витрати сушильного агенту після топки;
- контур 3. Регулювання температури сушильного агенту після топки;
- контур 4. Регулювання температури КШ в сушарці;
- контур 5. Регулювання рівню в сушарці;
- контур 6. Захист та контроль тиску, газу і повітря.

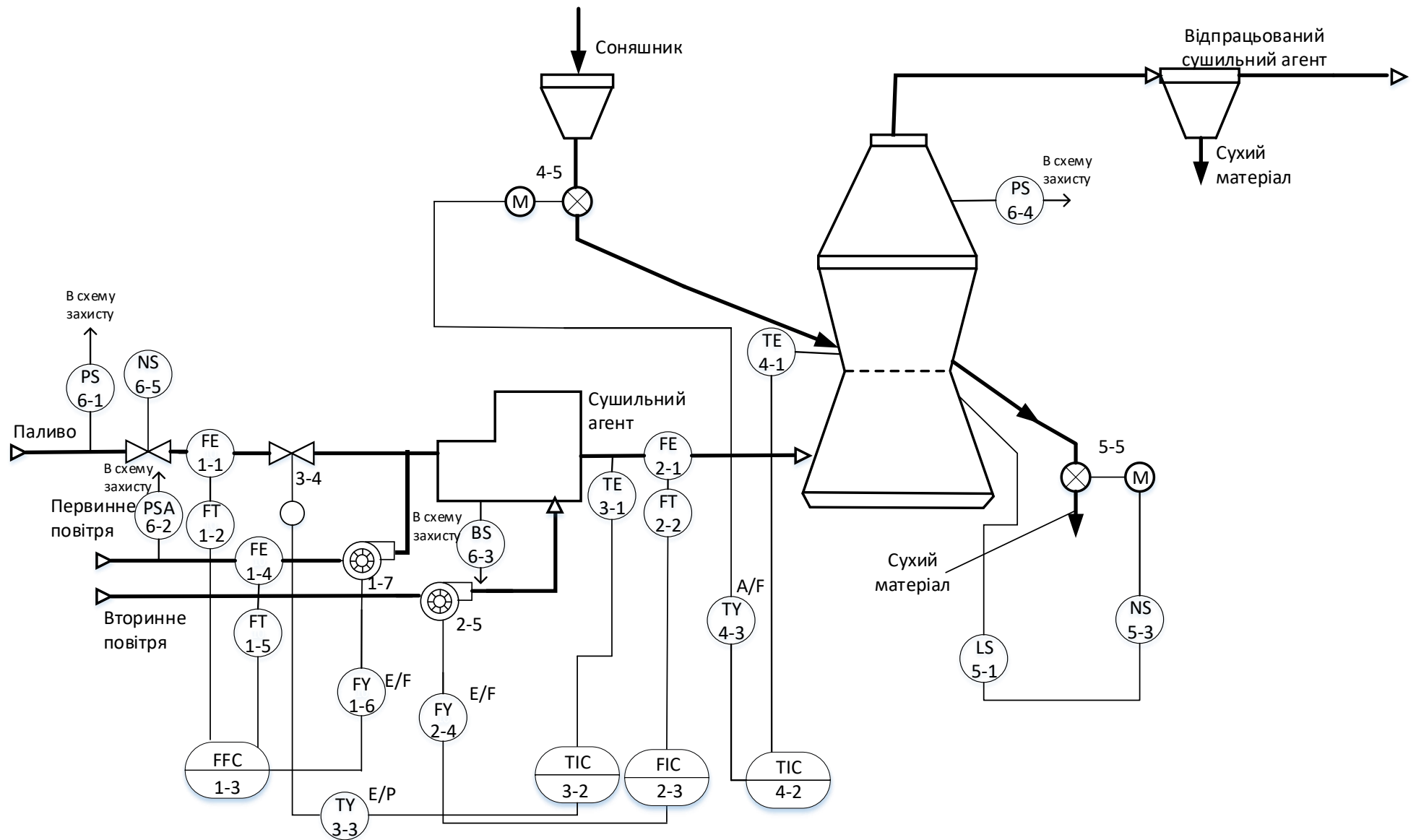


Рисунок 2.2 Спрощена функціональна схема автоматизації сушарки киплячого шару

РОЗДІЛ 3

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1.1 Вимірювальні перетворювачі та виконавчі механізми

Контур 1 Співвідношення витрати палива і первинного повітря

Витрата палива, яке поступає в топку вимірюється за допомогою камерної діафрагми типу ДКС-0.6 – 50-А/Б-1 .

Перепад тисків на діафрагмі вимірюється за допомогою перетворювача різниці тисків САФІР М2401 сигнал якого поступає на мікропроцесорний регулятор МІК-51Н.

Витрата повітря яке поступає в топку вимірюється за допомогою камерної діафрагми типу ДКС-0.6 – 80-А/Б-1,а перепад тисків на діафрагмі вимірюється за допомогою перетворювача різниці тисків САФІР М2410,сигнал з якого поступає на мікропроцесорний регулятор МІК-51Н який подає сигнал на частотний перетворювач типу ATV320U22N4В , а він в свою чергу керує приводом нагнітача що подає повітря в топку

Контур 2 Регулювання витрати сушильного агенту після топки

Витрата СА після топки вимірюється за допомогою камерної діафрагми типу ДКС- 0.6 – 150-А/Б-1. Перепад тисків на діафрагмі вимірюється за допомогою перетворювача різниці тисків САФІР М2415, де формується аналоговий сигнал, який подається на мікропроцесорний регулятор МІК-51Н, який подає сигнал на частотний перетворювач типу ATV320U40N4В, а він в свою чергу керує приводом нагнітача що подає повітря на нагрівня

Контур 3 Регулювання температури сушильного агенту після топки

Температура вимірюється за допомогою подвійного термперетворювача опору типу ТСП – 1187, потім використовуємо нормуючий перетворювач типу ПВ-0013, який призначений для перетворення сигналів від первинних термперетворювачів в уніфікований вихідний сигнал.

Після нього сигнал поступає на мікропроцесорний регулятор МІК-51Н,а після регулятора сигнал передається на позиціонер типу SAMSON 3730-2.

Сигнал з позиціонера поступає електропневматичний перетворювач типу

Samson 6111-1 сигнал з якого попадає на клапан Samson 3241 з приводом 3277 який регулює температуру сушильного агенту

Контур 4 Регулювання температури КШ в сушарці

Температура вимірюється за допомогою термоперетворювача опору типу ТСП –1187. Потім використовуємо нормуючий перетворювач типу ПВ-0013, який перетворює сигнал і подає на мікропроцесорний регулятор МІК-51Н. Після регулятора сигнал обробляється і подається на частотний перетворювач ATV320U40N4В для керування електродвигуном та шлюзовим живильником ШП-500.

Контур 5 Регулювання рівня в сушарці

Сигнал з перетворювача рівня типу Endress+Hauser FTE20-AA13AA41 видає дискретний сигнал досягнення заданого значення рівня, який поступає на мікропроцесорний регулятор МІК-51Н. По цьому сигналу контролер включає шнек ШП-500 для вивантаження сухого продукту з сушарки

Контур 6 Захист та контроль тиску газу і повітря;

Для захисту тиску газу і повітря використаємо давач-реле напору типу ДН-40. Як захист від погасання полум'я використаємо реле контролю полум'я типу РКП-1. Для контролю розрідження використаємо датчик-реле розрідження типу LGW 3 A2-7. У випадку виникнення помилки, припинення подачі пального буде виконуватись за допомогою електромагнітного клапану EV220B 6-22 і сповіщення про аварію відбуватиметься за допомогою світлових індикаторів типу XB5AVB4

3.1.2 Технічні характеристики вибраних вимірювальних перетворювачів

Датчики різниці тисків «Сафір М2401», «Сафір М2410», «Сафір М2415»[3]

Датчик оснащений аналоговим електронним модулем, що забезпечує стійкість динамічних характеристик, а також надає точне налаштування перед розміщенням у важкодоступних місцях без можливості подальшого переналаштування.

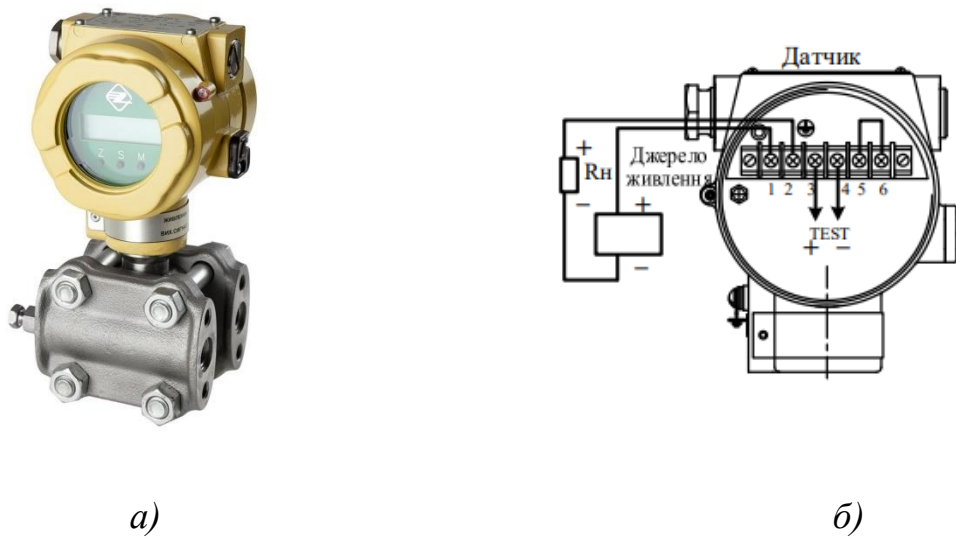


Рис.3 .1. Зображення датчиків різниці тиску: Сафир М

а) загальний вигляд; б) схема електричних з'єднань.

Технічні характеристики:

-тип тиску: диференційний;

-діапазон вимірювань:

Сафир М2401: 0-250 Па;

Сафир М2410: 0-1 кПа;

Сафир М2415: 0-2,5 кПа;

-вихідний сигнал: 4-20 mA;

- матеріал: корозійно-стійка сталь 12Х18Н10Т.

Діафрагми камерні «ДКС-0.6 – 50-А/Б-1», «ДКС-0.6 – 80-А/Б-1», «ДКС-0.6 – 150-А/Б-1»[4]

Діафрагма - спеціальний пристрій, який призначений для вимірювання витрати рідини, газу або пари, в основі якої лежить принцип вимірювання змінного перепаду тиску.



Рис. 3.2. Діафрагма камерна ДКС

:

У трубопровід встановлюється діафрагма дкс, яка створює звуження потоку рідини чи газу. Через зменшення прохідного отвору частина потенційної енергії потоку перетворюється на кінетичну, швидкість потоку знижується, і тиск після звуження пристрою (камерна діафрагма) стає менше, ніж до нього. На основі різниці показників тиску і обчислюється витрата. Чим вище різниця тисків, тим вища витрата.

Технічні характеристики:

- позначення: ДКС;
- умовний тиск P_u , Мпа: 0,6;
- умовні проходи D_u , мм: 50...500;
- матеріал корпусу камери: Сталь 20 ГОСТ 1050-88;
- матеріал диску: Сталь 12Х18Н10ТГОСТ 5632;
- умовні позначення: А/Б.

Ротаційний датчик рівня Endress+Hauser FTE20-AA13AA41[5]

Механічний поворотний пластинчастий сигналізатор рівня Soliswitch FTE20-AA13AA41 від Endress+Hauser з релейним виходом є ідеальним датчиком для визначення рівня, а також для оповіщення про заповнення, спорожнення.

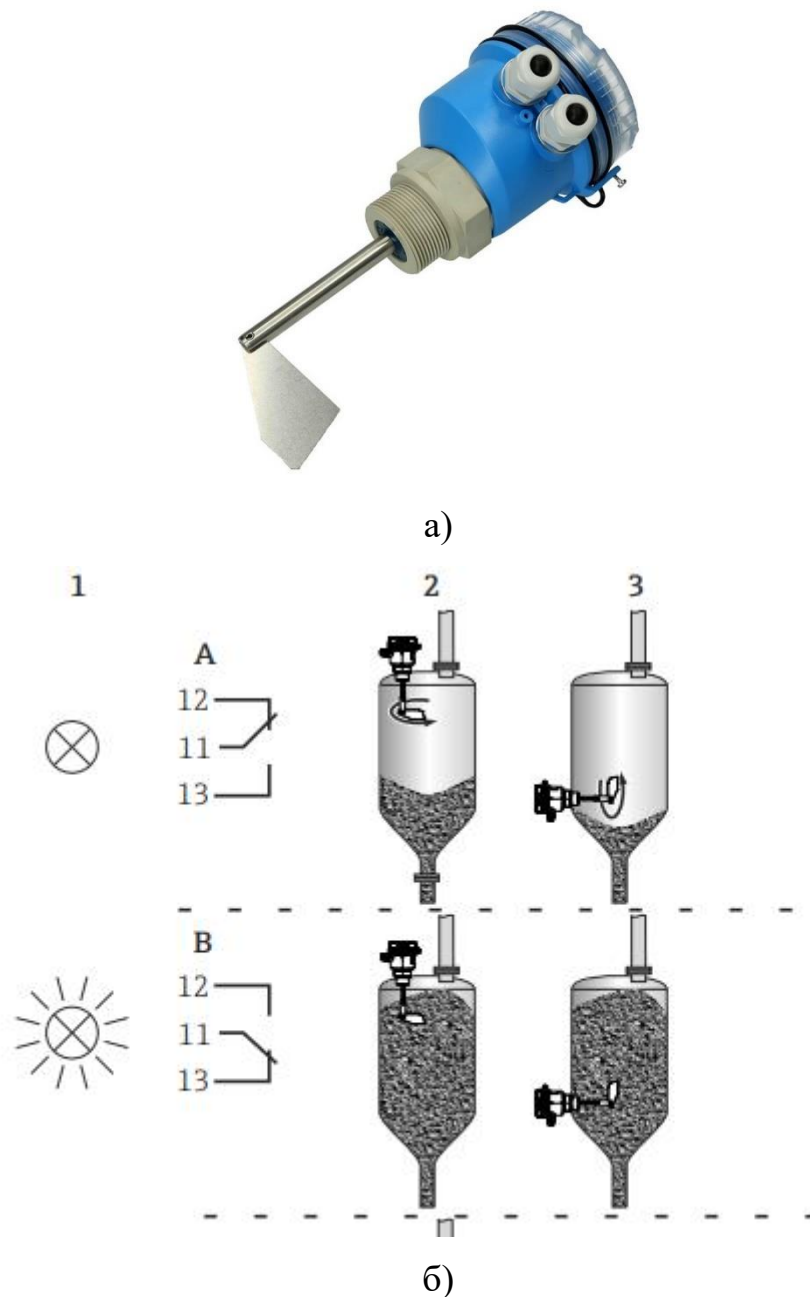


Рис.3 .3. Зображення ротаційного датчику
 а) загальний вигляд; б) схема електричних з'єднань.

Технічні характеристики:

- робоча напруга макс.: 230 В;
- вихід: релейний;
- максимальний вихідний струм: 6 А;
- стійкість до тиску: 0.5-2.5 бар;
- довжина стрижня: 75 мм;
- матеріал корпусу: полікарбонат;
- температура навколишнього середовища мін.: -20 °С;

-температура навколишнього середовища макс.: 60 °С.

Сигнальна лампа XB5AVB4 [24]

Сигнальний індикатор оснащено червоним світлодіодом та призначено для роботи при номінальній напрузі живлення 24 В постійного струму. Його зовнішній вигляд зображено на рисунку 3.1.



Рисунок 3.4. Зовнішній вигляд сигнальної лампи типу XB5AVB4

Нормуючий перетворювач типу ПВ-0013[6]



Рис. 3.5. Нормуючий перетворювач типу ПВ-0013

а) загальний вигляд; б) схема електричних з'єднань.

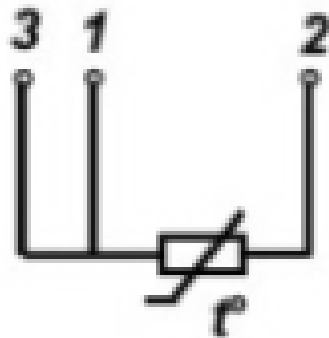
Перетворювач ПВ-0013 призначений для перетворення сигналів від первинних термоперетворювачів на уніфікований вихідний сигнал в діапазонах 4 - 20 мА, 0 - 5 мА. Монтується в головки термоперетворювачів.

Технічні характеристики:

- напруга живлення: від 12 до 36 В (постійного струму);
- опір навантаження,кОМ: до 1,2;
- температура навколишнього повітря, °С: від -40 до 80;

Термоперетворювачі опору ТСП-1187[7]

Призначені для вимірювання температури рідких і газоподібних середовищ у вибухонебезпечних зонах, в яких можуть міститися аміак, азотоводнева суміш, вуглекислий газ, природний або конвертований газ і його компоненти, а також агресивні домішки сірководню і сірчаного ангідриду.



а)



б)

Рис. 3.6. Термоперетворювачі опору ТСП-1187

а) загальний вигляд; б) схема електричних з'єднань.

Термоперетворювачі мають вибухонебезпечний рівень вибухозахисту «вибухонепроникна оболонка» і маркування вибухозахисту.

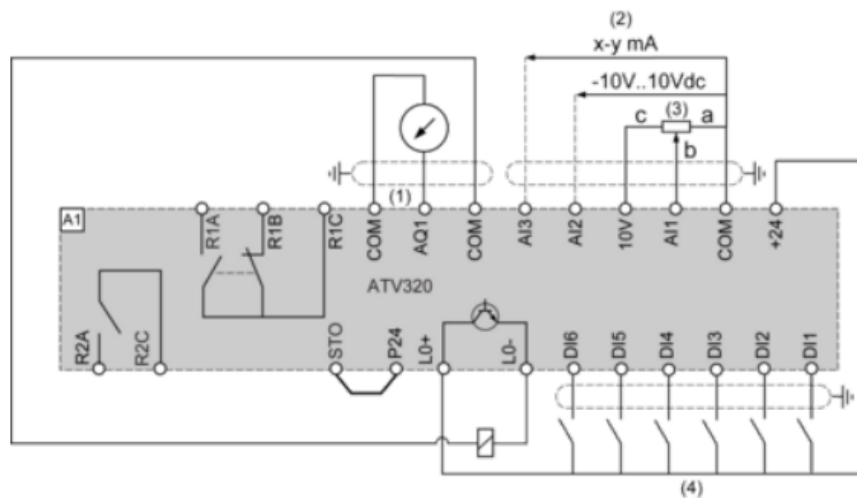
Технічні характеристики:

- робочий діапазон ТСП-1187: від -50 до 200°C;
- умовна позначка НСХ: 50П, 100П, Pt50, Pt100;
- матеріал захисної арматури, сталь: 12Х18Н10Т;
- довжина, мм: від 80 до 2000.

ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЧАСТОТИ «ATV320U22N4B», «ATV320U40N4B»[8]



a)



- (1) Analog output
 (2) Analog inputs
 (3) Potentiometer SZ1RV1202 (2.2 kΩ) or similar (10 kΩ maximum)
 (4) Digital Inputs - Shielding instructions are given in the Electromagnetic Compatibility section

б)

Рис.3.7. Зображення перетворювача частоти

а) загальний вигляд; б) схема електричних з'єднань.

Технічні характеристики:

-серія продукту: Altivar Machine ATV320;

-номінальний вихідний струм [A]:

ATV320U22N4B: 5,5;

ATV320U40N4B: 9,5;

-потужність двигуна [кВт]:

ATV320U22N4B: 2,2;

ATV320U40N4B: 4,0;

-номінальна напруга живлення: 380..500 В - 15...10 %.

Шлюзовий живильник ШП-500[9]



Рис.3.8. Шлюзовий живильник ШП-500

Шлюзовий живильник ШП-500 призначений для дозованої подачі сипучих матеріалів з бункерів, циклонів, фільтрів, силосів або інших технологічних ємностей у приймальні пристрої систем транспортування. Пристрій забезпечує рівномірне вивантаження матеріалу, знижує пиловиділення та зберігає герметичність між зонами з різним тиском.

Технічні характеристики:

-обсяг живильника: 280 л;

-продуктивність: 49–130 м³/год (залежно від частоти обертання);

-потужність: 2,2 кВт;

-напруга живлення: 380 В;

-діаметр ротора: 200 мм;

-робоча довжина ротора: 500 мм;

-кількість секторів: 8.

Регулювальний клапан Samson 3241 DN50 з приводом 3277 та позиціонером 3730-2[10]

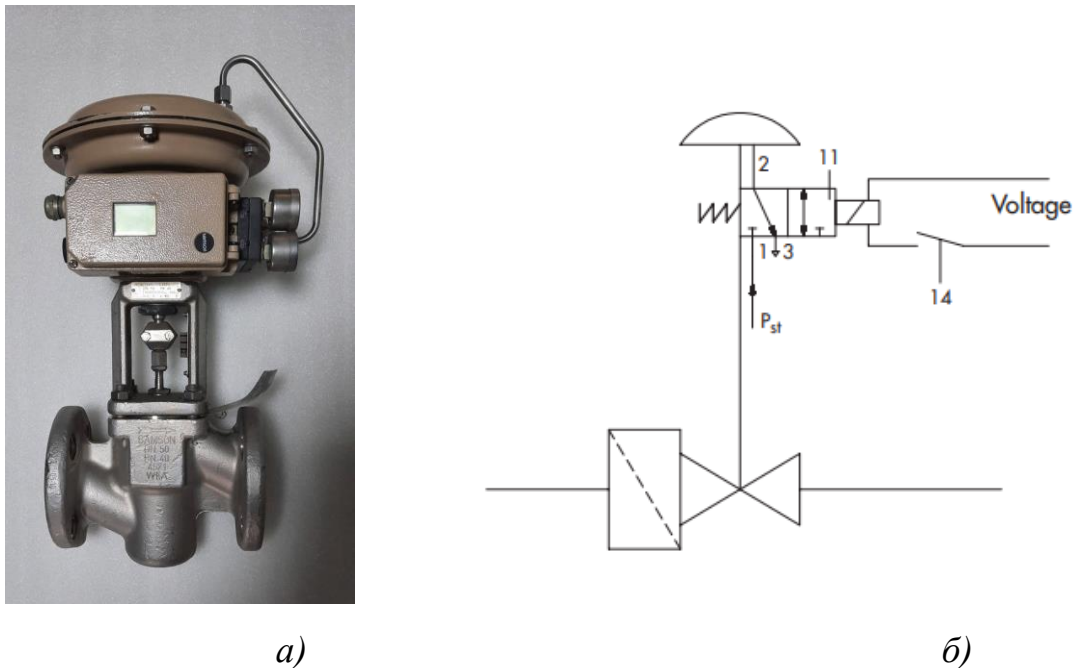


Рис.3.9. Регулюючий клапан Samson 3241 DN50 з приводом 3277 та позиціонером 3730-2

а) загальний вигляд; б) схема електричних з'єднань.

Прохідний клапан (регулювальний клапан) SAMSON Тип 3241 у поєднанні з приводом 3277, призначений для запірно-регулювання, регулювання та відсічення витрати, тиску та температури рідких, газо- та пароподібних середовищ.

Технічні характеристики:

- матеріал корпусу клапана: 1.4571;
- привод 3277: 240см²;
- позиціонер: 3730-2;
- температура процесу –10 ... +220 С;
- максимум. тиск подачі: 6 бар;
- ступінь захисту: IP 54.

Електро пневматичний перетворювач Samson 6111-1[11]

Перетворювач Samson 6111 - це електропневматичний перетворювач сигналів постійного струму. Призначений для перетворення сигналу постійного струму на пневматичний вимірювальний та керуючий сигнал.

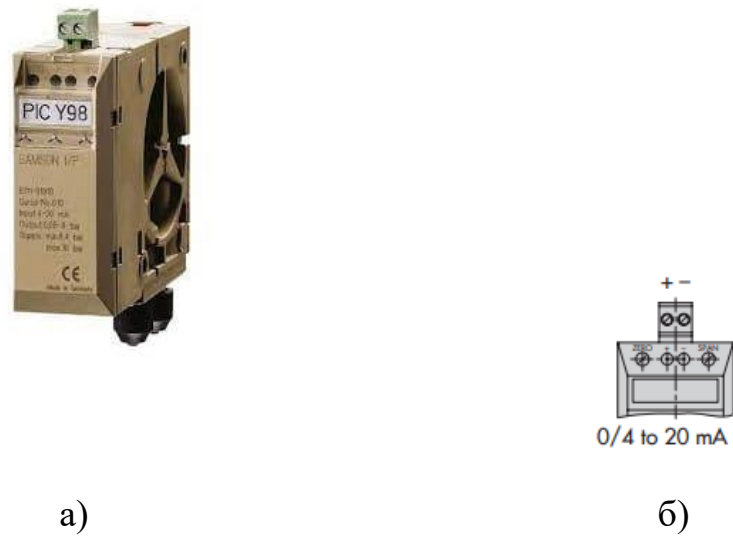


Рис.3.10. Електро пневматичний перетворювач Samson 6111-1

а) загальний вигляд; б) схема електричних з'єднань.

Технічні характеристики:

- вибухозахист: АTEX Eex;
- вхід: 4...20 мА;
- вихід: 0,2...1 бар;
- вихідний сигнал: до 8 бар;
- тиск живлення: 0,4...10 бар;
- температура довкілля: -20 - +70 °С;
- ступінь захисту: IP 20, IP 65.

Електромагнітний клапан EV220В 6-22[12]



Рис.3.11. Електромагнітний клапан EV220В 6-22

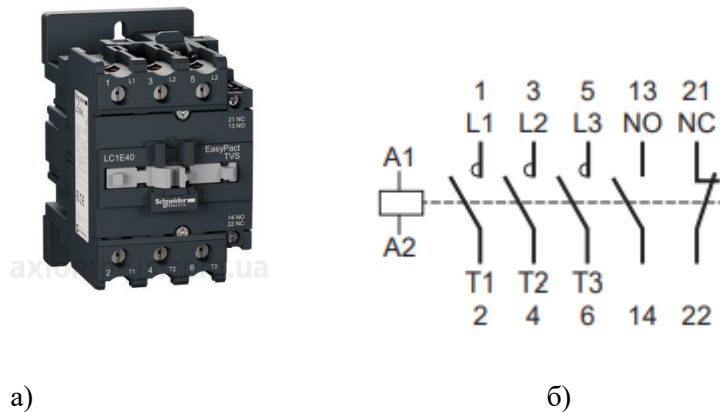
Конструкція клапана забезпечує надійну роботу в умовах інтенсивного

циклічного навантаження, що робить його оптимальним для використання в складі автоматизованих промислових установок. Завдяки поєднанню компактності, високої чутливості та довговічності, даний клапан відповідає вимогам до обладнання OEM-рівня.

Технічні характеристики

- діапазон перепаду тиску, бар: 0.3 – 20;
- макс. випробувальний тиск, бар: 16;
- час відкриття, мс: 200;
- час закриття, мс: 500;
- макс. температура навколишнього середовища, °C: +80;
- температура робочого середовища, °C: -30...+100;
- максимальна в'язкість, сСт: 50.

Контактор Schneider Electric 3P E 40A AC3 ~220В 50 ГЦ[13]



а)

б)

Рис.3.12. Контактор Schneider Electric

а) загальний вигляд; б) схема електричних з'єднань.

Технічні характеристики:

- основні контакти: ЗНО;
- діапазон робочих температур: від -20 до +70 ° C;
- механічна зносостійкість: 400 тис. Циклів;
- напруга живлення котушки управління: 230В;
- тип напруги: АС;
- номінальний струм: 40А.

Датчик-реле розрідження LGW 3 A2-7[14]

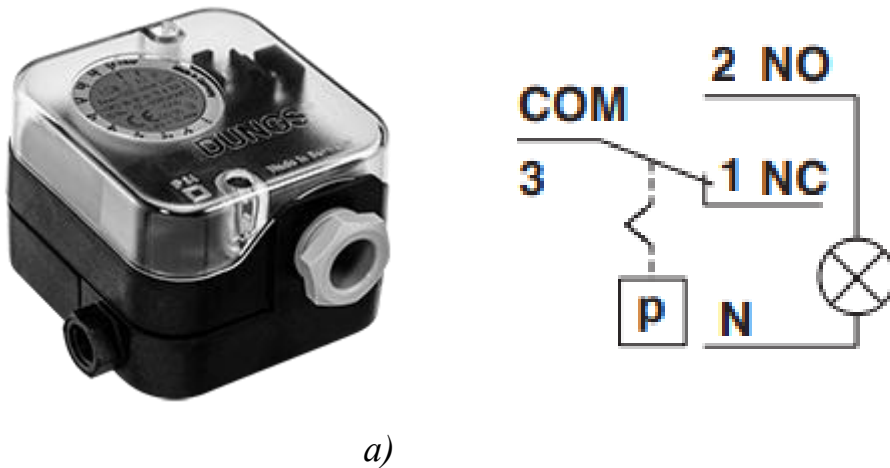


Рис.3.13. Датчик-реле розрідження LGW 3 A2-7
а) загальний вигляд; б) схема електричних з'єднань.

Датчик-реле розрідження Dungs LGW 3 A2-7 призначений для надійного контролю параметрів тиску в системах теплогенерації та повітропідготовки. Пристрій виконує моніторинг розрідження, надлишкового тиску або різниці тисків у повітряних каналах систем опалення, вентиляції та кондиціонування. Завдяки високій точності та стабільності вимірювання, реле забезпечує своєчасне виявлення відхилень від заданих значень і може використовуватись у складі захисних та регулювальних контурів автоматизованих установок.

Технічні характеристики:

- діапазон налаштування: 20–300 Па;
- гістерезис: 20 Па;
- максимальний робочий тиск: 10 кПа.

Реле контролю полум'я РКП-1[15]

Реле контролю полум'я типу РКП-1 використовується для автоматичного нагляду за наявністю полум'я у топкових камерах промислових стаціонарних котлів і теплових печей. Основним завданням пристрою є перетворення аналогового сигналу з фотодатчика або іншого сенсора полум'я у дискретний логічний сигнал, який подається до системи автоматичного керування для активації

режиму аварійного сповіщення або відключення подачі палива у випадку згасання горіння.

РКП-1 виконане у міцному ударостійкому корпусі з литої технічної пластмаси. Для зручності встановлення пристрій обладнано фіксатором для монтажу на стандартну DIN-рейку шириною 35 мм, що відповідає сучасним вимогам до модульних систем автоматизації.

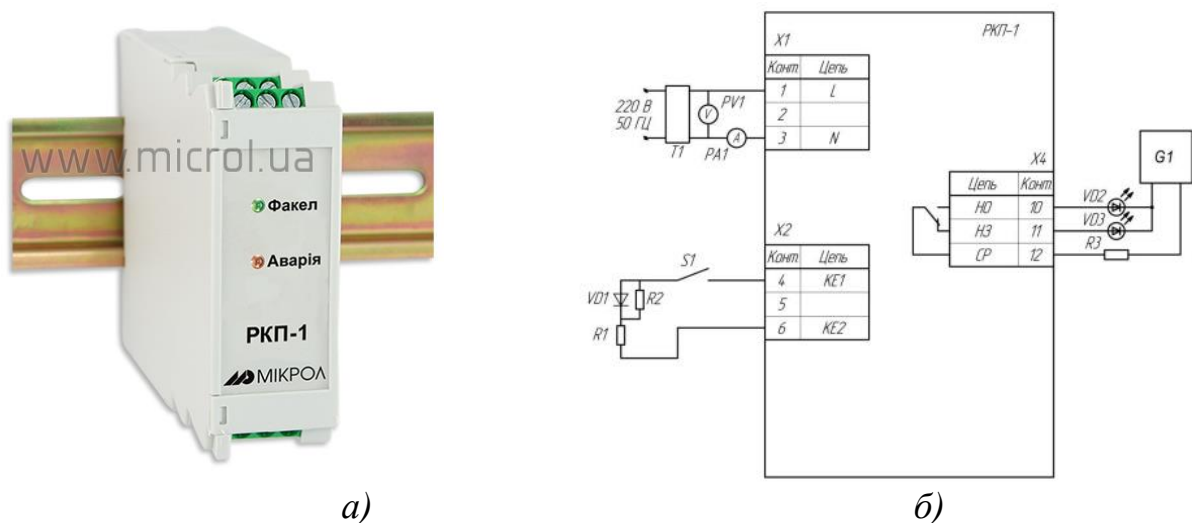


Рис.3.14. Реле контролю полум'я РКП-1

а) загальний вигляд; б) схема електричних з'єднань.

Технічні характеристики:

- вхідний сигнал від датчика полум'я: не менше 4 мкА;
- максимальна температура для датчика полум'я ДП-1: 950 °С;
- довжина лінії зв'язку між датчиком і реле: до 50 м;
- кількість вихідних реле: 1;
- максимальна комутована напруга змінного струму: до 250 В;
- максимальний комутований струм виходу: 8 А;
- напруга живлення: від 198 до 242 В;
- споживана потужність: не більше 12 В·А.

Давач-реле напору типу ДН-40[16]

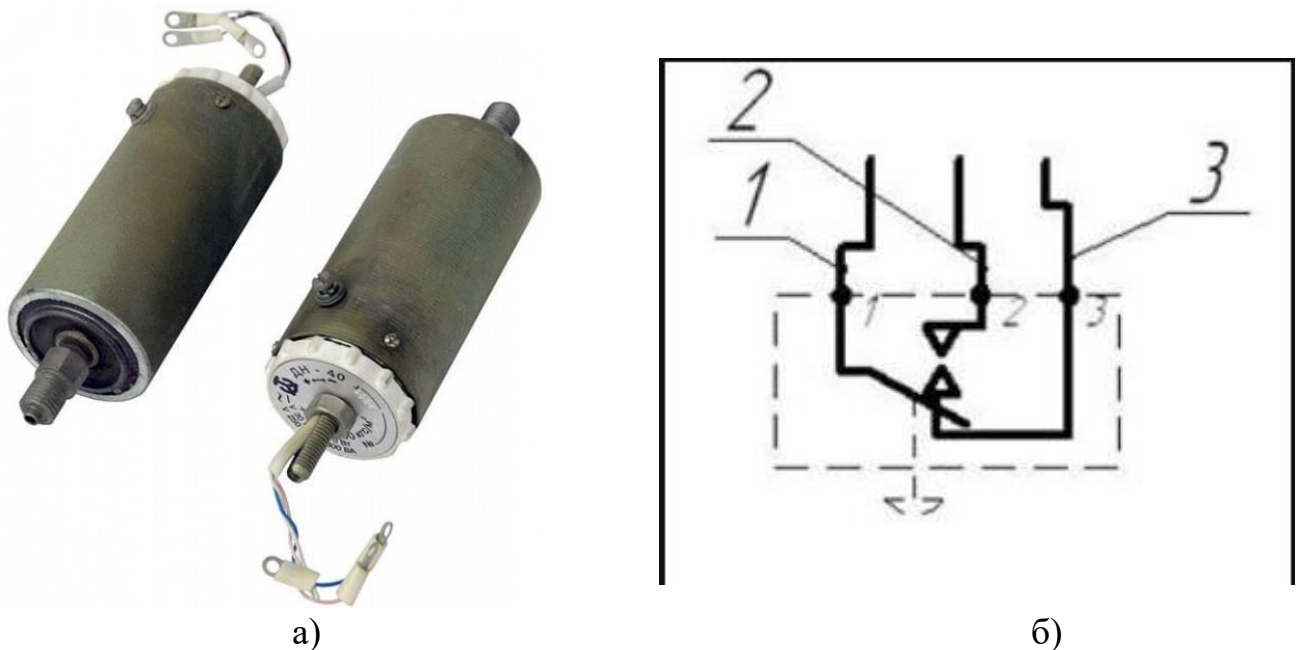


Рис.3.15. Давач-реле напору типу ДН-40

а) загальний вигляд; б) схема електричних з'єднань.

Датчик-реле тиску типу ДН-40 використовується для контролю параметрів тиску в середовищах, що транспортують газ, рідини або повітря. Його основне призначення полягає в автоматичному керуванні обладнанням — зокрема, насосами, вентиляторами, компресорами чи іншими виконавчими механізмами — за допомогою замикання або розмикання електричних контактів при досягненні встановленого значення тиску. Пристрій забезпечує стабільну роботу систем подачі і є важливим елементом контурів безпеки та регулювання.

Технічні характеристики:

- діапазон регулювання тиску: від 0 до 40 кгс/см² (від 0 до 4 Мпа);
- гістерезис (перепад між вмиканням і вимиканням): від 0,1 до 0,6 кгс/см² (регульований);
- максимальний робочий тиск: 40 кгс/см²;
- температура робочого середовища: від -25 до +120 °С;
- напруга комутованого кола: до 380 В;
- максимальний комутований струм: до 10 А.

3.2 Мікропроцесорний програмований засіб автоматизації

3.2.1 Обґрунтування вибору мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації та опис його технічних характеристик

У якості керуючого пристрою було обрано мікропроцесорний контролер МІК-51Н, який повністю відповідає вимогам до надійності та продуктивності в межах визначеного обсягу сигналів керування та вимірювання.

Програмовані логічні контролери (ПЛК) – це пристрої з постійною дією, що здатні виконувати цифрову обробку даних та призначені для управління технологічними процесами в реальному часі.



Рис.3.2.1. Зображення МІК-51Н[17]

Компанія «МІКРОЛ» пропонує комплекс рішень для автоматизації — від вимірювальних приладів до блоків ручного керування, що можуть використовуватись як у локальних системах автоматизації, так і в автоматизованих системах керування технологічними процесами (АСКТП).

Особливо доцільним вибором для реалізації АСКТП є мікропроцесорний контролер МІК-51Н, який вирізняється компактністю та універсальністю. Така малоканальна структура дозволяє ефективно автоматизувати як невеликі об'єкти, зменшуючи витрати, так і складні системи, забезпечуючи їхню високу надійність.

МІК-51Н підтримує широкий спектр алгоритмів регулювання: локальне, каскадне, програмне, супервізорне та багатозв'язне. Його архітектура дозволяє як автоматично, так і вручну перемикає режими регулювання, змінювати конфігурацію контурів, вмикати та вимикати їх без впливу на стабільність роботи навіть при складній логіці керування.

Окрім обробки аналогових сигналів, пристрій здатен виконувати логічні перетворення та формувати керуючі команди у вигляді імпульсних, аналогових або дискретних сигналів.

Фронтальна панель контролера містить органи оперативного керування, які дозволяють користувачу вручну обирати режими (автоматичний або ручний), задавати параметри, керувати виконавчими елементами та контролювати їхній стан. Для підключення використовуються стандартні кабельні з'єднання з аналоговими та дискретними датчиками і пристроями.

Контролери цієї серії можуть бути інтегровані у локальну керуючу мережу шинного типу, що базується на протоколі Modbus. Це забезпечує цифровий обмін даними між кількома пристроями в межах однієї системи.

Програмування МК-51Н здійснюється як через інтерфейс за допомогою ПЗ «АЛЬФА», так і вручну — через кнопки на панелі. Мовою програмування слугує функціональна блокова діаграма (Function Block Diagram, FBD), що забезпечує інтуїтивно зрозумілий об'єктно-візуальний підхід до створення алгоритмів. Інформація зберігається у вбудованій енергонезалежній пам'яті, що гарантує збереження налаштувань при вимкненні живлення.

МК-51Н являє собою багатофункціональний технічний комплекс, до складу якого входять мікропроцесорний модуль та клемний блок.

У конструкції контролера передбачено:

- До 9 незалежних контурів регулювання, кожен з яких може працювати в локальному або каскадному режимі, з аналоговими чи імпульсними виходами, а також мати ручне, програмне або супервізорне керування.
- Можливість зміни режимів, перемикання та реконфігурації контурів без обмежень за складністю.
- Засоби оперативного керування, що включають клавіатуру, цифрові індикатори та LED-сигналізатори, які дозволяють задавати параметри, відстежувати стан обладнання та обирати програми регулювання.
- Об'єднання до 32 пристроїв у єдину мережу, включно з іншими моделями контролерів.

Контролер має модульну конструкцію, яка дозволяє користувачу обирати відповідні модулі введення/виведення відповідно до вимог конкретного проекту. Кількість та типи сигналів, які може обробляти пристрій, вказуються при замовленні.

Базова конфігурація МІК-51Н включає: [19]

- 4 аналогових входи (2 універсальні та 2 уніфіковані);
- 1 аналоговий вихід;
- 3 дискретних входи;
- 5 дискретних виходів

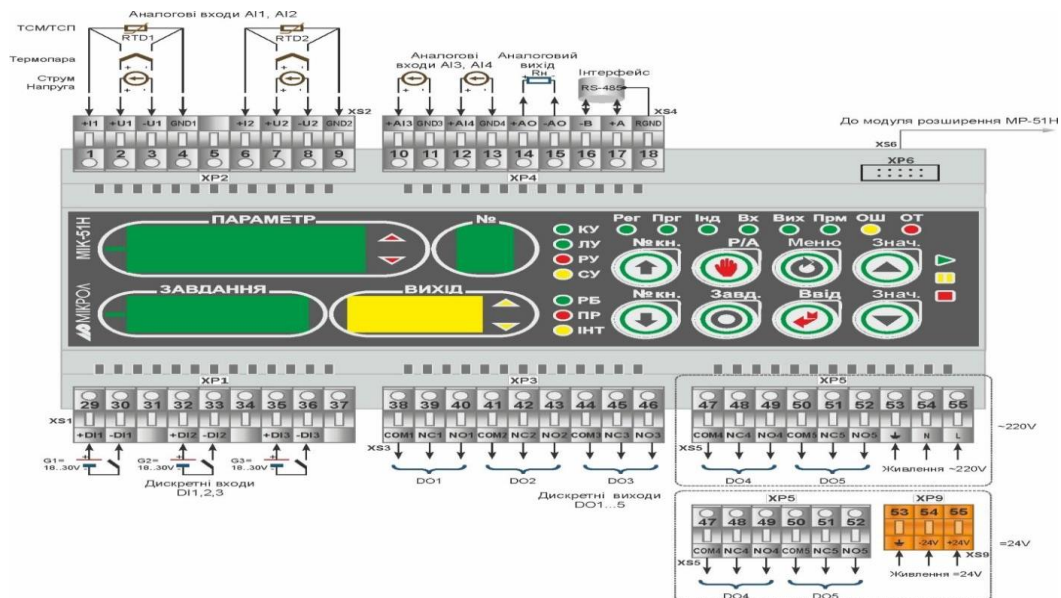


Рисунок 3.2.2. Схема підключення периферійних пристроїв до ПЛК серії МІК-51Н

Модуль розширення MP-51H-17 має 8 дискретних входів, 8 дискретних виходів і 3 аналогових виходи, тобто контролер МІК-51Н з даним модулем розширення матиме 11 дискретних входів (3 базових + 8 на модулі розширення) 13 дискретних виходів (5 базових + 8 на модулі розширення) і 4 аналогових виходи відповідно. Кожен дискретний вхід гальванічно ізольований від інших дискретних входів і інших кіл контролера. Для живлення дискретних входів (давачів) потрібна зовнішня нестабілізована напруга 24 В постійного струму.[19]

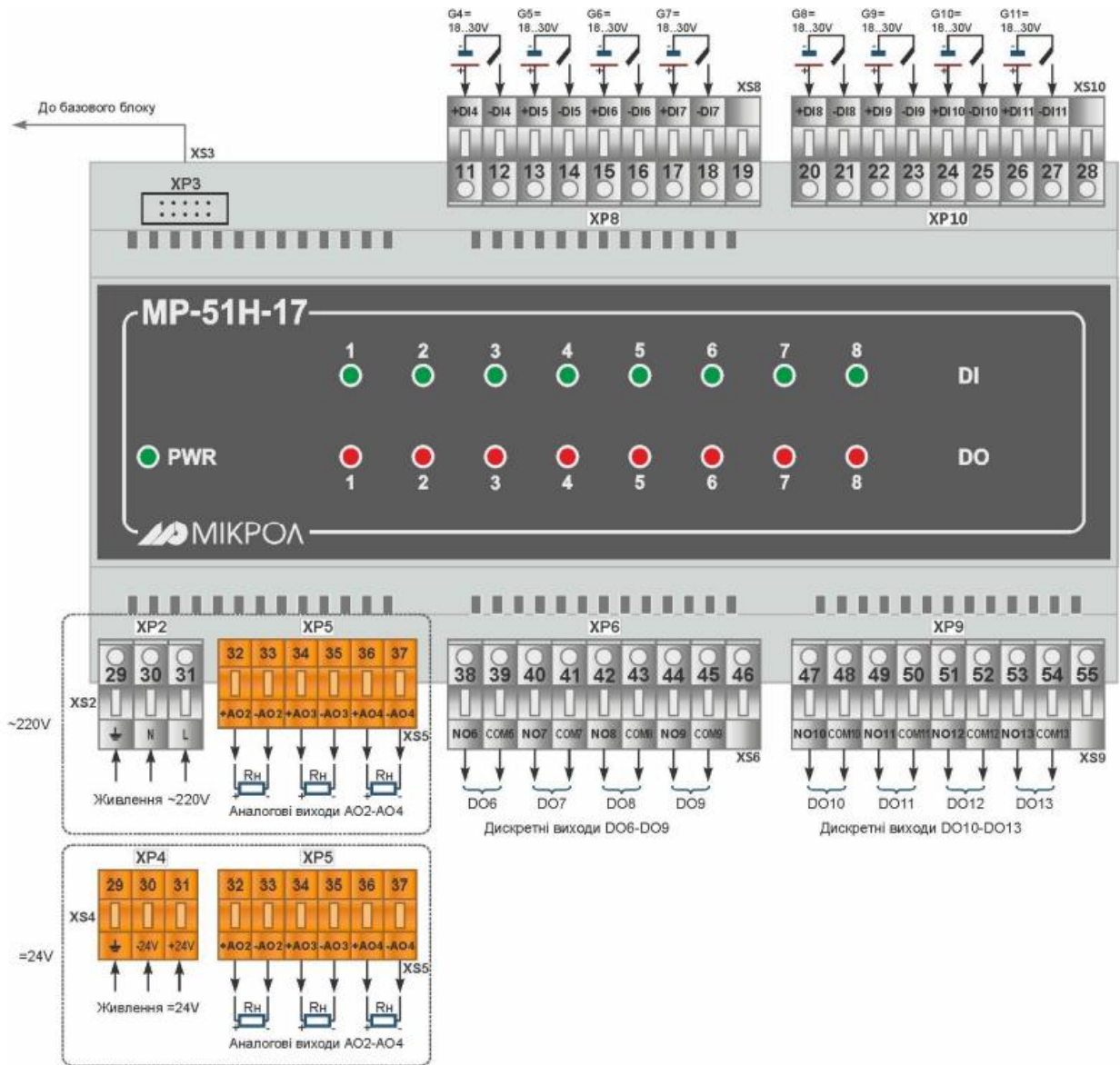


Рисунок 3.2.3. Нумерація клем і сигнали модуля розширення MP-51H-17

3.2.2 Концепція вибору компонентів мікропроцесорного програмованого засобу

У відповідності до функціональної схеми автоматизації для реалізації системи автоматизованого керування технологічним процесом потрібно забезпечити:

- ❖ загальна кількість дискретних вхідних сигналів: $DI_{\text{ЗAD}} = 12$;
- ❖ загальна кількість дискретних вихідних сигналів: $DO_{\text{ЗAD}} = 10$;
- ❖ загальна кількість аналогових вхідних сигналів: $AIN_{\text{ЗAD}} = 5$;
- ❖ загальна кількість аналогових вихідних сигналів: $AOUT_{\text{ЗAD}} = 5$;

Для забезпечення потрібної кількості вхідних та вихідних сигналів вибираємо наступну конфігурацію ПЛК:

- ✓ мікропроцесорний програмований модуль керування $МК - 51Н-17-Р - 03 - 03 - 03 - 03 - 3 - 24 - 1$ шт.
- ✓ мікропроцесорний програмований модуль керування $МК - 51Н-00-Р - 03 - 03 - 03 - 03 - 3 - 24 - 1$ шт.
- ✓ модуль розширення $МР - 51Н - 17 - Р - 03 - 24 - 1$ шт.

Ця конфігурація забезпечує наступну кількість вхідних/вихідних сигналів:

- ❖ дискретні вхідні сигнали: $DI = 15 > DI_{\text{ЗAD}} = 12$;
- ❖ дискретні вихідні сигнали: $DO = 18 > DO_{\text{ЗAD}} = 10$;
- ❖ аналогові вхідні сигнали $AIN = 8 > AIN_{\text{ЗAD}} = 5$;
- ❖ аналогові вихідні сигнали: $AOUT = 5 == AOUT_{\text{ЗAD}} = 5$;

3.3 Специфікація технічних засобів автоматизації

Таблиця 3.2

Специфікація технічних засобів автоматизації

| № | № позиції | Технологічний параметр | Місце встановлення ТЗА | Назва та коротка технічна характеристика ТЗА | Тип | К-ть |
|---|-----------|------------------------|------------------------|---|--|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 2 | 1-1 | Витрата | По місцю | Діафрагма камерна Du = 50 мм | ДКС-0.6 – 50-А/Б-1 | 1 |
| 3 | 1-4 | Витрата | По місцю | Діафрагма камерна Du = 80 мм | ДКС-0.6 – 80-А/Б-1 | 1 |
| 4 | 2-1 | Витрата | По місцю | Діафрагма камерна Du = 150 мм | ДКС-0.6 – 150-А/Б-1 | 1 |
| 5 | 1-2 | Різниця тисків | По місцю | Датчик різниці тисків Діапазон: 0-250 Па Вихідний сигнал: 4-20 мА | Сафір М2401 | 1 |
| 6 | 3-3 | Тиск | На щиті | Електро-пневматичний перетворювач Вхід: 4...20 мА Вихід: 0,2...1 бар | Samson 6111 | 1 |
| 6 | 1-5 | Різниця тисків | По місцю | Датчик різниці тисків Діапазон: 0-1 кПа Вихідний сигнал: 4-20 мА | Сафір М2410 | 1 |
| 7 | 2-2 | Різниця тисків | По місцю | Датчик різниці тисків Діапазон: 0-2,5 кПа Вихідний сигнал: 4-20 мА | Сафір М2415 | 1 |
| 8 | 5-1 | Рівень в сушарці | По місцю | Датчик для визначення рівня Діапазон перепаду тиску, бар: 0.3 - 20 Час відкриття, мс: 200 | Ротаційний датчик рівня Endress+Hauser FTE20-AA13AA41 | 1 |

Продовження таблиці 3.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----|------------|---|----------|--|------------------------------|---|
| 9 | 3-1 4-1 | Температура сушильного агента після топки та кип'ячого шару в сушарці | По місцю | Термоперетворювач опору. Клас допуску В. Діапазон: -100...500 °С НСХ: 50П | ТСП-1187 | 2 |
| 10 | 3-2 4-2 | | По місцю | Нормуючий перетворювач. Вихід: 4-20 Ма Похибка вимірювання: 0,25 % | ПВ-0013 | 2 |
| 11 | 4-5 5-4 | | По місцю | Обсяг живильника 280 л Продуктивність 49–130 м ³ /год Потужність 2,2 кВт Напруга живлення 380 В Діаметр ротора 200 мм | ШП-500 | 2 |
| 12 | 1-6 | Частота | На щиті | Номінальний струм:5,5А Потужність:2.2 кВт Напруга живлення: 380..500 В | АТВ320"АТ V320U22N4В " | 1 |
| 13 | 2-4 4-3 | Частота | На щиті | Номінальний струм:5,5А Потужність:4.0 кВт Напруга живлення:380В | АТВ320"АТ V320U40N4В " | 2 |
| 14 | 6-3 | | По місцю | Реле контролю полум'я. Uном = 220В Максимальний комутуючий струм = 8 А Максимальна робоча температура = 950 °С | РКП-1 | 1 |
| 15 | 6-4 | | По місцю | Датчик-реле розрідження. Діапазон: 20-300 кПа Гістерезис 20 кПа | LGW 3 A2-7 | 1 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----|-------------|--------------|-------------|---|---|---|
| 16 | HL1- HL4 | Сигналізація | На щиті | Сигнальна лампа XB5AVB4 призначена для сигналізації або візуального відображення. | Сигнальна лампа XB5AVB4 | 4 |
| 17 | 3-4 | | По місцю | Привід 3277 та позиціонер 3730-2 | | 1 |
| 18 | 3-5 | | По місцю | Регулювальний клапан Samson 3241 DN50 | Samson 3241 DN50 | 1 |
| 19 | 5-3 | | На щиті | Контактор Schneider Основні контакти: 3НО Діапазон робочих температур: від -20 до +70 °С Напруга живлення катушки управління: 230В | Schneider Electric TeSys | 1 |
| 20 | 6-5 | | На щиті | Електромагнітний клапан Діапазон перепаду тиску, бар: 0.3 - 20 Час відкриття, мс: 200 Час закриття, мс: 500 | EV220В 6-22 | 1 |
| 21 | 6-1 6-2 | | По місцю | Давач-реле напору Температура робочого середовища: від -25 до +120 °С. Напруга комутованого кола: до 380 В. | Дн-40 | 2 |
| 22 | | | На щиті | Модуль розширення | MP – 51Н – 17 – Р – 03 – 24 | 1 |
| 23 | | | На щиті | Мікропроцесорний програмований модуль керування | МІК – 51Н- Р – 03 – 03 – 03 – 03 – 3 – 24 | 2 |

Висновок: обрано відповідні вимірювальні перетворювачі та виконавчі механізми, що забезпечують точне керування параметрами процесу. Проведено технічне обґрунтування вибору ПЛК, описано його архітектуру та компоненти.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОЗГОРНУТИМ СПОСОБОМ ТА ЇЇ ОПИС

Початковий етап розробки передбачає ретельний аналіз вимог до системи автоматизації. На цьому етапі визначаються функціональні, технічні та інші потреби замовника, а також здійснюється оцінка вимог щодо безпеки, надійності та ефективності роботи системи. Після проведеного аналізу формується концептуальна функціональна схема автоматизації, яка описує основні функції системи, їхні взаємозв'язки та загальну структуру.

Контур 1. Співвідношення витрати палива та первинного повітря

Витрата палива, яке подається в топку, визначається за допомогою камерної діафрагми(1-1). Перепад тиску на діафрагмі фіксується перетворювачем різниці тисків(1-2), сигнал з якого надходить на мікропроцесорний регулятор.

Витрата повітря, що подається до топки, також вимірюється за допомогою камерної діафрагми(1-4). Перепад тиску тут реєструється іншим перетворювачем різниці тисків(1-5), сигнал з якого подається на мікропроцесорний регулятор. Цей регулятор генерує сигнал керування для частотного перетворювача(1-6), що керує роботою нагнітача, який забезпечує подачу повітря до топки.

Контур 2. Регулювання витрати сушильного агента після топки

Витрата сушильного агента (СА) після топки контролюється камерною діафрагмою(2-1), перепад тиску на якій вимірюється перетворювачем різниці тисків(2-2). Сформований ним аналоговий сигнал надходить на мікропроцесорний регулятор, що далі передає керуючий сигнал на частотний перетворювач(2-4), який управляє нагнітачем для подачі повітря на нагрів.

Контур 3. Регулювання температури сушильного агента після топки

Температура сушильного агента вимірюється термперетворювачем опору(3-1). Сигнал від нього надходить на нормуючий перетворювач(3-2), який

забезпечує уніфікований вихідний сигнал. Далі цей сигнал надходить на мікропроцесорний регулятор, а з нього — на електро пневматичний перетворювач(3-3).

Потім сигнал потрапляє на позиціонер(3-4). Позиціонер, у свою чергу, керує клапаном(3-5), який регулює температуру сушильного агента.

Контур 4. Регулювання температури КШ у сушарці

Температура КШ визначається термоперетворювачем опору(4-1), сигнал з якого подається на нормуючий перетворювач(4-2). Після обробки сигналу мікропроцесорним регулятором керуючий сигнал передається на частотний перетворювач(4-3), що управляє електродвигуном і шлюзовим живильником(4-5).

Контур 5. Регулювання рівня в сушарці

Перетворювач рівня(5-1) формує дискретний сигнал, коли досягається задане значення. Цей сигнал надходить на мікропроцесорний регулятор, який у відповідь запускає шнек(5-4) для вивантаження сухого продукту із сушарки.

Контур 6. Захист та контроль тиску газу й повітря

Для забезпечення захисту по тиску використовуються давачі-реле напору(6-1),(6-2). Для запобігання загасання полум'я застосовується реле контролю полум'я(6-3), а для моніторингу розрідження — датчик-реле розрідження(6-4). У випадку виникнення помилки, припинення подачі пального буде виконуватись за допомогою електромагнітного клапану(6-5).

Висновок: розроблено повну функціональну схему автоматизації процесу сушіння насіння соняшнику. Визначено послідовність взаємодії елементів системи управління та їх функціональне призначення.

РОЗДІЛ 5

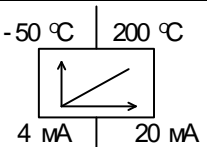
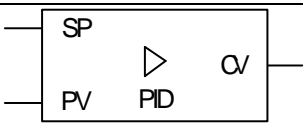
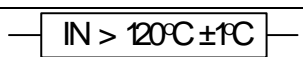
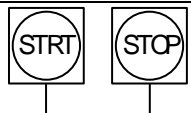
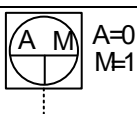
ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1 Перелік та опис функціонального призначення графічних блоків для розробки алгоритмів системи автоматизованого керування.

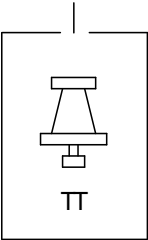
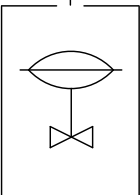
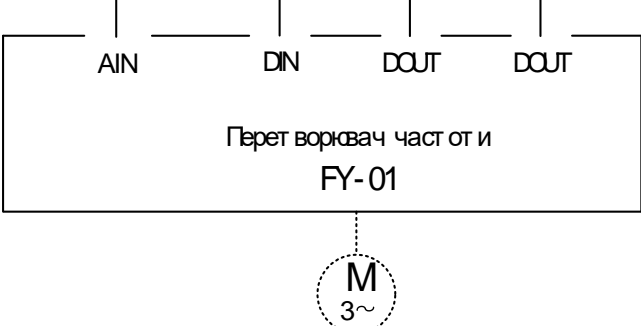
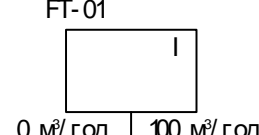
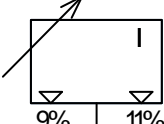
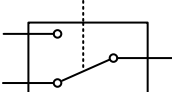
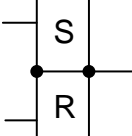
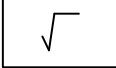
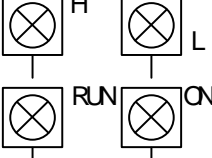
Для побудови алгоритмів функціонування контурів регулювання, вимірювання та індикації у відповідності до функціональної схеми автоматизації, спрощений вигляд якої представлено на рисунку 1.2 використано графічні блоки (елементи), які зображено в таблиці 4.1. [18]

Таблиця 4.1

Графічні зображення функціональних елементів алгоритмів функціонування

| Графічне зображення функціонального елемента | Функціональне призначення |
|---|--|
| 1 | 2 |
|  | - лінійне перетворення аналогового сигналу; |
|  | - аналоговий пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор; |
|  | - елементи порівняння аналогового сигналу та заданого значення з урахуванням значення гістерезису (зони нечутливості); |
|  | - кнопка «пуск» (увімкнення) та кнопка «стоп» (вимкнення) відповідно; |
|  | - перемикач режимів роботи регулятора або схеми керування; |

Продовження таблиці 4.1

| 1 | 2 |
|---|---|
|  | <p>- первинний вимірювальний перетворювач, давач, чутливий елемент, пристрій збору інформації про технологічний параметр;</p> |
|  | <p>- виконавчий механізм з аналоговим керуючим сигналом;</p> |
|  | <p>- перетворювач частоти (частотно-керований пристрій)</p> |
|  | <p>- аналоговий індикатор технологічного параметру</p> |
|  | <p>- задавач аналогового сигналу з обмеженням діапазону по двох значеннях;</p> |
|  | <p>- селектор (перемикач) аналогових або дискретних сигналів;</p> |
|  | <p>- тригер SR (реле з запам'ятовуванням попереднього стану);</p> |
|  | <p>- добування кореня квадратного з числового значення.</p> |
|  | <p>- світло-сигнальні індикатори сигналізації по верхній, нижній межі технологічного параметру або стану обладнання;</p> |

1.Контур співвідношення витрати палива і первинного повітря

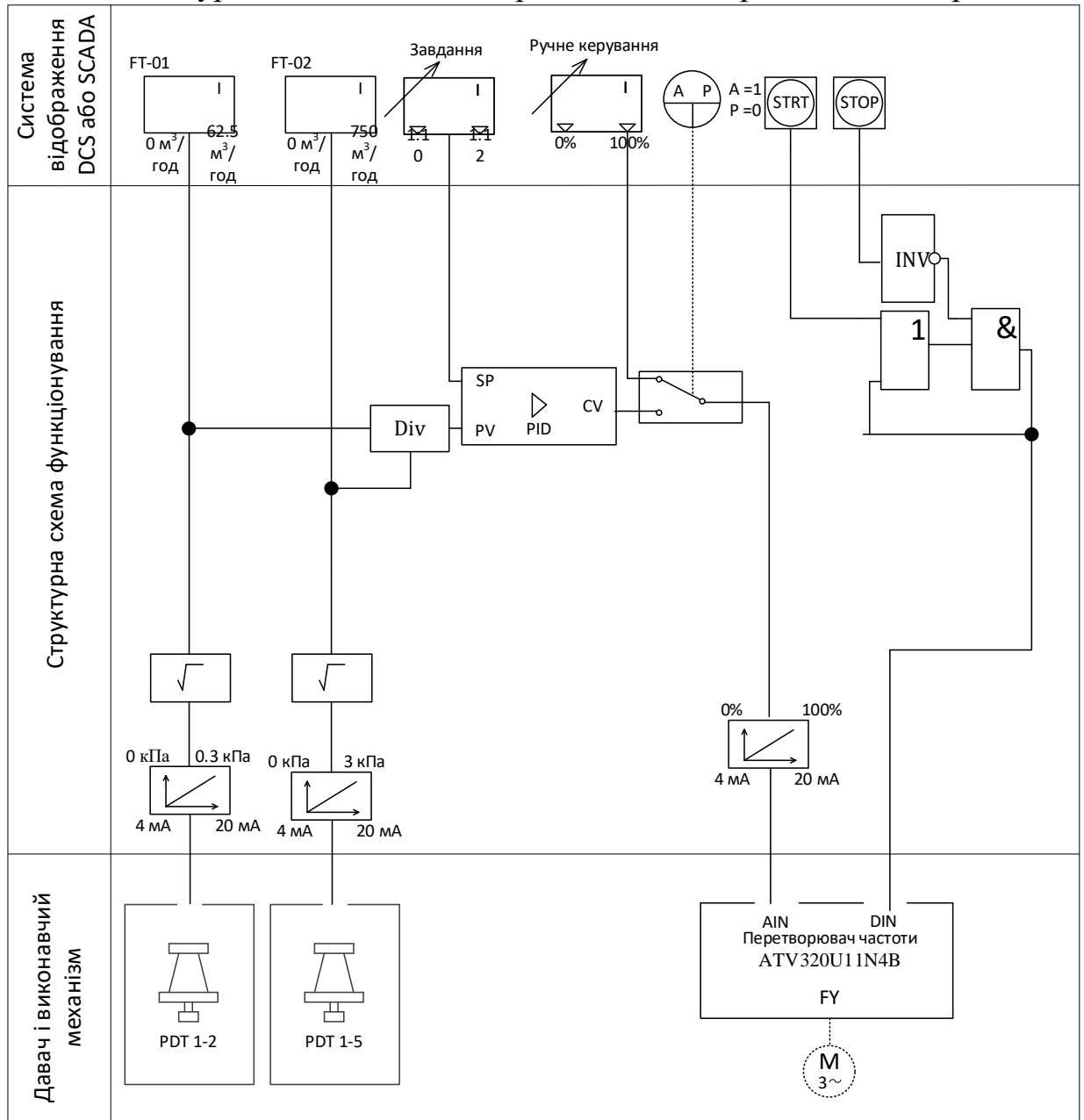


Рисунок 5.1 Алгоритм функціонування контуру 1 «Регулювання співвідношення витрати палива і первинного повітря»

2.Контур регулювання витрати сушильного агенту після топки

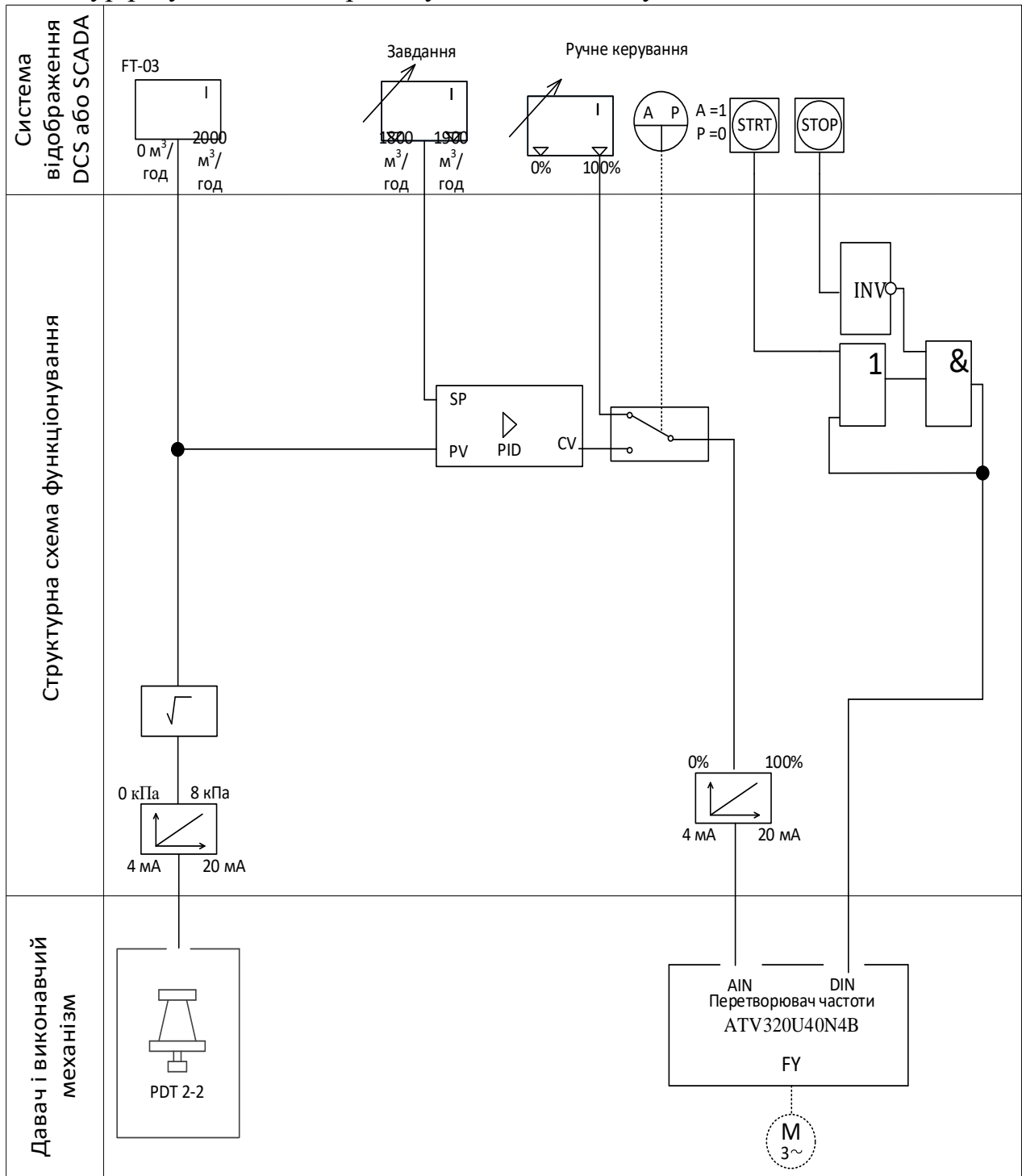


Рисунок 5.2 Алгоритм функціонування контуру 2 «Регулювання витрати сушильного агента після топки»

3. Контур регулювання температури сушильного агенту після топки

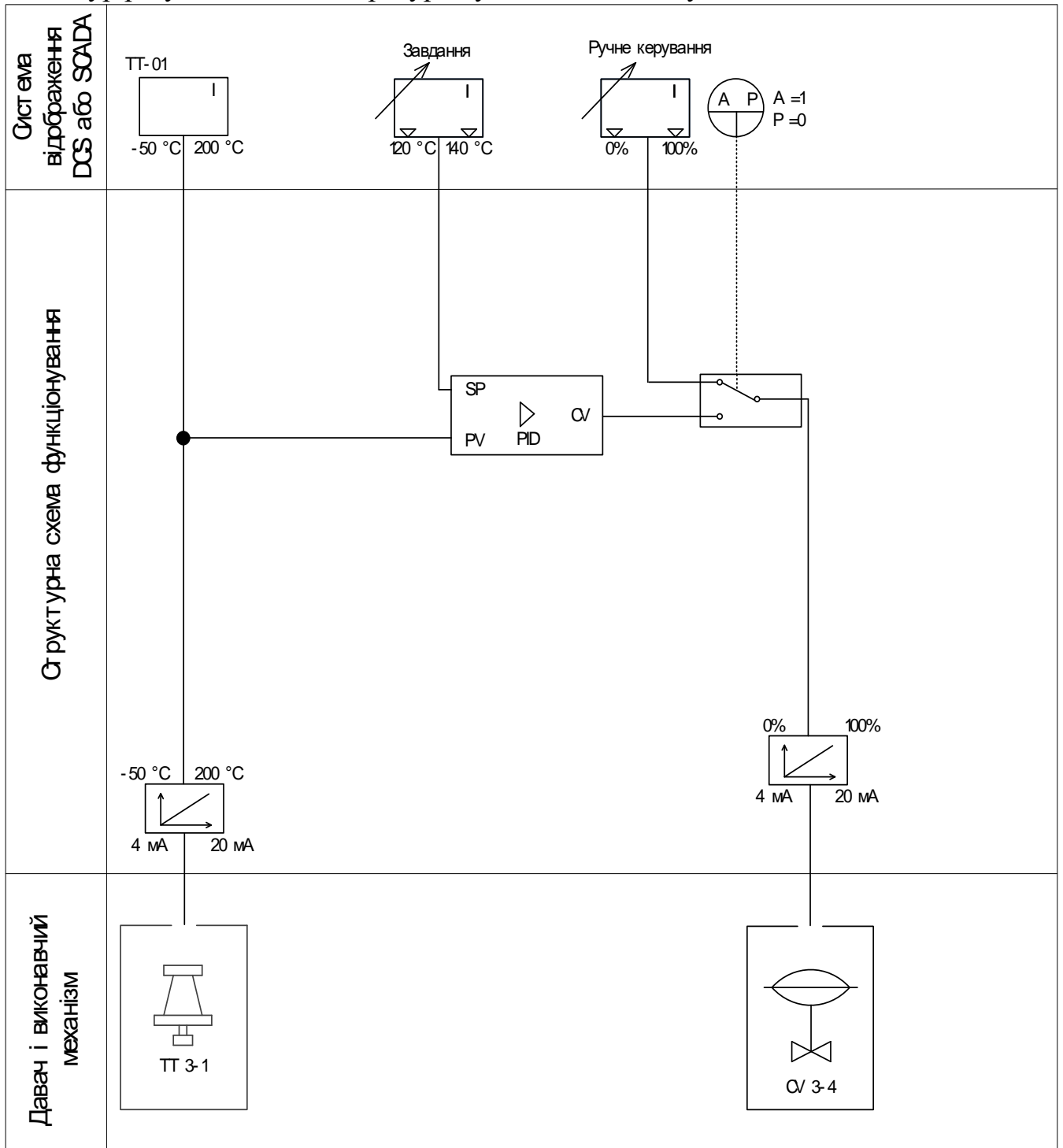


Рисунок 5.3 Алгоритм функціонування контуру 3 «Регулювання температури сушильного агента після топки»

4. Контур регулювання температури КШ в сушарці

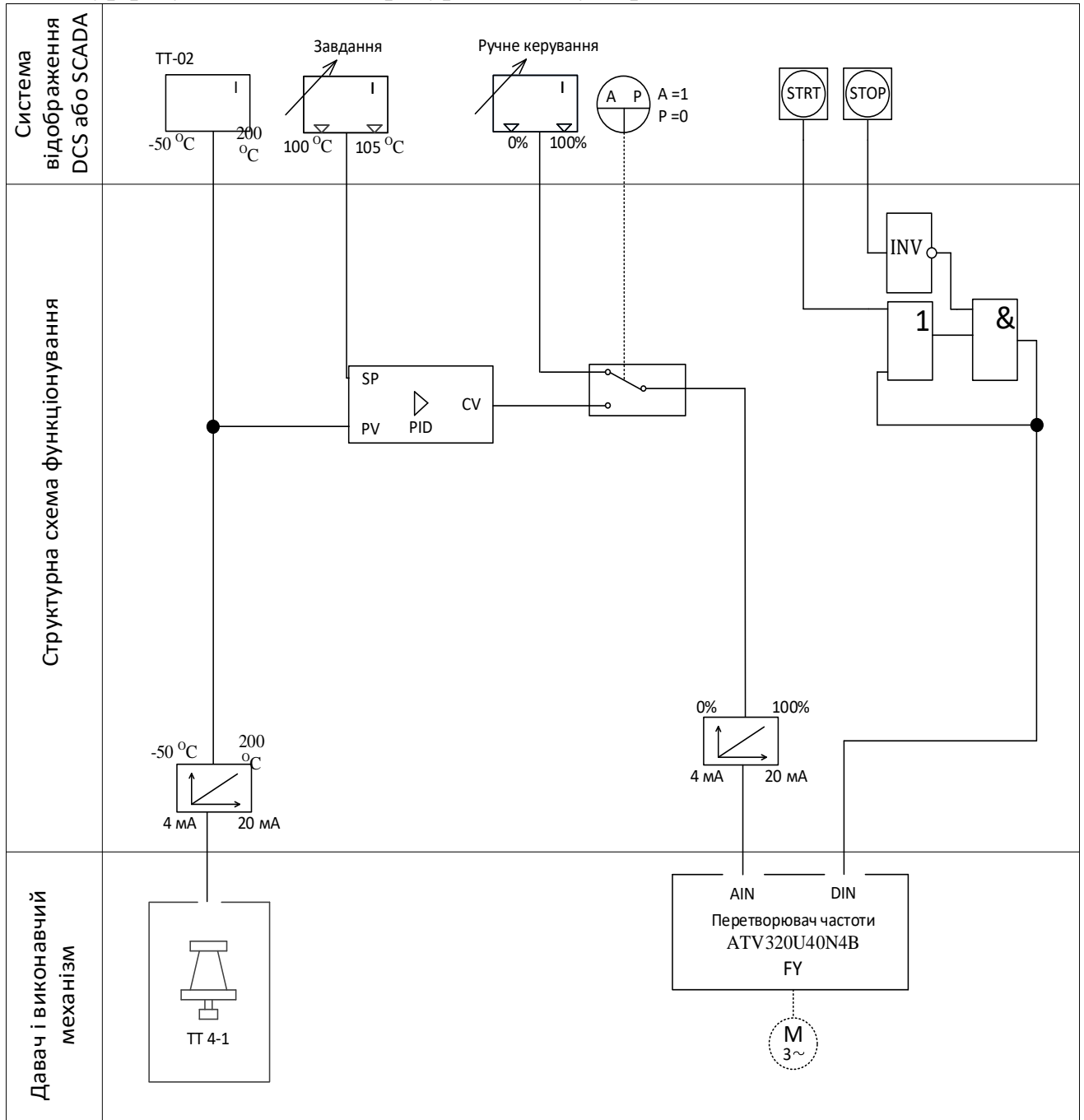


Рисунок 5.4 Алгоритм функціонування контуру 4 «Регулювання температури КШ в сушарці»

5. Контур регулювання рівню в сушарці

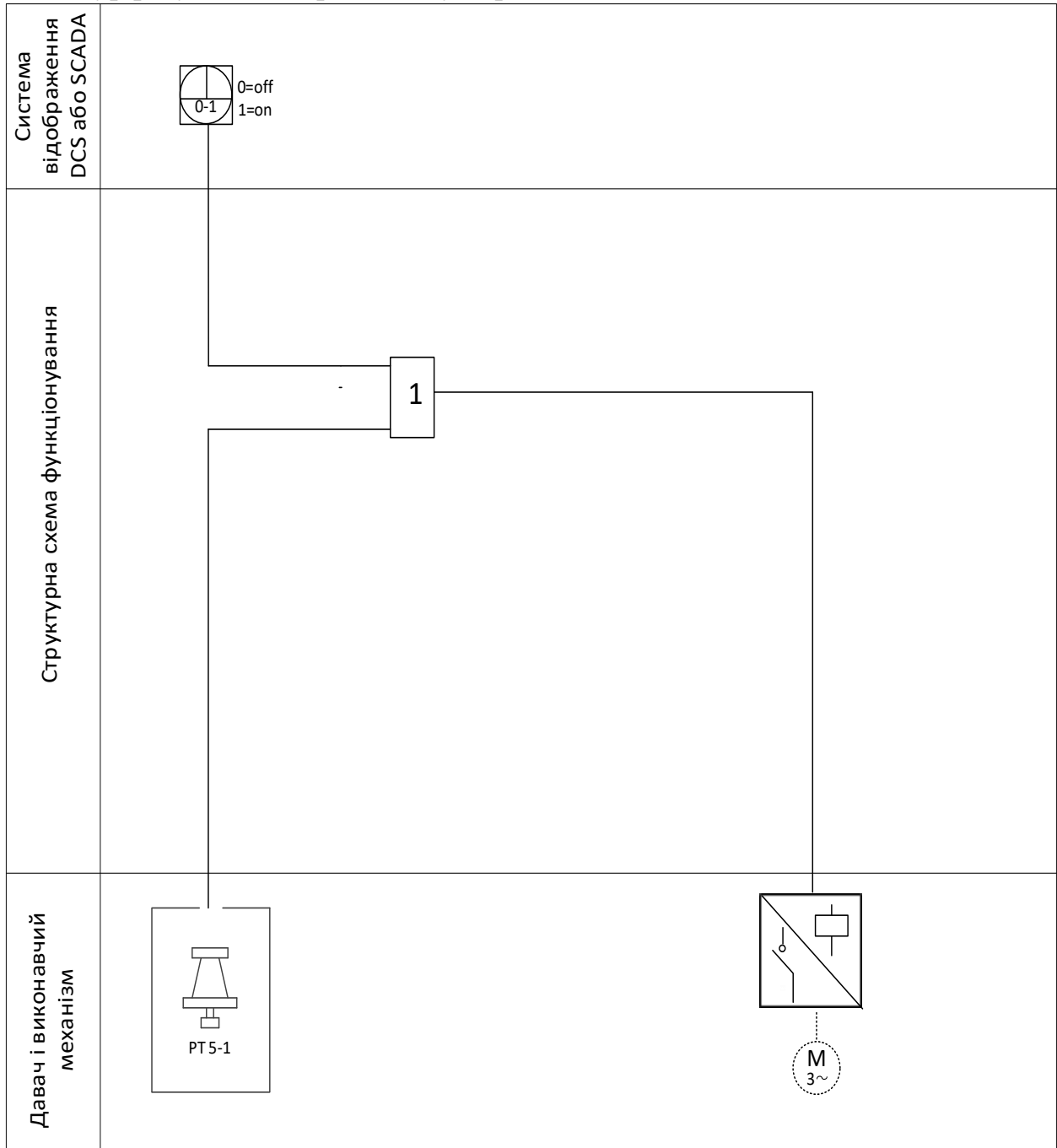


Рисунок 5.5 Алгоритм функціонування контуру 5 «Регулювання рівню в сушарці»

6.Контур захисту та контролю тиску газу і повітря; захист від погасання полум'я в сушарці; контроль розрідження.

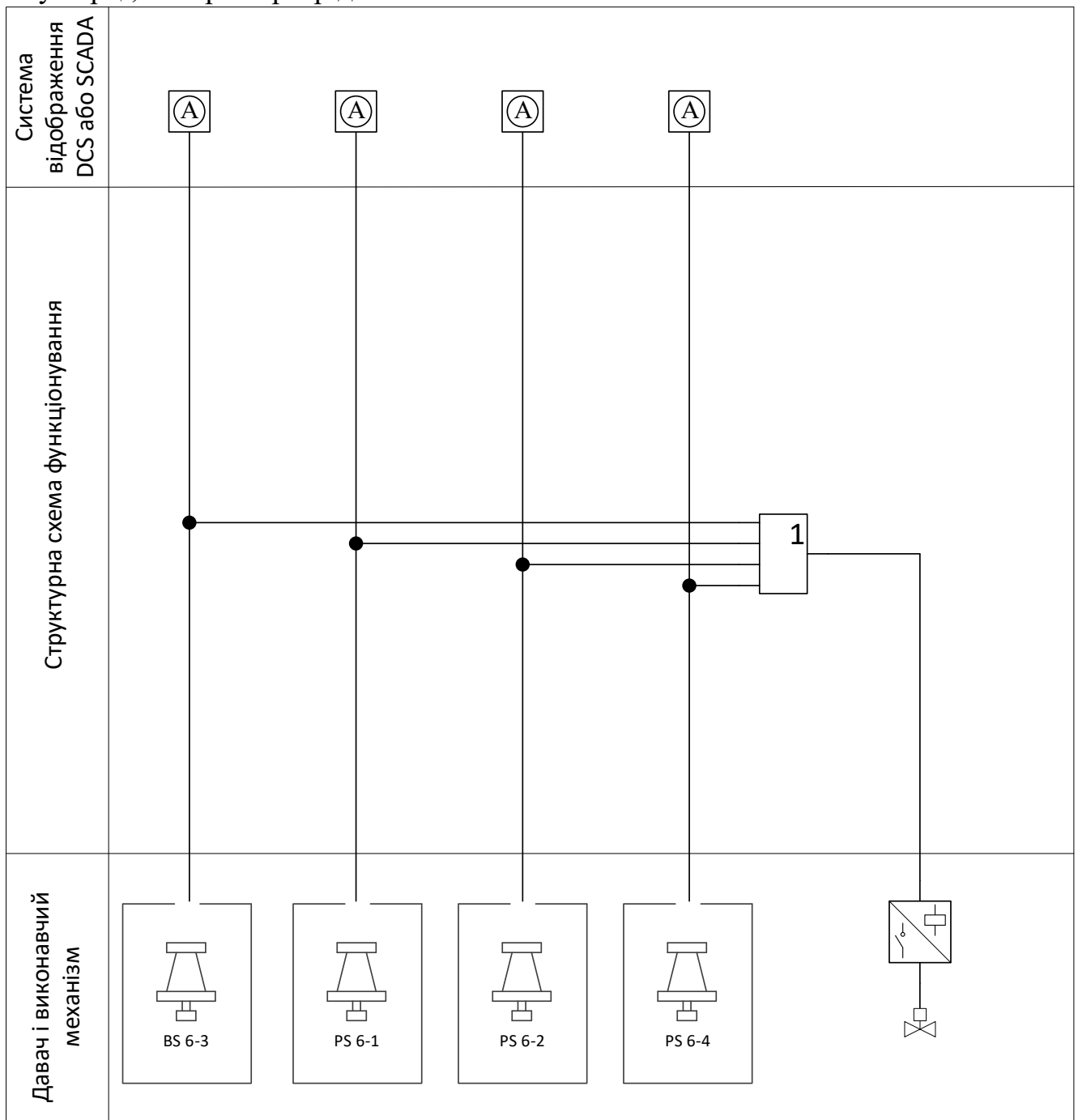


Рисунок 5.6. Алгоритм функціонування контуру 6 «Захисту та контролю тиску газу і повітря; захист від погасання полум'я в сушарці; контроль розрідження»

При розробці програми функціонування мікропроцесорного програмного засобу автоматизації в середовищі Alfa для ПЛК типу МІК-51Н необхідно передбачити наступні процедури, а саме:

5.2 Налаштування та масштабування аналогових сигналів

АІН — це функціональний модуль, який використовується для забезпечення взаємодії між функціональними блоками та обладнанням, що відповідає за аналоговий ввід даних.

АОТ — функціональний модуль, призначений для організації зв'язку між функціональними блоками та пристроями, які здійснюють аналоговий вивід сигналів.

| Порядковый номер | 57 | Модификатор | 1 | Аналоговый ввод | | |
|------------------|-------|-------------|--------------------------|--------------------------|-------|--|
| № | Шифр | Значение | Link | Pch | VI ID | Название |
| 1 | nINP | 1 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | Номер аналогового входа |
| 2 | nTYPE | 0 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | Тип аналогового входа |
| 3 | tFLT | 0:00:00.1 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | Временная постоянная экспоненциального фил |
| 4 | BIAS | 0.000 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | Смещение |
| 5 | OUT_H | 25.000 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | Шкала выходного сигнала (верхняя граница) |
| 6 | OUT_L | 0.000 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | Шкала выходного сигнала (нижняя граница) |
| 7 | MAX | 0.000 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | Уставка сигнализации достижения входом вер |
| 8 | MIN | 0.000 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | Уставка сигнализации достижения входом ниж |
| 9 | HYS | 0.000 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | Гистерезис сигнализации |

Fixed
 Debug
 Cycle Prop
 Cycle Out

Рисунок 5.7. Уривок програми функціонування, який відображає процедуру налаштування та масштабування вхідного аналогового сигналу

5.3 Налаштування ПІД-закону регулювання

РІД - Функціональний блок призначений для побудови контурів ПІД-регулювання з використанням аналогових виконавчих механізмів

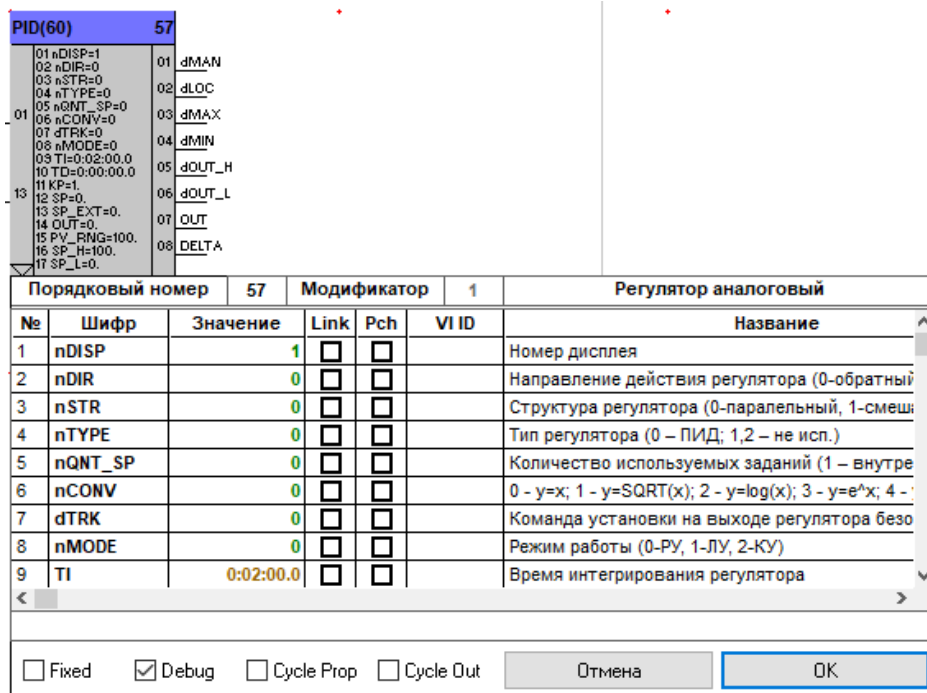


Рисунок 5.8. Уривок програми функціонування, який відображає приклад налаштування ПІД-регулювання

5.4 Налаштування програми керування частотним перетворювачем

OR — логічний функціональний блок, який використовується для генерації дискретного вихідного сигналу, що є результатом виконання логічної операції «АБО» над двома вхідними дискретними сигналами **dIN1** та **dIN2**.

AND — функціональний блок, призначений для формування дискретного вихідного сигналу, отриманого шляхом виконання логічної операції «І» над дискретними вхідними сигналами **dIN1** і **dIN2**.

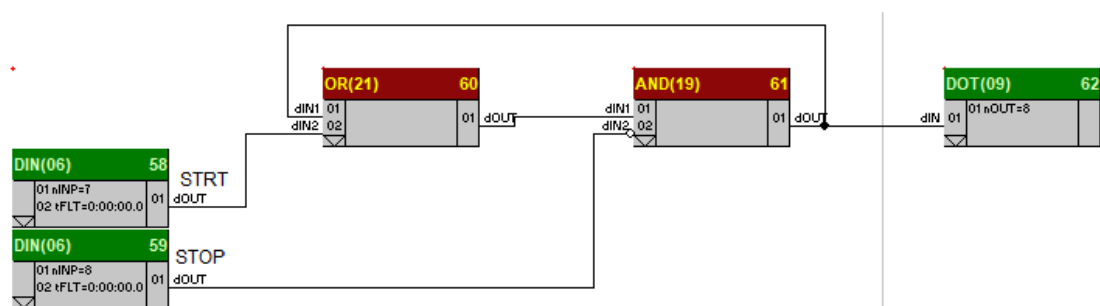


Рисунок 5.9. Уривок програми керування частотним перетворювачем

Висновок: Побудовано алгоритми функціонування підсистем, налаштовано масштабування аналогових сигналів і реалізовано ПІД-регулювання.

РОЗДІЛ 6

ПРИНЦИПОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ СХЕМИ З'ЄДНАНЬ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Згідно зі створеною функціональною схемою автоматизації (спрощене зображення наведено в розділі 2, рисунок 2.2), структурна електрична схема системи автоматизованого керування повинна містити усі необхідні з'єднання, що забезпечують підключення зовнішнього обладнання до центрального керуючого елемента - контролера типу МІК-51Н.

Електрична схема з'єднань складається з:

1. схема живлення контролерів МІК-51Н та модуля розширення (рис.6.1);
2. схема підключення первинних вимірювальних перетворювачів(рис.6.2);
3. схеми підключень виконавчих пристроїв,зокрема частотних перетворювачів,а також світлової сигналізації(рис.6.3).

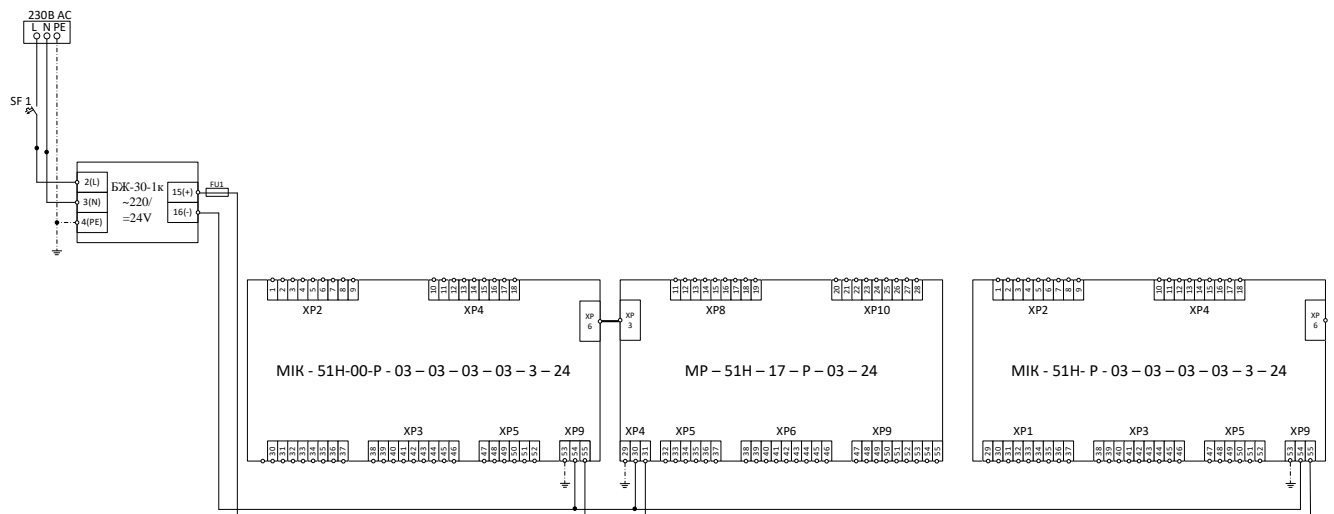


Рис 6.1. Уривок електричної схеми підключення блоку живлення БЖ-30-1К до контролерів та модуля розширення

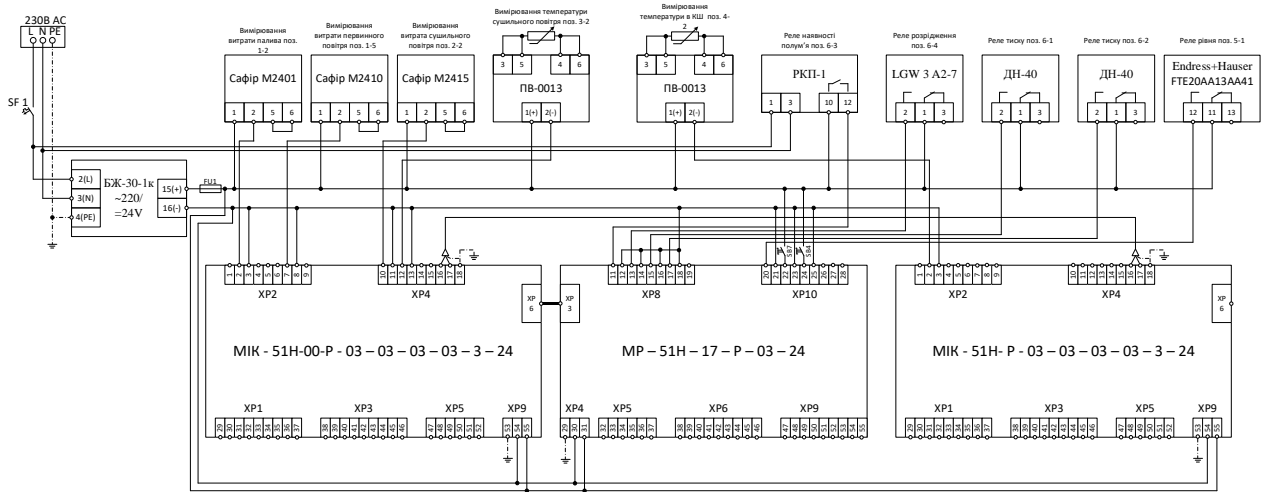


Рис 6.2 Уривок електричної схеми підключення первинних вимірювальних перетворювачів

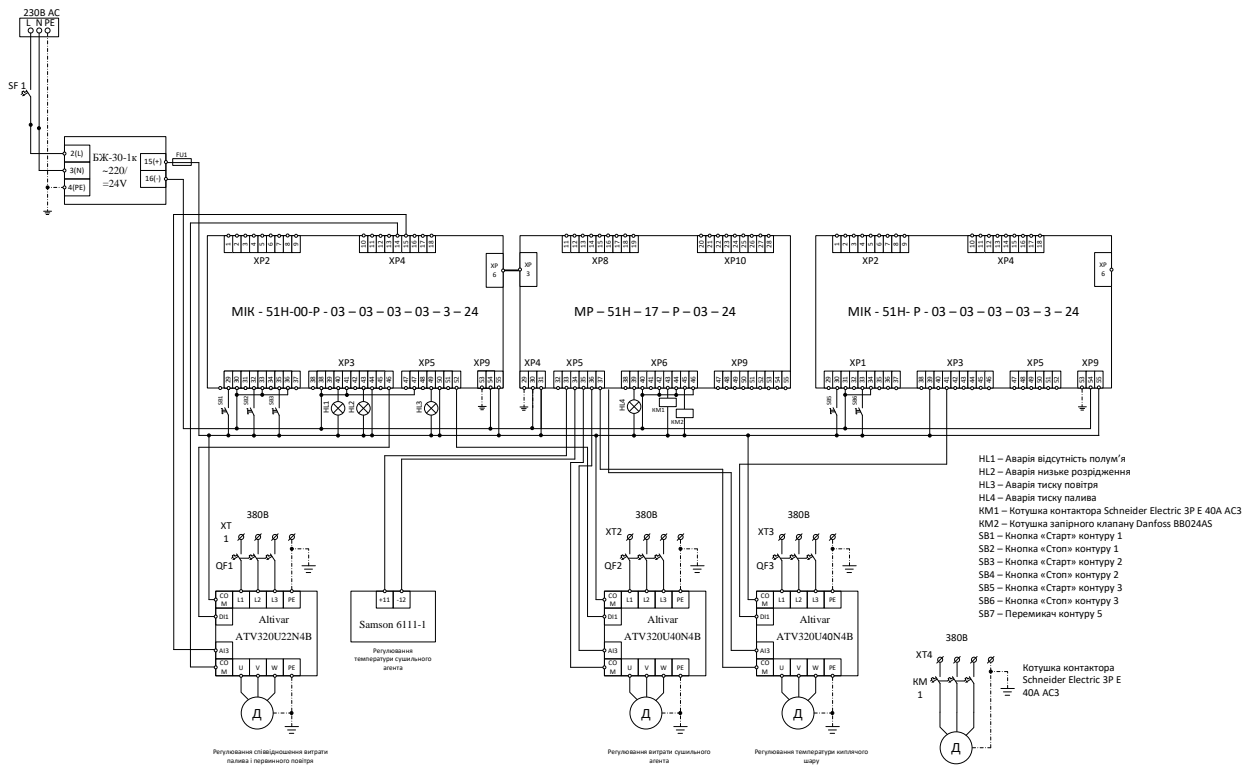


Рис 6.3 Уривок електричної схеми підключення виконавчих пристроїв, зокрема частотних перетворювачів, а також світлової сигналізації

Загальна принципова схема електричних з'єднань системи автоматизованого керування сушаркою киплячого шару зображено на графічному плакаті №3.

Висновок: розроблено електричну принципову схему з'єднань зовнішніх пристроїв із ПЛК.

РОЗДІЛ 7

РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В КИПЛЯЧОМУ ШАРІ

У цьому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи виконується розрахунок і моделювання перехідних процесів системи автоматичного регулювання (САР) температури в киплячому шарі сушарки. Дослідження проводились на основі кривої розгону, отриманої експериментальним шляхом, розрахунки та моделювання системи автоматичного регулювання температури здійснювались в пакеті математичних розрахунків MATLAB.

Вихідна величина об'єкта регулювання є температура в киплячому шарі, регулююча дія здійснюється зміною кількості вологого матеріалу на 10%. Кількість вологого насіння змінюють шляхом зміни продуктивності шнекового механізму подачі насіння внаслідок зміни частоти живлення електродвигуна живильника. Задане значення температури становить 55°C. Основне збурення в системі регулювання є зміна вологи насіння соняшника, що подається в сушарку.

Експериментальна крива розгону по температурі в киплячому шарі при збільшенні кількості вологого насіння на 10% подана в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1

Крива розгону, отримана збільшенням кількості насіння соняшника, що подається у сушарку, на 10%

| T, °C | t, c |
|-------|------|
| 55 | 0 |
| 54.9 | 15 |
| 54.8 | 25 |
| 54.5 | 38 |
| 53.9 | 54 |
| 53.2 | 72 |
| 52.4 | 98 |
| 51.7 | 121 |

Продовження таблиці 7.1.

| | |
|------|-----|
| 1 | 2 |
| 51.2 | 152 |
| 50.8 | 184 |
| 50.7 | 211 |
| 50.6 | 250 |
| 50.5 | 286 |

Проектована система автоматичного регулювання повинна забезпечувати дотримання наступних технічних і динамічних характеристик процесу керування:

1. Допустиме максимальне динамічне відхилення $A_1 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$
2. Допустима похибка регулювання $\Delta = 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$
3. Допустимий час регулювання $t_p = 420 \text{ с}$;
4. Ступінь коливальності $m = 0,36$

Передавальна функція каналом збурюючої дії:

$$W_z(p) = \frac{0,7}{(50p + 1)(50p + 1)(50p + 1)}, \frac{^\circ\text{C}}{\%}$$

7.1 Знаходження динамічної моделі об'єкта регулювання

Вибір структури моделі та розрахунок її параметрів

Аналізуючи експериментальну криву перехідного процесу, можна дійти висновку, що збільшення об'єму вологого насіння, яке надходить до сушарної установки, призводить до зниження температури в зоні псевдозрідженого шару. Це пояснюється тим, що значна частина теплової енергії витрачається на нагрівання свіжого матеріалу, температура якого відповідає температурі зовнішнього середовища, тобто суттєво нижча за температуру в сушарці.

З огляду на властивість об'єкта до самовирівнювання після збурення, для його математичного опису доцільно застосувати модель у вигляді послідовного з'єднання кількох аперіодичних ланок з однаковими сталими часу.

$$W(p) = \frac{1}{(Tp + 1)^n}, \quad (7.1)$$

де T – стала часу;

n – кількість аперіодичних ланок [21].

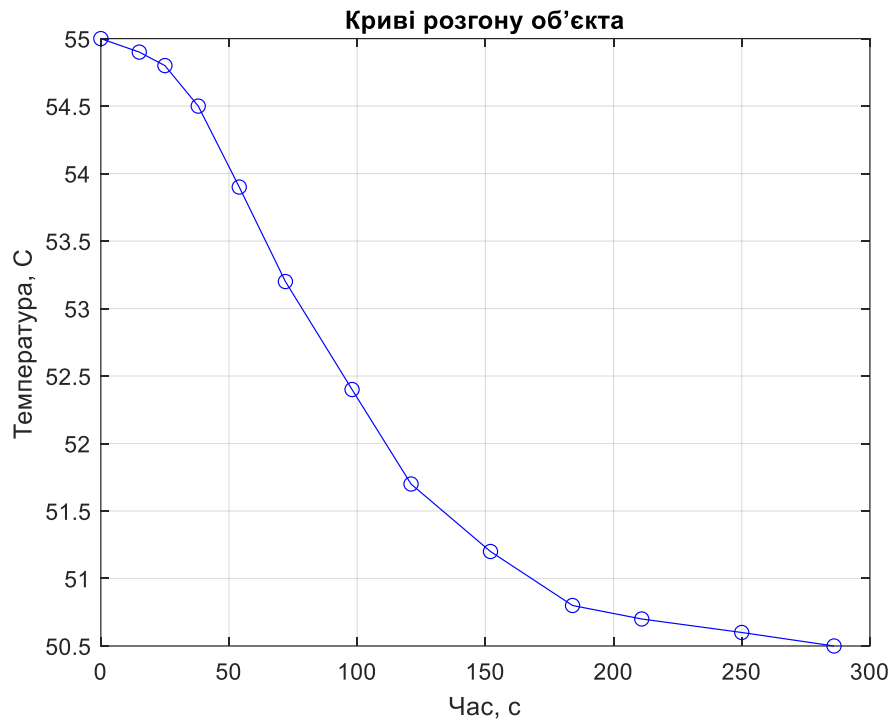


Рисунок 7.1 Експериментальна крива розгону об'єкта по температурі в киплячому шарі при збільшенні кількості вологого насіння, що подається в сушарку на 10%.

Для розрахунку параметрів моделі за експериментальною кривою розгону, приведемо її до нормованого виду за формулою [21]:

$$x_H = \frac{x(t_i) - x_n}{\Delta x}, \quad (7.2)$$

де $x(t_i)$ – це значення температури в КШ в момент часу t_i ,

x_n – це початкове значення температури,

Δx – різниця між рівноважними значеннями температури, отримані до початку і в кінці зміни регульованої величини. Розрахунок Δx здійснювався за формулою:

$$\Delta x = 50.5 - 55 = -4,5^\circ\text{C} \quad (7.3)$$

Для нормування кривої розгону складемо програму в Matlab:

```

clc; clear all;
% Експериментальні дані
t_ek = [0 15 25 38 54 72 98 121 152 184 211 250 286];
T_ek = [55 54.9 54.8 54.5 53.9 53.2 52.4 51.7 51.2 50.8 50.7 50.6 50.5];
x_n = T_ek(1);
x_kin = T_ek(length(T_ek));
dx = x_kin - x_n;
T_norm = (T_ek - x_n) / dx;
% Вивід результатів
T = table(t_ek', T_ek', T_norm', 'VariableNames', {'Time_s', 'T', 'T_norm'});
disp(T);
figure (1);
plot(t_ek, T_ek, '-ob'); hold on;
xlabel('Час, с'); ylabel('Температура, С');
title('Криві розгону об'єкта'); grid on;
figure (2), plot(t_ek, T_norm, 'or', t_ek, T_norm, 'b'); grid; xlabel('t, с'); ylabel('T_n, С');

```

В результаті виконання програми отримано нормовану криву розгону по температурі в киплячому шарі, що є безрозмірна і змінюється в межах від 0 до 1.

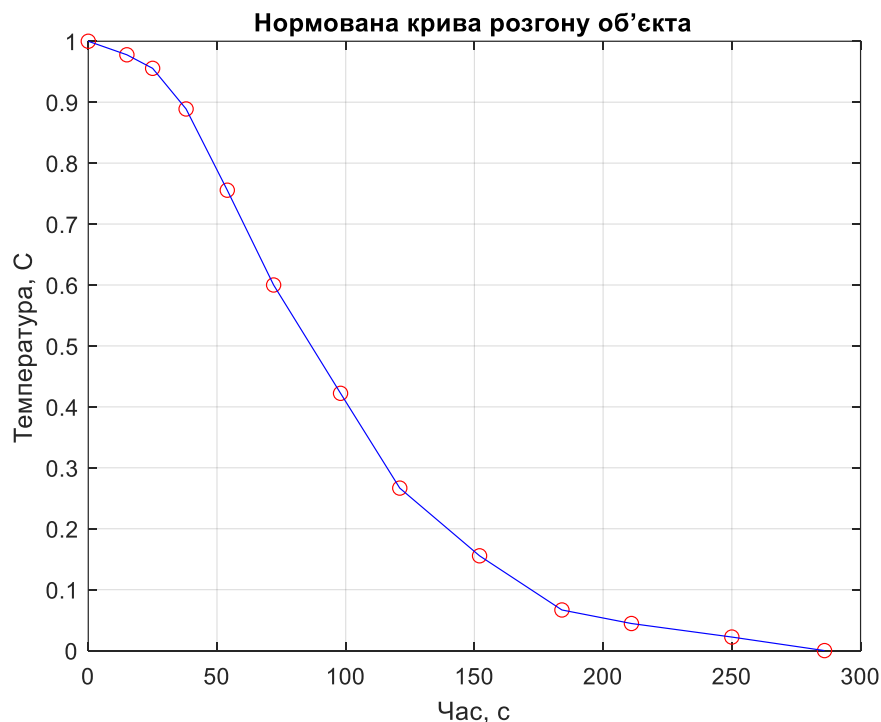


Рисунок 7.2 Нормована крива розгону температури киплячого шару.

За нормованою кривою розгону проведемо визначення параметрів передавальної функції за моделлю (7.1), визначимо сталу часу T та кількість ланок n .

Із графіка, на рисунку 7.2, знаходимо $t_{05} = 86.5$ с, та $t_{09} = 172$ с – значення

моментів часу, які відповідають значенням нормованої перехідної функції $h(t_{05}) = 0,5$ і $h(t_{09}) = 0,9$, тому на підставі цих значень із таблиці 7.2 можна розрахувати сталу часу із співвідношень t_{05}/T , t_{09}/T та $t_{05}/t_{09} \approx 0,5$.

Таблиця 7.2.

Значення t_{05}/T і t_{09}/T , розраховані з перехідної функції моделі (7.1)

| n | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| t_{05}/T | 1,68 | 2,67 | 3,67 | 4,67 | 5,67 | 6,67 | 7,67 | 8,69 | 9,69 |
| t_{09}/T | 3,89 | 5,32 | 6,68 | 7,99 | 9,27 | 10,53 | 11,77 | 12,99 | 14,21 |
| t_{05}/t_{09} | 0,43 | 0,5 | 0,55 | 0,58 | 0,61 | 0,63 | 0,65 | 0,67 | 0,68 |

Таким чином з таблиці 7.2 [20] визначаємо, що передавальна функція це послідовно з'єднані три аперіодичні ланки з однаковими сталими, та знаходимо $t_{05}/T = 2,67$, $t_{09}/T = 5,32$, тому стала часу можна розрахувати із середньоарифметичне знайдених сталих часу:

$$T_1 = \frac{t_{05}}{t_{05}/T} = \frac{86,5}{2,67} = 32,39 \text{ с}; \quad (7.4)$$

$$T_2 = \frac{t_{09}}{t_{09}/T} = \frac{172}{5,32} = 32,33 \text{ с}; \quad (7.5)$$

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2} \approx 32,36 \text{ с}; \quad (7.6)$$

Передавальний коефіцієнт знаходимо за формулою:

$$k = \frac{y_{\infty} - y_0}{\Delta x} = \frac{50,5 - 55}{10} = -0,45 \frac{^{\circ}\text{C}}{\%}, \quad (7.7)$$

де Δx – стрибкоподібна зміна вхідної величини, що викликає зміну вихідної величини.

Для порівняння даних отриманих експериментальним та теоретичним шляхами, була складена програма в програмному середовищі Matlab:

```
clc; clear all;
t_ek = [0 15 25 38 54 72 98 121 152 184 211 250 286];
T_ek = [55 54.9 54.8 54.5 53.9 53.2 52.4 51.7 51.2 50.8 50.7 50.6 50.5];
t = 0:1:286;
T = 32.36; k=-0.45;
h_model = 1 - exp(-t/T) .* (1 + t/T + (t/T).^2 / 2);
```

```

T_r = h_model * k * 10 + 55;
figure; plot(t_ek, T_ek, 'ro', 'LineWidth', 1.5); hold on;
    plot(t, T_r, 'b-', 'LineWidth', 1.5); grid on;
xlabel('Час t, c'); ylabel('Температура в КШ, C');
title('Порівняння експериментальної та теоретичної кривих');
legend('Експериментальна', 'Теоретична (модельна)', 'Location','SouthEast');

```

Результатом виконання цієї програми став графік зображений на рис.7.3:

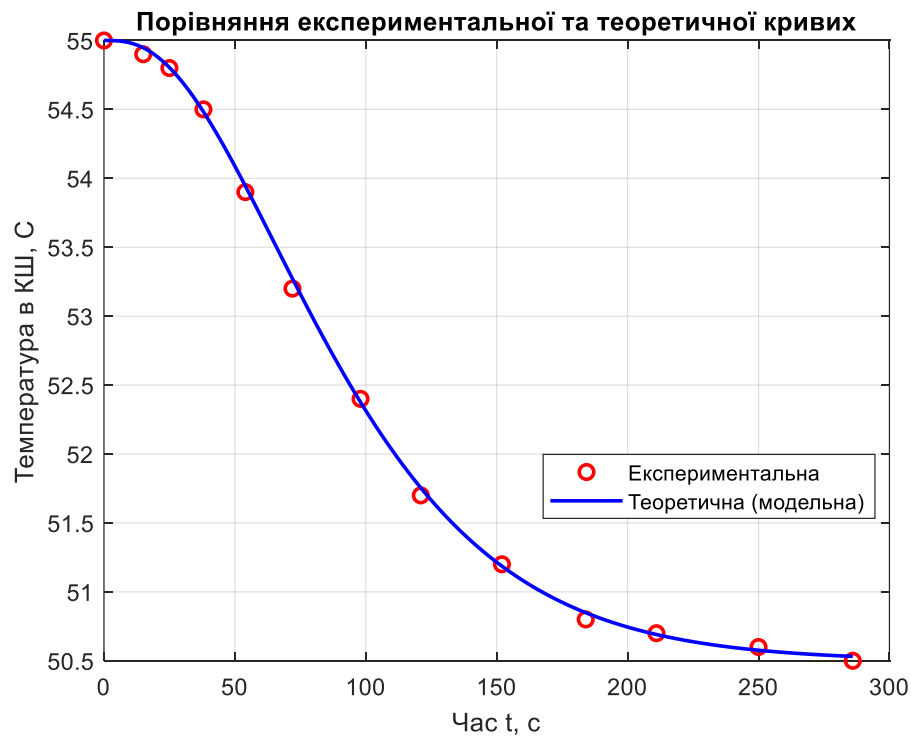


Рисунок 7.3 Графік порівняння експериментальної та теоретичної кривих розгону, отриманих збільшенням подачі вологого насіння на 10%

7.2 Перевірка адекватності динамічної моделі

Адекватність отриманої математичної моделі перевіримо за значенням зведеної похибки апроксимації експериментальної кривої розгону, яку визначаємо за формулою [21]:

$$\delta = \Delta \cdot 100\%, \quad (7.8)$$

де Δ - це максимальна різниця між розрахованими $h(t)$ та експериментальними $h^e(t)$ значеннями нормованої кривої розгону, яке знаходимо за формулою [22]:

$$\Delta = |h(t) - h^e(t)|_{max}. \quad (7.9)$$

Для розрахунку похибки апроксимації та її максимального значення, складено програму у середовищі Matlab:

```

t_ek = [0 15 25 38 54 72 98 121 152 184 211 250 286];
T_ek = [55 54.9 54.8 54.5 53.9 53.2 52.4 51.7 51.2 50.8 50.7 50.6 50.5];
%Розрахунок нормованої кривої
x_n = 55;
x_kin = 50.5;
dx = x_kin - x_n;
T_norm = 1-(T_ek - x_n) / dx;
T = 32.36; k=-0.45;
h_model = 1-(1 - exp(-t_ek/T) .* (1 + t_ek/T + (t_ek/T).^2 / 2));
Delta = max(abs(h_model - T_norm));
% Зведена похибка (y %)
delta = Delta * 100;
% Виведення результатів
fprintf('Максимальне відхилення Δ = %.4f\n', Delta);
fprintf('Зведена похибка δ = %.2f%%\n', delta);

```

Результатом виконання цієї програми:

$$\Delta = |h(t) - h^e(t)|_{max} = 0.0160, \text{ тому точність апроксимації:}$$

$$\delta = \Delta \cdot 100\% = 1,6\%$$

Оскільки похибка апроксимації не перевищує 3%, передавальна функція є адекватною і її будемо застосовувати для розрахунку параметрів налаштування регулятора, та моделювання перехідних процесів.

Отримана передавальна функція температури в киплячому шарі при регулюючій дії – збільшенні кількості вологого насіння, що подається у сушарку, матиме вид:

$$W(p) = \frac{-0.45}{(32.36p + 1)(32.36p + 1)(32.36p + 1)}. \quad (7.10)$$

7.3 Вибір структурної схеми системи регулювання температури в киплячому шарі, закону регулювання, розрахунок параметрів налаштування пропорційно-інтегрального регулятора

У рамках побудови системи автоматичного регулювання температури в сушарці з псевдозрідженим шаром було прийнято рішення застосувати одноконтурну систему автоматичного регулювання. Такий підхід є доцільним з огляду на відносну простоту об'єкта керування, що характеризується інерційністю без істотної затримки, та потребує підтримання сталої температури в зоні

киплячого шару. Одноконтурна структура дозволяє ефективно стабілізувати регульовану величину при мінімальних обчислювальних та апаратних витратах.

В якості закону регулювання обрано пропорційно-інтегральний (ПІ) закон, що дає змогу компенсувати статичну похибку регулювання, а також зберігати належну швидкодію. Використання лише пропорційного регулятора призводило б до залишкової похибки, тоді як ПІ-регулятор завдяки наявності інтегровального компонента забезпечує асимптотичне досягнення встановленого значення температури.[20]

Передавальна функція ПІ-регулятора з паралельною структурою має вигляд [21]:

$$W_r(p) = K_P + \frac{K_P}{T_i p}, \quad (7.11)$$

де K_P – пропорційна складова ПІ-регулятора

$\frac{K_P}{T_i p}$ – інтегральна складова ПІ-регулятора.

Для розрахунку параметрів ПІ регулятора, при яких система буде мати заданий запас стійкості застосовано критерій стійкості Найквіста, в якому використовують розширені частотні характеристики (РЧХ) розімкненої системи автоматичного регулювання [20]:

$$W_{PC}(m, i\omega) = W_{OP}(m, i\omega) \cdot W_P(m, i\omega) = -1; \quad (7.12)$$

$$W_{OP}(m, i\omega) = A_{OP}(m, \omega) e^{i\varphi_{OP}(m, \omega)}, \quad (7.13)$$

де $A_{OP}(m, \omega)$, $\varphi_{OP}(m, \omega)$ – розширені амплітудно-частотна та характеристика та фазо-частотна характеристика ОР;

$W_P(m, i\omega)$ – розширена АФХ регулятора;

ω – кругова частота;

m – ступінь коливальності.

Для розрахунку параметрів налаштування ПІ регулятора, необхідні розширені амплітудно-фазові характеристики об'єкту регулювання [ТАК]:

- Розширена амплітудно-частотна характеристика $A_{OP}(m, \omega)$

$$A_{OP}(m, \omega) = \frac{k}{\left(\sqrt{(1 - Tm\omega)^2 + T^2\omega^2}\right)^2}; \quad (7.14)$$

- Розширена фазо-частотна характеристика $\varphi_{OP}(m, \omega)$

$$\varphi_{OP}(m, \omega^*) = -\frac{\pi}{2} + \text{arctgm}; \quad \varphi_{OP}(m, \omega^{**}) = -\pi; \quad (7.15)$$

- Параметри налаштування ПІ-регулятора [22]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{K_P}{T_i} = -\frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \sin(\varphi_{op}(m, \omega))}{A_{OP}(m, \omega)} \\ K_P = \frac{-\cos(\varphi_{op}(m, \omega)) - m \cdot \sin(\varphi_{op}(m, \omega))}{A_{OP}(m, \omega)} \end{array} \right., \quad (7.16)$$

Змінюючи частоту в діапазоні від ω^* до ω^{**} де $\varphi_{op}(\omega^*) = -\pi/2 + \text{atan}(m)$, $\varphi_{op}(\omega^{**}) = -\pi$ розраховуємо область параметрів налаштування ПІ-регулятора на задану ступінь коливальності m . За розширеними частотними характеристиками знаходимо частоти ω^* і ω^{**} , які відповідають параметрам налаштування відповідно інтегральної, та пропорційної складової регулятора.

```
clc; clear all;
w=[0:0.01:.1];
m=0.36; k=0.45;
T1=32.36;
T2=32.36;
T3=32.36;
p=-m*w+i*w;
Wop=k./(T1.*p+1)./(T2.*p+1)./(T3.*p+1);
fi=unwrap(angle(Wop));
j=1:length(w);
a(j)=-pi;
b(j)=-pi/2+atan(m);
plot(w,fi,'r-',w,a,'-b',w,b,'-b'); grid; xlabel('w,рад/с'); ylabel('fi,рад');
```

для знаходження значень ω^ та ω^{**}*

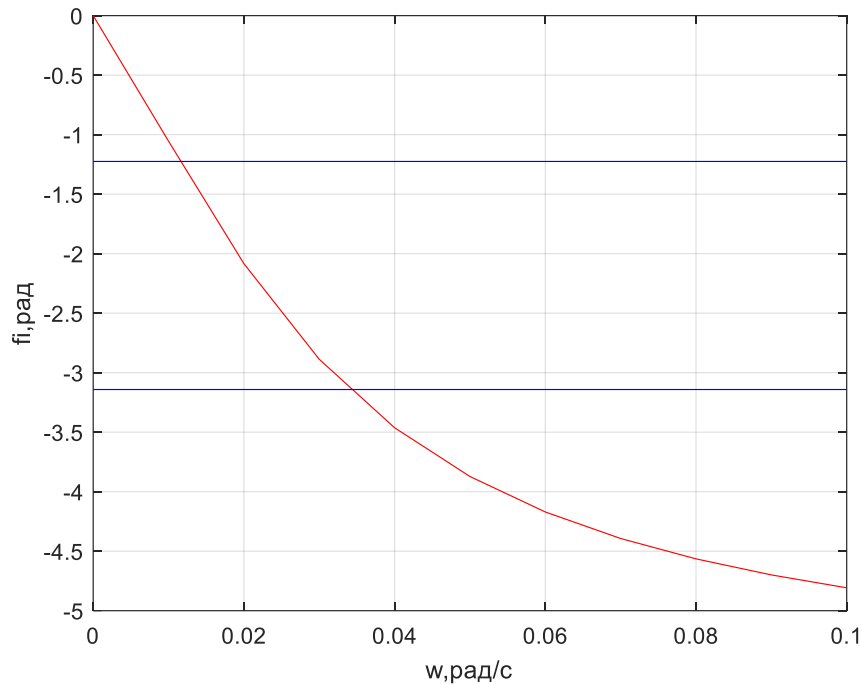


Рисунок 7.4. Графік розширеної фазо-частотної характеристики об'єкта регулювання для ступеня коливальності $m=0.36$.

Отримуємо частоти $\omega^* = 0.0116 \text{ рад/с}$ та $\omega^{**} = 0.0333 \text{ рад/с}$. в межах яких будемо проводити розрахунок параметрів налаштування ПІ регулятора.

7.4 Знаходження оптимальних параметрів для налаштування ПІ-регулятора

Для заданого ступеня коливальності m в площині параметрів $k_p, \frac{k_p}{T_{i3}}$ будемо границю області запасу стійкості системи регулювання, та знаходимо оптимальні значення параметрів налаштування $(k_p)_{\text{опт}}, (\frac{k_p}{T_{i3}})_{\text{опт}}$, отримані при другій мінімальній інтегральній оцінці ОР за каналом регулюючої дії [21].

Програма в Matlab для знаходження оптимальних параметрів налаштування ПІ регулятора при другій мінімальній інтегральній оцінці САР та побудови графіка порівняння експериментальної та розрахованої кривих розгону

```
clear all,clc
m=0.36; k=0.45;
T1=32.36;
T2=32.36;
T3=32.36;
w_z=0.0116
w_zz=0.0333
w=[w_z:(w_zz-w_z)/100:w_zz];
```

```

p=-m*w+i*w;
Wop=k./(T1.*p+1)./(T2.*p+1)./(T3.*p+1);
fiop=unwrap(angle(Wop));
Aop=abs(Wop);
kpTi=-w.*(m^2+1).*sin(fiop)./Aop;
kp=-cos(fiop)+m.*sin(fiop)./Aop;
figure(1); plot(kp, kpTi); grid; xlabel('kp'); ylabel('kp/Ti');
for i=1:length(w)
    t=[0:400];
    dx=10;
    Wop1=tf(k,[T1 1]);
    Wop2=tf(1,[T2 1]);
    Wop3=tf(1,[T3 1]);
    Wop=Wop1*Wop2*Wop3;
    War1=tf(kp(i),[1]);
    War2=tf(kpTi(i),[1 0]);
    War=War1+War2;
    Wcap=Wop/(1+Wop*War);
    y=step(Wcap,t)*dx;
    q=trapz(t,y.^2);
    S(i)=q;
    Jmin=min(S);
    if S(i)==Jmin;
        kpTiopt=kpTi(i);
        kpopt=kp(i);
    end
end
Tizopt=kpopt/kpTiopt
kpopt
kpTiopt
Jmin
figure(1);plot(kp, kpTi,kpopt,kpTiopt,'or');grid;xlabel('kp'); ylabel('kp/Ti');
figure(2);plot(kp,S,kpopt,Jmin,'or');grid; xlabel('kp'); ylabel('J')

```

Результат виконання програми:

Jmin =348.5 kp_Tizopt = 0.0389 kpopt =3.1866

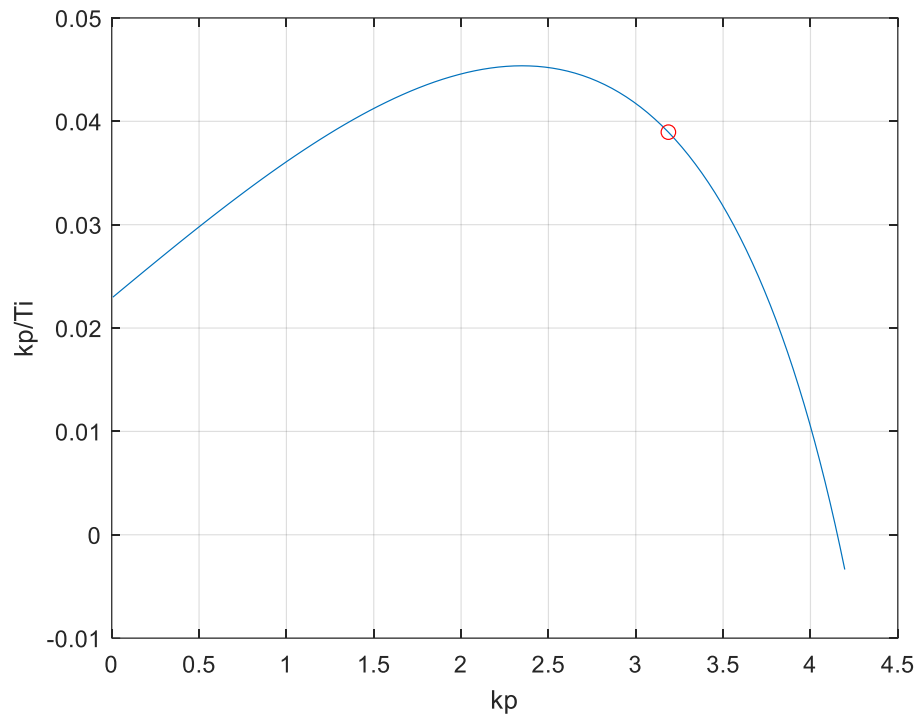


Рисунок 7.5. Графік границі області заданого запасу стійкості САР температури в киплячому шарі, з оптимальними параметрами налаштування ПІ-регулятора

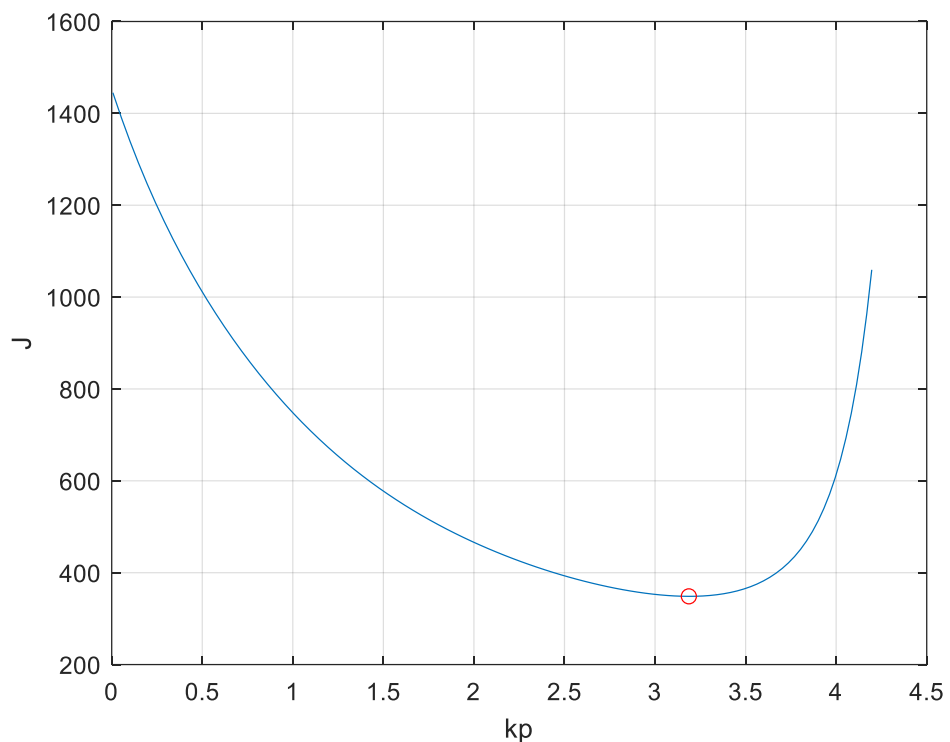


Рисунок 7.6 Графік залежності другої інтегральної оцінки переходного процесу за зміною регулювальної дією на 10%

Розрахована передавальна функція ПІ регулятора з оптимальними параметрами має вигляд:

$$W_{AP}(p) = 3,1866 + \frac{0,0389}{p}. \quad (7.17)$$

7.5 Дослідження перехідних процесів в САР температури в киплячому шарі

Дослідження системи автоматичного регулювання температури в киплячому шарі із розрахованими параметрами ПІ регулятора виконаємо побудову моделі у середовищі Matlab/Simulink. Модель САР показана на рисунку 7.7.

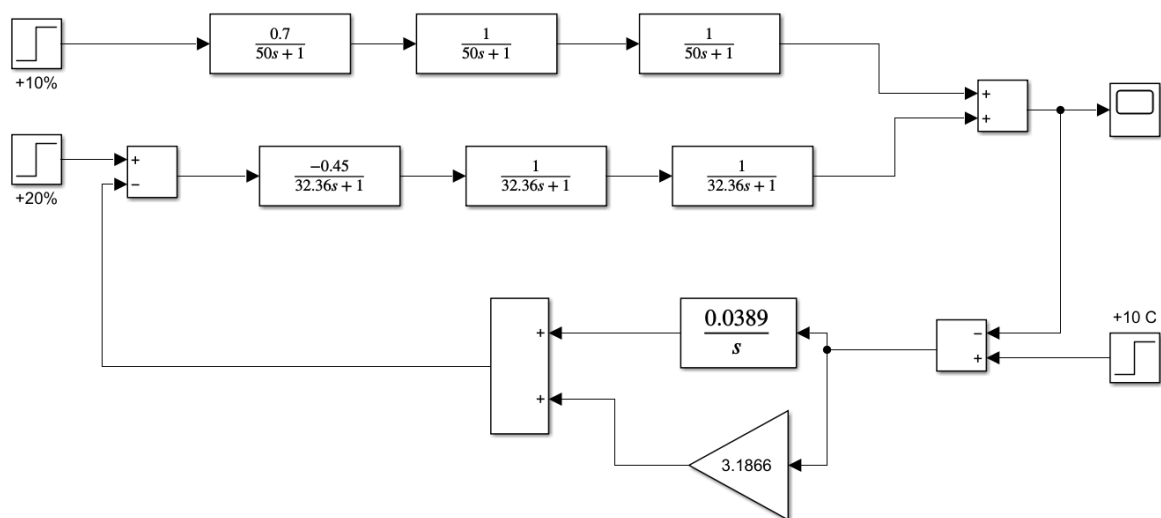


Рисунок 7.7 Модель одноконтурної САР температури в киплячому шарі, побудована в програмному середовищі Simulink

На основі моделі проведемо моделювання таких перехідних процесів: по зміні регулюючої дії, а саме збільшенні кількості вологого насіння, що подається у сушарку на 20%; по збурюючій дії - зміні початкової вологості насіння на 10% та стрибкоподібної зміні заданого значення температури в киплячому шарі на 10 °С.

Графіки перехідних процесів, які побудовані за допомогою розробленої моделі, показано на рисунках 7.8, 7.9, 7.10.

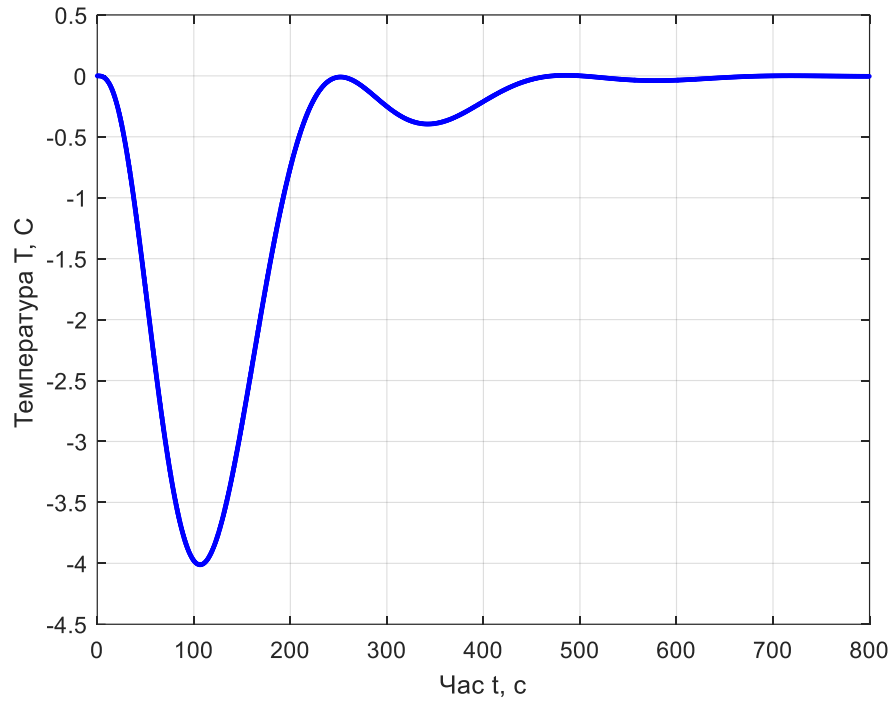


Рисунок 7.8. Перехідний процес САР при збільшенні подачі вологого насіння в сушарку на 20%

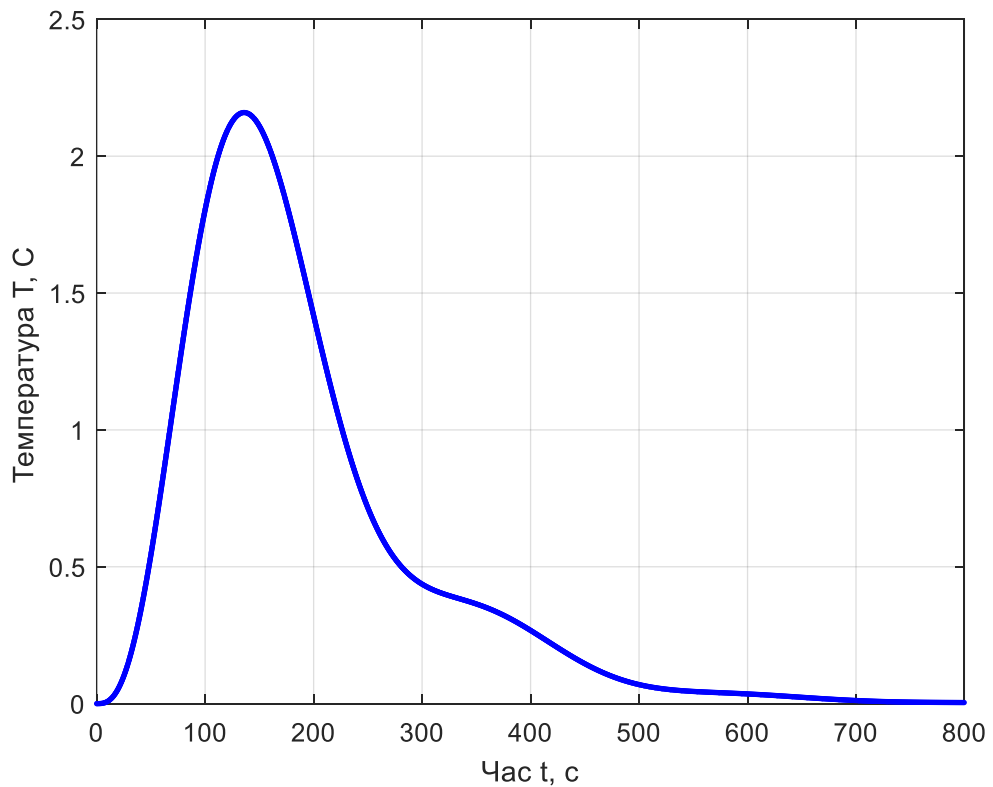


Рисунок 7.9. Перехідний процес САР при зміні початкової вологості насіння на 10%

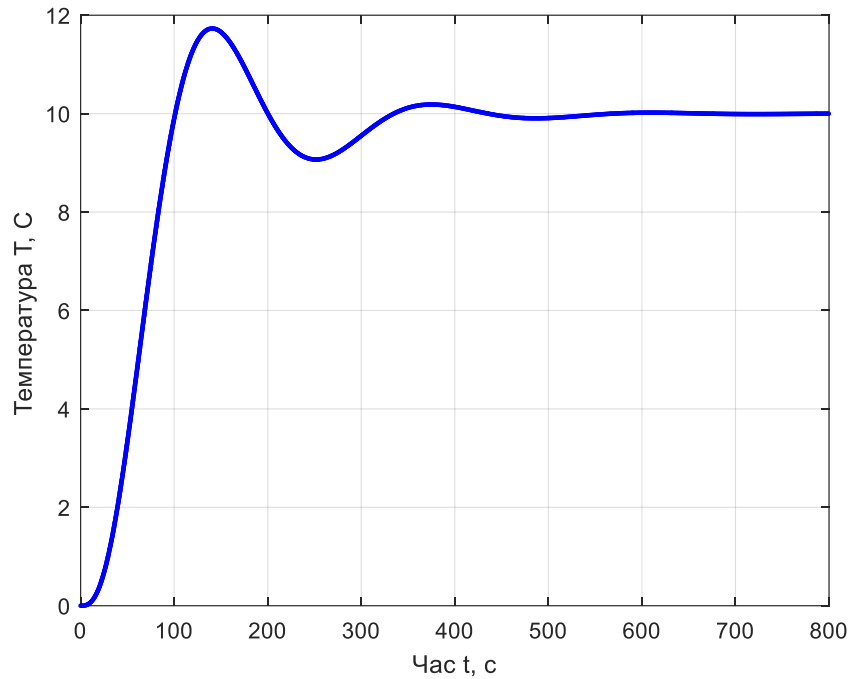


Рисунок 7.10. Перехідний процес САР при стрибкоподібній зміні заданого значення температури на 10 °С

За отриманими перехідними процесами, показаними на рисунках 7.8 – 7.10 визначені показники якості системи регулювання, наведені в таблиці 7.4.

Таблиця 7.4.

Показники якості регулювання САР

| Показник якості | Збільшення подачі вологого насіння на 20% | Зміна початкової вологості насіння на 10% | Стрибкоподібна зміна заданого значення температури на 5°С | Вимоги до якості, °С |
|--|---|---|---|----------------------|
| Максимальне динамічне відхилення $A_1, °C$ | 4.04 | 4.63 | 1.75 | 5 |
| Час регулювання t_p, c | 192.5 | 280 | 270 | 420 |

Висновки до 7 розділу:

На основі експериментальної кривої розгону, опрацьованої числовими методами, я розробив передавальну функцію об'єкта регулювання по температурі в киплячому шарі, яка має такий вигляд:

$$W(p) = \frac{-0.45}{(32.36p + 1)(32.36p + 1)(32.36p + 1)}.$$

Максимальна зведена похибка апроксимації, яку я отримав побудовою теоретичної кривої та порівнюючи її з експериментальною, становить $\delta = 1,6\%$, тому знайдену передавальну функцію ОР вважаю адекватною.

Я вибрав одноконтурну САР з ПІ-регулятором і розрахував його оптимальні параметри, які забезпечують мінімум другої інтегральної оцінки перехідного процесу за регулюючою дією. Передавальна функція ПІ-регулятора має такий вигляд:

$$W_{AP}(p) = 3,1866 + \frac{0,0389}{p}.$$

На основі моделі САР побудованої в програмному пакеті Simulink, я дослідив перехідні процеси за зміною продуктивності живильника соняшникового насіння, за зміною вологості соняшника та визначив показники якості. Отримані перехідні процеси задовольняють вимоги до показників якості, таких як максимальне динамічне відхилення, що не перевищує $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, та час регулювання не більше 420 с.

РОЗДІЛ 8

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Охорона праці є цілісною системою законодавчих, організаційно-технічних, соціально-економічних, санітарно-гігієнічних і профілактичних заходів, що спрямовані на забезпечення безпечних умов праці, збереження життя, здоров'я та працездатності працівників у процесі виконання ними виробничих завдань.

Зважаючи на особливості виробничого процесу та властивості об'єкта сушіння, в проєкті передбачено впровадження комплексу організаційно-технічних заходів, що гарантують безпечну експлуатацію обладнання, дотримання норм виробничої санітарії та охорони праці.

У процесі експлуатації сушильного устаткування, особливо в умовах обробки насіння соняшнику, необхідно суворо дотримуватись чинних нормативних документів та правил безпеки. Зокрема, у проєкті враховано вимоги наступних нормативно-правових актів:

- ПІ 1.5.20-437-2006 — «Примірна інструкція з охорони праці під час сушіння сільськогосподарської продукції в сушарках з псевдозрідженим шаром» (з адаптацією під соняшник);
- НПАОП 01.0-1.02-18 «Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві»;
- НПАОП 40.1-1.31-01 -« Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів»;
- НАПБ А.01.001-2014 -«Правила пожежної безпеки в Україні»;
- НПАОП 40.1-1.21-98 — «Правила безпечної експлуатації електрообладнання споживачів»;
- НПАОП 0.00-4.12-05 — «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці»;
- Закон України «Про охорону праці»;

8.1. Характеристика технологічного процесу з позиції небезпек для персоналу

Сушіння насіння соняшнику належить до категорії складних та потенційно небезпечних виробничих процесів, що супроводжуються низкою шкідливих і небезпечних факторів. У ході технологічного циклу можуть виникати такі ризикові ситуації:

- інтенсивне пилоутворення;
- підвищена вибухопожежна безпека.

Під час сушіння відбувається активне перемішування твердих частинок, що призводить до їх подрібнення і, як наслідок, до утворення дрібнодисперсного соняшникового пилу. Незважаючи на наявність у сушильній установці пилоуловлювальних пристроїв, частина пилу потрапляє у повітряне середовище приміщення, що негативно впливає на дихальні шляхи персоналу та загальний санітарно-гігієнічний стан робочої зони.

Окрім цього, сушарка обладнана топковим блоком, який працює на газоподібному паливі. При витoku газу через несправності трубопроводу або порушення герметичності з'єднань зростає ризик утворення вибухонебезпечного середовища. У разі займання це може призвести до пожежі або навіть вибуху, що становить пряму загрозу життю та здоров'ю працівників.

8.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

Мікроклімат

Згідно з, мікроклімат виробничих приміщень регламентується низкою параметрів, серед яких основними є температура повітря (t , °C), його відносна вологість (W , %) та швидкість повітряного руху (м/с). Для забезпечення комфортних та безпечних умов праці значення зазначених показників повинні відповідати нормам, встановленим для відповідної категорії робіт і пори року. Оптимальні та допустимі величини мікрокліматичних параметрів для розглянутих

умов наведено у таблиці 8.1.

Таблиця 8.1

Параметри мікроклімату відповідно [23]

| Період року | Оптимальні | | | Допустимі | | |
|-------------|------------|-------|--------|-----------|---------|---------|
| | t, °C | W, % | V, м/с | t°C | W, % | V, м/с |
| теплий | 22-24 | 40-60 | 0,2 | 21-28 | до 75 % | 0,1-0,3 |
| холодний | 21-23 | 40-60 | >0,1 | 20-25 | до 75 % | >0,2 |

З метою підтримання мікроклімату у виробничих приміщеннях на рівні, що відповідає чинним санітарним нормам, передбачено впровадження комплексу технічних і організаційних заходів, а саме:

- використання теплозахисних екранів для зменшення впливу інфрачервоного випромінювання на працівників;
- застосування спеціального одягу, який забезпечує термічний та гігієнічний захист;
- організація ефективної загальнообмінної та локальної вентиляції;
- впровадження систем опалення у зимовий період для підтримання комфортної температури;
- використання кондиціонерів або систем охолодження повітря в теплу пору року.

8.3. Вентиляція

Сушіння насіння соняшнику є одним із ключових чинників, що впливають на безпеку праці персоналу. В умовах експлуатації сушильного обладнання основними забруднювачами повітряного середовища можуть виступати:

- оксид вуглецю (CO) — 20мг/м³;
- пил насіння соняшнику — до 5мг/м³ (за показником респірабельного пилу);

- метан (CH₄) — 300 мг/м³.

Соняшниковий пил має високу вибухонебезпечність, особливо при його накопиченні у закритому просторі та на поверхнях обладнання. Тому необхідним є використання ефективної вентиляції, що забезпечує видалення пилу з повітря робочої зони. З цією метою сушильне приміщення обладнується витяжними зонтами, локальними пиловловлювальними пристроями (наприклад, циклонами, фільтрами), а також системами контролю повітряного середовища.

Повітря робочої зони повинно відповідати гігієнічним вимогам, наведеним у ДСН 3.3.6.042-99 “Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень”

Регулярний моніторинг складу повітря дозволяє своєчасно виявляти перевищення допустимих концентрацій і вживати відповідних заходів.

8.4. Вимоги до виробничого освітлення

Освітлення виробничих і допоміжних приміщень підприємства, де здійснюється процес сушіння насіння соняшнику, організовано відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2018 та Правил улаштування електроустановок (ПУЕ). Освітлення включає як природну, так і штучну складову, що забезпечує належні умови видимості на робочих місцях.

Для штучного освітлення використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ та лампи розжарювання, що працюють від мережі з напругою 220 В. Відповідно до прийнятої класифікації зорових робіт (розряд IVв), нормована освітленість на робочих місцях має становити не менше **300 лк** при використанні люмінесцентних ламп.

Місцеве освітлення виконується за допомогою світильників типу НСП 02-100 або ЛСП 2х36, які монтуються на металевих або пластикових кронштейнах безпосередньо над робочими місцями. Вони мають захисні розсіювачі та забезпечують фокусоване освітлення без засліплення. Підключення до

електромережі виконується у гнучких гофрованих рукавах, які захищають провід від механічних пошкоджень і агресивних впливів зовнішнього середовища.

Кожен світильник місцевого освітлення обладнаний індивідуальним вимикачем, що дозволяє за потреби вмикати чи вимикати його незалежно від загальної системи.

Для забезпечення безпеки у випадку аварійного знеструмлення, в системі передбачено резервне (аварійне) освітлення, що дозволяє завершити технологічні операції та здійснити евакуацію персоналу.

Регламентне обслуговування освітлювальної мережі (перевірка рівня освітленості, заміна ламп, очищення плафонів, огляд кріплень) виконується щонайменше один раз на рік спеціалізованим електротехнічним персоналом, який має відповідну кваліфікацію та допуск до роботи з електроустановками.

Приміщення з постійним перебуванням працівників обладнані природним боковим або комбінованим верхнім освітленням. Для штучного освітлення застосовуються:

- загальна система освітлення — забезпечує рівномірне освітлення всього приміщення;
- комбінована система освітлення — додатково до загального передбачає використання місцевого освітлення безпосередньо на робочих місцях.

Місцеве освітлення оснащується індивідуальними вимикачами, а проводка до світильників виконується у гнучких захисних рукавах. На випадок аварійного вимкнення основного освітлення передбачено резервне (аварійне) освітлення, що дозволяє продовжити безпечну евакуацію або завершити технологічний процес.

Контроль освітленості на робочих місцях здійснюється щороку, а обслуговування систем освітлення, очищення світильників і заміна несправних елементів покладається на електротехнічний персонал, що має відповідну кваліфікацію та допуск.

8.5. Шум та вібрація

Під час роботи сушильного обладнання в установці з псевдозрідженим шаром виникають підвищені рівні шуму та вібрацій, що можуть негативно впливати на здоров'я працівників. Виробниче устаткування спроектоване таким чином, щоб відповідати:

- ДСП 3.3.6-037-99 — щодо допустимого рівня шуму, ультра- та інфразвуку;

Згідно з чинними нормативами, допустимий рівень шуму в робочій зоні не повинен перевищувати 80 дБА. Для зниження акустичних навантажень на персонал у конструкції сушарки передбачено:

- шумо- та віброізоляційні елементи;
- балансування рухомих частин;
- застосування демпфуючих матеріалів у з'єднаннях вузлів;
- регулярне змащення та заміна зношених компонентів.

Приміщення, де встановлено обладнання з підвищеним рівнем шуму та вібрації, ізольовані та мають спеціальні засоби для їх гасіння.

Контроль за рівнем шуму та вібрації проводиться щорічно за допомогою шумомірів, що пройшли державну повірку. Перед і після вимірювань виконується калібрування приладів — електричне або акустичне, з похибкою не більше ± 1 дБ. Під час вимірювання використовується режим «повільно», а результати фіксуються як середнє значення при коливанні стрілки приладу в октавних смугах частот.

Нормовані значення шуму та вібрації в операторській

Таблиця 8.2

| Рівні звукового тиску (дБ) в активних смугах з середньо геометричними частотами Гц | Приміщення операторської | Рівні звуку, еквівалентні рівні звуку дБ (А) |
|--|--------------------------|--|
| 31,5 | 96 | 65 |
| 63 | 83 | |
| 125 | 74 | |
| 250 | 68 | |
| 500 | 63 | |
| 1000 | 60 | |
| 2000 | 57 | |
| 4000 | 55 | |
| 8000 | 54 | |

Категорія приміщення за вибухопожежною та пожежною безпекою

Відповідно до НАПБ Б.07.005-86 та ДБН В.1.1-7:2016, приміщення, у якому розміщено сушарку з псевдозрідженим шаром для сушіння насіння соняшнику, належить до категорії "Б" — вибухопожежонебезпечне. Це пояснюється тим, що у повітрі можливе накопичення пилоповітряних сумішей, які мають властивість вибухати при контакті з джерелами запалювання. До складу середовища входить соняшниковий пил, здатний утворювати вибухонебезпечну атмосферу при концентрації від 44 г/м³ і вище.

Ступінь вогнестійкості будівлі

Будівля, у якій встановлено сушильне обладнання, належить до III ступеня вогнестійкості, згідно з класифікацією, визначеною у ДБН В.1.1-7:2016. Для даного ступеня вогнестійкості характерно:

використання негорючих матеріалів у несучих конструкціях (наприклад, армований бетон, силікатна цегла);

обмежена межа вогнестійкості несучих елементів конструкцій не менше R 45 або REI 60 (залежно від типу конструкцій);

наявність протипожежних перегородок та засобів евакуації згідно з нормами.

Для зниження пожежного ризику передбачено:

застосування будівельних матеріалів групи горючості не нижче Г1 (слабкогорючі);

обробка дерев'яних конструкцій антипіренами;

встановлення автоматичних засобів виявлення та гасіння пожежі.

8.6. Пожежна безпека

Пожежна безпека на підприємстві, де експлуатується сушильне обладнання з псевдозрідженим шаром для обробки насіння соняшнику, передбачає створення таких умов, за яких ризик виникнення пожежі та її негативного впливу на персонал і матеріальні цінності зводиться до мінімуму. Це досягається шляхом реалізації комплексу організаційних, технічних та інформаційно-профілактичних заходів відповідно до:

НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.

- недопущення займання вибухонебезпечного пилоповітряного середовища;
- своєчасне виявлення джерел загоряння;
- ефективне реагування та локалізацію можливих загорянь;
- забезпечення евакуації людей і збереження обладнання.

Протипожежний захист забезпечується за допомогою:

- систем пожежної сигналізації та автоматичного пожежогасіння;
- вогнестійких будівельних конструкцій з обмеженою здатністю до розповсюдження полум'я;
- чітко організованих шляхів евакуації;
- наявності первинних засобів гасіння (вогнегасників, пожежних щитів тощо);

- інструкцій та дій персоналу на випадок загоряння.

На підприємстві обов'язковим є розроблення комплексу заходів з пожежної безпеки, що включає:

- виконання вимог актів органів державного пожежного нагляду;
- щорічне навчання працівників правилам пожежної безпеки та відпрацювання дій у надзвичайних ситуаціях;
- контроль справності систем пожежогасіння, сигналізації та зв'язку;
- впровадження елементів виробничої автоматики з функціями пожежного моніторингу;
- застосування наочних матеріалів (плакатів, стендів), розміщених у доступних місцях;
- розробку інструкцій щодо поводження з горючими речовинами, організації вогнебезпечних робіт, дій при евакуації.

Пожежні інструкції мають постійно оновлюватися згідно з аналізом пожежної ситуації, змінами у технології та на вимогу профільних органів.

Керівник підприємства несе відповідальність за організацію пожежної безпеки і призначає уповноважених осіб на кожній ділянці. Державний пожежний нагляд здійснює ДСНС України. За порушення вимог пожежної безпеки працівники підприємства притягуються до відповідальності згідно з чинним законодавством.

8.7. Захист від ураження електричним струмом

Сушильна установка та допоміжне обладнання функціонують під напругою 380/220 В. Для гарантування безпеки обслуговуючого персоналу реалізується система технічних і організаційних заходів, що знижують ризик ураження електричним струмом у нормальних і аварійних умовах.

Основні принципи електрозахисту передбачають:

- повну недоступність струмоведучих частин у нормальному режимі;
- автоматичне відключення живлення у разі пошкодження ізоляції чи виникнення замикання на відкриті провідні частини;
- наявність засобів основного (ізоляція, оболонки, огороження) та додаткового захисту (ПЗВ, занулення, заземлення, вирівнювання потенціалів).

Установки, доступ до яких дозволено лише кваліфікованому персоналу, можуть бути додатково захищені шляхом застосування бар'єрів, сигнальних табло та розміщення поза зоною досяжності.

У разі неможливості реалізації окремих вимог стандарту, допускається використання допоміжних заходів, що забезпечують еквівалентний рівень електробезпеки.

Всі елементи електрозахисту повинні бути технічно сумісними, тобто несправність одного компонента не повинна призводити до втрати функціональності іншого.

Автоматичне вимкнення живлення реалізується через:

- систему основного захисту (ізоляція, захисні кожухи);
- систему захисту від замикань (заземлення, ПЗВ, пристрої контролю струмів витоку).

Проектування та експлуатація електроустановок здійснюється відповідно до ПУЕ:2017, НПАОП 40.1-1.21-98 та інших галузевих стандартів

8.8. Розрахунок можливого тиску вибуху пилу луски соняшнику

| Показник | Значення |
|--|---------------------|
| Концентрація пилу в повітрі (С) | 65 г/м ³ |
| Мінімальна концентрація, за якої можливий вибух (Смін) | 44 г/м ³ |
| Максимальний надлишковий тиск вибуху (Рmax) | 7,9 бар = 0,79 МПа |

Розрахунок можливого тиску вибуху (ΔP)

$$V_{\text{суш}} = 30 \text{ м}^3 \quad (8.1)$$

Знаходимо масу пилу:

$$m = \frac{65 \text{ г}}{\text{м}^3} \times 30 \text{ м}^3 = 1950 \text{ г} = 1,95 \text{ кг}. \quad (8.2)$$

Знаходимо тиск вибуху:

$$\Delta P = \frac{m * H_T * p_0 * Z}{V_{\text{св}} * p_B * c_p * T_0} * \frac{1}{k_H}, \quad (8.3)$$

де H_T -теплота згорання; p_B -плотність повітря до вибуху при початковій температурі; c_p -питома теплоємність;

$$\Delta P = \frac{1,95 \cdot 17000000 \cdot 0,4}{30 \cdot 1,2 \cdot 1010 \cdot 293} * 2 = 1,2444 \cdot 2 = 2,49 \text{ кПа}. \quad (8.4)$$

Висновок: Розрахунок надлишкового тиску вибуху пилоповітряної суміші луски соняшнику, виконаний за формулою (8.3) показав, що при об'ємі сушарки 30 м³, концентрації пилу 65 г/м³ та з урахуванням фізико-хімічних параметрів середовища, ймовірний надлишковий тиск вибуху становить близько 2,49 кПа.

Це значення перевищує мінімальний нормативний поріг небезпеки у 5 разів, встановлений для визначення категорії вибухонебезпеки приміщення ($\geq 0,5$ кПа згідно з ДБН В.1.1-7-2016). Отже, приміщення сушарки необхідно класифікувати як вибухонебезпечне (категорія Б).

З метою забезпечення пожежної безпеки при проектуванні об'єкта слід передбачити:

- вибухозахисні конструктивні елементи з розрахунковим тиском не менше 0,8 МПа;
- вибухорозрядні пристрої, автоматичне відключення подачі газу та локальні системи пилопригнічення;
- регулярний контроль запиленості повітря та технічного стану вентиляційної системи.

Таким чином, отримані результати підтверджують необхідність впровадження комплексу заходів вибухозахисту для забезпечення безпечної експлуатації сушильного обладнання при сушінні насіння соняшнику.

Рекомендації щодо вибухозахисту:

Вибухозахист конструкцій:

Розрахунок міцності елементів на тиск не менше 0,8 МПа

Установка вибухорозрядних панелей або клапанів

Використання систем інгібування процесів вибуху, застосування систем вибухопопередження: усунення умов утворення горючих пило-повітряних сумішей.

РОЗДІЛ 9

ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІ

9.1. Аналіз економічної доцільності впровадження автоматизації

Економічна доцільність передбачає комплексну оцінку співвідношення витрат і потенційних прибутків від реалізації певного проєкту. Такий аналіз дозволяє зробити висновки щодо доцільності його впровадження, рівня ефективності та очікуваної рентабельності.

Щоб забезпечити стабільно високу якість продукції, необхідним є постійний розвиток матеріально-технічної бази підприємства: впровадження автоматизованих систем у виробництво, модернізація обладнання та використання інноваційних технологій.

Фінансові витрати на реалізацію автоматизації включають два основні компоненти: інвестиційні (капітальні) вкладення та поточні витрати, пов'язані з експлуатацією та обслуговуванням обладнання.

Під час підготовки цього розділу були опрацьовані звітні матеріали переддипломної практики, а також використані актуальні прайс-листи від постачальників обладнання.

9.2. Аналіз ключових техніко-економічних параметрів

Під час обґрунтування фінансових витрат, пов'язаних із реалізацією автоматизованої системи керування технологічним процесом, одним із ключових етапів є складання повного та структурованого кошторису. Такий кошторис повинен охоплювати всі статті витрат, необхідних для ефективного та безперебійного впровадження системи, включаючи придбання, транспортування, зберігання, монтаж та введення в експлуатацію контрольно-вимірювальних приладів, а також допоміжного обладнання.

Необхідно враховувати і витрати на оплату праці технічного персоналу, який виконує інсталяцію та налаштування обладнання. Сюди входить як основна заробітна плата працівників, так і додаткові нарахування (премії, доплати за надурочний час, компенсації за роботу у важких умовах тощо). За окремих умов частка накладних витрат може досягати 45% від загальної вартості контрольно-вимірювальної апаратури, що значно впливає на остаточний бюджет проєкту.

Не менш суттєвими є логістичні витрати, які охоплюють усі етапи транспортування елементів системи: від заводу-виробника до складу підприємства, а далі — безпосередньо до місця встановлення. Залежно від складності маршруту, габаритів приладів, обсягів постачання та обраного виду транспорту, витрати на доставку можуть коливатись у межах 20–30% від вартості всього комплексу обладнання. У нашому випадку середнє значення транспортних витрат становить приблизно 25%, що є типовим показником для проєктів подібного масштабу.

Кошторис витрат на автоматизацію

Таблиця 9.1

| № п/п | Назва приладу | Тип приладу | Кількість | Вартість одного приладу, грн. | Загальна вартість приладів даного типу, грн. |
|-------|---|---|-----------|-------------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | Діафрагма камерна ДКС | Діафрагма камерна | 3 | 1450 | 4350 |
| 2 | Сафір М | Датчик різниці тисків | 3 | 10 000 | 30 000 |
| 3 | Endress+Hauser FTE20-AA13AA41 | Ротаційний датчик рівня | 1 | 17099 | 17099 |
| 4 | ТСП-1187 | Термоперетворювач опору | 2 | 1250 | 2500 |
| 5 | ПВ-0013 | Нормуючий перетворювач. | 2 | 2000 | 4000 |
| 6 | ШП-500 | Шлюзовий живильний | 2 | 102 000 | 204 000 |
| 7 | ATV320U22N4B | ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ | 1 | 17 764 | 17 764 |
| 8 | ATV320U40N4B | ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ | 2 | 21 615 | 43 230 |
| 9 | LGW 3 A2-7 | Датчик-реле розрідження | 1 | 1600 | 1600 |
| 10 | Samson 6111 | Електро пннвматичний перетворювач | 1 | 42000 | 42 000 |
| 11 | Samson 3241 DN50 з приводом 3277 та позиціонером 3730-2 | Регулювальний клапан з приводом та позиціонером | 1 | 100000 | 100 000 |
| 12 | Electric TeSys E 3P 40A, | Контактор | 1 | 2700 | 2700 |

Продовження таблиці 9.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------|---------------|---|---|-------|---------|
| 13 | EV220B 6-22 | Електромагнітний клапан | 1 | 3100 | 3100 |
| 14 | Дн-40 | Датчик-реле напору | 2 | 1200 | 2400 |
| 15 | МІК – 51Н | мікропроцесорний програмований модуль керуван | 2 | 17760 | 35 520 |
| 16 | МР – 51Н – 17 | модуль розширення | 1 | 12867 | 12 867 |
| 17 | ОВР 200 М-2К | Вентилятор | 2 | 5100 | 10 200 |
| 18 | ХВ5АVB4 | Сигнальна лампа | 4 | 404 | 1616 |
| РАЗОМ | | | | | 532 546 |

Вартість монтажних робіт становить:

$$532\,546 * 0,45 = 239\,645 \text{ грн} \quad (9.1)$$

Витрати на транспорт становлять:

$$T = 532\,546 * 0,25 = 133\,136 \text{ грн} \quad (9.2)$$

Отже, кошторис витрат на автоматизацію буде:

$$K = 532\,546 + 239\,645 + 132\,732 = 905\,327 \text{ грн} \quad (9.3)$$

Розрахунок амортизаційних відрахувань

Відрахування на амортизацію визначаємо за балансовою вартістю основних фондів, які беруть участь в автоматизації, та норм амортизації. Норми амортизації складають 40 % від загальної вартості автоматизації.

Амортизаційні відрахування

Таблиця 9.2

| № з/п | Прилади | Повна вартість, грн. | Норма амортизації, % | Річна сума амортизації, грн |
|-------|---------|----------------------|----------------------|-----------------------------|
| 1 | Разом | 905 327 | 40 | 362 130 |

9.3. Аналіз змін техніко-економічних показників у результаті автоматизації

Упровадження систем автоматизації здатне істотно вплинути на ключові техніко-економічні параметри виробничих або будівельних процесів. Для оцінки доцільності таких змін необхідно визначити основні напрями, за якими можлива економія ресурсів, а також конкретні фактори, що формують економічну ефективність автоматизації.

До них належать: зменшення витрат на сировину, матеріали, паливо й енергоресурси; зниження рівня трудомісткості обслуговування обладнання; зростання виробничих потужностей і покращення якості готової продукції.

Продуктивність сушильного обладнання з псевдозрідженим шаром за показниками сухого матеріалу становить 800 кг/год.

Після автоматизації економія електроенергії становить 23 кВт*год.

За рік продуктивність установки буде:

$$800 \frac{\text{кг}}{\text{год}} * 8760 \text{ год} = 7008 \frac{\text{т}}{\text{рік}} \quad (9.4)$$

Отже, економія електроенергії за рік буде:

$$7008 * 23 = 161\,184 \text{ кВт} * \frac{\text{год}}{\text{рік}} \quad (9.5)$$

А економія витрат на електроенергію буде:

$$E_1 = 161\,184 \text{ кВт} * \frac{\text{год}}{\text{рік}} * 4,32 \frac{\text{кВт}}{\text{год}} * \text{год} = 696\,314 \text{ грн} \quad (9.6)$$

9.4 Розрахунок чисельності основних робітників та їх річного фонду заробітної плати

З урахуванням специфіки виробничого процесу та технічних характеристик устаткування, необхідно раціонально розподілити функціональні обов'язки між працівниками зміни. Важливим аспектом цього є встановлення тарифних розрядів, що здійснюється на основі чинних тарифно-кваліфікаційних довідників.

Кількість робітників, що фактично працюють у зміні (явочна чисельність), визначається відповідно до затвердженого розстановочного штату та прийнятого режиму змінності. Для переходу від явочної чисельності до спискового складу використовується коефіцієнт переводу, який для підприємств із безперервним графіком роботи розраховується за формулою:

$$K_{п} = \frac{T_{к}}{T_{ЕЕ}} = \frac{365}{245} = 1,5 \quad (9.7)$$

$$Ч_{с} = Ч_{я} * K_{п} = 6 * 1,5 = 8 \text{ осіб} \quad (9.8)$$

Для оцінки економічної ефективності впровадження автоматизації необхідно скласти баланс робочого часу одного середньоспискового працівника. За рахунок автоматизації можливе скорочення кількості основних робітників, що, своєю чергою, дозволяє зменшити витрати на оплату праці. Економія на охороні праці обчислюється як добуток кількості вивільнених робітників на середньорічну суму витрат за відповідними статтями.

9.5. Розрахунок річного фонду заробітної плати (основних робітників)

Річна заробітна плата одного працівника визначається як сума основного та додаткового фонду оплати праці:

$$\Phi ЗП_{річ} = \Phi ЗП_{ос} + \Phi ЗП_{дод}$$

Тобто річний фонд заробітної плати дорівнює сумі фонду основної заробітної плати і Фонду додаткової заробітної плати.

$\Phi ЗП_{ос}$ - основна заробітна плата;

При погодинній оплаті праці:

$$\Phi ЗП_{ос} = C_{сер} * T_{сер} * n,$$

де $C_{сер}$ – середня погодинна тарифна ставка (грн);

$T_{сер}$ – ефективний фонд часу (у годинах);.

$$\Phi ЗП_{ос} = 36 * 1960 * 8 = 564480 \text{ грн} \quad (9.9)$$

$$\Phi ЗП_{\text{дод}} = Д_{\text{пр}} + Д_{\text{к}} + Д_{\text{св}}$$

де $Д_{\text{пр}}$ – доплати у вигляді премій, згідно з діючими положеннями;

$Д_{\text{н}}$, $Д_{\text{в}}$ – доплати в нічний і вечірній час.

$$Д_{\text{пр}} = \Phi ЗП_{\text{осн}} * П_{\text{пр}} = 564480 * 0,25 = 141120 \text{ грн} \quad (9.10)$$

$$Д_{\text{н}} = \frac{564480}{3} * 0,4 = 75264 \text{ грн} \quad (9.11)$$

$$Д_{\text{в}} = \frac{564480}{3} * 0,2 = 37632 \text{ грн} \quad (9.12)$$

Доплата за роботу в святкові дні:

$$Д_{\text{св}} = 12 * 3 * 8 * 36 = 10368 \text{ грн} \quad (9.13)$$

$$\Phi ЗП_{\text{дод}} = 141120 + 75264 + 37632 + 10638 = 264384 \text{ грн} \quad (9.14)$$

Оплата періоду щорічної основної відпустки ($\Phi ЗП_{\text{від}}$) розраховується як добуток середньоденного заробітку працівника на кількість днів відпустки. Щоб визначити середньоденну заробітну плату, необхідно суму основного фонду заробітної плати разом із відповідними доплатами поділити на ефективний річний фонд робочого часу в днях.

$$\Phi ЗП_{\text{від}} = \frac{564480 + 264384}{245} * 24 = 81194,84 \text{ грн} \quad (9.15)$$

$$\begin{aligned} \Phi ЗП_{\text{р}} &= \Phi ЗП_{\text{осн}} + \Phi ЗП_{\text{дод}} + \Phi ЗП_{\text{від}} = 564480 + 264384 + \\ &+ 81194,84 = 910058,84 \text{ грн.} \quad (9.16) \end{aligned}$$

Середньомісячна зарплата дорівнює: $910058,84 / (8 * 12) = 9479,78 \text{ грн.}$

Таблиця 9.3

Показники фонду робочого часу

| | |
|---|---|
| Показники | Неперервне виробництво 8-годинний робочий день, чотирьох бригадний графік |
| 1. Календарний фонд часу, днів | 365 |
| 2. Святкові дні | - |
| 3. Вихідні дні | 91 |
| 4. Номінальний фонд робочого часу, днів | 274 |
| 5. Невиходи на роботу, днів: | |
| Чергова відпуска | 24 |
| Відпустка по хворобі | 2 |
| Відпустка по вагітності | 1 |
| Виконання державних обов'язків | 1 |
| Відпустка у зв'язку з навчанням | 1 |
| 6. Всього невиходи на роботу, днів | 29 |
| 7. Ефективний час роботи, днів | 245 |
| - Ефективний час роботи, годин | 1960 |

Таблиця 9.4

9.6. Розрахунок явочної кількості основних працівників

| № п/п | Професія | Тарифний розряд | Розстановочний штат у зміну, чол. | К-ть змін | Явочна кількість на добу, чол. |
|-------|----------|-----------------|-----------------------------------|-----------|--------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | Оператор | VI | 1 | 3 | 3 |
| 2 | Оператор | V | 1 | 3 | 3 |

До впровадження автоматизації для обслуговування процесу в одній зміні залучалося три основних працівники. У результаті автоматизації потреба в

обслуговуючому персоналі зменшується — достатньо лише одного оператора на зміну. Таким чином, економія на витратах фонду оплати праці формується завдяки скороченню чисельності персоналу, що забезпечує функціонування системи:

$$E_3 = Z_{\text{роб}} * 12 * n = 9479,78 * 12 * 3 = 341271 \text{ (9.17)}$$

де $Z_{\text{роб}}$ – місячна зарплата одного працівника грн./міс; n – кількість робітників. Сумарна економія дорівнює:

$$E_c = E_1 + E_3 = 696\,314 + 341\,271 = 1\,037\,585 \text{ грн (9.18)}$$

Розрахунок експлуатаційних витрат на автоматизацію

До експлуатаційних витрат на автоматизацію належить:

1) Енергозатрати на живлення і засобів автоматизації.

Сумарна витрата електроенергії на живлення засобів автоматизації:

$$\varepsilon = 1200 \text{ кВт/рік}$$

Вартість спожитої енергії буде:

$$Z_1 = 1200 * 4,32 = 5184 \frac{\text{грн}}{\text{рік}} \text{ (9.19)}$$

2) Витрати на утримання прийнятих робітників на обслуговування КВПіА:

$$Z_2 = Z_{\text{роб}} \cdot 12 \cdot n = 9479,78 \cdot 12 \cdot 1 = 113\,757,36 \text{ грн/рік}$$

3) Амортизаційні витрати: $Z_3 = 361\,032$

3) Витрати на ремонт КВПіА: $Z_4 = 20000 \text{ грн/рік}$

4) Витрати на єдиний соціальний внесок (ЄСВ):

$$Z_{\text{ЄСВ}} = (0,22 + 0,015) * 32 = 0,225 * 113\,757,36 = 25\,595,406 \frac{\text{грн}}{\text{рік}} \text{ (9.20)}$$

Загальні експлуатаційні витрати становитимуть:

$$Z_c = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_{\text{ЄСВ}} = 5184 + 113\,757,36 + 361\,032 + 20000 + 25\,595,406 = 525\,568,766 \text{ грн/рік}$$

Розрахунок річного економічного ефекту і терміну окупності

1) Річний економічний ефект визначаємо по формулі:

$$E_p = E_{заг} - K \cdot E_n = 512\,016,23 - (902\,580 \cdot 0,15) = 376\,629,23 \text{ грн} \quad (9.21)$$

де $E_{заг}$ - загальна умовно-річна економія за рахунок різноманітних джерел визначається по формулі:

$$E_{заг} = E_c - Z_e = 1\,037\,585 - 525\,568,766 = 512\,016,23 \text{ грн} \quad (9.22)$$

де E_i - економія за рахунок і-го джерела (палива, енергії, матеріалів, зарплати);

K - капітальні витрати на автоматизацію (згідно кошторису);

E_n - коефіцієнт ефективності ($E_n = 0,15$);

Z_e - експлуатаційні затрати на автоматизацію.

2) Термін окупності:

$$T_{OK} = \frac{905\,327}{512\,016,23} = 1,7 \text{ року} \quad (9.23)$$

3) Коефіцієнт економічної ефективності:

$$E = \frac{1}{T_{OK}} = \frac{1}{1,7} = 0,58 \quad (9.24)$$

Основні техніко-економічні показники

| № | Показник | Одиниці | Величина |
|---|---|---------|------------|
| 1 | Витрати на автоматизацію | грн. | 905 327 |
| 2 | Чисельність робітників в день (3 зміни) | чол. | 3 |
| 3 | Середньомісячна заробітна плата | грн. | 9479,78 |
| 4 | Річний економічний ефект | грн. | 376 629,23 |
| 5 | Термін окупності | рік | 1,7 |
| 6 | Коефіцієнт економічної ефективності | - | 0,58 |

Висновок: було проведене економічне обґрунтування автоматизації процесу сушіння соняшникового насіння у сушарці з киплячим шаром засвідчило високу

ефективність запропонованого проєкту. На основі комплексного аналізу витрат і прогнозованих вигод встановлено, що впровадження автоматизованої системи дозволяє суттєво знизити експлуатаційні витрати, зменшити чисельність обслуговуючого персоналу та зекономити значну кількість енергоресурсів.

Загальна сума капіталовкладень на реалізацію системи автоматизації становить 905.38 тис. грн. Водночас очікувана умовно-річна економія досягає понад 1 млн грн, що забезпечує річний економічний ефект у розмірі 376,63 тис. грн. Розрахований термін окупності проєкту — 1,7 року — свідчить про раціональність інвестицій, а коефіцієнт економічної ефективності, що дорівнює 0,58, підтверджує привабливість проєкту з позицій довгострокової фінансової доцільності.

Крім того, завдяки модернізації зростає надійність та стабільність технологічного процесу, знижується ризик виникнення аварійних ситуацій, підвищується якість продукції та загальна продуктивність виробництва. Економічні розрахунки засвідчили, що інноваційні підходи до організації виробничого процесу не лише відповідають сучасним вимогам ринку, а й забезпечують реальні фінансові переваги.

Таким чином, автоматизація сушіння у сушарці з киплячим шаром є технічно виправданою, економічно обґрунтованою та стратегічно вигідною інвестицією для підприємства, яка сприяє підвищенню конкурентоспроможності й ефективності його виробничої діяльності.

Висновки

У цьому дипломному проєкті було розроблено комплексне програмне забезпечення для автоматизації процесу сушіння насіння соняшника в сушарці з киплячим шаром. Використання мікропроцесорного контролера **МК-51Н** дозволило реалізувати точний контроль ключових параметрів технологічного процесу.

У *третьому розділі* детально охарактеризовано технічні засоби, що застосовувалися у запропонованій системі автоматизації. Подано схеми підключення обладнання, а також виконано технічний огляд і опис контролера

У *четвертому розділі* представлено розширену функціональну схему автоматизації з детальним поясненням її структури та логіки роботи.

У *п'ятому розділі* надано опис програмного забезпечення, створеного для мікроконтролера МК-51Н з використанням середовища Alfa, а також продемонстровано ключові фрагменти коду.

У *шостому розділі* містяться фрагменти електричних схем, що ілюструють підключення живлення, периферійного обладнання, вимірювальних реле, виконавчих пристроїв та елементів сигналізації.

У *сьомому розділі* бакалаврської кваліфікаційної роботи, виконано розрахунок та моделювання в MATLAB системи автоматичного регулювання температури в киплячому шарі з насінням соняшнику, налаштовано оптимальні параметри ПІ-регулятора в системі регулювання та отримано результати, які підтверджують можливість їх застосування в системах автоматизації технологічного процесу в сушарках киплячого шару.

В *восьмому розділі* проаналізовано умови праці при використанні сушарки киплячого шару. Розглянуто основні небезпеки: пилоутворення, шум, вібрація, ризик утворення вибухонебезпечного середовища та теплове навантаження. Подано технічні рішення з гігієни праці, вентиляції, освітлення, захисту від шуму та пожежної безпеки. Оцінено електробезпеку та можливий тиск вибуху пилу луски

соняшника. Зроблено висновок про важливість комплексного підходу до охорони праці для захисту персоналу та безпечної експлуатації обладнання.

В дев'ятому розділі розрахунки підтвердили рентабельність автоматизації процесу. Встановлено, що впровадження системи зменшує трудомісткість, покращує якість продукції, знижує витрати на обслуговування та підвищує економічні показники підприємства.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Метод сушки зерна в киплячому шарі, особливості сушіння. Електронний ресурс. URL: <https://propozitsiya.com/articles/tekhnolohiyi-zberihannya-ta-pererobka/zerno-u-kyplyachomu-shari>
2. Білецький В. С., Смирнов В. О. - Білецький В. С., Смирнов В. О. Технологія збагачення корисних копалин — Донецьк: Східний видавничий дім, 2004.- 272 с. (друге видання - 2009 р.)
3. ДАТЧИКИ ТИСКУ «САФІР М» Настанова щодо експлуатування ИТЕК.406233.701 НЕ (Версія 22.1) Електронний ресурс. URL: <https://manometr-kharkiv.com/wp-content/uploads/2022/08/%D0%9D%D0%95-%D0%A1%D0%B0%D1%84%D1%96%D1%80-%D0%9C-%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%96%D1%97-7.pdf>
4. Діафрагма камерна ДКС, ДВС, діафрагма безкамерна ДБС Електронний ресурс. URL: <https://www.ukrgazavt.com.ua/products/diafragma-kamernaya-dks-diafragma-beskamernaya-dbs-sosud/>
5. Level switch FTE20, easy, robust, cost-effective | Endress+Hauser. Електронний ресурс. URL: <https://www.casc.endress.com/en/field-instruments-overview/level-measurement/Paddle-level-switch-Soliswitch-FTE20?t.tabId=product-overview>
6. Перетворювач вимірювальний ПВ-0013. Електронний ресурс. URL: https://thermo.lviv.ua/wp-content/uploads/2019/01/Термоприлад_rozdil6.pdf
7. Термоперетворювачі опору ТСП-1187, ТСМ-1187 вибухозахист Ех. Електронний ресурс. URL: <https://thermo.lviv.ua/product/termoperetvoryuvachi-oporu-tsp-1187-tsm->

[1187-tu-26-5-04850451-094-2019/](https://www.se.com/ua/uk/product/ATV320U22N4B/%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D1%87-%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B8-atv320b-22%D0%BA%D0%B2%D1%82-380500%D0%B2-%D0%BA%D0%BD%D0%B8%D0%B3%D0%B0-%D0%B7-%D0%B5%D0%BC%D1%81%D1%84%D1%96%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC-c2/)

8. ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ ATV320B 2,2кВт 380-500В.

Електронний ресурс. URL:

<https://www.se.com/ua/uk/product/ATV320U22N4B/%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D1%87-%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B8-atv320b-22%D0%BA%D0%B2%D1%82-380500%D0%B2-%D0%BA%D0%BD%D0%B8%D0%B3%D0%B0-%D0%B7-%D0%B5%D0%BC%D1%81%D1%84%D1%96%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC-c2/>

9. Шлюзовий затвор ШП-500 – Фолтер. Електронний ресурс. URL:

https://ccln.folter.com.ua/shop/shlyuzovij-zatvor-shp-450?srsltid=AfmBOooLlk7bojfwSXOj728Bb1EjxZkYaPi-zGgTDhJP0Qu3zN_PrQGz

10. Регулювальний клапан Samson 3241 DN50 з приводом 3277.

Електронний ресурс. URL:

<https://energo-spetsmash.prom.ua/ua/p1425798285-reguliruyuschij-klapan-samson.html>

11. Перетворювач Samson 6111. Електронний ресурс. URL:

<https://trade-control.com.ua/ua/products/samson-6111>

12. Технічний опис "Двопозиційні двоходові електромагнітні клапани прямої дії Danfoss тип EV220B". Електронний ресурс. URL:

https://profimann.com.ua/images/companies/1/PDF/teh_doc_EV220B_6_22.pdf?1585927977913

13. КОНТАКТОР 3P E 40A AC3 ~220В 50 ГЦ ". Електронний ресурс. URL:

<https://www.se.com/ua/uk/product/LC1E40M5/%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80-3%D1%80-%D0%B5-40%D0%B0-%D0%B0%D1%813-220%D0%B2-50-%D0%B3%D1%86/>

14. Диференційний датчик-реле тиску Dungs LGW A2-7 для повітря, димових і відпрацьованих газів

Електронний ресурс. URL:

<https://empireltd.com.ua/lgw-a2-lgw-a2p-lgw-a2-7-differentsialnyi-datchik-rele-davleniia-dlia-vozdukha-dymovykh-i-otrabotavshikh-gazov-dungs/>

15. Мікрол. Реле контролю полум'я РКП-1. Електронний ресурс.
URL:

http://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=252&category_id=102&option=com_virtuemart&Itemid=71

16. Датчики-реле тиску ДН-2,5, ДН-6, ДН-40, ДТ-2,5, ДТ-40, ДПН-2,5, ДД-0,25, ДД-1,6, ДНТ-1

Електронний ресурс. URL:

<https://ukrspecavtomat.com.ua/uk/products/datchiki-rele-davleniya-dn-dt-dpn-dd-dnt/>

17. МІК 51-Н. Електронний ресурс. URL:

https://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=39&category_id=24&option=com_virtuemart&Itemid=71

18. Інформаційні матеріали лекційного заняття №2 з дисципліни: «Мікропроцесорні програмні засоби автоматизації». Електронний навчально методичний комплекс віртуального навчального середовища НУ «Львівська політехніка». Електронний ресурс. URL:

https://vns.lpnu.ua/pluginfile.php?file=%2F3337479%2Fmod_resource%2Fcontent%2F9%2F%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F%20%E2%84%962%20%20%D0%86%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B0%D0%BB.pdf

19. Інформаційні матеріали лекційного заняття №13 з дисципліни: «Мікропроцесорні програмні засоби автоматизації». Електронний навчально методичний комплекс віртуального навчального середовища НУ «Львівська політехніка». Електронний ресурс. URL:

https://vns.lpnu.ua/pluginfile.php?file=%2F3394800%2Fmod_resource%2Fcontent%2F9%2F%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F%20%E2%84%9613%20%20%D0%86%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B0%D0%BB.pdf

20. Теорія автоматичного керування: навч. посібн. /Г.Б. Крих, Ф.Д. Матіко -Львів : СПОЛОМ, 2017. – 165 с.
21. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни "Теорія автоматичного керування" для студентів бакалаврського (першого) рівня вищої освіти спеціальності 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" / 93 Укл. Г.Б. Крих, Ф.Д. Матіко – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2021. 29 с.
22. Методичні вказівки для виконання розділу «Охорона праці» в кваліфікаційних роботах для студентів бакалаврського рівня вищої освіти інституту енергетики та систем керування / Укл. Ю.В. Кіт – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2017. – 29 с.
23. ГОСТ 12.1.005-88 "Санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони"
24. Паспорт продукту СИГНАЛЬНА ЛАМПА ЗІ СВІТЛОДІОДОМ 24В XB5AVB4.Електронний ресурс.Режимдоступу:
https://www.se.com/ua/uk/product/download-pdf/XB5AVB4?filename=Schneider+Electric_Harmony-XB5_XB5AVB4.pdf

