

ВМІНІСТЕРСТВО 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 СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ ВАННОГО ТИПУ З
ПРОДУКТИВНІСТЮ 2 Т/ДОБУ»
«**AUTOMATION OF A BATH-TYPE GLASS MELTING OVEN WITH A
CAPACITY OF 2 TONS PER DAY**»

Студент групи АВ-43 Шевченко Микола Олександрович

Керівник роботи:	<hr/>	<i>/асис. Ігор ДЕМКІВ/</i>
	<i>(підпис)</i>	<i>(ім'я та прізвище)</i>
Консультанти:	<hr/>	<i>/доц. Ігор КОСТИК/</i>
	<i>(підпис)</i>	<i>(ім'я та прізвище)</i>
	<hr/>	<i>/доц. Ганна КРИХ/</i>
	<i>(підпис)</i>	<i>(ім'я та прізвище)</i>
	<hr/>	<i>/доц. Юрій КІТ/</i>
	<i>(підпис)</i>	<i>(ім'я та прізвище)</i>
	<hr/>	<i>/доц. Наталія МИХАЙЛИК/</i>
	<i>(підпис)</i>	<i>(ім'я та прізвище)</i>
Завідувач кафедри	<hr/>	<i>/проф. Федір МАТІКО/</i>
	<i>(підпис)</i>	<i>(ім'я та прізвище)</i>

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

Шевченка Миколи Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи: Автоматизація скловарної печі продуктивністю 2 т/добу
затверджена наказом по університету від від “ 26 ” травня 2025 р., № 1766-4-08
- Термін подання студентом закінченої роботи “ ___ ” _____ 20 ___ р.
- Вихідні дані до роботи:
 - Опис технологічного процесу.*
 - Функціональна схема автоматизації.*
- Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які належить розробити):

Вступ

 - Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування.*
 - Техніко-економічне обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації.*
 - Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації.*
 - Розроблення функціональної схеми автоматизації розгорнутим способом та її опис.*
 - Програмне забезпечення системи автоматизації.*
 - Принципові електричні схеми з'єднань засобів автоматизації.*
 - Розрахунок і моделювання системи автоматичного регулювання рівня скломаси в печі.*
 - Охорона праці при впровадженні та експлуатації системи автоматизації.*
 - Обґрунтування економічної доцільності впровадження системи автоматизації.*

Висновки
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
 - Функціональна схема автоматизації.*
 - Програма функціонування системи автоматизації.*
 - Комутаційна схема системи автоматизації.*
 - Моделювання системи автоматичного регулювання рівня скломаси.*
- Перелік програмних продуктів, які були використані в процесі роботи:
 - UnityPro.*
 - Matlab.*
 - Visio.*

7. Консультування 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>		
Мікропроцесорних програмованих засобів автоматизації	<i>доц. Ігор КОСТИК</i>		

8. Дата видачі завдання: 26.05.2025

Керівник роботи _____

(підпис)

/Ігор ДЕМКІВ /

(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

/Микола ШЕВЧЕНКО/

(ім'я, прізвище)

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування.	21.05.2025р.	
2	Техніко-економічне обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації	21.05.2025р.	
3	Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації.	22.05.2025р.	
4	Розроблення функціональної схеми автоматизації розгорнутим способом та її опис.	23.05.2025р.	
5	Програмне забезпечення системи автоматизації.	26.05.2025р.	
6	Принципові електричні схеми з'єднань засобів автоматизації.	28.05.2025р.	
7	Розрахунок і моделювання системи автоматичного регулювання розрідження при скловарінні.	30.05.2025р.	
8	Охорона праці при впровадженні та експлуатації системи автоматизації.	02.06.2025р.	
9	Обґрунтування економічної доцільності впровадження системи автоматизації.	05.06.2025р.	
10	Оформлення записки до бакалаврської кваліфікаційної роботи та графічної частини.	10.06.2025р.	
11	Висновки	11.06.2025р.	

Студент _____

(підпис)

/ Микола ШЕВЧЕНКО /

(ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____

(підпис)

/ Ігор ДЕМКІВ /

(ім'я, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота присвячена розробці та дослідженню системи автоматизації скловарної печі продуктивністю 2т/добу. Робота містить 9 розділів, 5 Таблиця функціональних ознак систем автоматизації 0 ілюстрацій, 16 таблиць та посилання на 31 літературних джерел.

Об'єктом дослідження є піч для варіння скла, а предметом дослідження – розробка системи автоматизації, яка забезпечує ефективне керування технологічними процесами у печі.

Метою роботи є розробка системи автоматизації, яка забезпечить оптимальні умови використання печі, підвищить безпеку персоналу обслуговування, зменшить витрати на електроенергію та ресурси.

У роботі детально проаналізовано технологічний процес функціонування скловарної печі, розроблено функціональну схему автоматизації відповідно до вимог до систем керування та обрано технічні засоби автоматизації. Здійснено розробку алгоритмів керування, програмного забезпечення, а також принципових електричних схем з'єднання приладів. Проведене моделювання та дослідження системи автоматичного регулювання рівня скломаси в печі, визначено оптимальні параметри налаштування для ПІ-регулятора.

В роботі окремо розглянуто питання охорони праці при експлуатації системи автоматизації. Здійснено економічну оцінку розробленої системи автоматизації, розраховано вартість, термін окупності та економічний ефект.

ANNOTATION

The bachelor's thesis is devoted to the development and study of an automation system for a glass-melting furnace with a capacity of 2 tons per day. The work consists of 9 chapters, includes 50 figures, 16 tables, and references to 31 literary sources.

The object of research is the glass-melting furnace, while the subject of research is the development of an automation system that ensures efficient control of technological processes within the furnace.

The aim of this work is to develop an automation system that will provide optimal operating conditions for the furnace, enhance the safety of maintenance personnel, and reduce electricity and resource consumption.

The thesis presents a detailed analysis of the technological process of the glass-melting furnace, the development of a functional automation scheme according to control system requirements, and the selection of suitable automation equipment. Control algorithms, software, and principal electrical connection diagrams for the instrumentation were developed. Modeling and analysis of the automatic glass melt level control loop were carried out, and the optimal tuning parameters for the PI controller were determined.

Зміст

Вступ.....	12
РОЗДІЛ 1	14
АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ВАРІННЯ СКЛА ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....	14
1.1 Опис технологічного процесу.....	14
1.2 Об'єкт керування.....	16
1.2.1 Загальна характеристика об'єкта керування.....	16
1.2.2 Принцип функціонування об'єкта керування.....	17
1.3 Матеріальний та тепловий баланси технологічного об'єкта.....	19
1.4 Технологічна карта	21
1.5 Складання схеми взаємозв'язків технологічних параметрів об'єкта між собою.	21
РОЗДІЛ 2	23
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	23
2.1 Аналіз характеристик взаємозв'язку між параметрами об'єкта керування	23
2.2 Обґрунтування та вибір координат регулювання, вимірювання, контролю, сигналізації, захисту та блокування	23
2.4 Порівняльний аналіз існуючих схем керування та розроблення оптимальної функціональної схеми автоматизації спрощеним способом.....	25
3.1 Вибір первинних вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів.	28
3.1.2 Вибір первинних вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів.	30

3.1.2.1 Термоелектричний перетворювач температури типу С у комплекті з вторинним нормуючим перетворювачем Sitrans ТК-Н(7NG3120-2JN01) [6]	30
3.1.2.2. Первинний вимірювальний перетворювач тиску типу Sitrans P DS III (7MF4433) [7].....	31
3.1.2.3 Перетворювач частоти ATV930D75N4 [8].....	32
3.1.2.4 Реле тиску Danfoss типу RT 5A [9]	33
3.1.2.5 Електромагнітний газовий клапан типу EVRM-NA9[10].....	33
3.1.2.6 Реле контролю полум'я РКП-1 [11]	34
3.1.2.7 Лазерний рівнемір ABB LLT100 Laser Level Transmitter	35
3.1.2.8 Клапан Kromschroder VFC у комплекті з приводом IC 40 [13].....	36
3.1.2.9 Вентилятор відцентровий ВЦ 14-46 [15].....	36
3.1.2.10 Ультразвуковий витратомір Siemens SITRANS FS230 [16]	37
3.1.2.11 Вихровий витратомір Siemens SITRANS FX330 [17]	38
3.1.2.12 Перетворювач частоти ATV930D55N4 [18].....	38
3.1.2.13 Електродвигун трифазний AIP180s2 і AIP112m2 [29] [30].....	39
3.1.2.14 Допоміжне реле VS116K (2471201) [30]	40
3.2.1 Опис мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації	41
3.2.2 Концепція вибору компонентів для мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації Modicon M340.	47
3.2.3 Конфігурація та налаштування мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації	48
3.3 Специфікація технічних засобів автоматизації.....	49
РОЗДІЛ 4	51
РОЗРОБЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ РОЗГОРНУТИМ СПОСОБОМ ТА ЇЇ ОПИС.	51
РОЗДІЛ 5	53

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ	53
5.1 Алгоритми функціонування контурів системи автоматизації скловарної печі.....	53
5.2 Алгоритми функціонування системи автоматизованого керування.	55
5.3 Програма функціонування мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації.....	57
5.3.1 Масштабування вхідного аналогового сигналу.....	57
5.3.2 ПІД-закон регулювання та ручний режим	58
5.3.3 Зворотне перетворення.....	59
5.3.4 Формування аварійної сигналізації.....	60
РОЗДІЛ 6	61
ПРИНЦИПОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ СХЕМИ ПРИЄДНАНЬ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ.....	61
РОЗДІЛ 7.....	63
РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ	63
7.1 Вибір структури моделі та розрахунок її параметрів.....	64
7.2 Вибір структурної схеми системи регулювання та закону регулювання регулятора.....	68
7.3 Вибір структурної схеми регулювання, закону регулювання та розрахунок налаштування регулятора.....	68
7.4 Дослідження перехідних процесів САР рівня в скловарній печі.....	72
РОЗДІЛ 8	76
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	76
8.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів при виконанні автоматизації ванної скловарної печі	76

8.1.1 Розрахунок вентиляції цеху за тепловиділенням	77
8.2 Інженерно-технічні заходи щодо усунення шкідливих та небезпечних факторів.....	79
8.3 Пожежна безпека.....	81
8.4 Ергономіка	82
РОЗДІЛ 9	85
ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ МАЛОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ	85
ВИСНОВКИ.....	94
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	96

Вступ

Скляне виробництво є однією з ключових галузей промисловості в європейському регіоні. Під терміном "скло" розуміють аморфні матеріали, які утворюються в результаті охолодження розплаву до стану, коли він набуває властивостей твердого тіла. Такий перехід із рідкої фази у твердоподібну не є незворотним, адже відбувається поступове збільшення в'язкості.

Скло — це матеріал штучного походження, що вирізняється прозорістю, міцністю, а також стійкістю до термічного та хімічного впливу. Його експлуатаційні властивості значною мірою залежать від ступеня прозорості. Завдяки цьому скло знайшло широке застосування в техніці, науці, медицині та побуті.

Процес виготовлення скла полягає у термічному впливі на шихту — суміш природних та штучних компонентів. Після завантаження шихти у спеціальну піч, при дотриманні необхідного температурного режиму та часу витримки, отримують розплавлену скломасу. По мірі її охолодження в'язкість збільшується, що дозволяє формувати вироби різними способами: пресуванням, витягуванням, видуванням, прокатуванням тощо.

Залежно від сфери застосування скляної продукції, змінюється як хімічний склад матеріалу, так і форма та розміри кінцевих виробів, а також методи їх виготовлення. Сучасні підприємства скляної галузі випускають широкий асортимент продукції: листове скло, труби, ізолятори, ємності для медичних і парфумерних засобів, скловолокно, ситали, піноскло тощо.

Близько 75% усієї скляної тари призначено для зберігання напоїв, ще 20% припадає на тару для харчових продуктів. Решта, приблизно 5%, складає продукція для фармацевтичного і парфумерного секторів. Виробництво медичної тари є важливою частиною галузі, адже скляні ємності застосовуються для пакування, зберігання і транспортування лікарських засобів різної консистенції.

До основних переваг скляної упаковки можна віднести її екологічність, гігієнічність, здатність зберігати продукти без впливу зовнішніх чинників, можливість багаторазового використання, естетичну привабливість та доступність за вартістю. Скло не взаємодіє з вмістом, не змінює його смакових або ароматичних характеристик, легко піддається очищенню та утилізації. До того ж, галузь забезпечена великими запасами природної сировини.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ВАРІННЯ СКЛА ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1 Опис технологічного процесу

Процес виробництва скла ґрунтується на комплексі фізико-хімічних та термодинамічних явищ, що відбуваються з сировинною сумішшю під час нагрівання, плавлення та охолодження. Теоретичні основи виготовлення скла полягають в таких ключових аспектах:

1. Фізико-хімічні властивості сировини. Скло утворюється внаслідок плавлення суміші оксидів металів, серед яких основними є:
 - Діоксид кремнію (SiO_2) – основний склоутворювач, що забезпечує необхідну механічну міцність та прозорість скла.
 - Оксид натрію (Na_2O) – знижує температуру плавлення і підвищує пластичність.
 - Оксид кальцію (CaO) – стабілізує структуру скла, підвищує хімічну стійкість.
2. Термодинамічні характеристики:
 - Температура плавлення ($1200\text{-}1600^\circ\text{C}$) – у цих межах відбувається нагрівання та плавлення сировини, і, відповідно, утворення скломаси.
 - Температура очищення ($1300\text{-}1500^\circ\text{C}$) – така температура забезпечує вдале видалення залишки пухирців газів, для покращення якості скла.
 - Температура відпалу ($400\text{-}600^\circ\text{C}$) – повільне охолодження з метою зняття внутрішніх напружень, що виникають під час швидкого охолодження.

Тепловий контроль є критично важливим для уникнення дефектів, таких як тріщини, пухирці або неоднорідність.

3. Хімічна стійкість скла. Скло має високу хімічну інертність до дії води, кислот і лугів, що зумовлено його аморфною структурою та щільністю зв'язків між молекулами. Ця властивість робить скло незамінним у хімічній промисловості, медицині і побуті.

Ванна скловарна піч – це пристрій, який застосовують для періодичного і безперервного виробництва скла, що складається з певних технологічних зон і вузлів. Принцип роботи ванної скловарної печі полягає в [2]:

1. Підготовці сировини. Сировина для виробництва скла, як правило, містить у собі кварцовий пісок, кальциновану соду, вапняк та інші компоненти. Ці матеріали ретельно перемішують у певних пропорціях в залежності від необхідних для різних типів скла.
2. Подачі сировини. Підготовану суміш подають до плавильної зони печі, де вона нагрівається до температури плавлення. Подачу здійснюють здебільшого механічними пристроями.
3. Плавленні сировини. У плавильній зоні сировину нагрівають до 1600°C за допомогою газових чи електричних пальників. У результаті плавлення утворюється скляна маса.
4. Очищенні скломаси. Скляна маса проходить через декілька зон печі, де з неї видаляють всі бульбашки повітря чи газів. Очищення умовно поділяють на два етапи:
 - а) Очищувальна зона, де маса очищується від залишків газів.
 - б) Охолоджувальна зона, де температуру скломаси знижують до необхідної для формування виробів
5. Формуванні виробів. Скломасу з охолоджувальної зони переміщують до формуючих машин, де їй надають необхідної форми(листи, пляшки, тощо)
6. Відпалі та охолодженні. Сформовані вироби проходять через відпалювальні печі, де їх поступово охолоджують. Це дозволяє підвищити міцність скляних виробів.

7. Контролю якості та пакування. Готові скляні вироби перевіряють на відповідність до стандартів якості, після чого їх упаковують і відправляють споживачам.

Ванна скловарна піч, як технологічний об'єкт, може забезпечувати як і безперервний процес виготовлення скла з високою продуктивністю та якістю, так і періодичний. У кожній печі є верхня та нижня будова. Верхня складається з робочої камери та пальників, а до нижньої відносять пристрої, що використовують тепло, на кшталт регенераторів та системи перевідних пристроїв і каналів, що зв'язують піч з атмосферним повітрям і з пристроями відводу димових газів. [1]

1.2 Об'єкт керування

1.2.1 Загальна характеристика об'єкта керування

У ванних скловарних печах безперервної дії здійснюється плавлення масових типів промислового скла, таких як листове або тарне, що виготовляються переважно механізованим способом. У таких печах процес скловаріння розподілений по окремих зонах, у яких на різних етапах здійснюється обробка розплаву в міру його просування вздовж довжини плавильної ванни.

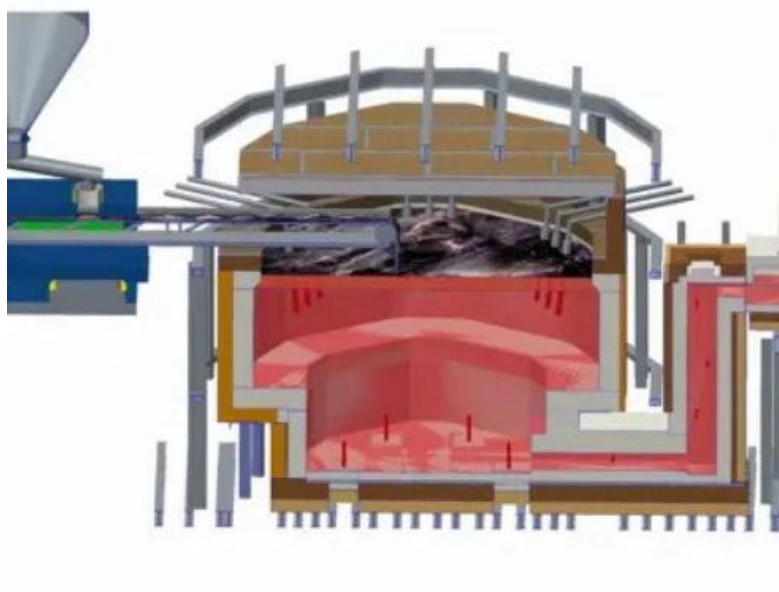


Рис. 1.1 Піч для варіння скла у розрізі

Конструктивні особливості ванних печей варіюються залежно від напрямку поширення полум'я, а також способу відокремлення зони варіння від виробленої частини розплаву — наприклад, за допомогою шамотних тіл, що занурюються у скломасу й виконують функцію обмеження потоку.

Для отримання листового скла переважно застосовують безперервні регенеративні ванні печі з поперечним полум'ям. Довжина таких ванн може досягати 60 метрів, ширина — близько 10 метрів, а глибина — до 1,5 м. Об'ємна місткість басейну становить приблизно 2500 тонн розплавленої скломаси.

Продуктивність печей подібного типу може сягати 300 тонн скломаси на добу або навіть більше, залежно від конкретної конфігурації та умов експлуатації. Для спорудження басейнів таких печей використовують спеціальні вогнетривкі матеріали, що забезпечують тривалий термін служби й витримують високі температурні навантаження [2].

1.2.2 Принцип функціонування об'єкту керування

В регенеративних печах (рис. 1.2.2) повітря підігрівається в спеціальних камерах-регенераторах, заповнених насадкою з вогнетривкої цегли.

Кожна піч має дві камери, які оснащені клапанами для перемикання відхідних від печі гарячих газів, необхідних для нагріву насадки і впускає піч гарячого повітря.

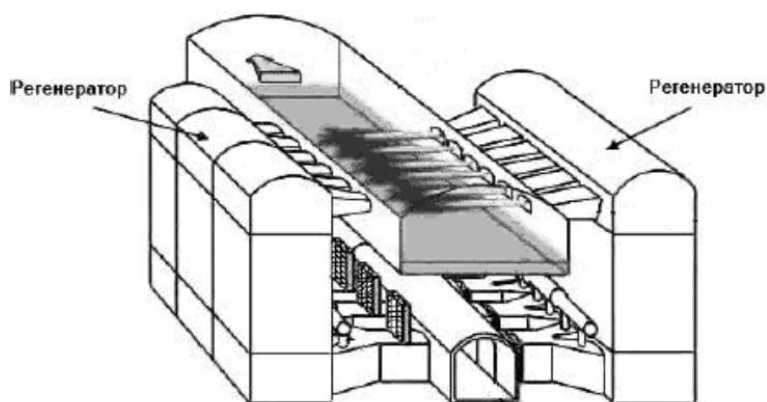


Рис. 1.2 Регенеративна ванна піч

Перевага печі з поперечним напрямком подачі полум'я полягає в тому, що для кожної пари пальників можна індивідуально налаштувати співвідношення між газом і повітрям. Це дозволяє точно підтримувати потрібну температуру у різних зонах ванни печі, а також регулювати швидкість і напрямок конвективних потоків скломаси.

У скловарній печі з підковоподібною схемою подачі полум'я дві пари пальників встановлені в одному торці печі, а факел полум'я набуває U-подібної форми. У такій конструкції кожна горілка забезпечує нагрівання всього об'єму полум'яного простору. При цьому скломаса у печах такого типу має дещо нижчий рівень гомогенності.

Зазвичай піч має два регенератори, що працюють циклічно. У той час як в першій камері нагріваються насадки відхідними з печі газами, через другу камеру пропускаються повітря, яке нагрівається і подається в піч.

Робочою камерою печі є басейн, над яким розташовується полум'яний простір, перекритий склепінням. Шихту для отримання розплаву завантажують в піч плунжерними завантажувачами через завантажувальний простір, що знаходиться в стінах печі. Паливо спалюють по черзі в пальниках .

Пальник складається з впуску, камери змішування і язика. Нагріте повітря з регенераторів, подається до пальників по вертикальних каналах, які оснащені шиберами.

В камері змішування, в бічних стінах, є отвори для подачі палива (газу) через газові пальники. Утворені при згоранні палива димові гази рухаються підковоподібним шляхом. Завершивши рух, димові гази виводяться з печі через вліт пальника, що не працює в даний момент, і потрапляють в відповідний регенератор. Пройшовши через нього, вони нагрівають насадку і далі через димовий канал і димову трубу викидаються в атмосферу. Після розігріву насадки в регенератор за допомогою дуттєвого вентилятора починають нагнітати холодне повітря, яке, пройшовши через розпечену насадку, нагрівається саме і по каналу надходить в пальник. Пальники печі повинні бути розраховані так, щоб вийшла

правильна підковоподібна форма полум'я. Занадто малі швидкості газів у впусках пальників можуть привести до «короткого замикання», тобто коли полум'я, виходячи з одного пальника, одразу може відправитись в інший, спалюючи при цьому стінки впуску і насадку регенератора. Звичайна швидкість газів у впуску пальника повинна бути від 10 до 14 м / сек. Розплав, що утворився в басейні відбирають через пристрій відбору. [3]

Таким чином для керування температурою в робочому просторі печі для варіння скла буде використовуватись змінна потужність газових пальників.

1.3 Матеріальний та тепловий баланси технологічного об'єкта.

Виконання розрахунку матеріального балансу у виробництві скловиробів залежить насамперед від типу продукції: листове скло (гартоване, поліроване, багат шарове), тарне, лабораторне, медичне тощо. Для спеціалізованих категорій скла, зокрема сортового, а також скла для електровакуумних приладів, світлотехнічної, антибактеріальної або біосумісної продукції, технологічні втрати чітко нормуються. Особливо це стосується компонентів шихти, які є токсичними або дорогими, як-от оксиди свинцю (PbO), миш'яку (As_2O_3), церію (CeO_2), ванадію (V_2O_5), кадмію (CdO), цинку (ZnO) тощо.

Обсяги втрат на окремих стадіях виробництва визначаються відповідно до обраної технології, яка застосовується на конкретному підприємстві. Для здійснення повного матеріального балансу використовуються наступні вхідні дані:

- тип скловиробів;
- виробнича потужність;
- рецептура скла та склад шихти;
- технологічні втрати на кожному етапі процесу.

Першим кроком є вибір технологічної схеми виробництва. Якщо вихідним параметром є лише склад скла, необхідно попередньо провести розрахунок шихти, яка забезпечить отримання заданого складу [4].

Після цього слід визначити масу скла, яку передбачається виготовити за рік, з урахуванням заданої продуктивності. У випадку виготовлення тарного, медичного чи лабораторного скла розрахунок здійснюється за формулою:

$$A = m_{\text{виробу}} \cdot N,$$

де m – вага одиниці продукції, кг; N – річна продуктивність виробництва, шт.

Для листового скла (наприклад, полірованого, візерунчастого чи армованого), об'єм продукції у ваговому вираженні визначають, виходячи з площі продукції та товщини виробу. Маса одного квадратного метра скла розраховується за формулою:

$$m_{1m^2} = \rho \cdot s \cdot h$$

де: ρ — густина скла, кг/м³, а h — товщина скла, м.

Таким чином, річна продуктивність у площинному вираженні (м²) може бути визначена за:

$$A = m_{1m^2} \cdot N = \rho \cdot s \cdot h \cdot N$$

де N – річна продуктивність виробництва, м²

У подальшому етапі, незалежно від виду скла, методика розрахунку матеріального балансу залишається сталою. Основна різниця полягає у специфіці втрат сировини на окремих технологічних фазах, які визначаються індивідуально для кожного виробництва.

1.4 Технологічна карта

Таблиця 1.1

№ п/п	Найменування	Одиниці вимірювання	Значення
1	Температура в печі	°С	1450 ±5
	Рівень скломаси	м	0.440±0.005
2	Витрата газу	м ³ /год	700±100
3	Витрата повітря	м ³ /год	7000±1000
4	Розрідження в зоні відводу димових газів	бар	±0.02
5	Співвідношення палива		1/10

1.5 Складання схеми взаємозв'язків технологічних параметрів об'єкта між собою.

Виготовлення скла є дуже енерговитратним процесом. Відповідно, правильний підхід до створення системи керування тепловим режимом скловарних печей є першочерговим.

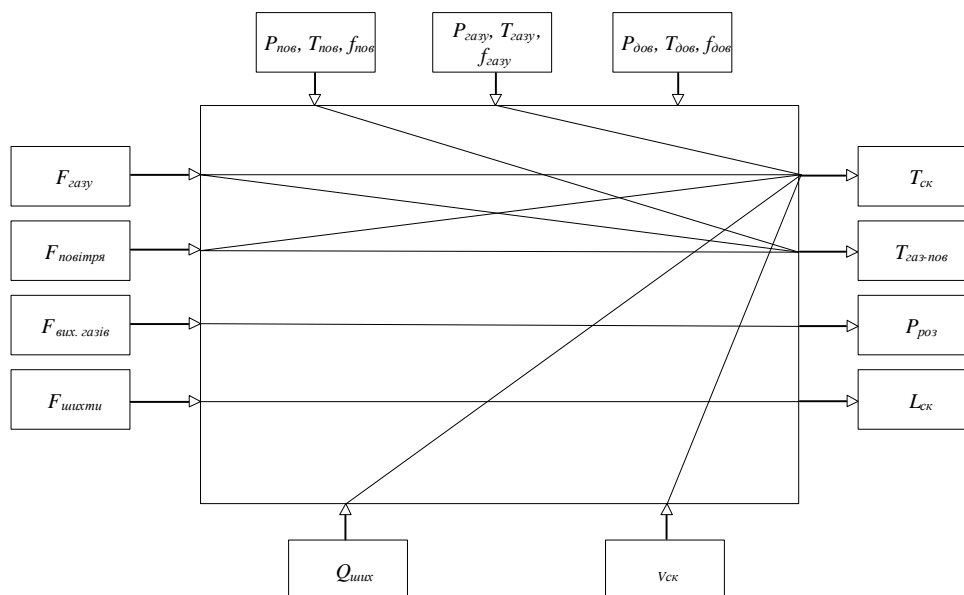


Рис. 1.3 Структурна схема взаємозв'язків технологічних параметрів об'єкта

Вихідними регульованими параметрами для такого об'єкта керування, як скловарна піч (рис. 1.5.1) є рівень скломаси в печі $L_{ск}$; тиск розрідження $P_{роз}$;

температура скломаси на виході з апарата $T_{ск}$ і газоповітряної суміші в зоні освітлення $T_{газ-пов}$; вміст кисню у відпрацьованому газі $Q_{кис}$. Вхідними керівними параметрами є витрати: палива (газу) $F_{газ}$; повітря на горіння $F_{пов}$; газу на виході з печі $F_{вих.газ}$; сировини $F_{ших}$; Вимірюваними збуреннями є тиск, температура, вологість газу на вході ($P_{газ}$, $T_{газ}$, $f_{газ}$); ці ж параметри для повітря ($P_{пов}$, $T_{пов}$, $f_{пов}$) й навколишнього середовища ($P_{н.с.}$, $T_{н.с.}$, $f_{н.с.}$). Невимірювані збурення – це склад сировини (шихти) $Q_{ших}$ і швидкість руху скломаси в ході варіння $V_{ск}$. [4]

РОЗДІЛ 2

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Аналіз характеристик взаємозв'язку між параметрами об'єкта керування

Об'єктом дослідження у цій роботі є скловарна піч, яка включає три основні складові: ванну з розплавленим склом, простір над розплавом, у якому відбувається спалювання палива, та конструктивну частину у вигляді кладки печі. Розплав скломаси у ванні утворює систему з розподіленими параметрами — як уздовж довжини самої ванни, де відповідно до технологічного регламенту виділяються окремі температурні зони, так і по вертикалі, де температурний градієнт простягається від поверхні скла до дна ванни.

Для забезпечення стабільної роботи скловарної печі та виготовлення скла високої якості, необхідно точно підтримувати встановлений температурний режим вздовж усієї ванни.

2.2 Обґрунтування та вибір координат регулювання, вимірювання, контролю, сигналізації, захисту та блокування

Беручи до уваги температурні режими, які необхідні для вдалого перебігу процесу у печі, слід забезпечити технологічний об'єкт такими контурами регулювання:

- автоматичне регулювання температури у печі;
- автоматичне регулювання тиску розрідження печі;
- автоматичне регулювання співвідношення витрат паливо-повітря;
- автоматичне регулювання рівня скломаси в печі;
- а також контури вимірювання та індикації технологічних параметрів, а саме:
- тиск загального потоку повітря, яке нагнітається вентилятором у піч;

- тиск подачі газу до печі;
- тиск у камері згорання печі;
- температура в печі;
- рівень скломаси в печі;

Для усунення причин виникнення аварійних ситуацій, слід передбачити сигналізацію таких параметрів, як:

- розрідження газу в печі;
- наявність полум'я в печі;
- тиск подачі газу до печі;
- тиск загального потоку повітря, яке нагнітається вентилятором у піч;
- рівень скломаси у печі;

Всі контури реалізовані на функціональній схемі автоматизації, виконаній спрощеним способом, що наведена на рисунку 2.4.1.

2.3. Визначення функціональних ознак системи автоматизації

Таблиця 2.1

Таблиця функціональних ознак систем автоматизації

№ п/п	Обсяг автоматизації	Показ	Регістрація	Регулювання	Сигналізація	Блокування	Захист	Перемикання	Дистанційне керування
	Назва параметру								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Температура скломаси	*	*	*	*				*
2.	Розрідження в печі	*	*	*	*				*
3.	Витрата повітря	*	*	*	*				*
4.	Витрата газу	*	*		*				*
5.	Рівень скломаси	*	*	*	*				*
6.	Тиск палива	*			*	*	*		
7.	Тиск повітря	*			*	*	*		
8.	Наявність полум'я в печі	*			*	*	*		

2.4 Порівняльний аналіз існуючих схем керування та розроблення оптимальної функціональної схеми автоматизації спрощеним способом.

Основною метою автоматизації системи керування тепловими процесами скловарної печі є забезпечення стабільності ключових технологічних параметрів, що впливають на якість та обсяг одержаної скломаси. Для досягнення цього використовують автоматичне регулювання таких показників, як рівень розплавленого скла, витрата газоподібного палива в зоні пальників, тиск у зоні горіння та співвідношення поданого палива і повітря.

Функціональна схема автоматизації, представлена на рисунку 2.4.1, враховує вимоги до системи автоматизованого контролю за скловарною піччю. Одним із критичних моментів у цій системі є контроль за рівнем скломаси, температура якої перевищує 1400 °С. Через високі температури традиційні методи вимірювання не завжди ефективні, тому рекомендується використовувати безконтактні засоби контролю, як-от оптичні давачі. Проте варто враховувати, що агресивне середовище всередині печі може значно вкоротити термін служби чутливого елемента.

Покращення функціонування системи можна досягти шляхом впровадження частотного перетворювача для приводу двигуна, який відповідає за транспортування шихти та склобою до зони завантаження. З панелі оператора можна задавати фіксовану швидкість обертання, що дозволяє забезпечити стабільну подачу сировини. За потреби, оператор може коригувати продуктивність згідно з поточним технологічним режимом.

Крім того, частотне регулювання застосовується і в інших контурах:

- у витяжній системі для підтримання заданого розрідження;
- у контурі регулювання співвідношення паливо-повітря.

На рисунку 2.1 представлено вдосконалену функціональну схему автоматизації, яка включає вищезазначені технічні рішення. Окрім того, схема містить елементи контролю і захисту: по тиску палива та повітря в контурі керування співвідношенням паливо–повітря, по наявності полум'я, по тиску в зоні горіння.

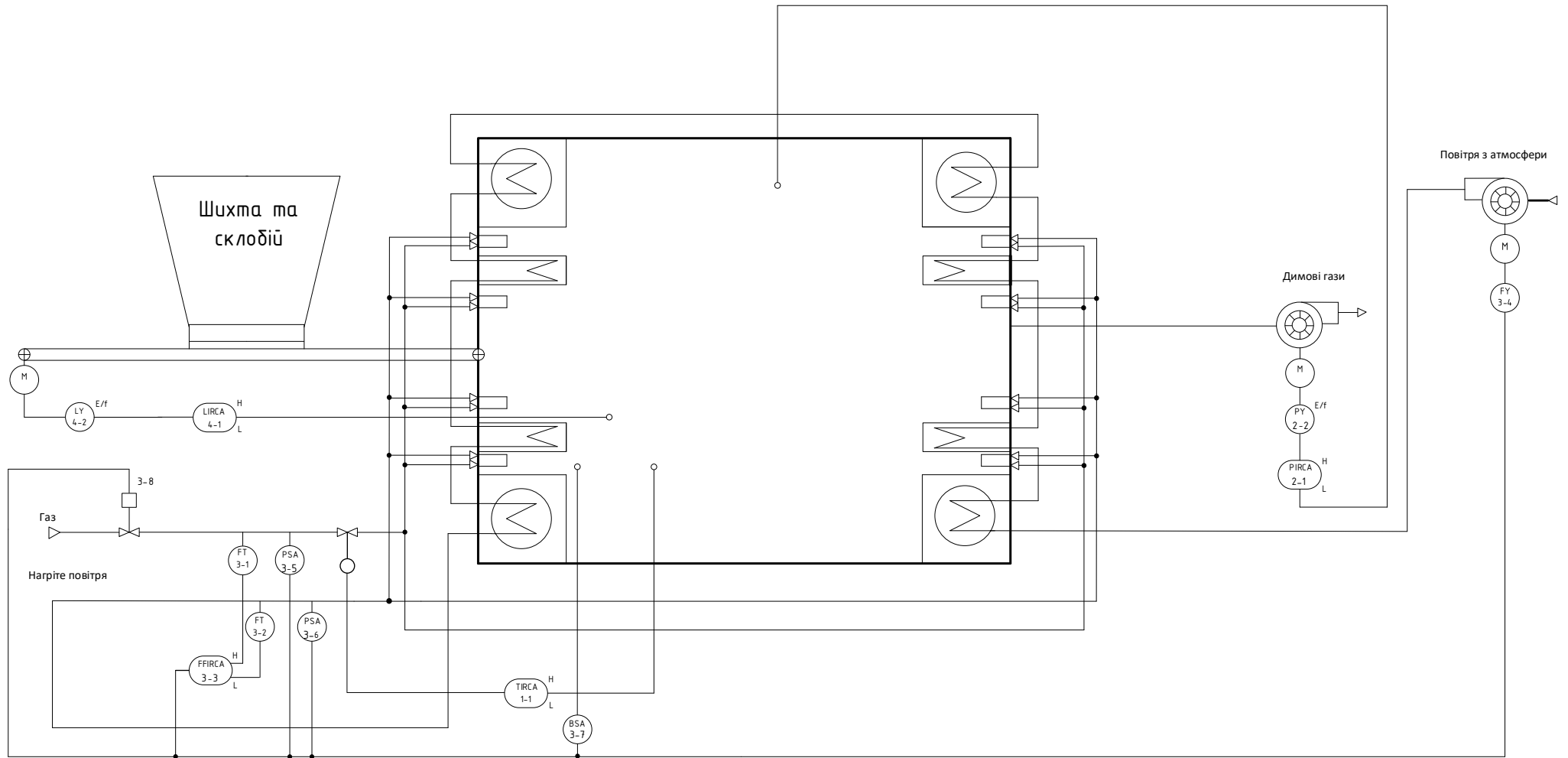


Рис. 2.1 Спрощена функціональна схема автоматизації скловарної печі ванного типу.

РОЗДІЛ 3 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВАРІННЯ СКЛА.

3.1 Вибір первинних вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів.

Контур 1. Регулювання та сигналізація температури для плавлення скла.

Автоматичне регулювання температури у камері згорання печі здійснюється шляхом зміни кількості подачі газу. Для вимірювання температури в середині печі використано термопару типу В НТ 4060, яка забезпечить вимірювання від 0°C до 2300°C у комплекті з перетворювачем Sitrans ТК-Н (7NG3120-2JN01), що перетворить значення температури в уніфікований сигнал 4÷20 мА. Вимірне значення надходитиме на вхід мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації серії Modicon M340 (надалі ПЛК), який формуватиме регулюючу дію на вхід клапана Kromschroder VFC, який у свою чергу приводитиметься в дію за допомогою актуатора ІС-40.

Контур 2. Регулювання тиску розрідження в камері згорання печі.

Для вимірювання тиску розрідження застосовано перетворювач тиску Sitrans P DS III (7MF4433) з аналоговим вихідним сигналом 4÷20 мА, та налаштовуваним діапазоном вимірювання -0,002... 0,002 бар. Вихідний сигнал подаватиметься на вхід ПЛК.

У разі відхилення вхідного параметра від заданого значення, ПЛК формуватиме аналоговий сигнал відповідно до алгоритму функціонування, що надходитиме на частотний перетворювач типу Schneider ATV630D22N4 для керування вентилятором Venture HRC потужністю 22 кВт.

Контур 3. Контур регулювання співвідношення витрат паливо-повітря і системи захисту, сигналізації.

Для керування витратою газу і повітря, вимірюю витрату палива за допомогою ультразвукового витратоміра Siemens SITRANS FS230 з модулем FUG1010 з

аналоговим вихідним сигналом $4\div 20$ мА, який надходитиме на ПЛК. Витратомір забезпечить діапазон вимірювання $0 \text{ м}^3/\text{год} \dots 200 \text{ м}^3/\text{год}$.

Вимірювання витрати повітря відбувається за допомогою вихрового витратоміра Siemens SITRANS FX330 з аналоговим вихідним сигналом $4\div 20$ мА, що надходитиме на ПЛК.

У випадку відхилень вхідних параметрів від заданих значень, ПЛК, сформує регулюючу дію для частотного перетворювача типу Schneider ATV320D11N4В для керування вентилятором Venture HRC потужністю 11 кВт, як було зазначено вище.

Для безпечної роботи скловарної печі, слід забезпечити перекриття подачі газу за таких умов: відсутність полум'я в печі, критично високий/низький рівень тиску розрідження у печі, нижнє граничне значення тиску газу, нижнє граничне значення тиску повітря. За виконання хоча б однієї із цих умов спрацьовуватиме система автоматичного блокування, яка перекриватиме подачу газу і запускатиме охолодження печі повітрям з атмосфери.

Перевірку наявності полум'я здійснюватиме реле контролю полум'я виробництва компанії Мікрол – РКП-1. У випадку відсутності полум'я в середовищі печі, реле впадатиме у один з робочих режимів «аварія».

Значення тиску в печі фіксуватиме перетворювач тиску Sitrans P DS III (7MF4433) з аналоговим вихідним сигналом $4\div 20$ мА.

Перекриття подачі газу здійснюватиметься електромагнітним газовим клапаном з ручним взведенням типу EVRM-NA9 фірми Elektrogas. Живлення змінним струмом призводить до негайного перекриття газового потоку.

Контур 4. Контур регулювання рівня в печі зміною кількості подачі сировини.

Подачу сировини для печі забезпечить частотно керований пристрій Schneider Electric Altivar Process ATV930U75N4, напругою живлення 380В та потужністю 7.5 кВт, що дозволить завантажувати необхідну кількість сировини в межах 20 хвилин.

3.1.2 Вибір первинних вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів.

3.1.2.1 Термоелектричний перетворювач температури типу С у комплекті з вторинним нормуючим перетворювачем Sitrans ТК-Н(7NG3120-2JN01) [6]

Термопара типу С призначена для вимірювання температури внутрішнього середовища печі. Принцип дії термопари полягає в різниці ЕРС на кінцях провідника, коли його піддати різним температурам. Так виникає різниця сигналів, яку вимірює вторинний перетворювач. Перетворювач трансформує значення температури в уніфікований аналоговий сигнал $4 \div 20$ мА. Діапазон вимірювання $0 \div 2300^{\circ}\text{C}$, з похибкою $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Загальний вигляд термопари, вторинного перетворювача та схеми з'єднань представлено на рисунку 3.1

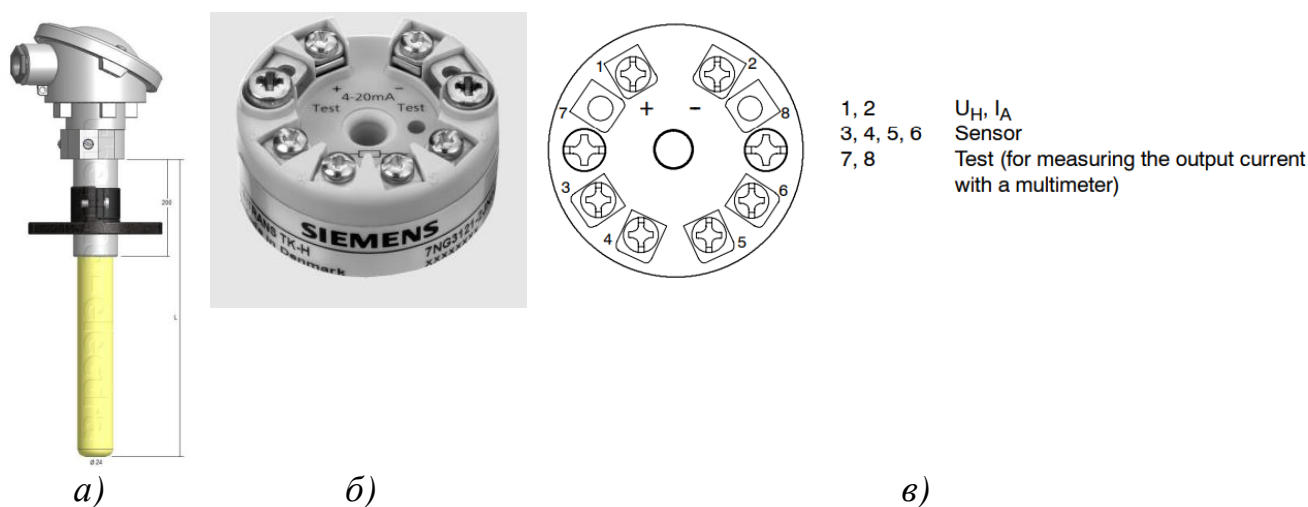


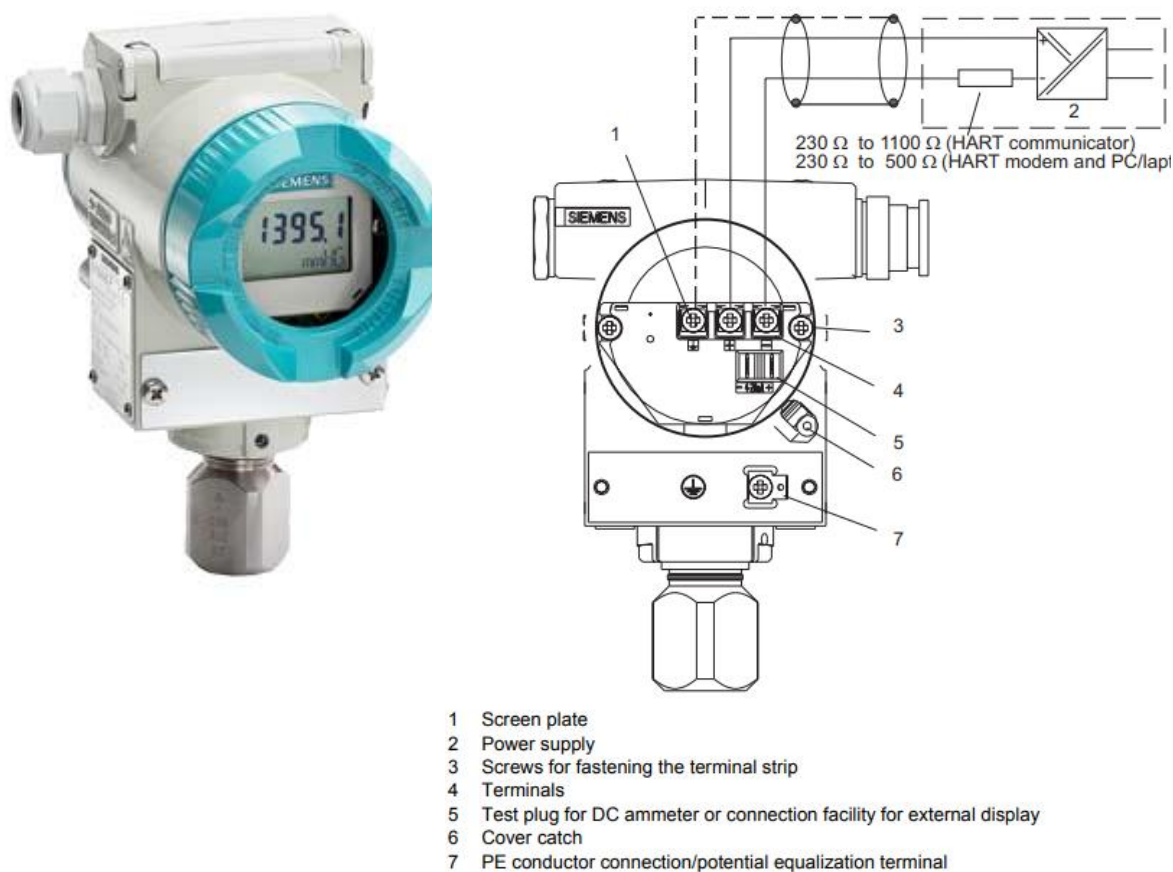
Рис. 3.1 Термоелектричний перетворювач температури типу В НТ 4060 у комплекті з вторинним нормуючим перетворювачем типу Sitrans ТК-Н:

а) загальний вигляд чутливого елемента; б) загальний вигляд вторинного перетворювача; в) схема електричних з'єднань.

3.1.2.2. Первинний вимірювальний перетворювач тиску типу Sitrans P DS III (7MF4433) [7]

Первинний вимірювальний перетворювач тиску Sitrans P DS III (7MF4433) призначений для вимірювання абсолютного тиску середовища або диференційного тиску. Діапазон вимірювання $-0.002 \dots 0.002$ бар, з аналоговим вихідним сигналом $4 \div 20$ мА, та похибкою вимірювання 0.075% .

Загальний вигляд та схема електричних приєднань первинного вимірювального перетворювача тиску типу Sitrans P DS III (7MF4433) зображено на рисунку 3.2



а)

б)

Рис. 3.2 Первинний перетворювач тиску типу Sitrans P DS III (7MF4433):

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

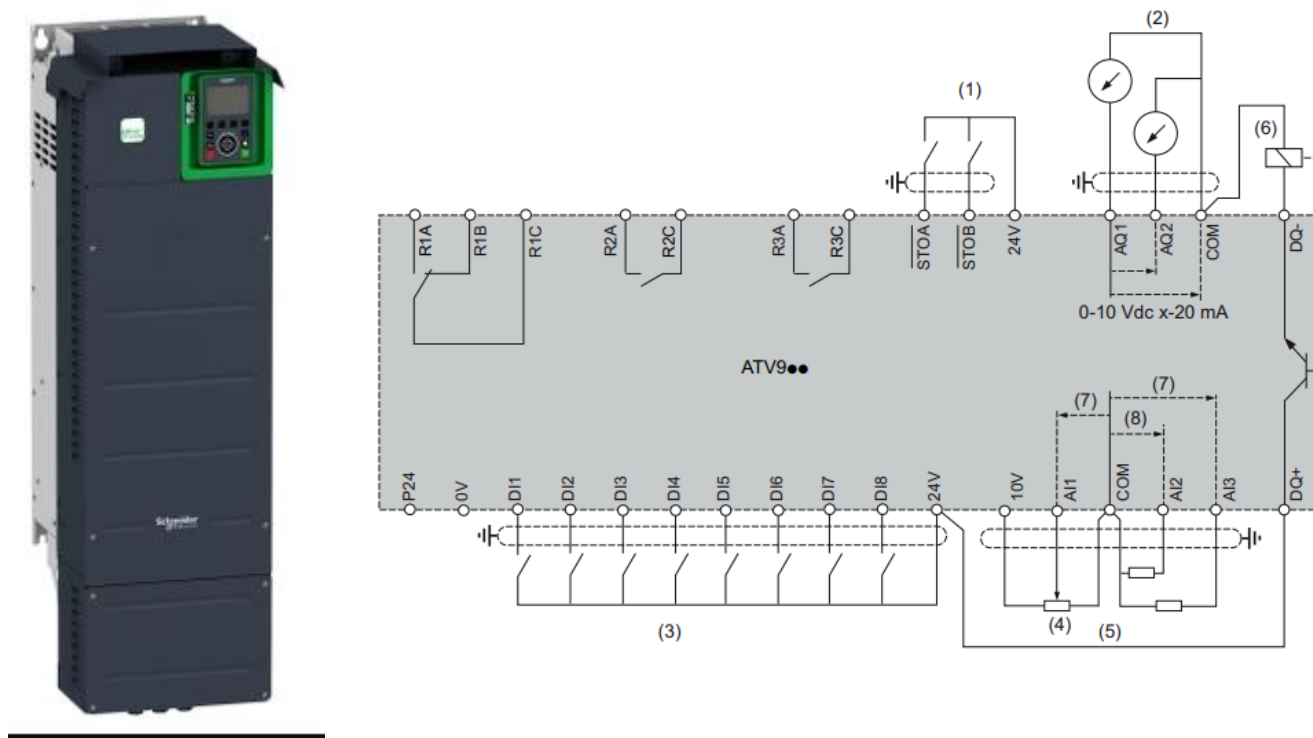
3.1.2.3 Перетворювач частоти ATV930D75N4 [8]

Перетворювач частоти серії Altivar Process ATV900 ATV930D22N4– це частотно-керований пристрій, виробництва корпорації Schneider Electric, який здійснює керування потужністю вентилятора зміною частоти обертання електроприводу тягодуттєвих механізмів на лініях подачі повітря та видалення димових газів.

Технічні характеристики частотного претеворювача:

- номінальна потужність 22 кВт;
- номінальна напруга живлення 380В.

Загальний вигляд частотно-керованого пристрою і схему електричних приєднань зображено на рисунку 3.3



а)

б)

Рис. 3.3 Зовнішній вигляд перетворювача частоти серії ATV930D22N4:

а) загальний вигляд лицьової панелі перетворювача; б) схема електричних приєднань

3.1.2.4 Реле тиску Danfoss типу RT 5A [9]

Реле тиску Danfoss типу RT 5A призначене для контролю тиску в системах газопостачання, водопостачання, охолодження та кондиціонування. Система контактів у вигляді однополюсного перемикача. Навантаження на контакти - змінний струм: AC-1: 10А, 400 ВА С-3: 4А(1), 400 ВАС -15: 3А(1), 400 В. Діапазон вимірювання 4 ... 17 бар.

Загальний вигляд і схему електричних приєднань зображено на рисунку 3.4

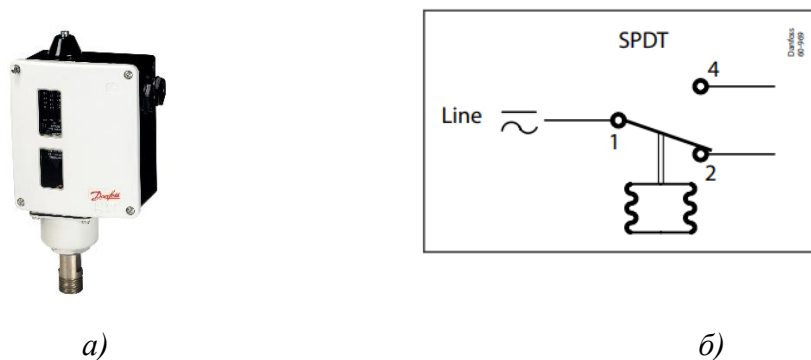


Рис. 3.4 Загальний вигляд реле тиску та схема приєднань:

а) зовнішній вигляд; б) схема електричних приєднань.

3.1.2.5 Електромагнітний газовий клапан типу EVRM-NA9[10]

Електромагнітний газовий клапан типу EVRM-NA9 – це клапан безпеки з ручним взводом, відкритим в нормальному стані. Ручне втручання необхідне лише для відкриття клапану і приведення механізму у зведений стан. Живлення змінним струмом та/або струмом розряду конденсатора, викликаного детектором витoku газу, призводить до розчіплювання механізму і негайного перекривання газового потоку. Якщо електроживлення від датчика зберігається через присутність газу, запобіжний газовий клапан залишається під напругою і не дозволяє здійснити відкриття. Після усунення причин закриття та відсутності витoku газу, клапан повинен бути відкритий вручну.

Технічні характеристики:

- робочий тиск: 0,6÷6 бар;
- фланцеве приєднання DN 100мм

- напруга живлення: 230В змінного струму;
- клас захисту: IP65;
- робоче середовище: природний газ.

Зовнішній вигляд клапана зображено на рисунку 3.5



Рис. 3.5 Загальний вигляд електромагнітного клапана типу EVRM-NA:

а) зовнішній вигляд; б) схема електричних приєднань

3.1.2.6 Реле контролю полум'я РКП-1 [11]

Реле контролю полум'я РКП-1 призначене для перевірки наявності полум'я при пальниках у печі.

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 комутувана 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

Загальний вигляд датчика РКП-1 фірми Мікрол і схему електричних приєднань зображено на рисунку 3.6

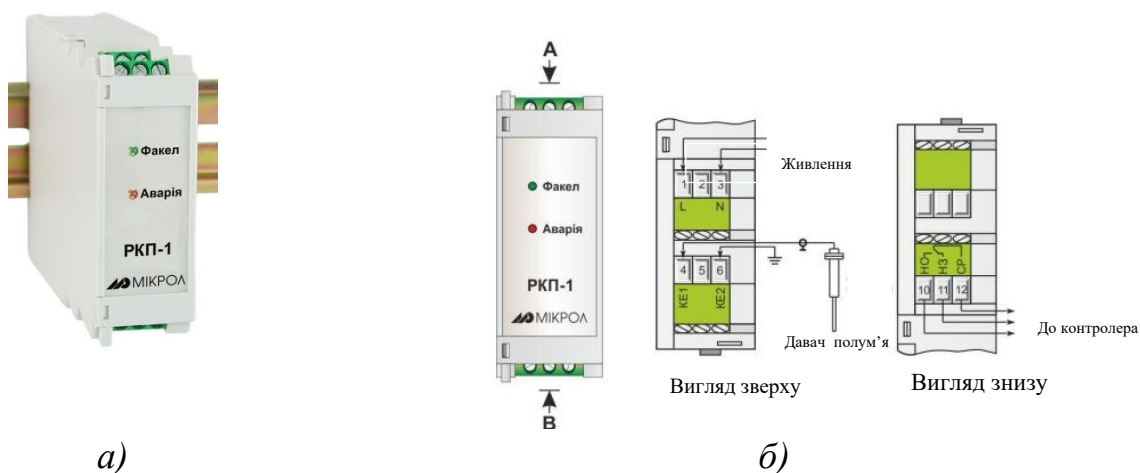


Рис. 3.6 Давач наявності полум'я РКП-1.

а) загальний вигляд давача; б) схема електричних приєднань.

3.1.2.7 Лазерний рівнемір ABB LLT100 Laser Level Transmitter [12]

Лазерний рівнемір ABB LLT100 призначений для безконтактного вимірювання рівня твердих і рідких середовищ. Він забезпечує точність вимірювання ± 5 мм в налаштовуваному діапазоні, з аналоговим виходом 4–20 мА, який налаштовується відповідно до заданих меж (LRV/URV), в той час як загальний діапазон вимірювання давача рівня з 0.5 м до 30 м. Підключення до контролера здійснюється за двопровідною схемою живлення 24 VDC,. Лазерний рівнемір, схему призначень його клем та схему під'єднань зображено на рисунку 3.7

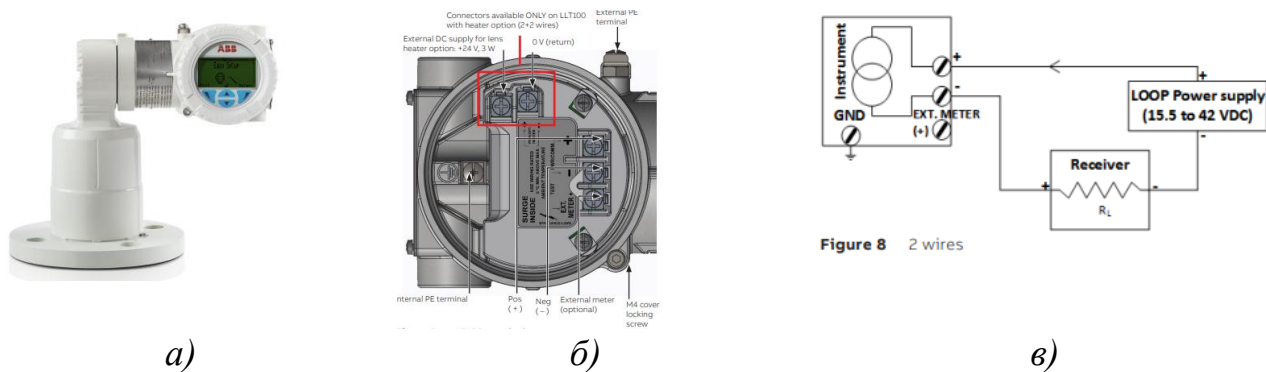


Рис. 3.7 Лазерний рівнемір ABB LLT100:

а) зовнішній вигляд рівнеміра; б) схема призначень клем; в) схема електричних приєднань.

3.1.2.8 Клапан Kromschöder VFC у комплекті з приводом IC 40 [13]

Пропорційний клапан Kromschöder VFC у комплекті з приводом IC 40 [14] призначений для точного регулювання потоку газу в промислових системах, таких як скловарні печі. Клапан типу VFC DN100 забезпечує плавну зміну витрати, а електропривід IC 40 керується аналоговим сигналом 4–20 мА або 0–10 В. Привід має змінний час ходу (4.5–76 с), який за потреби можна налаштувати, цифрові входи/виходи та індикацію стану. Зовнішній вигляд клапана і актуатора зображено на рисунку 3.8

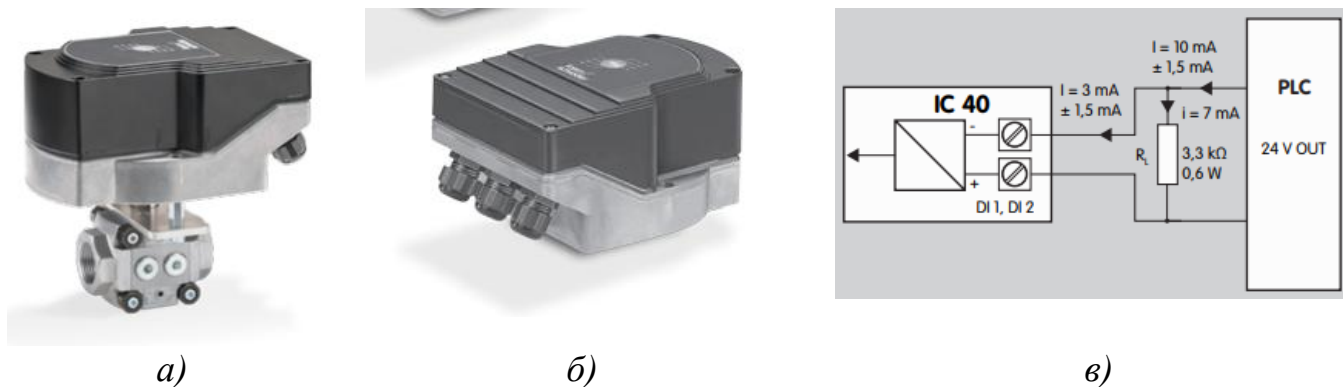


Рис. 3.8 Клапан Kromschöder VFC:

а) зовнішній вигляд клапана; б) зовнішній вигляд актуатора; в) схема електричних приєднань актуатора.

3.1.2.9 Вентилятор відцентровий ВЦ 14-46 [15]



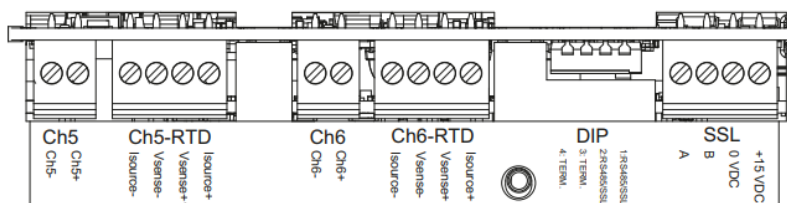
Рис. 3.9 Загальний вигляд вентилятора ВЦ 14-46;

Технічні характеристики вентилятора відцентрового ВЦ 14-46

Назва параметру	Значення параметру
Вибухозахищене виконання	Так
Висота	784.0 мм
Довжина	690.0 мм
Мін. продуктивність тис.м3/год	3,5
Мін. робочий тиск	1150
Мах. робочий тис	1500
Мах.продуктивність	11,2
Напруга мережі	380~400 В
Напрямок обертання	Право Ліво
Споживана потужність	7.5 кВт
Фазність	3-фазний (380В)
Частота обертання	1500.0 об/хв
Ширина	735.0 мм

3.1.2.10 Ультразвуковий витратомір Siemens SITRANS FS230 [16]

Ультразвуковий вимірювач витрати Siemens Sitrans FS230 Gas призначений для вимірювання об'ємної витрати газу. Діапазон вимірювання $0 \div 1600 \text{ м}^3/\text{год}$, клас точності $\pm 1\%$. Прилад може видавати аналоговий вихідний сигнал у $4 \div 20 \text{ мА}$. Нижче наведено зовнішній вигляд витратоміра, та схему його електричних приєднань. Загальний вигляд витратоміра представлено на рисунку 3.10



а)

б)

Рис. 3.10 Ультразвуковий витратомір Siemens Sitrans FS230 Gas:

а) вигляд користувацької панелі; б) схема електричних з'єднань.

3.1.2.11 Вихровий витратомір Siemens SITRANS FX330 [17]

Вихровий витратомір Siemens SITRANS FX330 призначений для вимірювання об'ємної витрати повітря у трубопроводах. Діапазон налаштовуваний під аналоговий вихідний сигнал 4-20 мА. Точність вимірювання для повітря 1%. Вихровий витратомір і схему його приєднання зображено на рисунку 3.11

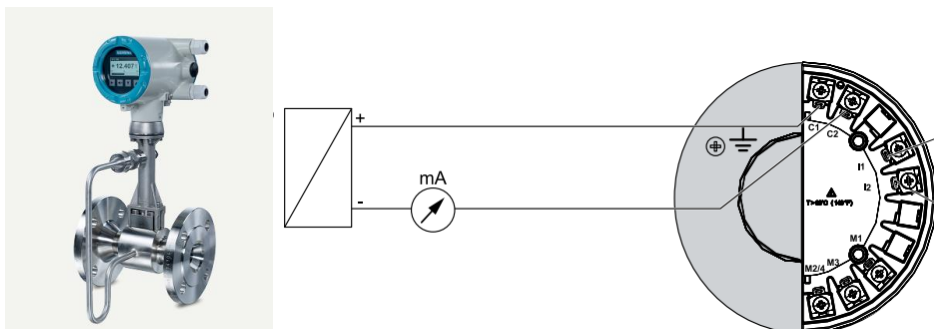
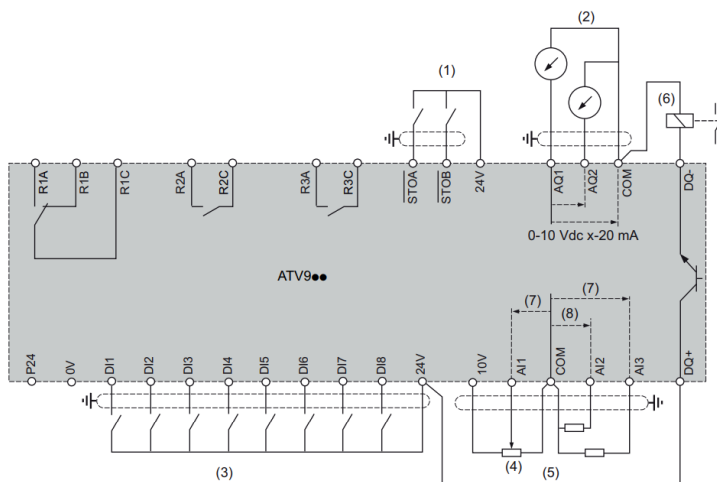


Рис. 3.11 Ультразвуковий витратомір Siemens Sitrans FS230 Gas:
а) зображення витратоміра; б) схема електричних з'єднань

3.1.2.12 Перетворювач частоти ATV930D55N4 [18]

Перетворювач частоти серії Altivar process ATV900 ATV930D55N4— це частотно-керований пристрій, виробництва корпорації Schneider Electric, який змінює частоту обертання мотору транспортера скломаси до печі.



а)

б)

Рис. 3.12 Зовнішній вигляд перетворювача частоти серії ATV930U75N4:

а) загальний вигляд лицьової панелі перетворювача; б) схема електричних приєднань

Технічні характеристики частотного претеворювача:

- номінальна потужність 55 кВт;
- номінальна напруга живлення 380В.

Загальний вигляд частотно-керованого пристрою і схему електричних приєднань зображено на рисунку 3.12

3.1.2.13 Електродвигун трифазний AIP180s2 і AIP112m2 [29] [30]



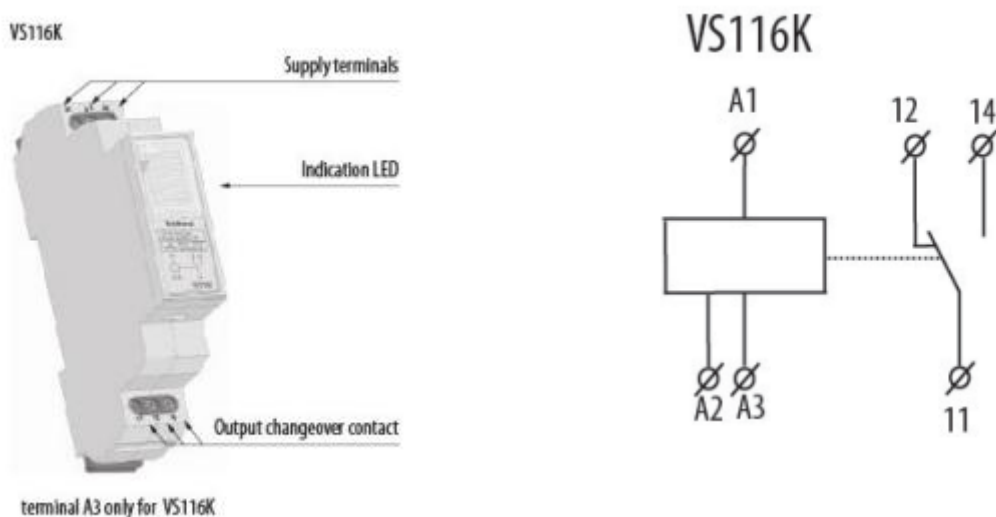
Рис. 3.13 Загальний вигляд трифазного двигуна типу AIP.

Таблиця 3.7

Технічні характеристики трифазних двигунів AIP180s2 і AIP112m2

Назва параметру	Модель двигуна	
	AIP180s2	AIP112m2
Потужність, кВт	22	7.5
Швидкість обертання, об/хв	3000	3000
Напруга живлення, В	380	380

3.1.2.14 Допоміжне реле VS116K (2471201) [30]



а)

б)

Рис. 3.14 Зовнішній вигляд реле:

а) загальний вигляд; б) схема електричних приєднань

Таблиця 3.8

Технічні характеристики реле VS116K

Назва параметру	Значення параметру
Номінальний струм (А)	16
Кількість СО контактів	1
Тип напруги АС	А
Напруга живлення (V)	230
Кількість контактів	1
Вид контролю	Сигналізація та керування
Максимальне навантаження АС1 (VA)	4000

3.2.1 Опис мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації

Програмований мікропроцесорний пристрій автоматизації серії Modicon M340 від компанії Schneider Electric є модульним програмованим логічним контролером (ПЛК), орієнтованим на реалізацію автоматизаційних рішень середнього та базового рівня складності. Його конфігурація визначається кількістю каналів введення/виведення інформації, необхідною для забезпечення взаємодії з периферійними пристроями в рамках комп'ютеризованої системи керування технологічними процесами. [19] Візуальне представлення контролера показано на рисунку 3.14 [27].



Рис. 3.14 Зовнішній вигляд ПЛК серії Modicon M340 виробництва корпорації Schneider Electric.

Конструкція ПЛК серії Modicon M340

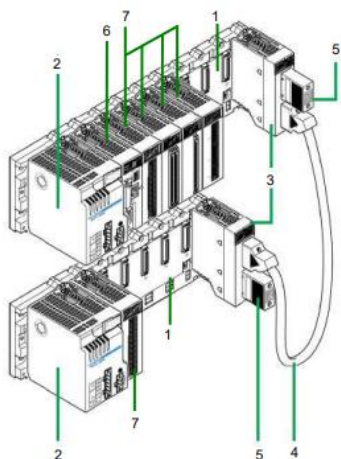


Рис. 3.15 Складові ПЛК серії Modicon M340.

1. Шасі для монтажу функціональних модулів.

2. Модуль живлення, який призначений для забезпечення електроживленням модуль центрального процесора та інших функціональних модулів.

3. Інтерфейсний модуль для реалізації *BusX* шини передачі даних між суміжними шасі ПЛК.

4. Кабель зв'язку шини передачі даних *BusX*.

5. Кінцеві термінуючі резистори шини передачі даних *BusX* TSX TLY EX типу А та В (початок та кінець шини передачі даних відповідно).

6. Модуль центрального процесора (CPU), який призначений для реалізації керуючих функцій і обов'язково розміщується в посадковому місці з номером 00 у першому (нульовому) шасі.

7. Модулі вводу/виводу, інтерфейсні модулі та модулі спеціального призначення.

Базовий елемент конструкції – шасі, служить для закріплення модулів ПЛК та реалізації магістральної шини *BusX*, яка забезпечує електроживлення модулів, обмін сигналами управління та передачею даних. Шасі може бути змонтовано як на стандартну DIN-рейку, так і безпосередньо на монтажну панель за допомогою гвинтових з'єднань. Загальний вигляд шасі наведено на рисунку 3.16

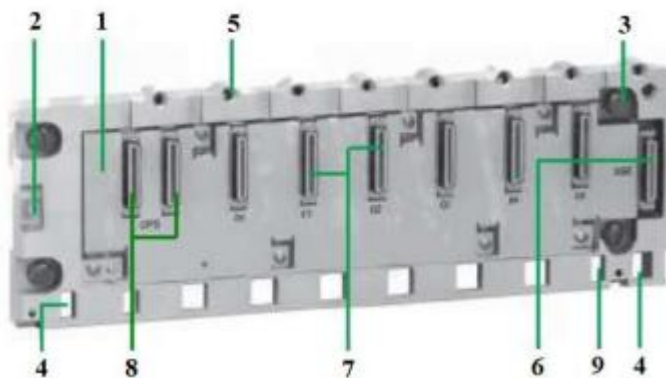


Рис. 3.16 Загальний вигляд та будова шасі.

1. Металева рама.
2. Клема заземлення.
3. Отвори для кріплення шасі до монтажної панелі.
4. Кріплення для заземлення екранів кабелів.
5. Різьбові отвори під гвинт для фіксації функціональних модулів.
6. Роз'єм ХВЕ для модуля розширення.
7. Роз'єми шини *BusX* для приєднання функціональних модулів (центрального процесора, вводу/виводу, інтерфейсних та спеціальних).
8. Роз'єми для приєднання модуля живлення.
9. Отвори для монтажних опорних штирів функціональних модулів.

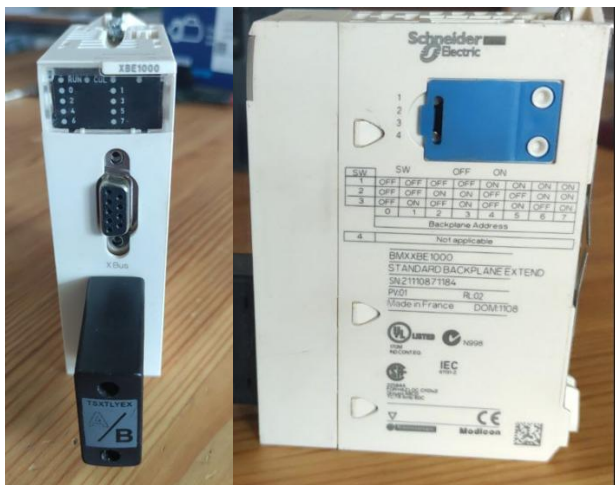


Рис. 3.17 Загальний вигляд інтерфейсного модуля XBE 1000.

Інтерфейсний модуль XBE 1000 – функціональний модуль, призначений для реалізації шини передачі даних *BusX*.

Живильний модуль BMX CPS 2000 використовується для подачі енергії функціональним модулям, забезпечуючи струм до 2,5 А при напрузі 230 В АС. Тип живлення та сумарна споживана потужність визначають вибір живильного модуля, який підключається до відповідного роз'єму (CPS) в шасі. Розрахунок необхідної потужності залежить від кількості й типу встановлених модулів. Усі живильні модулі серії M340 оснащені аварійним реле, що спрацьовує при зупинці контролера або в разі виявлення несправностей у вихідній напрузі системою самодіагностики [28].



Рис. 3.1 8 Вигляд модуля живлення BMX CPS 2000 ПЛК Modicon M340.

Процесорні модулі серії M340 відрізняються функціональними можливостями, швидкістю виконання інструкцій, кількістю підтримуваних каналів введення/виведення, наявністю спеціалізованих каналів, обсягом оперативної пам'яті та вбудованими комунікаційними інтерфейсами.



Рис. 3.19 Загальний зовнішній вигляд модуля процесора VMX P34-2020.

Дискретні модулі є стандартними компонентами, що займають один слот у шасі. Вони класифікуються за типом каналів (вхідні, вихідні, комбіновані), кількістю каналів, видом сигналів (постійний або змінний струм) та методом підключення. Монтаж можливий у будь-який слот, окрім слотів для живлення та ЦПУ. Підтримуються входи/виходи на 24 VDC, 48 VDC із позитивною або негативною логікою, а також 100–240 VAC. [19]



Рис. 3.20 Вигляд модуля, призначеного для дискретних входів BMX DDI-1602

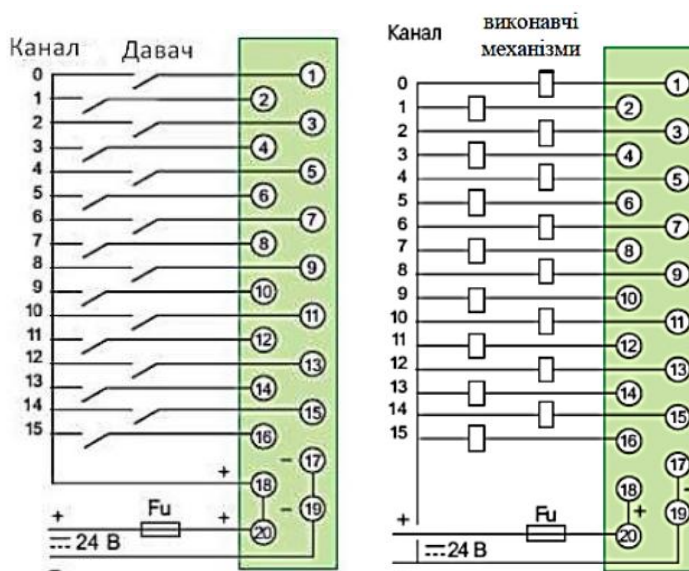


Рис. 3.21 Схеми приєднань дискретних входних та вихідних сигналів до модулів типу BMX DDI 1602 та BMX DDO 1602;

АММ-0600 – це модуль вводу/виводу, що забезпечує роботу з аналоговими сигналами у системі автоматизації. Модуль містить 4 аналогових входи, 2 виходи. Особливістю модуля є наявність захисту від перевантажень, фільтрацію шуму сигналів та інтерфейс для простого під'єднання до ПЛК [19]

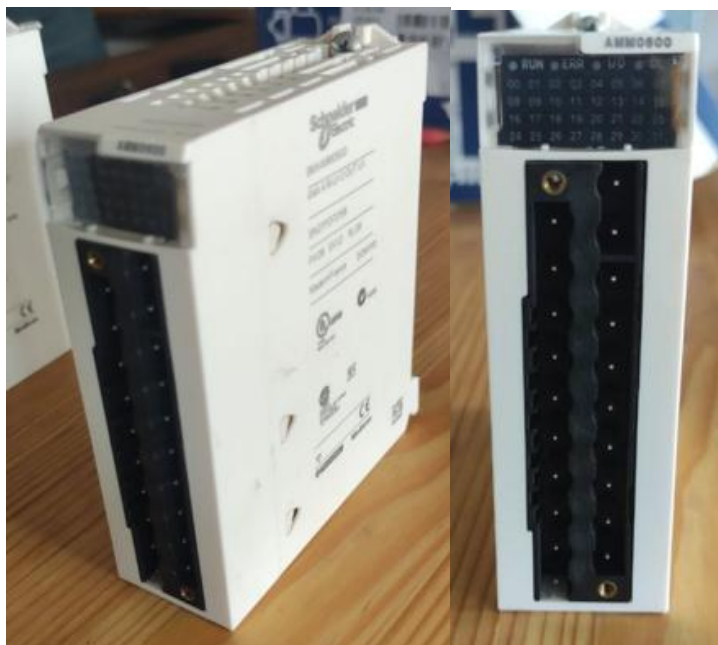


Рис. 3.22 Зовнішній вигляд модуля аналогових вхідних та вихідних сигналів АММ-0600.

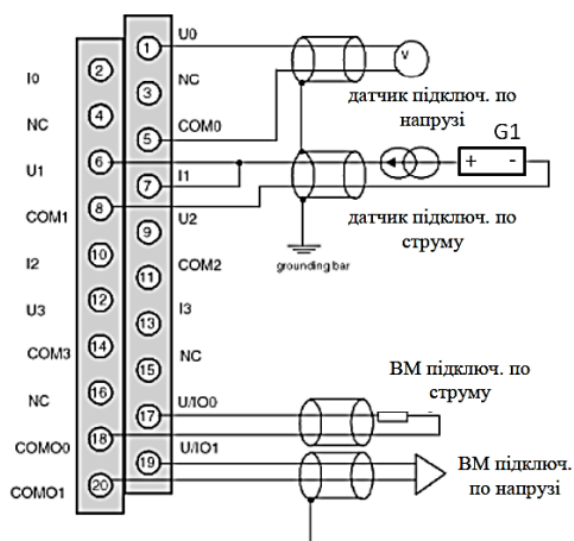


Рис. 3.23 Схеми електричних приєднань модуля аналогових вхідних та вихідних сигналів АММ-0600.

3.2.2 Концепція вибору компонентів для мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації Modicon M340.

У відповідності до функціональної схеми автоматизації скловарної печі, яка зображена на рисунку 1.2 для реалізації системи автоматизованого керування слід забезпечити:

- Дискретних вхідних сигналів: $DI_{\text{зад}} = 3$;
- Дискретних вихідних сигналів: $DO_{\text{зад}} = 12$;
- Аналогових вхідних сигналів: $AIN_{\text{зад}} = 5$;
- Аналогових вихідних сигналів: $AOUT_{\text{зад}} = 4$.

Для забезпечення потрібної кількості каналів вхідних та вихідних сигналів, приймаю рішення обрати такі модулі ПЛК серії Modicon M340 виробництва корпорації Schneider Electric, а саме:

- Блок живлення BMX CPS 2000;
- Центральний процесор BMX CPU P34 2020;
- Модуль дискретних входів BMX DDI 1602(16 – DI);
- Модуль дискретних виходів BMX DDO 1602(16 – DO)
- 2 модулі аналогових вхідних/вихідних сигналів BMX AMM 0600(по 4 уніфікованих входи/ 2 виходи)

Конфігурація мікроконтролера при застосуванні згаданих функціональних модулів забезпечує таку кількість каналів інформаційних входів/виходів:

- Дискретні вхідні сигнали: $DI = 16 > DI_{\text{зад}} = 3$;
- Дискретні вихідні сигнали: $DO = 16 > DO_{\text{зад}} = 10$;
- Аналогові вхідні сигнали: $AIN = 8 > AIN_{\text{зад}} = 5$;
- Аналогові вихідні сигнали: $AOUT = 4 = AOUT_{\text{зад}} = 4$.

Вибрана конфігурація ПЛК повністю забезпечує необхідну кількість каналів вводу/виводу для реалізації системи автоматизованого керування скловарною піччю з продуктивністю 2т/добу.

3.2.3 Конфігурація та налаштування мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації

Вікна процесу конфігурації мікропроцесорного програмного засобу автоматизації серії Modicon M340 в програмному забезпеченні UnityProXL наведено на рисунку 3.24:

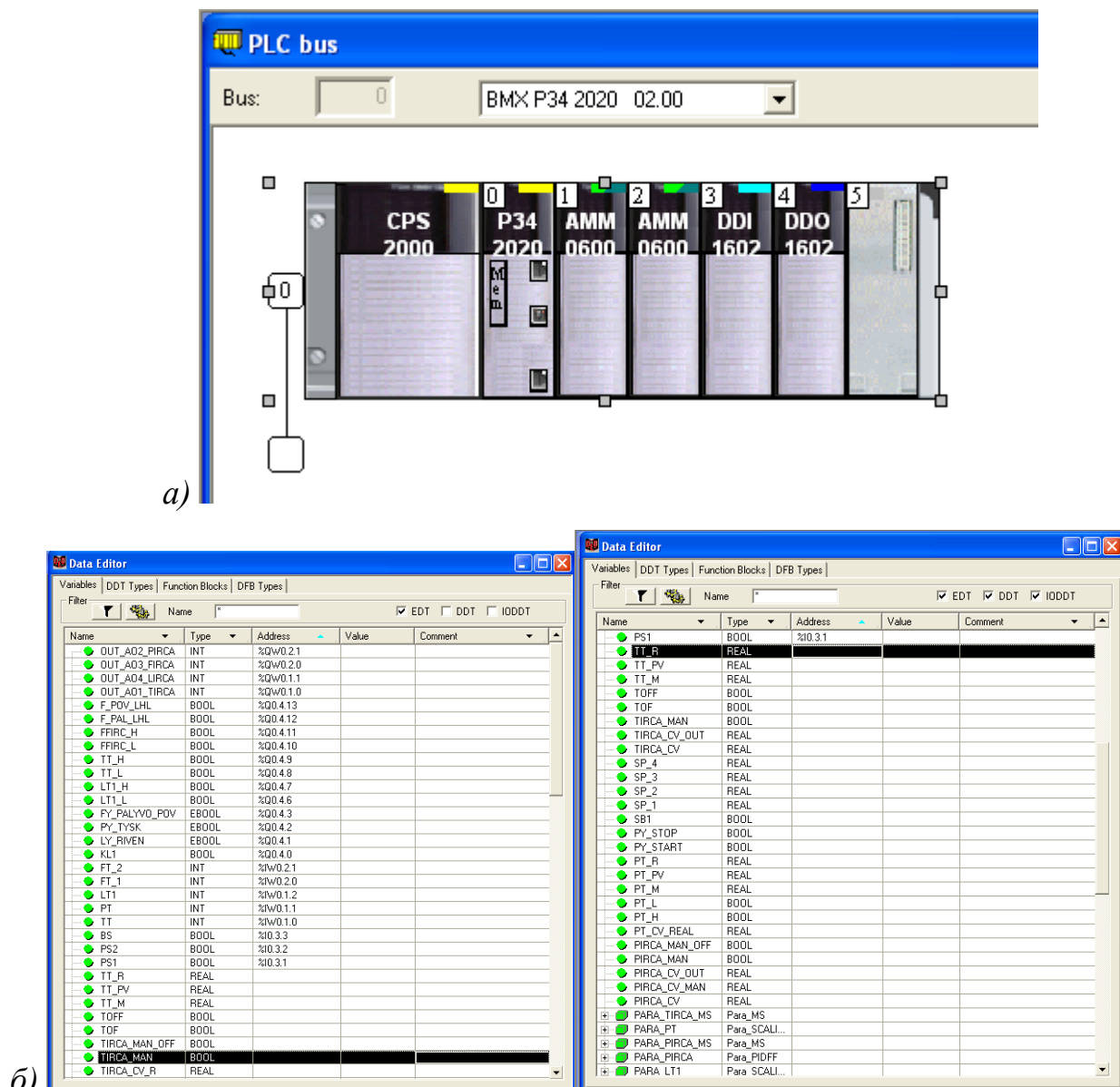


Рис. 3.24. Вікна конфігурації ПЛК серії Modicon M340 в програмному забезпеченні UnityProXL:

а) конфігурація ПЛК б) адресація, тип та призначення деяких сигналів;

3.3 Специфікація технічних засобів автоматизації

Таблиця 3.3

№ п/п	№ поз.	Назва параметра	Місце встановлення	Назва засобу та коротка технічна характеристика	Тип	К-сть
1	2	3	4	5	6	7
1			На щиті	Модуль блоку живлення Вхідна номінальна напруга 220В Вихідна напруга:24В	BMX CPS2000	1
2			На щиті	Модуль аналогових вхідних та вихідних сигналів Аналогових входів – 8 Аналогових виходів – 4	BMX AMM 0600	2
3			На щиті	Модуль дискретних вхідних сигналів Дискретних входів – 4	BMX DDI 1602 Типу р-n-p	1
4			На щиті	Модуль дискретних вихідних сигналів Дискретних виходів – 16	BMX DDO 1602	1
5	1-1	Температура в печі	По місцю	Термопара	Тип В НТ 4060	1
6	1-2		По місцю	Діапазон 0 ... 2300 °С; Клас захисту IP 65. Нормуючий перетворювач Вихідний сигнал 4-20мА	SITRANS ТК-Н (7NG3120-2JN01)	1
7	1-4		По місцю	Регулюючий клапан Номінальна пропускна здатність 1000 м3/год;	Kromschroder VFC	1
8	1-3		По місцю	Електричний привід для клапана IC-40	IC-40	1
9	2-1	Тиск розрідження в печі	По місцю	Перетворювач тиску Діапазон вимірювання -0.002 ... 0.002бар	Sitrans P DS III (7MF4433)	1

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6	7
10	2-2 3-4		На щиті	Частотний перетворювач Сигнал 4 – 20мА; Потужність 22кВт.	ATV930D22N4	2
11	2-3 3-3		По місцю	Вентилятор Відцентровий Пропускна здатність -7000 м3/год; Споживана потужність 7.5кВт.	ВЦ 14-46	2
12			По місцю	Електродвигун Потужність – 7.5 кВт Напруга - 380 В Швидкість – 3000 об/хв.	AIP112M2	2
13	3-1	Витрата газу на вході в піч	По місцю	Ультразвуковий витратомір Вихідний сигнал 4 ... 20мА Діапазон 0 ... 2300 м3/год	Siemens Sitrans FS230 Gas	1
14	3-2	Витрата повітря на вході в піч	По місцю	Вихровий витратомір Вихідний сигнал 4 ... 20мА Діапазон 0 ... 10000 м3/год	Siemens SITRANS FX330	1
15	4-1	Рівень скломаси	По місцю	Лазерний рівнемір АВВ LLT100. діапазон вимірювання 0.5÷30 м. Точність ±5 мм. Вихідний сигнал 4-20 мА.	LLT100	1
16	4-2	Витрата склобою на вході в піч	На щиті	Частотний перетворювач Сигнал 4 – 20мА; Потужність 55кВт.	ATV930D55N4	1
17			По місцю	Електродвигун Потужність - 22 кВт Напруга - 380 В Швидкість – 3000 об/хв.	AIP180S2	1
18			На щиті	Допоміжне реле Напруга живлення 24 В	VS116k	1

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ РОЗГОРНУТИМ СПОСОБОМ ТА ЇЇ ОПИС.

1. Регулювання температури у печі.

Для вимірювання температури скломаси в печі використовується термопара (поз. 1-1) діапазон вимірювання 0 – 2300 °С. В комплекті з термопарою стоїть термоперетворювач (поз. 1-2) з вихідним уніфікованим струмовим аналоговим сигналом 4 -20 мА, який передається на аналоговий вхід ПЛК Modicon M340.

Для регулювання подачі газу в піч, ПЛК відповідно до алгоритму функціонування формує регулюючу дію. Ця дія подається на аналоговий вихід актуатора (поз. 1-4) з перетворювачем (поз. 1-3), який регулює подачу газу в піч.

2. Регулювання розрідження в печі;

Як первинний перетворювач тиску у верхній частині випарювальної камери використовуємо вимірювальний перетворювач тиску розрідження (поз. 2-1) з діапазоном вимірювання -0.002 ... 0.002 бар. Вихідний сигнал (4 – 20 мА) з цього давача подається на аналоговий вхід ПЛК Modicon M340.

При відхиленні вхідного параметра від заданого значення ПЛК згідно алгоритму функціонування формує регулюючу дію з аналогового виходу ПЛК регулюючий сигнал 4 -20 мА надходить на частотний перетворювач (поз. 2-2) для вентилятора (поз. 2-3).

3. Регулювання співвідношення паливо-повітря;

Вимірювання витрати газу і повітря здійснюється з використанням ультразвукового витратоміра (поз. 3-1) з діапазоном вимірювання 0÷1600 м³/год та аналоговим вихідним сигналом 4-20 мА, які надходять на аналогових вхід ПЛК Modicon M340.

Вимірювання витрати повітря здійснюється з використанням вихрового витратоміра (поз. 3-2) з діапазоном вимірювання 0.01м³/год - 10000 м³/год та аналоговим вихідним сигналом 4-20 мА, які надходять на аналогових вхід ПЛК Modicon M340.

При відхиленні вхідного параметра від заданого значення ПЛК згідно алгоритму функціонування формує регулюючу дію з аналогового виходу ПЛК регулюючий сигнал 4 -20 мА надходить на частотний перетворювач (позиція 3-4) для вентилятора (поз. 3-6).

Система блокування реалізована так: у разі виявлення критичної невідповідності параметрів у системі до заданих або виникненні аварійних ситуацій, для запобігання небезпечних наслідків ПЛК подасть сигнал на електромагнітний клапан (поз. 3-8), аби зупинити подачу газу, вимкне частотно-керований пристрій транспортера завантаження печі, та увімкне обдув системи вентиляторами (2-2) та (3-4). Тиск газу та повітря у трубопроводах контролюється двома реле тиску (3-6, 3-7), а при пальниках застосовано реле контролю полум'я (3-5).

4. Регулювання рівня скломаси в печі;

Даний контур реалізований за допомогою: лазерного рівнеміра (поз. 4-1), з діапазоном вимірювання налаштовуваним відповідно до потреб систем (0.440 м – 0.448 м), та з аналоговим вихідним сигналом у 4-20 мА; частотного перетворювача (поз. 4-2) для електродвигуна (поз. 4-3). У разі відхилення рівня скломаси від заданого, ПЛК сформує керуючу дію на частотно керований пристрій (4-2) [20].

Загалом, функціональну схему автоматизації скловарної печі ванного типу, виконану розгорнутим способом, зображено на графічному плакаті №1 цієї бакалаврської роботи.

РОЗДІЛ 5

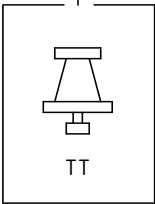
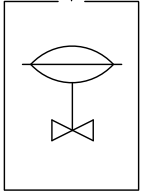
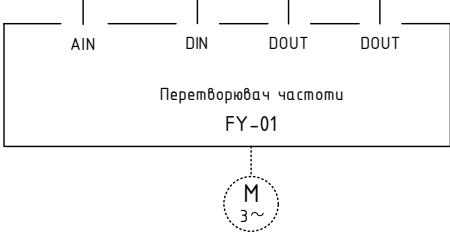
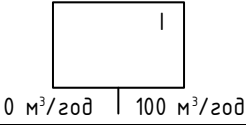
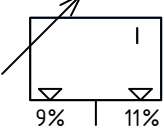
ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1 Алгоритми функціонування контурів системи автоматизації скловарної печі.

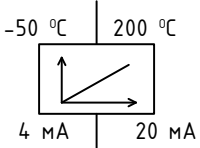

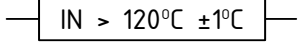
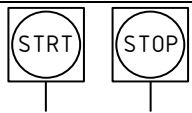
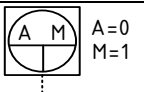
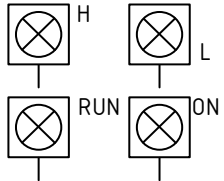
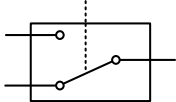
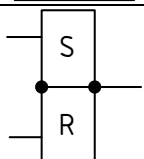
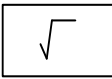
Для побудови алгоритмів функціонування контурів регулювання, вимірювання та індикації у відповідності до функціональної схеми автоматизації, спрощений вигляд якої представлено на рисунку 1.2 використаю графічні блоки (елементи) [19], які зображено в таблиці 4.1.

Таблиця 5.1

Графічні зображення функціональних елементів алгоритмів функціонування

Графічне зображення функціонального елемента	Функціональне призначення
1 	2 - первинний вимірювальний перетворювач, давач, чутливий елемент, пристрій збору інформації про технологічний параметр;
	- виконавчий механізм з аналоговим керуючим сигналом разом з регулюючим органом;
	- перетворювач частоти (частотно-керований пристрій);
FT-01 	- аналоговий індикатор технологічного параметру
	- задавач аналогового сигналу з обмеженням діапазону по двох значеннях;

Продовження таблиці 5.1

1	2
	- лінійне перетворення аналогового сигналу;
	- аналоговий пропорційно-інтегрально-диференціальний 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;
	- світло-сигнальні індикатори сигналізації по верхній, нижній межі технологічного параметру або стану обладнання;
	- селектор (перемикач) аналогових або дискретних сигналів;
	- тригер SR (реле з запам'ятовуванням попереднього стану);
	- добування кореня квадратного з числового значення.

5.2 Алгоритми функціонування системи автоматизованого керування.

Контур 1: Регулювання та сигналізація температури для плавлення шихти (рисунок 5.1).

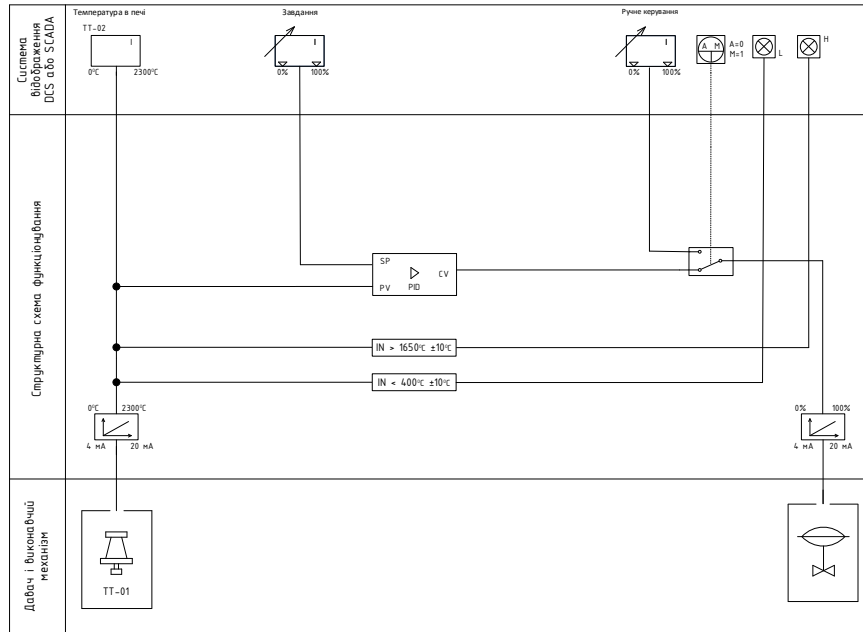


Рисунок 5.1 Алгоритми функціонування контуру №1.

Контур 2. Регулювання тиску розрідження в камері згорання печі (рисунок 5.2).

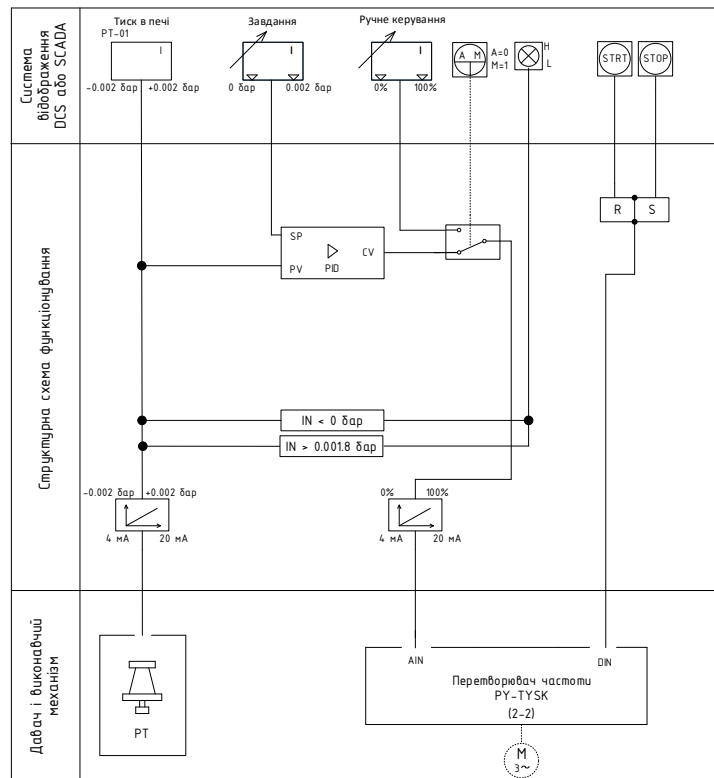


Рисунок 5.2 Алгоритм функціонування контуру №2.

Контур 3. Регулювання співвідношення витрат паливо-повітря та захисту і блокування (рисунок 5.3).

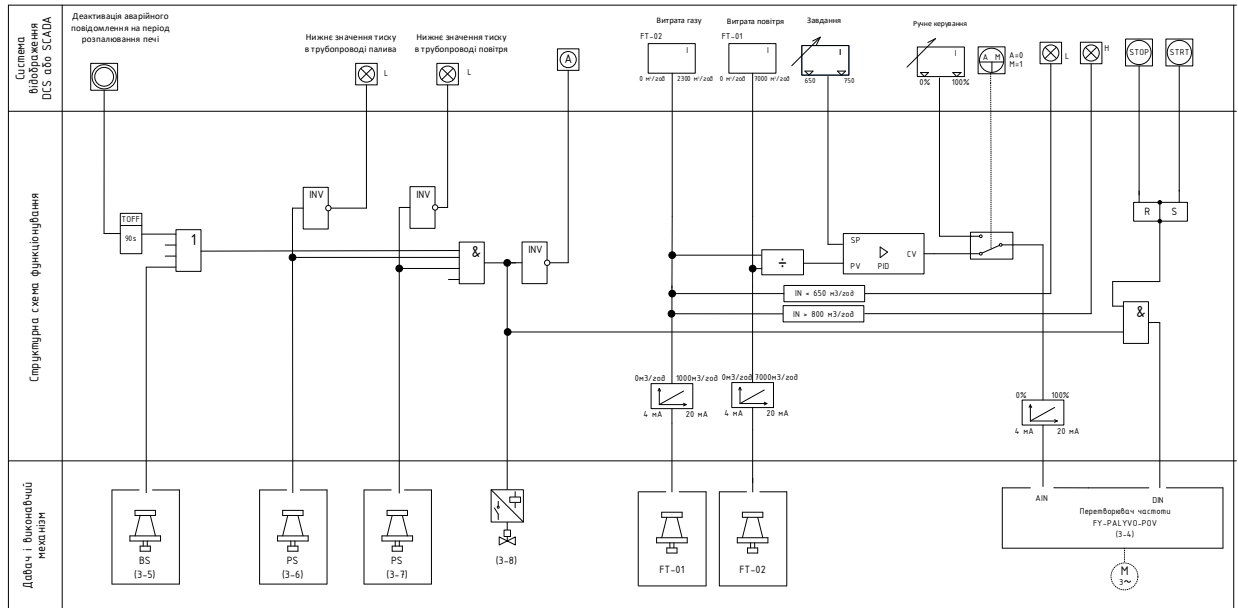
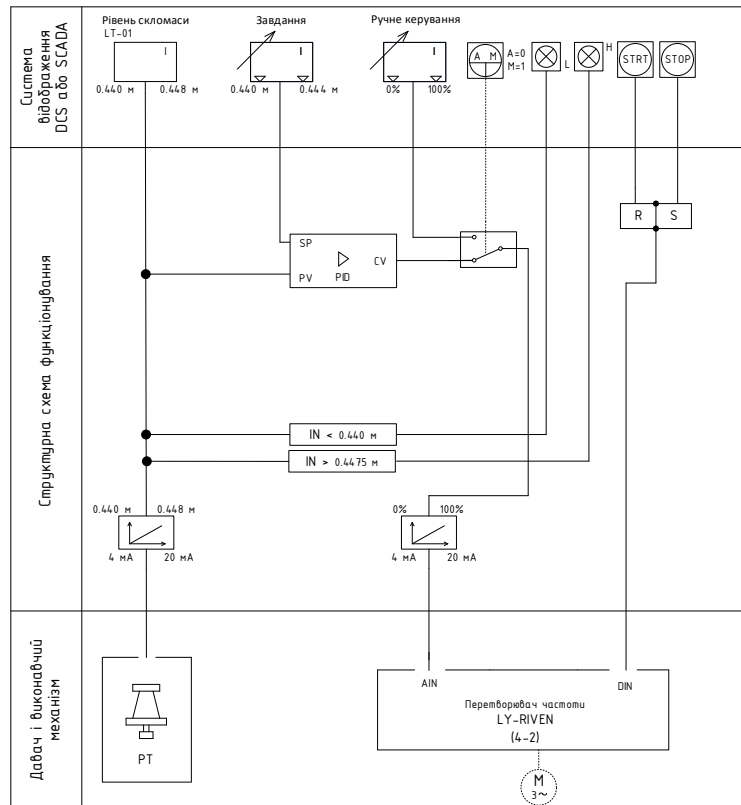


Рисунок 5.3 Алгоритм керування контуру №3.

Контур 4. Регулювання двигуном для підтримування рівня печі.



а)

б)

Рисунок 5.4 Алгоритм керування контуром №4

5.3 Програма функціонування мікропроцесорного програмованого засобу автоматизації.

Програма функціонування мікропроцесорного контролера SchneiderElectric M340 наведена на другому аркуші графічної частини бакалаврської роботи. При розробці програми функціонування мікропроцесорного програмного засобу автоматизації необхідно передбачити наступні процедури, а саме:

5.3.1 Масштабування вхідного аналогового сигналу

Обробку вхідного аналогового сигналу, а саме його перетворенням з формату Integer в формат Real, масштабування та фільтрування (рисунок 5.1):

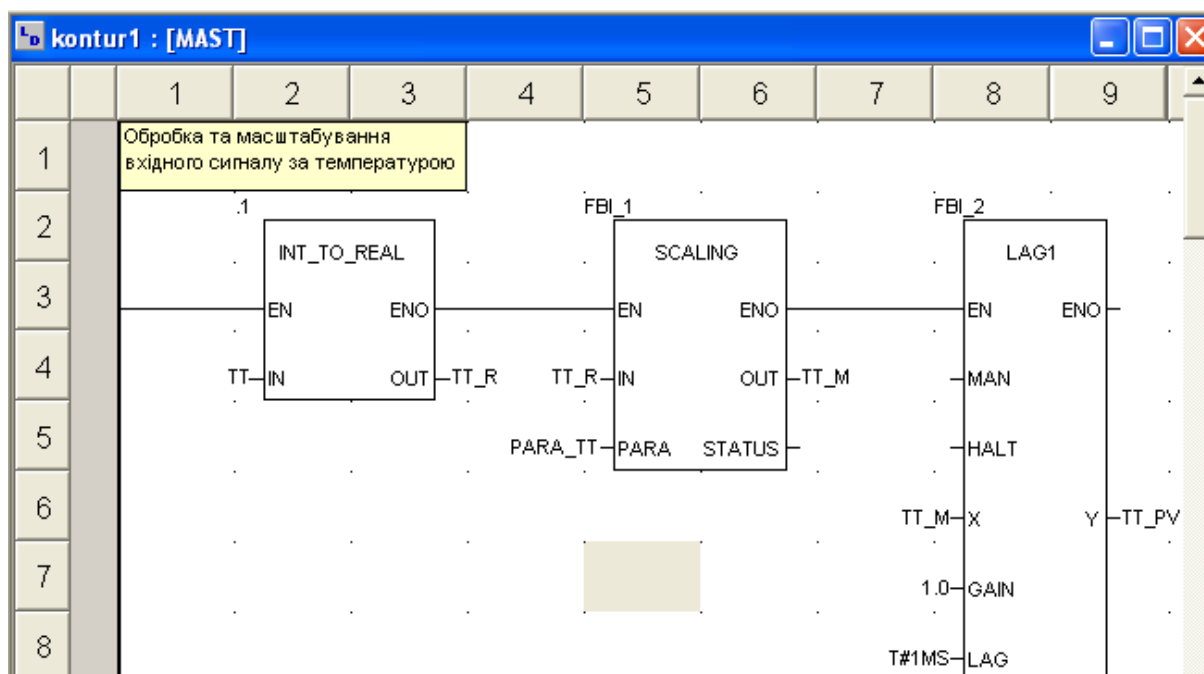


Рисунок 5.5 Уривок програми функціонування, який обробляє вхідний аналоговий сигнал з формату Integer в формат Real, масштабування та фільтрування.

Для перетворення числового значення вхідного аналогового сигналу з формату Integer в формат Real застосовуємо функціональний блок INT_TO_REAL. Масштабування числового значення виконуємо з застосуванням функціонального блоку Scaling, який здійснює масштабування вхідного числового значення від аналогового цифрового перетворювача, в числове значення діапазону вимірювання первинного датчика згідно лінійної залежності, тому також необхідно налаштувати параметри масштабування (приклад налаштування представлено на рисунку 5.2):

▢	■	PARA_TT	Para_SCALI...	%MW250	
	●	in_min	REAL	%MW250	0.0
	●	in_max	REAL	%MW252	30000.0
	●	out_min	REAL	%MW254	0.01
	●	out_max	REAL	%MW256	2300.0
	●	clip	BOOL	%MW258	

Рисунок 5.6. Вікно налаштування параметрів масштабування вхідного аналогового сигналу PARA_TT

Як видно з рисунку 5.2 in_min та in_max відображає числове значення вхідного аналогового сигналу в залежності від конфігурації каналу, а out_min та out_max відображає діапазон вимірювання первинного давача.

Для усунення завад у вигляді пульсацій сигналу, застосовуємо функціональний блок LAG1, який здійснює фільтрування вхідного сигналу від високочастотних та низькочастотних пульсацій. Основними параметрами, які задаються в цьому блоці є коефіцієнт підсилення «Gain» та стала часу «LAG».

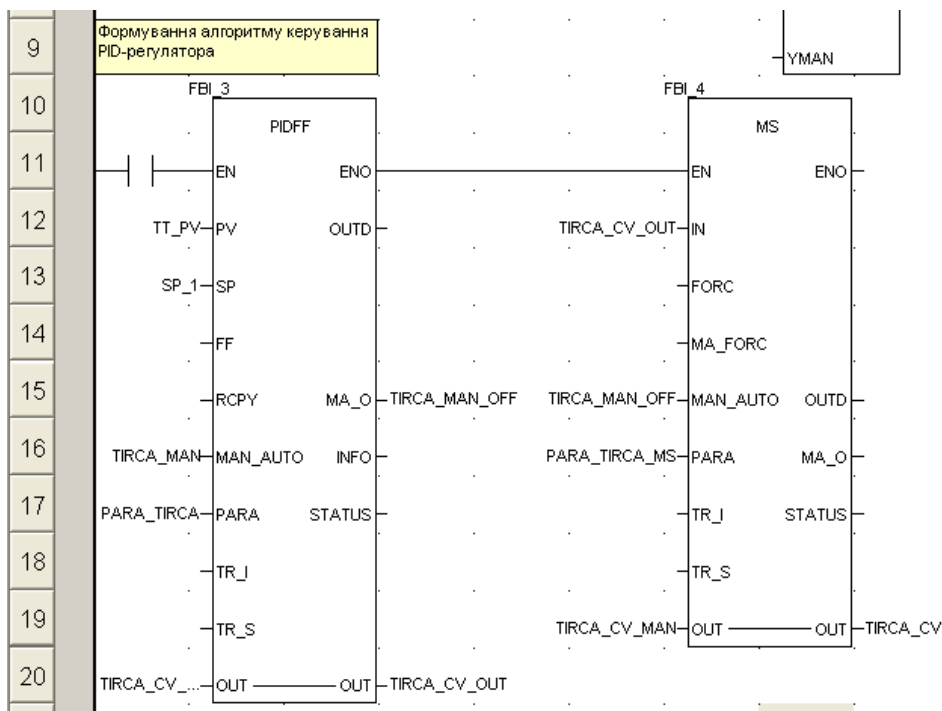
Після виконання всіх процедур обробки вхідного сигналу, зберігаємо отримане числове значення в комірці пам'яті TT_PV, яке відобразить виміряне значення технологічного параметру для подальшої реалізації програми функціонування контуру автоматизованого регулювання.

5.3.2 ПІД-закон регулювання та ручний режим

Для регулювання використовуємо блок PIDFF, якому надаємо вже перетворений та відфільтрований сигнал.

SP1 – задане значення, DIV_FF – вхідний сигнал, TIRCA_CV – вихідний сигнал з ПІД регулятора.

Для безударного переходу з автоматичного режиму на ручний використовуємо блок MS.



PARAMETER	DATA TYPE	ADDRESS	VALUE
id	UINT	%Mw200	0.0
py_inf	REAL	%Mw201	0.01
py_sup	REAL	%Mw203	2300.0
out_inf	REAL	%Mw205	0.0
out_sup	REAL	%Mw207	100.0
rev_dir	BOOL	%Mw209	0
mix_par	BOOL	%Mw209	1
aw_type	BOOL	%Mw210	1
en_rcpy	BOOL	%Mw210	0
kp	REAL	%Mw211	1.0
ti	TIME	%Mw213	T#5S
td	TIME	%Mw215	T#3S
kd	REAL	%Mw217	2.0
py_dev	BOOL	%Mw219	
bump	BOOL	%Mw219	0
dband	REAL	%Mw220	
gain_kp	REAL	%Mw222	
ovs_att	REAL	%Mw224	
outbias	REAL	%Mw226	
out_min	REAL	%Mw228	0.0
out_max	REAL	%Mw230	100.0
outrate	REAL	%Mw232	
ff_inf	REAL	%Mw234	
ff_sup	REAL	%Mw236	

Рисунок 5.7 Алгоритм ПІД-регулювання і налаштування регулятора

5.3.3 Зворотне перетворення

Оскільки зовнішні пристрої потребують сигналу 4-20мА, нам потрібно його сформувати. Оскільки контролер для формування вихідного аналогового сигналу сприймає значення формату INT в діапазоні 0-30000, нам потрібно його

сформувати. Для цього потрібно використовуємо блок масштабування SCALING. Значення після регулятора TIRCA – вихідне значення після масштабування сигналу, його потрібно форматувати у формат INT, для цього використовуємо блок REAL_TO_INT.

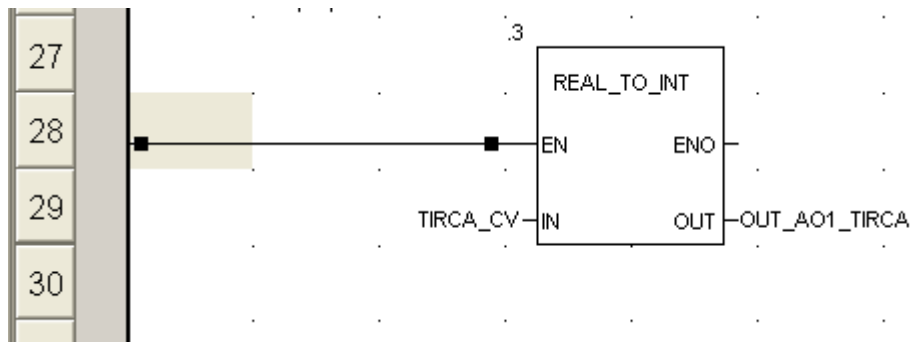


Рисунок 5.8 Зворотне перетворення

5.3.4 Формування аварійної сигналізації

Для формування аварійної сигналізації використовуємо блок порівнянь COMPARE.

TT_PV - вхідний сигнал, TT_L – вихідне значення для повідомлення по нижній межі, TT_H – вихідне значення для повідомлення по верхній межі.

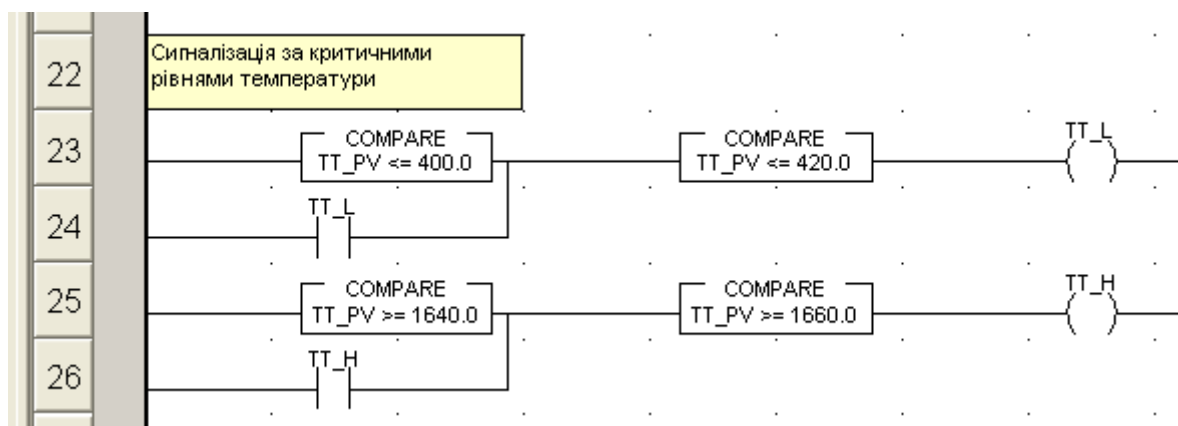


Рисунок 5.9 Формування аварійної сигналізації

Загалом, алгоритм керування процесом варіння скла зображено на графічному плакаті №2 цієї бакалаврської роботи.

РОЗДІЛ 6

ПРИНЦИПОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ СХЕМИ ПРИЄДНАНЬ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ

У відповідності до розробленої функціональної схеми автоматизації, спрощений вигляд якої наведено в розділі 1, принципова електрична схема системи автоматизованого керування повинна містити з'єднання, які дозволять приєднати периферійні технічні засоби автоматизації до головного керуючого пристрою, зокрема це ПЛК Modicon M340.

Електрична схема з'єднань складається з:

- 1) схеми підключення живлення до модулів ПЛК (рисунок 6.1);
- 2) схеми підключення первинних вимірювальних перетворювачів, які представлені на рисунку 6.2.
- 3) схеми підключення виконавчих пристроїв, зокрема і частотних перетворювачів, а також світлової сигналізації, які представлені на рисунку 6.3.

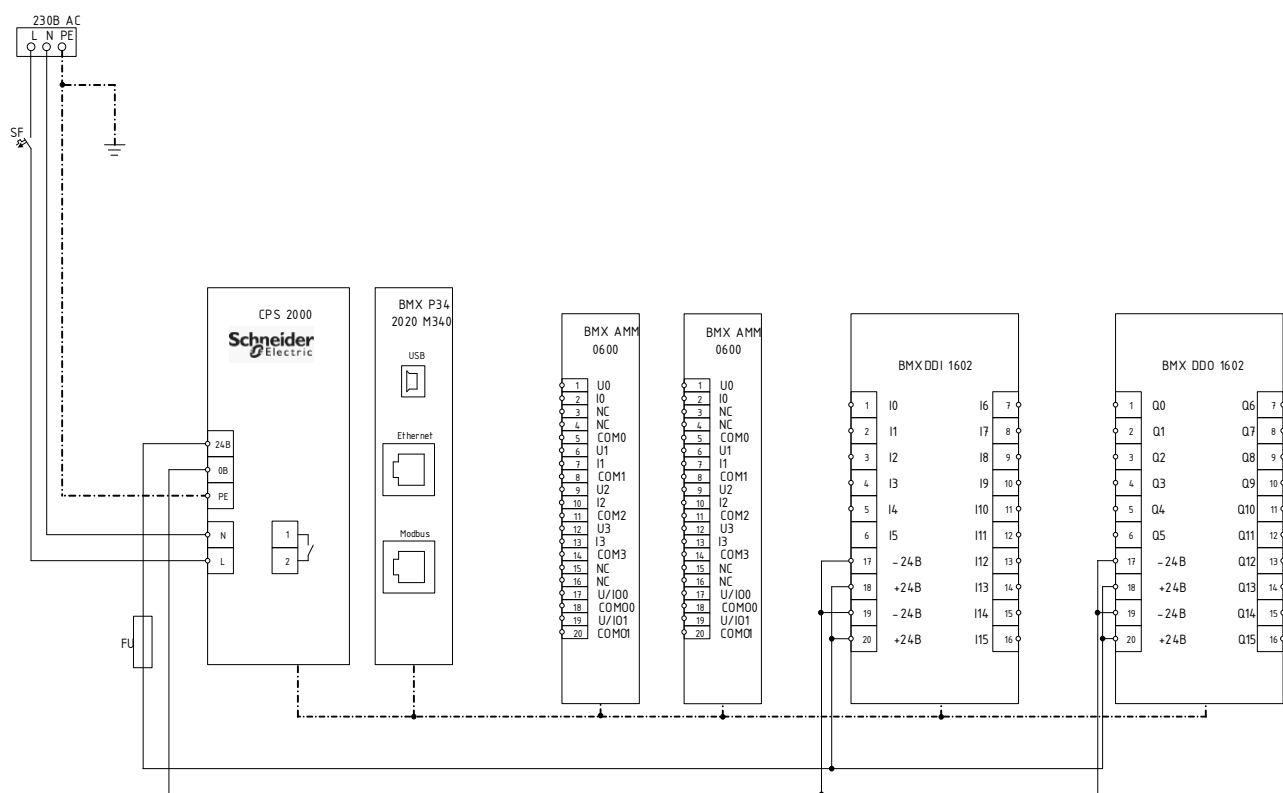


Рис. 6.1 Схема під'єднання живлення до модулів ПЛК.

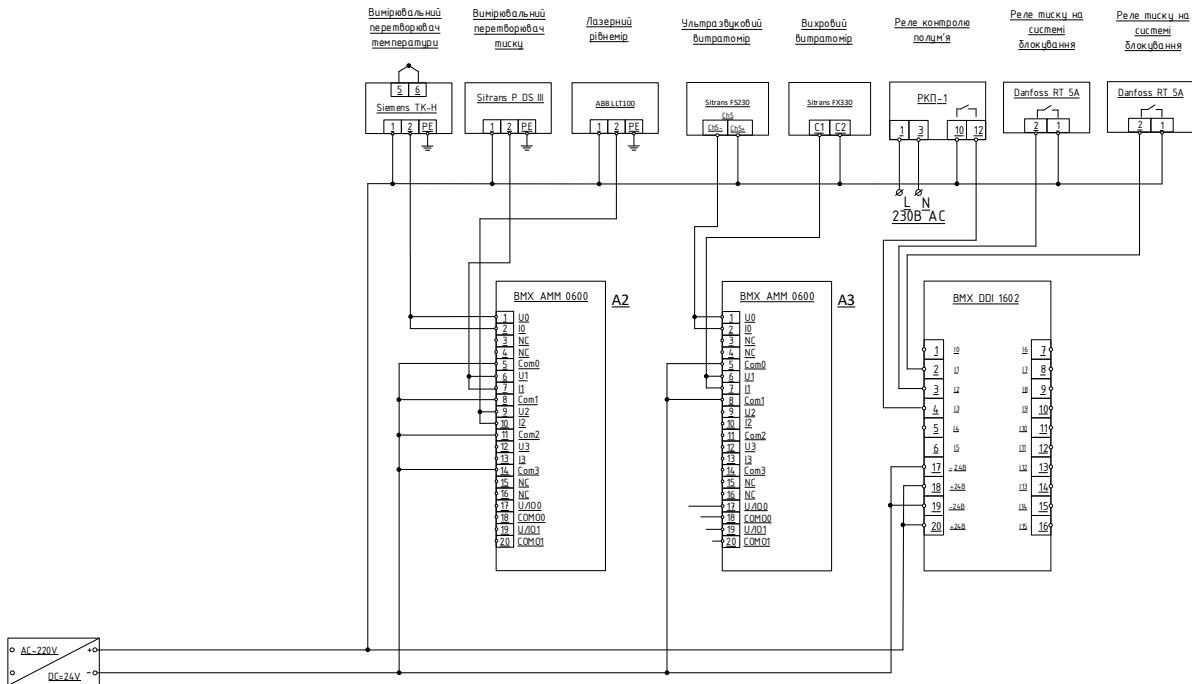


Рис. 6.2 Схема під'єднання первинних вимірювальних перетворювачів (ПВП).

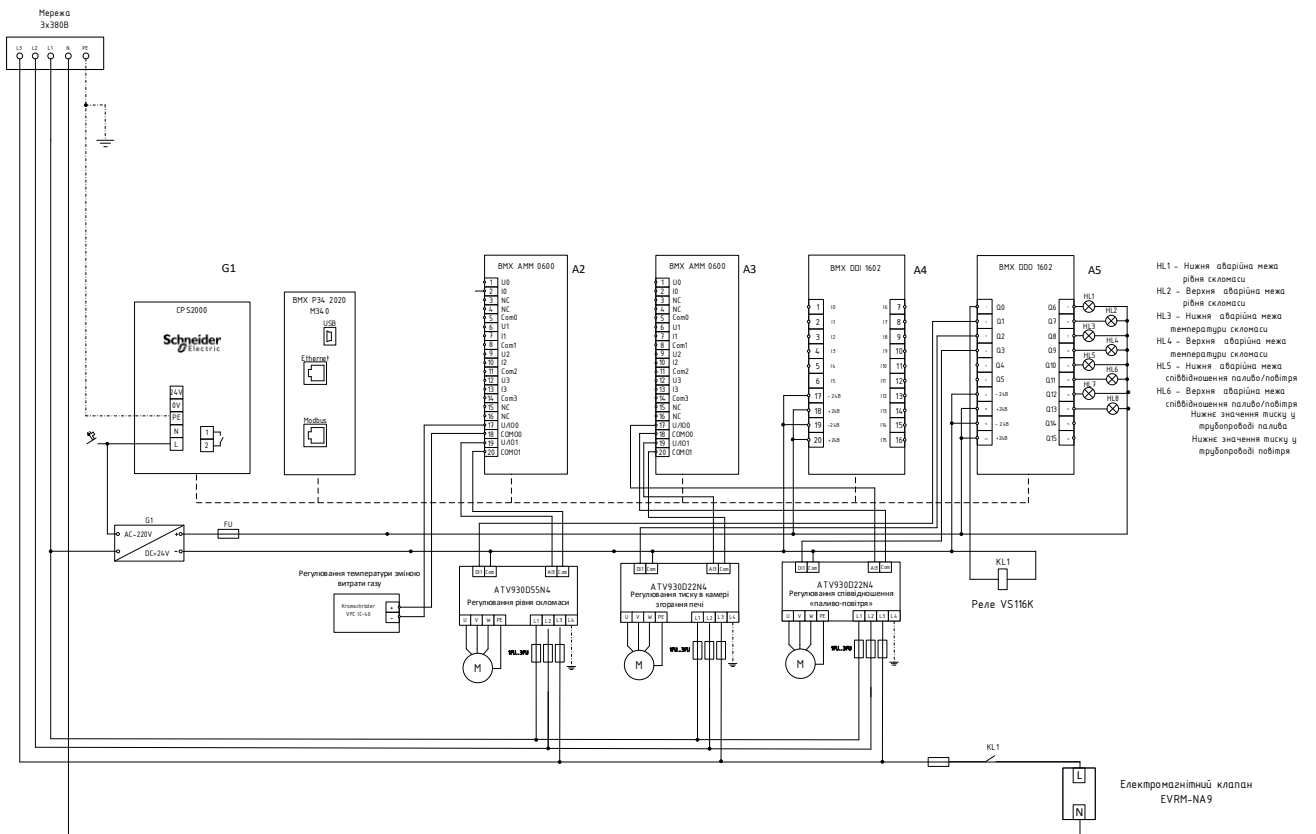


Рис. 6.3 Схема з'єднань виконавчих приладів і світлової індикації

Загальна принципова схема електричних з'єднань системи автоматизованого керування скловарною піччю зображена на графічному плакаті №3 бакалаврської роботи.

РОЗДІЛ 7

РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ

У межах цієї бакалаврської кваліфікаційної роботи для проведення розрахунків і моделювання було обрано контур автоматичного регулювання рівня скломаси в печі — контур №4, позначений на аркуші 1 функціональної схеми автоматизації (ФСА).

Об'єм розплавленого скла формується у ванні, до якої підводиться тепло від спалювання природного газу. Для забезпечення стабільного технологічного процесу в печі необхідно підтримувати визначений рівень скломаси. Цей рівень регулюється за допомогою системи завантаження шихти.

Таким чином, об'єктом регулювання в даному розділі є скловарна піч, регульованим параметром якої є рівень скломаси, а вплив на нього здійснюється шляхом зміни частоти живлення електродвигуна транспортера, що подає шихту у ванну печі.

Для того, аби забезпечити постійне підтримання певної кількості скломаси у печі, слід дотриматися таких вимог до системи регулювання рівня:

Допустимий час регулювання: 850 с;

Допустиме максимальне динамічне відхилення: 3 мм;

Допустима похибка регулювання: 0.5 мм.

Ступінь коливальності становить 0.36.

Одним із зовнішніх впливів на об'єкт є процес вивантаження скломаси, який призводить до зменшення рівня розплаву у ванні печі. Динамічна поведінка системи за цим каналом збурення описується відповідною передавальною функцією:

$$W(p) = \frac{1}{8 \cdot 10^5 p} e^{-20s}$$

7.1 Вибір структури моделі та розрахунок її параметрів

Для розрахунку та моделювання САР вихідними даними є експериментальна крива розгону, отримана шляхом стрибкоподібної зміни частоти живлення електродвигуна транспортера шихти на 5 Гц. Значення кривої розгону показано в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1

Експериментальні значення кривої розгону ОР

Час, с	Рівень, м
0	0.440
243.1	0.4405
322.8	0.441
394.92	0.4415
464.14	0.442
532.06	0.4425
599.36	0.443
666.34	0.4435
733.17	0.444
799.92	0.4445
866.62	0.445
933.31	0.4455
999.99	0.446
1066.7	0.4465
1133.3	0.447
1200	0.4475

Для даних із таблиці 7.1 будемо криву розгону в середовищі Matlab.

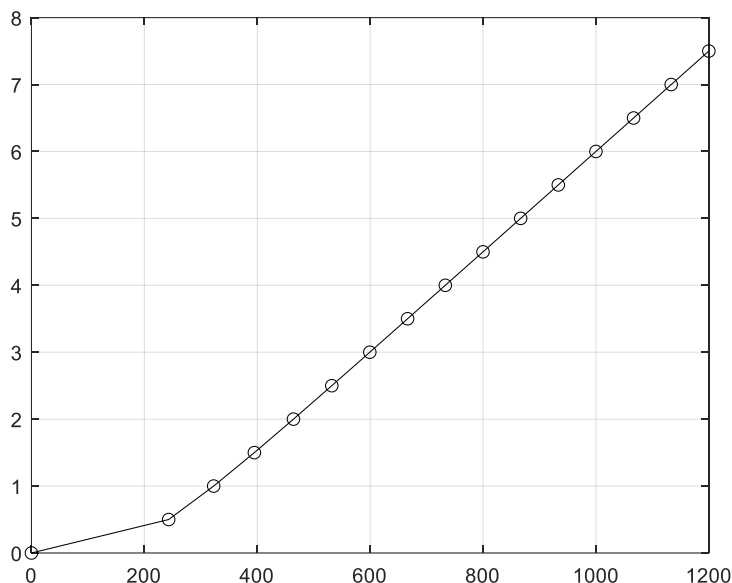


Рис. 7.1 Крива розгону, отримана при стрибкоподібній зміні частоти живлення транспортера сировини на 5 Гц

Для розрахунку передавальної функції, вибираю модель у вигляді інтегральної ланки і аперіодичної, з'єднаних паралельно. Нижче наведено її загальний вигляд:

$$W(p) = \left(\frac{v_i}{p} - \frac{k_a}{T p + 1} \right) \cdot e^{-\tau p}, \quad (7.1)$$

v_i – швидкість розгону інтегральної ланки

k_a – передавальний коефіцієнт аперіодичної ланки;

T – стала часу.

Для обчислення значень кривої розгону використовується оптимізаційний метод. Основний алгоритм роботи коду такий [21]:

1. Інтерполяція значень L_{ek} за часом t за допомогою функції `interp1`.
2. Визначення початкових значень вектора станів $[k \ 100]$ та пошук оптимальних значень за допомогою функції `fminsearch`.
3. Розрахунок передавальних функцій та їх об'єднання у W .
4. Розрахунок значень кривої розгону за допомогою функції `step`.

Для розрахунків та побудови графіків порівняння скористаємося такою програмою в середовищі Matlab:

```
%bkr1
clear all,clc;
```

```

t_ek = [0 143.1 243.1 322.8 394.92 464.14 532.06 599.36 666.34 733.17
799.92 866.62 933.31 999.99 1066.7 1133.3 1200];
L_ek = [0.440 0.440 0.4405 0.441 0.4415 0.442 0.4425 0.443 0.4435
0.444 0.4445 0.445 0.4455 0.446 0.4465 0.447 0.4475];

dy = 0.4475 - 0.440;
dx = 5;
dt= 1200-143.1
k = dy/dx
Tmax = 1200;
t = [0:1:1200];
tau = 143;
Lek=interp1(t_ek,L_ek,t);
x0=[k 100]
x=fminsearch('shfun',x0);
% Ti = 7.0462e+05;
Ti = 7.036e+05;
K = x(1); T1=x(2);

vi=1/(dy/dt/5)

[n,d]=pade(tau,20);
W_tau=tf(n,d);
W1=tf(1, [Ti 0]);
W2=tf(K, [T1 1]);
W1=tf(1, [Ti 0], 'InputDelay',tau);
W2=tf(K, [T1 1], 'InputDelay',tau);
W = (W1 - W2);

Lroz=step(W,t)*dx + 0.440;
figure(1); plot(t,Lroz, '-r',t_ek,L_ek, 'ok');grid;
title('Порівняння кривих розгону');xlabel('t,c');ylabel('Рівень,м');
delta=100*max(abs(Lroz'-Lek));
skv=100*sqrt(sum((Lroz'-Lek).^2) /length(Lek) )
sigma=abs(delta/dy)

```

Функція shfun використовується для знаходження оптимальних параметрів кривої розгону. Алгоритм роботи функції складається з таких кроків, як:

1. Інтерполяція експериментальних значень висоти t_{ek} за допомогою функції `interp1` для отримання функції l_{ek} від t .

2. Визначення параметрів кривої розгону T_i , T та k з вектора x .

3. Обчислення суми квадратів різниць між розрахунковими та експериментальними значеннями висоти L_{roz} та L_{ek} за допомогою функції `sum`.

Тобто, функція `shfun.m` повертає значення суми квадратів різниць, яке використовується для оптимізації параметрів об'єкта регулювання:

```

function s=shfun(x);
t_ek = [0 143.1 243.1 322.8 394.92 464.14 532.06 599.36 666.34 733.17
799.92 866.62 933.31 999.99 1066.7 1133.3 1200];
L_ek = [0.440 0.440 0.4405 0.441 0.4415 0.442 0.4425 0.443 0.4435
0.444 0.4445 0.445 0.4455 0.446 0.4465 0.447 0.4475];
dx = 5;
tau=143;
t=[0:1:1200];
Lek=interp1(t_ek,L_ek,t);
% Ti = 7.0462e+05;
Ti = 7.036e+05;
K = x(1); T1=x(2);

[n,d]=pade(tau,20);
W_tau=tf(n,d);
W1=tf(1, [Ti 0], 'InputDelay',tau);
W2=tf(K, [T1 1], 'InputDelay',tau);

W = (W1 - W2) * W_tau;
W = (W1 - W2);
L_roz = step(W,t)*dx + L_ek(1);
s=sum((L_roz'-Lek).^2);

```

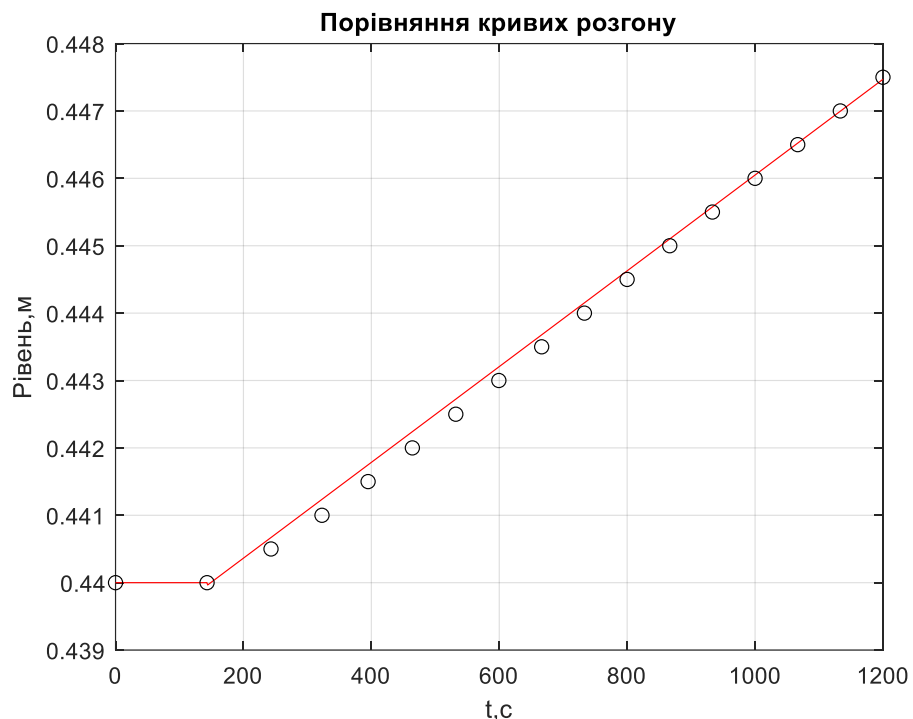


Рис. 7.2 Графік порівняння експериментальної та розрахованої кривих розгону

Знайдена передавальна функція об'єкта регулювання матиме вигляд:

$$W(p) = \left(\frac{1}{7.036 \cdot 10^5 p} - \frac{0.0000082521}{0.0019p+1} \right) \cdot e^{-143p} \quad (7.2)$$

Враховуючи, що середньоквадратичне відхилення розрахункової та експериментальної кривої розгону дорівнює 0.2 мм, що не перевищує допустиму похибку регулювання в 0.5 мм, знайдена модель є адекватною і може бути використана для побудови схеми регулювання, вибору закону регулювання та розрахунку параметрів регулятора.

7.2 Вибір структурної схеми системи регулювання та закону регулювання регулятора

Для автоматичного регулювання рівня скломаси в печі, вибрано одноконтурну систему автоматичного регулювання з ПІ законом регулювання [20]. ПІ-регулятор здатний підтримувати задане значення рівня скломаси з допустимою похибкою регулювання. Він складається з двох основних компонентів:

1. Пропорційна складова (П), яка забезпечує швидке реагування на відхилення рівня скла від заданого значення та прямопропорційно впливає на вихідний сигнал регулятора.

2. Інтегральна складова (І), яка усуває статичну помилку регулювання шляхом накопичення та інтегрування сигналу неузгодженості протягом часу. Це дозволяє точно підтримувати заданий рівень скломаси. Налаштування коефіцієнтів пропорційності та інтегрування ПІ-регулятора дозволяє досягти оптимального балансу між швидкодією та точністю підтримання рівня скла в печі.

7.3 Вибір структурної схеми регулювання, закону регулювання та розрахунок налаштування регулятора

Метод розширених частотних характеристик для оптимального налаштування параметрів ґрунтується на амплітудно-фазовому критерії стійкості [21]. Його можна трактувати як критерій запасу стійкості, якщо замість стандартних частотних характеристик використовувати розширені частотні характеристики. Щоб визначити розширену частотну характеристику елемента з відомою передавальною функцією, необхідно замінити оператор Лапласа у функції:

$$p = -m\omega \pm i\omega. \quad (7.3)$$

За розширеною АФХ ПІ-регулятора отримуємо систему рівнянь з якої визначаю оптимальні параметри налаштування регулятора, а також знаходжу частоти ПІ-регулятора ω^* до ω^{**} (де ω^* - частота, що відповідає параметру налаштування І-регулятора; ω^{**} - частота, що відповідає параметру налаштування ПІ-регулятора)

У діапазоні частот від ω^* до ω^{**} розраховують параметри налаштування ПІ-регулятора. Ступінь коливальності дорівнює 0.36.

Для визначення граничних значень частоти ω^* та ω^{**} , будуємо графік розширеної фазо-частотної характеристики об'єкту регулювання.

Граничні значення частоти: $\omega^* = 0.000505$ рад/с, $\omega^{**} = 0.00091$ рад/с (ω^* - частота, що відповідає налаштуванню І регулятора, ω^{**} - частота що відповідає налаштуванню ПІ регулятора).

Для точного визначення оптимальних параметрів налаштування регулятора необхідно розрахувати значення інтегральної квадратичної оцінки якості (J_2) за формулою (7.4):

$$J_2 = \int_0^t [y(t) - y_{\text{зад}}(t)]^2 dt \quad (7.4)$$

Для точного визначення оптимальних параметрів налаштування регулятора розроблена програма в середовищі Matlab:

```
%reg_SH.m
clear all, clc
w = [0:0.00001:0.0082];
dx = 8;
tau = 143;
k=8.2521e-06;
Ti=7.036e+05;
T=0.0019;
m = 0.36;
p = -m * w + 1i * w;
W = (1./(Ti * p) - k./(T * p + 1)) .* exp(-tau .* p);
A_op = abs(W);
Fi_op = angle(W);
kpTi = -w.*(m^2 + 1).*sin(Fi_op)./A_op;
kp = -(cos(Fi_op) + m*sin(Fi_op))./A_op;
n = length(w);
t = [0:1:3000];
for j = 1:n
    W_op1 = tf(1, [Ti 0]);
```

```

W_op2 = tf(k, [T 1]);
[num, den] = pade(tau, 10);
W_op3 = tf(num, den);
W_op = (W_op1 - W_op2) * W_op3;
W_ap = tf(kp(j), 1) + tf(kpTi(j), [1 0]);
W_cap = W_op / (1 + W_op * W_ap);
y = step(W_cap, t) * dx;
J2 = trapz(t, y.^2); z(j) = J2;
end
[J2min, j_opt] = min(z);
kp1 = kp(j_opt)
kpTi1 = kpTi(j_opt)

figure(1);plot(kp,kpTi,'b',kp1, kpTi1, 'or', 'MarkerFaceColor', 'g');
grid;
xlabel('k_p', 'FontSize', 12, 'FontName', 'Helvetica');
ylabel('k_{p}/T_{i}', 'FontSize', 12, 'FontName', 'Helvetica');
title('Границя області заданого запасу стійкості із точкою оптимальних значень');
figure(2);plot(kp, z, 'b', kp1, J2min, 'or', 'MarkerFaceColor', 'g');axis([-0.5 45 -200 4000]); grid;
xlabel('k_p', 'FontSize', 12, 'FontName', 'Helvetica');
ylabel('J_2', 'FontSize', 12, 'FontName', 'Helvetica');
title({'Залежність значень другої інтегральної оцінки', 'від коефіцієнту передачі ПІ-регулятора'});

```

Отримаємо графік границі області запасу стійкості САР з ПІ-регулятором з оптимальними параметрами налаштування (рис. 7.3) та графік залежності другої інтегральної оцінки J_2 від k_p (рис. 7.4).

Границя області заданого запасу стійкості із точкою оптимальних значень

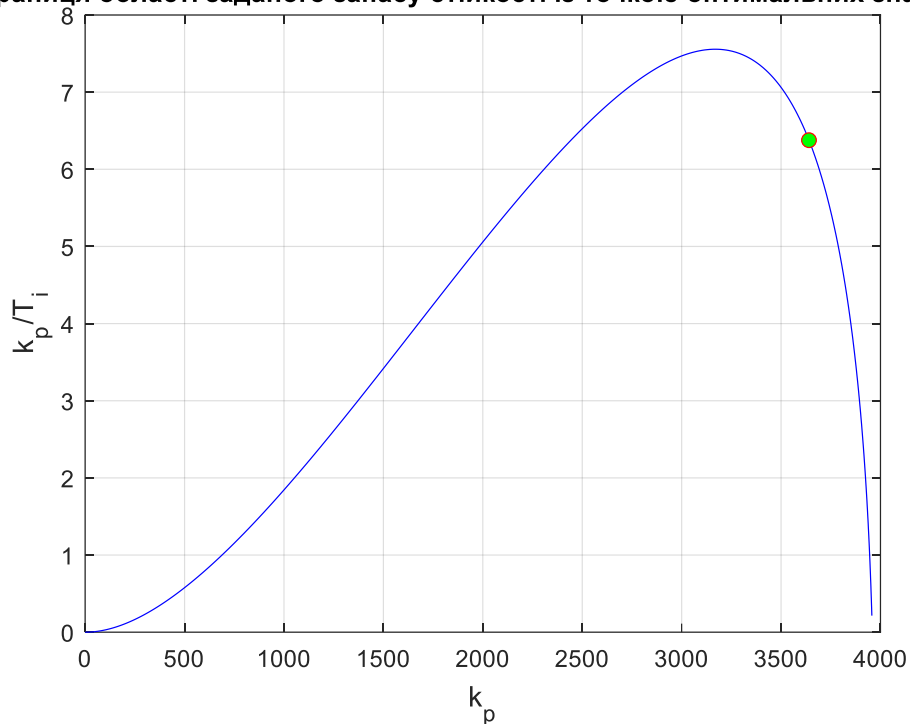


Рис. 7.3 Границя області заданого запасу стійкості із точкою оптимальних значень параметрів налаштуванні ПІ регулятора

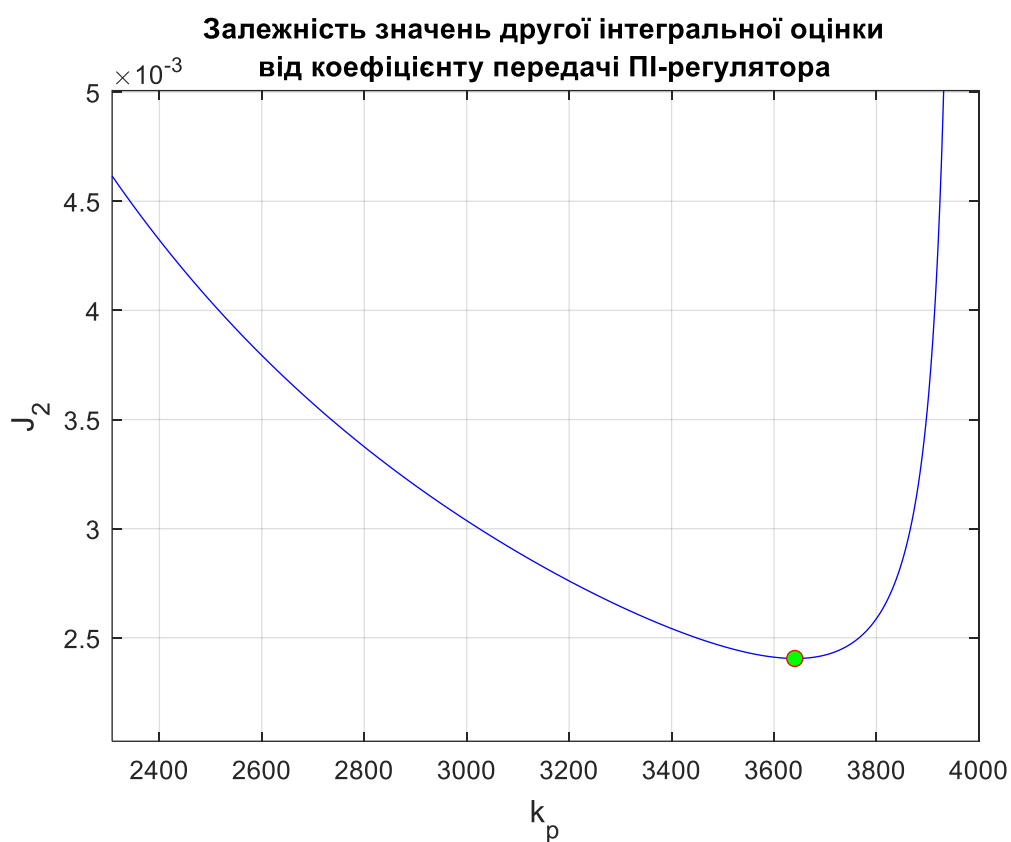


Рис. 7.4 Залежність значень другої інтегральної оцінки від передавального коефіцієнта K_p ПІ-регулятора

Отримаємо оптимальні параметри налаштування ПІ-регулятора:

$$k_p = 3.6405 \cdot 10^3 \text{ \%}/\text{мм}, \quad k_p/T_{із} = 6.3770 \text{ \%}/\text{мм}/\text{с}.$$

Тоді передавальна функція регулятора має вигляд:

$$W_{ap}(p) = 3.6405 \cdot 10^3 + \frac{6.3770}{p}. \quad (7.5)$$

7.4 Дослідження перехідних процесів САР рівня в скловарній печі

З метою дослідження автоматичного регулювання рівня скломаси в печі, проведемо моделювання в середовищі Simulink (Matlab), а саме, побудуємо структурну схему замкнutoї системи регулювання з ПІ-регулятором і дослідимо її при дії збурення, зміні заданої регульованої величини та зміні регулюючої дії.

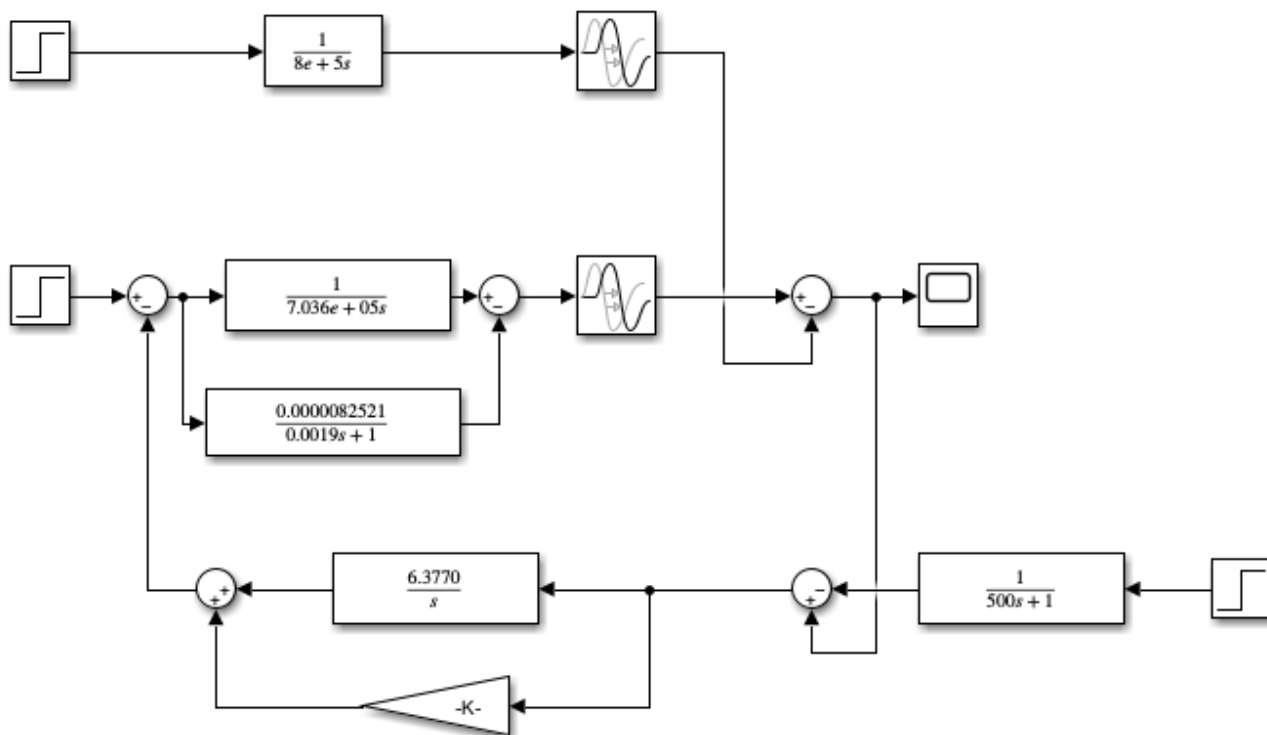


Рис. 7.6. Модель САР рівня скломаси в печі в середовищі Simulink

За допомогою моделі зображеної на рисунку 7.6 розраховуємо перехідні процеси системи автоматичного регулювання рівня скломаси при зміні регулюючої дії на 8 Гц, збурення – зміні витрати скломаси на виході печі на 10%, зміні заданого значення рівня на 2 мм.

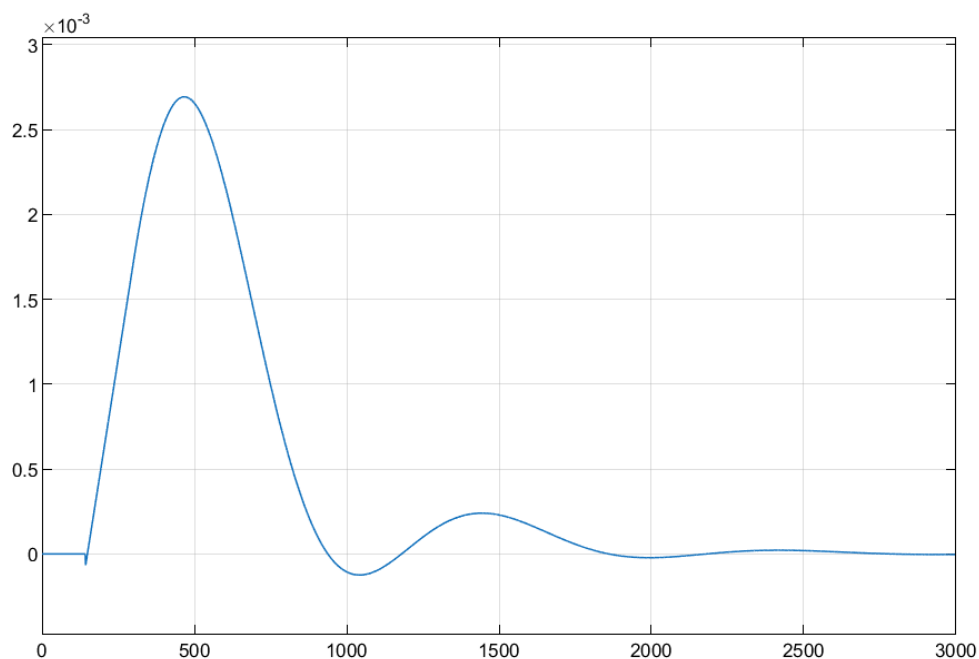


Рис. 7.7 Графік перехідного процесу, при зміні регулюючої дії на 8 Гц.

Максимальне динамічне відхилення становить 2,71 мм і не перевищує допустимого значення 3 мм.. Час регулювання із встановленою похибкою 0.5 мм становить 745с, що не перевищує заданий допустимий час регулювання 850 с.

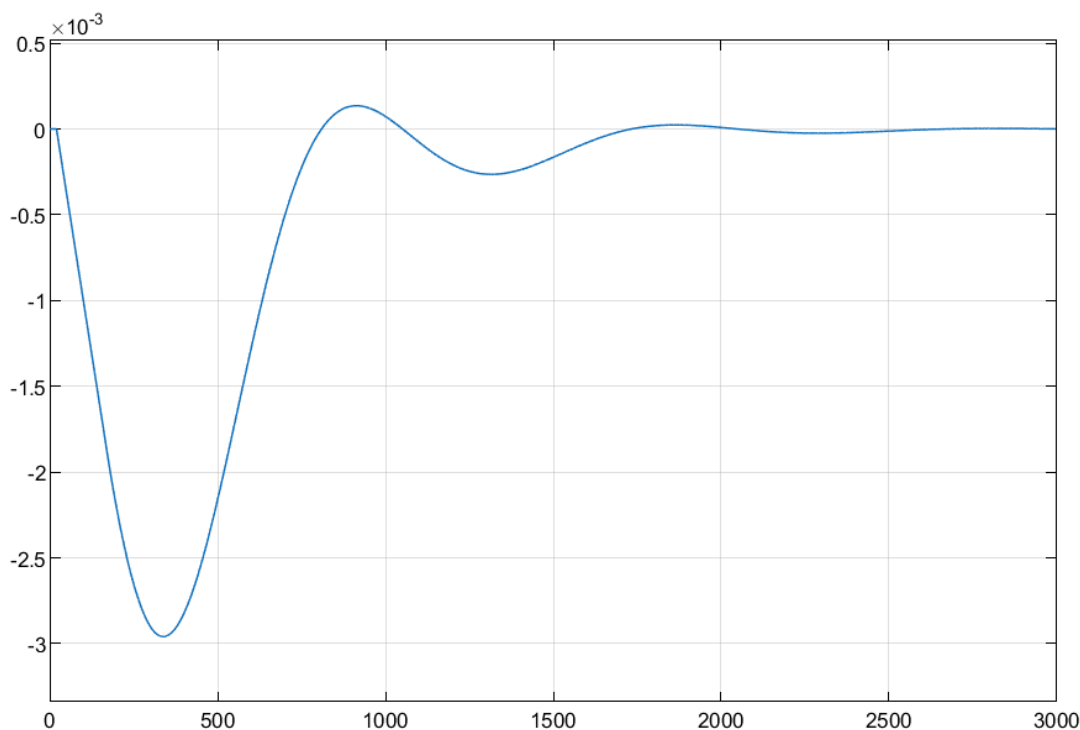


Рис. 7.8 Графік перехідного процесу, при стрибкоподібній зміні витрати скломаси з виходу печі на 10%.

Перехідний процес не перевищує допустиме максимальне динамічне відхилення 3 мм і дорівнює 2,88 мм . Час регулювання із встановленою похибкою 0.5 мм становить 642с, що не перевищує заданий допустимий час регулювання 850 с.

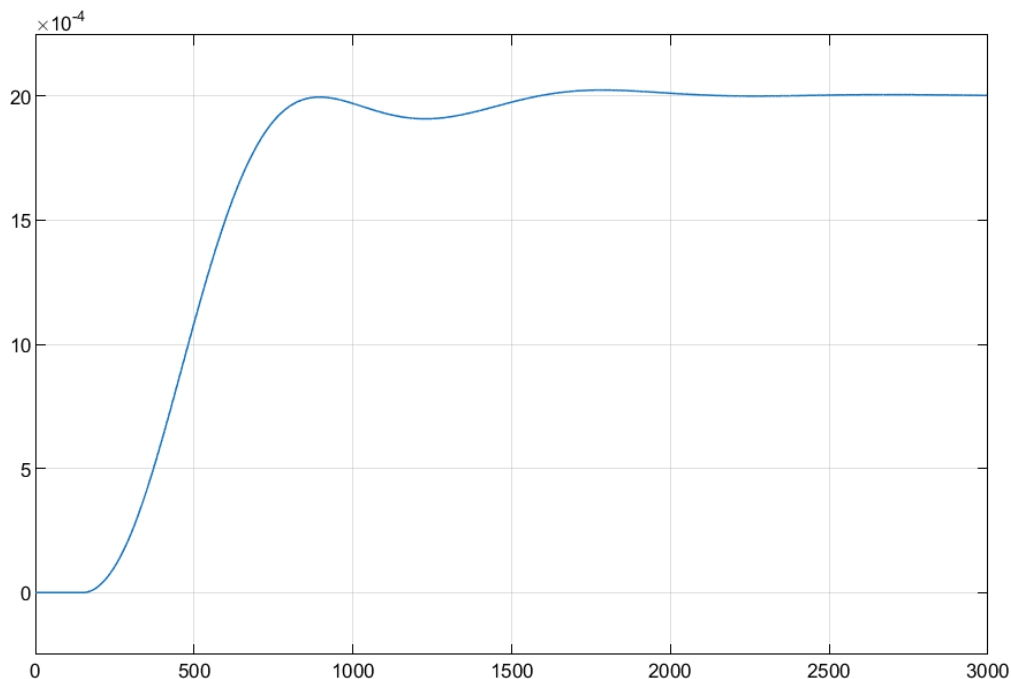


Рис. 7.9 Графік перехідного процесу, при зміні заданого значення рівня на 2 мм.

З рисунка 7.9, на якому зображений графік перехідного процесу при зміні заданого значення рівня на 2 мм. Перерегулювання становить 0,02 мм і не перевищує допустимого значення 3 мм. Час регулювання із встановленою похибкою 0.5 мм становить 756 с, що не перевищує заданий допустимий час регулювання 850 с.

Занесемо дані в таблицю результатів моделювання перехідних процесів САР в Matlab\Simulink.

Показники якості регулювання представлені нижче в таблиці:

Таблиця 7.2

Показники якості регулювання

Показник якості регулювання	Зміна регулюючої дії на 10 Гц	Стрибкоподібна зміна витрати скломаси на 10%	Зміна завдання реулятора на 2 мм	Вимоги до якості
Максимальне динамічне відхилення $A_1, \text{мм}$	2.71	2.88	0.02	3
Час регулювання, $t_p, \text{с}$	823	642	756	850

Висновки до розділу 7:

За експериментальною кривою розгону визначена передавальна функція об'єкта регулювання :

$$W(p) = \left(\frac{1}{7.036 \cdot 10^5 p} - \frac{0.0000082521}{0.0019p + 1} \right) \cdot e^{-143p} \quad (7.6)$$

Для розрахованої кривої розгону отримана абсолютна похибка апроксимації складає 0.2 мм при порівнянні розрахункової та експериментальної кривих розгону.

Вибрана одноконтурна схема САР і розраховані оптимальні параметри налаштування ПІ-регулятора з такою передавальною функцією:

$$W_{ap}(p) = 3.6405 \cdot 10^3 p + \frac{6.3770}{p} . \quad (7.7)$$

За допомогою моделі САР проведено дослідження перехідних процесів при зміні частоти живлення електродвигуна транспортера сировини, зміні витрати скломаси з виходу печі і при зміні заданого значення регулятора. Визначені показники якості підтверджують здатність системи регулювання з ПІ-регулятором та оптимальними параметрами налаштування підтримувати рівень скломаси в печі з достатньо жорсткими вимогами до відхилення рівня від заданого значення (<2мм).

РОЗДІЛ 8

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

8.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів при виконанні автоматизації ванної скловарної печі

В розділі наведено аналіз рівнів небезпеки процесів роботи і обслуговування печей для плавлення скла.

Найчастішими небезпечними ситуаціями під час експлуатації регенеративних печей для варіння скла є, насамперед, виникнення пожежі та отримання опіків при контакті з розігрітими стінками печі. Під час виконання технологічного процесу аварії здебільшого стаються через надмірний перегрів робочого середовища або зупинки подачі повітря до форсунки газового пальника. Щоб мінімізувати ризик таких ситуацій, варто впроваджувати безперервність виробничого циклу, використовувати відповідне обладнання та правильно організувати виробничі площі. Окрім цього, важливо забезпечити належні умови для зберігання, транспортування сировини, готової продукції та виробничих відходів.

Таблиця 8.1

Перелік основних небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які зустрічаються на робочому місці:

Назви шкідливих чинників	Причини виникнення	Дія на організм
Теплове випромінювання	Нагріті стінки і склепіння	Підвищення температури тіла і перегрів організму.
Підвищена температура повітря робочої зони;	Відкриті завантажувально-розвантажувальні вікна нагрітих печей, дзеркала печей ванн.	Перегрівання організму людини, теплове ураження
Завищений рівень шуму	Через мотор, вентилятори, пальники.	Створює негативний вплив на центральну нервову систему
Складність праці	Безперервна робота на ЕОМ	Підвищення втомлення, зниження уваги

Крім того, для запобігання електротравмам передбачаються заходи з контролю стану ізоляції та перевірки якості захисних властивостей електрообладнання відповідно до чинних стандартів і нормативних актів. Технічні

аспекти електробезпеки спрямовані на усунення ризику ураження електричним струмом шляхом використання засобів індивідуального захисту, організації контролю за станом ізоляції та забезпечення недоступності відкритих струмоведучих частин для персоналу.

Виробнича санітарія

Для робочої зони приміщення оптимальні та допустимі величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря встановлені з врахуванням трудомісткості та складності роботи, яка виконується, а також пори року. Персона, що обслуговує КВПіА виконують роботи середньої важкості Іа. В таблиці 8.1. представлено параметри повітряного середовища згідно стандарту [1].

Відповідно до цього створені необхідні метеорологічні умови:

Таблиця 8.2

Оптимальні та допустимі метеорологічні умови

Період року	Категорія робіт	Температура, t, °C		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
		оптимальна	допустима	оптимальна	допустима	оптимальна	допустима
холодний	Легка Іа	19÷21	17÷23	40÷60	75	0,2	≤0,3
теплий	Легка Іа	21÷23	18÷27	40÷60	65 – при 26°	0,3	0,4÷0,2

Інтенсивність інфрачервоного опромінення не повинна перевищувати 35 Вт/м², якщо впливу опромінення підлягає поверхня тіла від 50 і більше.

8.1.1 Розрахунок вентиляції цеху за тепловиділенням

Для приміщень із надлишковим виділенням тепла кількість припливного повітря визначається за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{надл}}}{c \cdot \rho \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}})} \quad (8.1.1)$$

- L — необхідна кількість припливного повітря, м³/год
- $Q_{\text{надл}}$ — надлишкове тепло в приміщенні, ккал/год
- c — питома теплоємність повітря: **1 кДж/(кг·°C)** або **0,239 ккал/(кг·°C)**
- ρ — густина повітря при зовнішній температурі, кг/м³
- $t_{\text{вн}}$ — температура повітря всередині приміщення, °C
- $t_{\text{зовн}}$ — температура припливного (зовнішнього) повітря, °C
- **Витрати тепла печі (Q) = 2 000 000 ккал/год** (приблизно для печі продуктивністю ~2 т/добу; можна уточнити).
- Частка тепла, яка виділяється у приміщення від печі ($Q_{\text{надл}}$): приблизно 10–20 % (типово для регенеративної печі)

$$Q_{\text{надл}} = 2\,000\,000 \times 0.15 = 300\,000 \text{ ккал/год}$$

- Температура всередині цеху ($t_{\text{вн}}$) = 28 °C
- Температура припливного зовнішнього повітря ($t_{\text{зовн}}$) = 18 °C
- Питома теплоємність повітря: $c = 0.24 \text{ ккал/(кг·°C)}$
- Густина повітря при 18 °C: $\rho \approx 1.2 \text{ кг/м}^3$

Підставивши значення у (8.1.1) отримаємо:

$$L = \frac{300\,000}{0.24 \cdot 1.2 \cdot (28 - 18)} = \frac{300\,000}{2.88} = 104\,166 \text{ м}^3/\text{год}$$

8.2 Інженерно-технічні заходи щодо усунення шкідливих та небезпечних факторів

Усі операції з подавання, відбору та переміщення сировини і скла виконуються за допомогою кранів і штовхальних механізмів.

Теплове випромінювання — це передача теплової енергії у вигляді інфрачервоного випромінювання з довжиною хвилі приблизно 10 мкм. Джерелами такого випромінювання виступають об'єкти, нагріті до температур, що перевищують температуру навколишнього середовища, зокрема гарячі стінки котлів, розігріті труби, а також розплавлені метали. При цьому теплота випромінювання не затримується повітрям, а безпосередньо передається від гарячих тіл до холодніших, що призводить до їх нагрівання. Повітря у виробничих приміщеннях прогрівається здебільшого завдяки конвекції — при контакті з нагрітими поверхнями. Перевищення допустимої температури у робочій зоні порушує нормальну терморегуляцію організму, що може спричинити захворювання серцево-судинної системи або навіть тепловий удар.

Щоб знизити теплові втрати й захистити персонал від надлишкового випромінювання, печі оснащують високоефективною керамічною волокнистою футеровкою. Волокнисті матеріали дозволяють формувати легкі конструкції облицювання стін і склепіння, поєднуючи властивості вогнетривкості та теплоізоляції. При цьому склепіння одночасно виконує функцію теплозахисного екрану, оскільки коефіцієнт випромінювання матеріалів становить близько 0,95–0,96 у температурному діапазоні від 1000 до 1600 °С.

Для підтримання оптимального мікроклімату у виробничих цехах передбачена ефективна система аерації, що запобігає надмірному нагріванню повітря. Аерація — це природний вид вентиляції, що виникає завдяки різниці температур між внутрішнім і зовнішнім повітрям та впливу вітру. Витяжні отвори розміщують у верхній частині будівлі (витяжні ліхтарі), а припливні — у нижніх секціях стін.

Особлива увага приділяється оптимальному розташуванню витяжних і припливних отворів з урахуванням місць концентрації теплових джерел. Це забезпечує ефективне видалення нагрітого та забрудненого повітря і рівномірне постачання свіжого повітря до робочих зон найкоротшими шляхами. У багатопрольотних гарячих цехах, де важко забезпечити прямий доступ свіжого повітря до віддалених ділянок, додатково використовують припливні ліхтарі на покрівлі й отвори у торцевих стінах, що формують холодні прольоти. Такий підхід створює повітряні канали, якими зовнішнє повітря легко потрапляє у віддалені частини виробничої будівлі.

Приміщення КВПіА має штучне та природне освітлення. Встановлені за нормативами ДБН В.2.5-28:2018 наступні вимоги до системи штучного освітлення:

- освітленість на робочому місці відповідає характеру зорової роботи (найменший розмір об'єкту розділення складає $0,5 \div 1,0$ мм – робота середньої точності);
- забезпечено достатню рівномірність розподілу яскравості на робочій поверхні, а також в межах навколишнього простору;
- на робочій поверхні відсутні різкі тіні;
- в полі зору відсутні прямі та відбиті відблиски;
- величина освітленості постійна у часі;
- оптимальна спрямованість світлового потоку та необхідний склад світла.

Природне освітлення здійснюється через бокові світлопрорізи, які забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) відповідно з ДБН В.2.5-28:2019: $KPO_{III} = 1,5\%$ при боковому освітленні для робіт середньої точності (об'єкт розрізнення $0,5 - 1,0$ мм.).

Для території України:

$$KPO_{IV} = KPO_{III} \cdot m,$$

де

m – коефіцієнт кліматичної зони ($=0,9$);

Отже,

$$\text{КПО}_{IV} = \text{КПО}_{III} \cdot m = 1,5 = 1,35\%.$$

Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски, передбачено сонцезахисні пристрої. Норми штучного освітлення складають 300лк, світильники штучного освітлення вибираємо типу:ДПП09У.

Яскравість світильників загального освітлення в зоні кутів випромінювання від 50 град, до 90 град, відносно вертикалі в подовжній і поперечній площинах повинна складати не більше 200 кд/кв.м, а захисний кут світильників повинен бути не більшим за 40 град.

Механічний шум виникає через вібрацію робочих поверхонь обладнання та удари деталей у вузлах машин. Для його зниження застосовують заміну сталевих зубчастих передач на чавунні, використовують підшипники ковзання та спеціальні мастила. Регулярно контролюють ступінь зношування деталей (зубчастих коліс, втулок, роликів тощо). Особливо гучні механізми розміщують у звукоізолювальних кожухах.

Аеродинамічний шум пов'язаний із пульсаціями тиску під час руху газів у трубопроводах, наприклад, у вентиляційних системах. Для його зменшення застосовують заходи звукоізоляції та встановлюють шумоглушники.

8.3 Пожежна безпека

У виробничому приміщенні цеху здійснюється процес варіння скла, що передбачає роботу з вогнетривкими матеріалами у стані високих температур, що супроводжується виділенням інтенсивного теплового випромінювання, появою іскор і відкритого полум'я, а також використанням газоподібного палива. З огляду на це, відповідно до вимог ДСТУ Б В 1.1-36:2016, приміщення належить до категорії Г за вибухо- та пожежонебезпечністю. З точки зору класифікації пожеж, цех відповідає класам «С» та «D». [15]

Основні причини виникнення пожеж у цьому виробничому середовищі можуть включати: помилки у конструкції та обслуговуванні печей, несправність технічного обладнання або порушення технологічного процесу (наприклад, розгерметизація агрегатів), недбале поводження з відкритим полум'ям, неправильне облаштування систем вентиляції, а також можливість самозаймання матеріалів.

Усі робітники, службовці та ІТП у разі приймання на роботу повинні бути навчені правилам користування первинними засобами пожежогасіння і проінструктовані про заходи пожежної безпеки [12], про що вноситься запис у спеціальний журнал. Особи, які не пройшли інструктаж, до роботи на об'єкті не допускаються.

Крім періодичного інструктажу і пожежотехнічного мінімуму, які проводяться не рідше 1 разу на рік, для робітників служби КВПіА і обслуговуючого персоналу скловарного цеху проводиться повторний протипожежний інструктаж.

Для встановлення і підтримання належного режиму експлуатації цеху усі її будівлі, споруди і приміщення класифікуються з вибухо- і пожежонебезпеки.

Для підвищення рівня пожежної безпеки рекомендується встановити автоматичну систему пожежної сигналізації. З урахуванням того, що приміщення класифікується як категорія Г, а ймовірні пожежі — класів С і D, необхідно обладнати цех не менше ніж двома пінними вогнегасниками ВПП-10 (об'ємом 10 л кожен) та двома порошковими вогнегасниками ВП-5_з (ємністю 5/4 л/кг).

8.4 Ергономіка

Основною метою організації робочого місця є створення таких умов праці, які сприяють досягненню максимальної продуктивності та надійності роботи оператора. Інтерфейс пульта керування має бути інтуїтивно зрозумілим і максимально зручним у використанні. Робочий стіл повинен бути спроектований

так, щоб розміщення обладнання та офісної техніки відповідало їх конструктивним особливостям і не заважало виконанню операцій.

Інтерфейс має відповідати актуальним ергономічним стандартам і забезпечувати легкий доступ до основних функцій і операцій системи. Передбачається, що основні дії оператор виконуватиме за допомогою комп'ютерної миші. Усі підписи у вікнах, а також повідомлення для користувача (за винятком системних) повинні бути українською мовою.

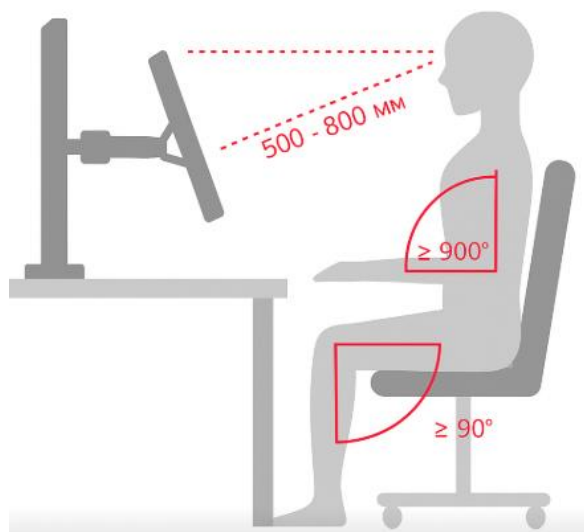


Рисунок 8.1 Робоче місце оператора

Екран повинен бути розташований на такій відстані від очей оператора, яка відповідає розмірам відображуваних алфавітно-цифрових символів: оптимально — у межах **50–80 см**, але не ближче ніж 50 см. Клавіатуру рекомендується розміщувати на поверхні стола на відстані **10–30 см** від його переднього краю або на окремій робочій панелі з регульованою висотою, яка конструктивно відокремлена від основної стільниці. Додатково бажано обладнати клавіатуру спеціальною опорною планкою для зручності рук.

Робоче сидіння є складовим елементом робочого місця і повинно гарантувати підтримку правильної робочої пози працівника у положенні «сидячи». Такі сидіння мають забезпечувати:

- підтримання такої пози тіла, за якої навантаження на м'язи мінімальне;
- можливість змінювати позу для зниження статичної напруги спини;
- умови для нормальної життєдіяльності організму;
- комфорт при посадці та вставанні;
- свободу рухів тулуба й кінцівок під час виконання роботи.

Робочі стільці й крісла розраховані на довготривалу експлуатацію, тому мають бути оснащені сидінням, спинкою, опорною конструкцією, підлокітниками та підголівником (для крісел), а також підставкою для ніг.

Крім того, система повинна коректно реагувати на аварійні ситуації, що можуть виникнути через некоректні дії користувача, невірний формат або недопустимі значення введених даних. У таких випадках програма має виводити відповідне повідомлення та повертатися у робочий стан, що передував помилковій команді чи некоректному введенню.

Висновки до розділу 8

РОЗДІЛ 9

**ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ
ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ
МАЛОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ**

Нижче описано розрахунок коштових витрат на впровадження та реалізацію системи автоматичного керування процесом варіння скла, а саме: витрати на засоби автоматизації, монтажні роботи, транспортування та ін. Витрати на транспортування дорівнюють - 25 % від вартості КВПіА. Вартість монтажних робіт складає ціна роботи працівників, витрати на матеріали та накладні витрати і дорівнює - 40 % від вартості загальної КВПіА [23].

Таблиця 9.1

Кошторис витрат на автоматизацію

№ п/п	Тип приладу	Назва приладу	К-сть	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
1	2	3	4	5	6
1	Модуль блоку живлення Вхідна номінальна напруга 220В Вихідна напруга:24В	BMX CPS2000	1	8 432	8 432
2	Модуль аналогових вхідних та вихідних сигналів Аналогових входів – 8 Аналогових виходів – 4	BMX АММ 0600	2	41 994	83 988
3	Модуль дискретних вхідних сигналів Дискретних входів – 4	BMX DDI 1602	1	7041	7 041
4	Модуль дискретних вихідних сигналів Дискретних виходів – 16	BMX DDO 1602	1	7 956	7 956
5	Термопара	Тип В НТ 4060	1	5 700	5 700
6	Нормуючий перетворювач	SITRANS ТК-Н	1	13 300	13 300

Продовження таблиці 9.1

1	2	3	4	5	6
7	Регулюючий клапан	Kromschroder VFC	1	34 200	34 200
8	Електричний привід	IC-40	1	19 000	19 000
9	Перетворювач тиску	Sitrans P DS III (7MF4433)	1	17 100	17 100
10	Частотний перетворювач	ATV930D22N4	2	102 584	205 168
11	Вентилятор	Вентилятор ВЦ 14-46	2	27 612	55224
12	Ультразвуковий витратомір	Siemens Sitrans FS230 Gas	1	114 000	114 000
13	Вихровий витратомір	Siemens SITRANS FX330	1	57 000	57 000
14	Лазерний рівнемір	LLT100	1	106 400	106 400
15	Електродвигун АР112М2	Потужність - 7.5 кВт Напруга - 380 В	2	9 423	18 846
16	Електромагнітний клапан	EVRM-NA9	1	25 000	25 000
16	Частотний перетворювач	ATV930D55N4	1	206 606	206 606
17	Електродвигун АР180S2	Потужність - 22 кВт Напруга живлення - 380 В	1	3 2998	32 998
18	Реле VKS 116K	Напруга живлення 24 В	1	720	720
	Загалом				1 017 959

Розрахунок вартості монтажних робіт:

$$1\,017\,959 \cdot 0.45 = 458\,081 \text{ грн} \quad (9.1)$$

Розрахунок транспортних витрат:

$$1\,017\,959 \cdot 0.25 = 254\,489 \text{ грн} \quad (9.2)$$

Отже, загальні витрати на впровадження (кошторис) системи становлять:

$$1\,017\,959 + 458\,081 + 254\,489 = 1\,730\,530 \text{ грн} \quad (9.3)$$

Амортизаційні витрати означають втрату вартості майна або інвестицій протягом їх корисного терміну використання. Ці витрати виникають через знос, старіння або застарілістю активів, таких як обладнання, будівлі або технологічні системи.

У системі автоматизації процесу варіння скла, амортизаційні витрати можуть включати в себе вартість встановлення засобів автоматизації, таких як, первинних вимірювальних перетворювачів, регулюючих клапанів, пускачів та інших складових. Амортизаційні витрати будуть розраховуватись протягом корисного терміну служби цих систем.

Далі необхідно розрахувати амортизаційні витрати, вони становлять – 40 % від загальних витрат.

$$1\ 730\ 530 \cdot 0.4 = 692\ 211 \text{ грн} \quad (9.4)$$

Розрахунок впливу автоматизації на техніко-економічні показники

Впровадження автоматизації приводить до змін техніко-економічних показників виробництва. Слід визначити напрямки розрахунку економії від впровадження автоматизації, зобразити, які показники впливають на економічну ефективність автоматизації: завдяки зниженню витратних коефіцієнтів сировини, допоміжних матеріалів, палива, енергії; збільшення виробничої потужності; зниження трудомісткості обслуговування; збільшення якості продукції тощо.

До впровадження системи автоматизації, продуктивність установки сягала 650 тон скла в рік.

Опісля впровадження системи автоматизації, продуктивність печі досягла 730 тон скла на рік за тих же витрат сировини, оскільки перебіг процесу відбувається з дуже високою точністю витрат.

Обрахунок різниці продуктивності установки до і після впровадження системи автоматизації:

$$730 - 650 = 80 \text{ т} \quad (9.5)$$

Вартість 1т скла в Україні дорівнює 5000 грн станом на 2025 рік. Тоді сума грошових заощаджень за рік буде становити:

$$80 \cdot 5\,000 = 400\,000 \text{ грн/рік} \quad (9.6)$$

Розрахунок чисельності основних робітників бригади

Враховуючи особливості процесу виробництва і виробничого обладнання, необхідно розподіляти обов'язки між робітниками зміни, встановити тарифні розряди робітникам, користуючись при цьому діючими тарифно-кваліфікаційними довідниками.

Явочну чисельність робітників визначається з розстановочного штату і змінної роботи. Щоб перейти від явочної чисельності робітників до спискової необхідно визначати коефіцієнт переходу:

- Для працівників з постійним режимом роботи:

$$K_{\text{п}} = T_{\text{к}} / T_{\text{еє}} = 365 / 245 = 1,5 \quad (9.7)$$

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

Для визначення ефективного фонду робочого класу складаємо баланс робочого часу одного середньоспискового робітника із врахуванням режиму роботи. При скороченні чисельності основних робітників після впровадження автоматизації зменшуються витрати на оплату праці. Економію по охороні праці визначають як добуток чисельності звільнених робітників на середньорічну суму витрат по кожній із зазначених статей.

Розрахунок фонду заробітної плати (основних робітників)

Планування та нарахування заробітної плати здійснюється згідно з законом “Про оплату праці”, залежно від категорії персоналу на основі тарифної системи. Тарифна система — це сукупність взаємопов'язаних елементів тарифної сітки, тарифних ставок, схем посадових окладів і тарифно-кваліфікаційних характеристик.

Структура заробітної плати характеризується такими складовими:

- фонд основної заробітної плати;
- фонд додаткової заробітної плати;
- інші заохочувальні і компенсаційні виплати.

Прямий розрахунок фонду заробітної плати одного робітника здійснюється так:

$$\Phi ЗП_{річ} = \Phi ЗП_{ос} + \Phi ЗП_{дод} \quad (9.9)$$

тобто річний фонд заробітної плати рівний сумі фонду основної заробітної плати і фонду додаткової заробітної плати. $\Phi ЗП_{осн}$ — можна обчислити як за погодинною системою оплати, так і за відрядною.

За погодинної оплати праці:

$$\Phi ЗП_{осн} = C_{сер} \cdot T_{сер} \cdot n \quad (9.10)$$

де $C_{сер}$ — тарифна ставка (погодинна, денна) грн.; $T_{сер}$ — ефективний час роботи, в годинах або днях відповідно.

$$\Phi ЗП_{осн} = 70 \cdot 1960 \cdot 8 = 1\,097\,600 \text{ грн.}$$

$$\Phi ЗП_{дод} = D_{пр} + D_{к} + D_{св} \quad (9.11)$$

де $D_{пр}$ — доплати у вигляді премій, згідно з актуальними положеннями;

$$D_{пр} = \Phi ЗП_{осн} \cdot P_{пр} = 1\,097\,600 \cdot 0,25 = 274\,400 \text{ грн} \quad (9.12)$$

$P_{пр}$ — процент премії; $D_{н}$, $D_{в}$ — доплати відповідно в нічний і вечірній час:

$$D_{н} = 1\,097\,600 / 3 \cdot 0,4 = 146\,346 \text{ грн.}$$

$$D_{в} = 1\,097\,600 / 3 \cdot 0,2 = 73\,173 \text{ грн}$$

Доплата за роботу в святкові дні $D_{св}$:

$$D_{св} = 12 \cdot 3 \cdot 8 \cdot 70 = 20\,160 \text{ грн}$$

$$\Phi ЗП_{дод} = 274\,400 + 146\,346 + 73\,173 + 20\,160 = 514\,079 \text{ грн.}$$

Оплата днів перебування у відпустці (основній) $\Phi ЗП$ дорівнює середньоденному заробітку, помноженому на кількість днів відпустки. Середньоденна зарплата обчислюється діленням суми фонду основної заробітної плати і доплати на ефективний фонд в днях:

$$\Phi ЗП_{\text{від}} = (1\,097\,600 + 514\,079) / 245 \cdot 24 = 157\,878 \text{ грн.}$$

$$\Phi ЗП_{\text{р}} = \Phi ЗП_{\text{осн}} + \Phi ЗП_{\text{дод}} + \Phi ЗП_{\text{від}} = 1\,097\,600 + 514\,079 + 157\,878 = 1\,769\,557 \text{ грн. (9.13)}$$

$$\text{Середньомісячна зарплата дорівнює} = 1\,769\,557 / (12 \cdot 8) = 18\,432 \text{ грн.}$$

Таблиця 9.2

Показники фонду робочого часу

Показники	Неперевне виробництво, 8-годинний робочий день, 4-х бригадний графік
1. Календарний фонд часу	365
2. Вихідні дні	-
3. Святкові дні	91
4. Номінальний фонд робочого часу, днів	274
5. Невиходи на роботу, днів:	
чергова відпустка	
відпустка через вагітність	24
відпустка через хворобу	2
виконання державних обов'язків	1
відпустка у зв'язку з навчанням	1
6. Разом невиходи на роботу, днів	29
7. Ефективний час роботи, днів:	245
- годин	1960

Таблиця 9.3

Розрахунок явочної кількості працівників

№	Назва	Тарифний розряд	Штат у зміну	Число змін	Явочна кількість на добу
2	Оператор	VI	1	3	3
3	Оператор	V	1	3	3

Оскільки до автоматизації кількість осіб складала три особи в зміну, а після автоматизації вистачатиме одного оператора в зміну, економія завдяки зниженню кількості персоналу буде:

$$E_z = Z_{\text{роб}} \cdot 12 \cdot n = 18\,432 \cdot 12 \cdot 3 = 663\,583 \text{ грн/рік} \quad (9.14)$$

де $Z_{\text{роб}}$ — місячна зарплата одного працівника, грн/міс;

n – кількість робітників.

Сумарна економія дорівнює:

$$E_c = E_1 + E_z = 400\,000 + 663\,583 = 1\,063\,583 \text{ грн.} \quad (9.15)$$

Розрахунок користувальницьких витрат на автоматизацію

Таблиця 9.4

п/п	Назва приладу	Потужність приладу, Вт	К-сть приладів	Загальна потужність, Вт	К-сть год. Роботи на рік. год.	Витрати ел. Енергії в рік. кт.год
1	2	3	4	5	6	7
1	BMX CPS2000	20	1	20	8 760	175,2
2	ATV930D55N4	55000	1	55000	8 760	481 800
3	ATV930D22N4	22000	2	22000	8 760	192 720

До експлуатаційних витрат на автоматизацію належать:

А) Енергозатрати на живлення пристроїв і засобів автоматизації

Загалом сумарна витрата електроенергії на живлення засобів автоматизації становить 674 695 кВт·год на рік.

Ціна спожитої енергії дорівнюватиме:

$$Z_1 = 674\,695 \cdot 6,323 = 4\,266\,097 \text{ грн/рік}$$

Б) Витрати на утримання прийнятного робітника на обслуговування КВПіА:

$$Z_2 = Z_{\text{роб}} \cdot 12 \cdot 1 \cdot n \quad (9.16)$$

$$Z_2 = 18\,432 \cdot 12 \cdot 1 = 221\,184 \text{ грн/рік}$$

В) Витрати на амортизацію:

$$Z_3 = 692\,211 \text{ грн.}$$

Г) Витрати на охорону праці знову прийнятих робітників на обслуговування

КВПіА:

$$З_4 = 6000 \text{ грн/рік}$$

Д) Витрати на потреби у ремонті КВПіА:

$$З_5 = 50\,000 \text{ грн/рік}$$

Г) Єдиний соціальний внесок + військовий збір:

$$З_6 = (0,22 + 0,015) \cdot З_2 = 51\,978 \text{ грн/рік} \quad (9.17)$$

Експлуатаційні витрати дорівнюватимуть:

$$\begin{aligned} З_е = З_1 + З_2 + З_3 + З_4 + З_5 + З_6 &= 4\,266\,097 + 221\,184 + 692\,211 + 6000 + 50\,000 + 51\,978 = \\ &= 5\,287\,470 \text{ грн/рік} \end{aligned} \quad (9.18)$$

Обрахунок річного економічного ефекту і часу окупності

А) річний економічний ефект визначаємо за формулою:

$$Е_p = E_{\text{заг}} - K \cdot E_n = -4\,223\,887 - 1\,730\,530 \cdot 0,15 = -3\,964\,308 \text{ грн} \quad (9.19)$$

де $E_{\text{заг}}$ — загальна умовно-річна економія при різних джерелах і визначається за формулою:

$$E_{\text{заг}} = E_c - З_е = 1\,063\,583 - 5\,287\,470 = -4\,223\,887 \text{ грн} \quad (9.20)$$

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

K - капітальні витрати на автоматизацію (відповідно до кошторису);

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

$З_е$ - експлуатаційні витрати з автоматизації.

Б) Термін окупності:

$$T_{\text{ок}} = K / E_{\text{заг}} = 1\,730\,530 / -4\,223\,887 = -4.1 \text{ (роки)} \quad (9.21)$$

В) Коефіцієнт економічної ефективності:

$$E = 1 / T_{\text{ок}} = 1 / -4.1 = -0.24 \quad (9.22)$$

Таблиця 9.5

№	Показник	Одиниці	Величина
1	Витрати на автоматизацію	Грн.	1 730 530
2	Чисельність робітників в день (3 зміни)	Чол.	3
3	Середньорічна заробітна плата	Грн.	18 432
4	Річний економічний ефект	Грн.	-3 964 308
5	Термін окупності	Роки	-4.1
6	Коефіцієнт економічної ефективності	-	-0.24

Висновки до розділу 9

У цьому розділі здійснено детальний розрахунок витрат на придбання приладів для автоматизації, а також проаналізовано витрати на монтаж, транспортування та амортизацію обладнання. Окрім цього, проведено порівняльний аналіз показників продуктивності до впровадження системи автоматизації процесу варіння скла та після нього, що дало змогу визначити обсяг отриманих фінансових заощаджень. Також визначено час окупності, що склав -4,1 року. Отже, можна зробити висновок, що застосування системи автоматизації для скловарної печі малої продуктивності є економічно необґрунтованим і фінансово неефективним, оскільки не демонструє значних економічних вигод.

ВИСНОВКИ

У цьому дипломному проєкті я дослідив процес автоматизації скловарної печі невеликої продуктивності, а саме 2т/добу, розробив конфігурацію програмного забезпечення для процесу скловаріння із використанням мікропроцесорного програмного засобу автоматизації серії Modicon M340 виробництва компанії Schneider Electric. Розробив функціональні схеми для процесу як об'єкта керування, обчислив грошові витрати на впровадження системи автоматизації

В третьому розділі було описано всі технічні засоби, які були використані в даній системі автоматизації і були наведені їх схеми підключення. Також був наведений технічний опис та будову Modicon M340 виробництва компанії Schneider Electric, також були наведені схеми підключень. Був проведений вибір оптимальних модулів та оптимальної рейки на основі спрощеної схеми автоматизації, яка наведена у розділі 2.

В четвертому розділі розробив розширену функціональну схему автоматизації та її детальний опис.

В п'ятому розділі був наведений опис та фрагменти програм розроблених для мікроконтролера Modicon M340 на базі програмного забезпечення UnityPro.

В шостому розділі були наведені уривки електричних схем підключення живлення, підключення ПВП та вимірювальних реле і виконавчих приладів з сигналізацією.

В сьомому розділі розраховано та змодельовано одноконтурну систему регулювання та визначені оптимальні параметри налаштування ПІ-регулятора за другою інтегральною оцінкою. Визначені показники якості підтверджують здатність системи регулювання з ПІ-регулятором та оптимальними параметрами налаштування підтримувати рівень скломаси в печі з достатньо жорсткими вимогами до відхилення рівня від заданого значення (<2мм).

В восьмому розділі розглянуто всі небезпеки які можуть виникнути в приміщенні з піччю для варіння скла, наведено нормативні документи з униканням цих небезпек, розраховано вентиляцію за тепловиділенням.

В дев'ятому розділі було розраховано економічні показники для системи автоматизації скловарної печі. Обчислено термін окупності і вартість амортизації системи, при яких було зроблено висновок про відсутність економічної вигоди у впровадженні автоматизації для печі для варіння скла продуктивності 2 т/добу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Інноваційні технології у виробництві спеціального та побутового скла [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Хімічні технології неорганічних керамічних матеріалів» / М. М. Племянніков, А. П. Яценко, І. В. Пилипенко, Б. Ю. Корнілович; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1файл: 5,94 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 298 с 4. Скловарні печі: призначення, загальна класифікація, показники ефективності роботи. Варка скла в полум'яних ванних печах безперервної дії.

2. Воронов Г. К. Технології виробництва скломатеріалів : конспект лекцій для студентів для студентів 1 курсу денної форми навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія [Електронний ресурс]: / Г. К. Воронов ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 128 с.

3. Моделювання теплового режиму та система автоматичного керування скловарної печі. [Електронний ресурс] : монографія / А. І. Жученко, О. В. Ситніков, Д. М. Складанний – Запоріжжя: «АА Тандем». 2025, - 136 с.

4. Ситніков О. В. Створення структурно-параметричної схеми об'єкту керування. Створення структурно-параметричної схеми об'єкту керування. 2022. С. 6.

5. Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ) для виробництва скла. Директива щодо промислових викидів 2010/75/EU – Комплексне запобігання та контроль забруднень / Б. М. Скалет та ін. 2013. С. 493.

6. Перетворювач температури Siemens SITRANS ТК-Н (7NG3120-2JN01). Електронний ресурс. URL:

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/107/20411107/att_91601/v1/A5E00226012-01.pdf

7. Первинний вимірювальний перетворювач тиску Sitrans P DS III (7MF4433). Електронний ресурс.

URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/369/27662369/att_21553/v1/A5E00047092-05en_002.pdf

8. Перетворювач частоти серії ATV320D11N4B Schneider Electric. Електронний ресурс. URL: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=User+guide&p_File_Name=ATV930_950_Installation_manual_EN_NHA80932_10.pdf&p_Doc_Ref=NHA80932

9. Danfoss pressure switch type RT. Danfoss. Електронний ресурс. URL: <https://assets.danfoss.com/documents/latest/219455/AI241086442336en-001103.pdf>.

10. Електромагнітний газовий клапан типу EVRM-NA9. Італгаз. Електронний ресурс. URL: https://www.italgaz.com.ua/upload/files/EVRM-NA_PasportUKR.pdf.

11. Реле контролю полум'я РКП-1. Електронний ресурс. URL: https://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=252&category_id=102&option=com_virtuemart&Itemid=71

12. Лазерний рівнемір ABB LLT100. Електронний ресурс. URL: https://library.e.abb.com/public/2f84dfe9e22f4d28a94c4a8e39386ad0/AA012909-01_Rev%20F_LLT100%20HART%20User%20Guide.pdf

13. Клапан Kromschöder VFC. Електронний ресурс. URL: <https://files.kempstoncontrols.com/files/32f4427a4658e7456947407070230dff/88300616.pdf?>

14. Актуатор IC 40. Електронний ресурс. URL: https://irp-cdn.multiscreensite.com/8d5e9e85/files/uploaded/Kromschroder_IC_20_40_Information.pdf?

15. Вентилятор середнього тиску ВЦ 14-46. Електронний ресурс. URL: <https://ventzavod.com/ventilation/radial-fans/average-pressure-fans/vc-14-46/>

16. Ультразвуковий вимірювач витрати Siemens Sitrans FS230 Gas. Електронний ресурс. URL:

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/111/109777111/att_1013004/v1/A5E38755607-AB_SITRANS_FS230_COI_en-US.pdf?

17. Вихровий витратомір Siemens SITRANS FX330. Електронний ресурс. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/045/109814045/att_1117018/v1/MA_Siemens_Sitrans_FX330_en_220930_4005330207_A5E36751269-AG_R11.pdf

18. Перетворювач частоти серії ATV930D55N4. Електронний ресурс. URL: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=User+guide&p_File_Name=ATV930_950_Installation_manual_EN_NHA80932_10.pdf&p_Doc_Ref=NHA80932

19. Інформаційні матеріали лекційного заняття №9 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=%2F3533981%2Fmod_resource%2Fcontent%2F4%2F%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F%20%E2%84%96%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. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни "Багаторівневі системи керування" для студентів бакалаврського (першого) рівня вищої освіти 120 спеціальності 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" / Укл. Ф.Д. Матіко – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2021.

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" / Укл. Г.Б. Крих, Ф.Д. Матіко – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2024. 31 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. Методичні вказівки для виконання розділу з економіки у кваліфікаційних роботах для студентів бакалаврського рівня вищої освіти спеціальності 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології". – Львів: Кафедра маркетингу та логістики Національного університету “Львівська політехніка”, 2017. 29 с.

24. Методичні вказівки до курсового проекту з дисципліни "Автоматизація технологічних процесів” для студентів бакалаврського (першого) рівня вищої освіти спеціальності 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" / Укл. Я.П. Юсик, В.О. Фединець., І.С. Васильківський – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2021. 25 с.

25. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни "Мікропроцесорні програмні засоби автоматизації" для студентів бакалаврського (першого) рівня вищої освіти спеціальності 151 "Автоматизація та комп'ютерноінтегровані технології” / Укл. І.В. Костик – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2022. 32 с.

26. Методичні вказівки до виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи для студентів спеціальності 151 “Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології” / уклад.: Ф.Д. Матіко, Г.Б. Крих, І.В. Костик Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2022. 88 с.

27. ПЛК Modicon M340. Електронний ресурс. URL: <https://www.se.com/ua/uk/product-range/1468-modicon-m340/#products>

28. Блок живлення змінного струму BMX CPS 2000. Електронний ресурс. URL: <https://www.se.com/ua/uk/product/BMXCPS2000/%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%>

[BD%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%B9-
%D0%B1%D0%BB%D0%BE%D0%BA-%D0%B6%D0%B8%D0%B2%D0%BB-
%D0%B7%D0%BC%D1%96%D0%BD%D0%BD-
%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BC%D1%83/](https://ukrprommotor.com.ua/products/elektrosvyaznyy-180s2-im-1081-220-kvt-3000-obmin-kitaj)

29. Електродвигун трифазний AIP180S2. Електронний ресурс. URL:
[https://ukrprommotor.com.ua/products/elektrosvyaznyy-air-180s2-im-1081-
220-kvt-3000-obmin-kitaj](https://ukrprommotor.com.ua/products/elektrosvyaznyy-air-180s2-im-1081-220-kvt-3000-obmin-kitaj)

30. Електродвигун трифазний AIP112M2. Електронний ресурс. URL:
[https://ukrprommotor.com.ua/products/elektrosvyaznyy-air-112m2-im-1081-
75-kvt-3000-obmin-kitaj](https://ukrprommotor.com.ua/products/elektrosvyaznyy-air-112m2-im-1081-75-kvt-3000-obmin-kitaj)

31. Реле проміжне VKS116К. Електронний ресурс. URL:
[https://www.eti.ua/produksiya-ua/automation-signaling-and-control-
devices/monitoring-and-control-relays/002471201-vs116k-monitoring-and-control-
relays-230-24v-alarm-and-control-ac-ac-dc-16a](https://www.eti.ua/produksiya-ua/automation-signaling-and-control-devices/monitoring-and-control-relays/002471201-vs116k-monitoring-and-control-relays-230-24v-alarm-and-control-ac-ac-dc-16a)