

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КСУ

\_\_\_\_\_ Т. В. Коротка

\_\_\_\_\_ 2021 р.

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА**

зі спеціальності 151- Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
на тему: " Моделювання та дослідження системи управління технологічним процесом  
виготовлення піноскла "

Керівник роботи

к.т.н., ст. в.

А.Г. Серяков

Дипломник

студент гр. СУ.мдн-01ш

С.В. Іванов

Суми – 2021

Міністерство освіти і науки України

Сумський державний університет

Кафедра комп'ютеризованих систем управління

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до кваліфікаційної роботи на тему:

«Моделювання та дослідження технологічного процесу

виготовлення піноскла»

Керівник роботи

к.т.н., ст. в.

А.Г. Серяков

Дипломник

студент гр. СУ.мдн-01ш

С.В. Іванов

Суми – 2021  
Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерних наук  
Секція комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КН

\_\_\_\_\_ 2021 р.

### ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра студенту

Іванову Сергію Вадимовичу

- 1 Тема роботи: Моделювання та дослідження технологічного процесу виготовлення піноскла.  
Затверджено наказом ректора університету. № 0861-VI від "17" листопада 2021 р.
- 2 Термін здачі студентом закінченої роботи "20" грудня 2021р.
- 3 Вихідні дані до роботи:
  1. Звіт з переддипломної практики;

2. Література з технології процесу;
3. Автоматизація технічних процесів: ДСТУ 21.404 – 85;
4. Зміст пояснювальної записки:
  - 4.1. Дослідження та конструктивно-технологічний аналіз об'єкта управління
  - 4.2. Дослідження та вибір каналів управління, сигналізації та блокування. Вибір сучасних засобів автоматизації, розробка системи сигналізації та алгоритмів управління
  - 4.3. Розрахункова частина
  - 4.4. Реалізація АСУТП в Trace Mode
  - 4.5. Аналіз еколого-економічного аспекту тп та можливостей модернізації
5. Перелік графічних матеріалів:
  - 5.1. Функціональна схема автоматизації
  - 5.2. Схема електрична принципова

6 Календарний план виконання роботи:

Номер етапу	Етапи виконання роботи	Термін виконання (початок - кінець)
1	Аналіз завдання кафедри	18.01.2021–07.02.2021
2	Побудова структурної схеми процесу	08.02.2021 – 23.02.2021
3	Розроблення функціональної схеми автоматизації	11.03.2021 – 28.03.2021
4	Вибір та обґрунтування засобів автоматизації	29.03.2021 – 15.04.2021
5	Розробка алгоритму керування та людино-машинного інтерфейсу	16.04.2021 –

		24.05.2021
6	Проведення аналізу патентної бази	25.05.2021 – 28.06.2021
7	Оформлення роботи	08.06.2021 - 01.09.2021

7 Дата видачі завдання "18 " січня 2021 р.

Керівник роботи:

А.Г. Серяков

Студент-дипломник

групи СУ.мдн-01ш

С.В. Іванов

## РЕФЕРАТ

Іванов Сергій Вадимович. Моделювання та дослідження технологічного процесу виготовлення піноскла. Кваліфікаційна робота магістра. Сумський державний університет. Суми, 2021 рік.

Дипломний проект містить 115 аркушів, з урахуванням 48 рисунка, 16 таблиць; конструкторську документацію, яка містить 2 креслення

Проведено дослідження та проаналізовано технологічний процес виготовлення піноскла, проаналізовано мікропроцесорну систему управління на базі програмованого логічного контролера ОВЕН 160. Виконано вибір основних засобів автоматизації. Розроблено алгоритм управління.

Ключові слова: технологічний процес, система управління, мікропроцесорний контролер, технологічний параметр.

## РЕФЕРАТ

Иванов Сергей Вадимович. Моделирование и исследование технологического процесса изготовления пеностекла. Квалификационная работа магистра. Сумской государственный университет. Сумы, 2021 год.

Дипломный проект содержит 115 листов, с учетом 48 рисунков, 16 таблиц; конструкторскую документацию, содержащую 2 чертежа

Проведены исследования и проанализирован технологический процесс изготовления пеностекла, проанализирована микропроцессорная система управления на базе программируемого логического контроллера ОВЕН 160. Выполнен выбор основных средств автоматизации. Разработан алгоритм управления.

Ключевые слова: технологический процесс, система управления, микропроцессорный контроллер, технологический параметр.

## ABSTRACT

Ivanov Sergey Vadimovich. Modeling and research of technological process of production of foam glass. Qualifying work of the master. Sumy State University. Sumy, 2021.

The diploma project contains 115 sheets, taking into account 48 figures, 16 tables; design documentation, which contains 2 drawings

The research is carried out and the technological process of foam glass production is analyzed, the microprocessor control system on the basis of the programmed logic controller OVEN 160 is analyzed. The choice of the basic means of automation is executed. A control algorithm has been developed.

Keywords: technological process, control system, microprocessor controller, technological parameter.



## ЗМІСТ

С.

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ.....	10
ВСТУП.....	11
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ .....	12
2 ВИБІР КАНАЛІВ УПРАВЛІННЯ, СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА БЛОКУВАННЯ.....	20
3 ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОЗРОБКА СИСТЕМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА ЗАХИСТУ ТА АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ .....	26
4 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	61
5 РЕАЛІЗАЦІЯ АСУ ТП В TRACE MODE.....	74
6 АНАЛІЗ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОГО АСПЕКТУ ТП ТА МОЖЛИВОСТЕЙ МОДЕРНІЗАЦІЇ.....	78
ВИСНОВКИ.....	94

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	95
REFERENCES.....	105

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І ПОЗНАЧЕНЬ

АСУ ТП - автоматизована система управління технологічним процесом.

ПЧ – перетворювач частоти.

ОУ – об'єкт управління.

ОР – об'єкт регулювання.

ПЛК – програмований логічний контролер.

ТП – технологічний процес.

ПК – персональний комп'ютер.

## ВСТУП

Скляна галузь у світовому виробництві – одна з найкрупніших серед неметалевих та одна з тих, що активно розвиваються. Однією з підгалузей виробництва, яка до того ж спрямована на вторинне використання промислових ресурсів, є виробництво піноскла.

Фізико-технічні характеристики піноскла по більшій частині залежать від способу виробництва, хімічного складу скла та допоміжної суміші, кількістю газоутворюючих добавок, та, що немаловажливо, стабільності технічного процесу. Маніпулювання цими характеристиками дозволяють отримувати на виході виробництва товари з різною об'ємною масою, міцністю, структурою, водопоглинанням, проникністю, теплопровідністю і морозостійкістю.

Повна автоматизація технологічного процесу передбачає впровадження технічного обладнання та автоматичні системи управління, контролювати виробництво без участі людей. Даний метод найбільш підходить для стабільних, великих заводів, на яких є чітко налагоджений та постійний механізм виконання послідовних операцій, або ж для роботи в шкідливих для людини умовах.

Завданням цього проекту є аналіз та дослідження технологічного процесу спінювання піноскла. Необхідно розглянути сам процес та його систему управління, проаналізувати можливі покращення та шляхи оптимізації. Розробка та реалізація методів модернізації буде здійснюватися з урахуванням специфічних властивостей технології виробництва піноскла, впливу на екологію, ефективність ресурсокористування, необхідності спрощення управління, збільшення надійності процесів. Дослідницька робота виконується на підставі завдання кафедри комп'ютерних наук СумДУ.

# 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

## 1.1 Дослідження технологічного процесу

Піноскло виробляють переважно порошковим методом. Суть метода полягає в випіканні суміші порошкового скла і спеціальних добавок, що сприяють утворенню газової фази при нагріві та подальшому відпалу виробів для зняття внутрішніх напружень. При термообробці суміші відбувається поява піномаси. Коли температура суміші, що піддається нагріву, перевищує температуру розм'якшення, починається спікання частинок скла, при цьому частинки пороутворювача фіксуються всередині маси розм'якшеним склом.

При досягненні певної температури вони починають виділяти гази, що вспінюють скломасу. В зонах спеченого тіла, де були блоковані частинки пороутворювача, завдяки виділенню газу, з'являються пори. На форму пор і властивості отриманого пеноскла в основному впливають концентрація і вид використовуваного газоутворювача.

Газоутворювачі існують двох типів — нейтралізаційного і окислювально-відновного. У якості перших, як правило, використовують карбонати, які при нагріві розкладаються з виділенням  $\text{CO}_2$ . Різке газове виділення прориває стінки окремих пор, завдяки чому виникає лабіринтообразна система порожнин у склі. Піноскло характеризується високими водопоглинанням і звукозахисними характеристиками.

Окислювально-відновні газоутворювачі застосовують для отримання теплоізоляційного піноскла — матеріалу с ізольованими

порожнинами. У якості таких каталізаторів використовують вуглецевмістні речовини (кокс, антрацит, сажу, графіт, карбід кременю). Причина газовиділення у них — реакція окислення газообробувача газами, розчиненими в скломасі, перш за все це кисень і триоксид сірки. Кількість використовуваного газоутворювача залежить від виду, властивостей і фізико-механічних властивостей, виготовлених матеріалів.

Процес отримання піноскла базується на ряді положень фізичної та колоїдної хімії. Скломаса повинна мати при температурі інтенсивного газового виділення достатню в'язкість, що б протидіяти розриву утворюваної плівки, і низький поверхневий натяг, для утончення цих плівок. Ці умови визначені хімічним складом скломаси та температурою її нагріву.

Основні фактори, що надають стійкість вспіненої скломаси до її повного застигання в тверде тіло:

- 1) в'язкість, яка повинна бути рівною  $2,8-3,5 \times 10^2$  кПа·с при температурі спінювання 720–930 °С;
- 2) поверхневий натяг  $\sigma$ , близький до значення  $3,5 \times 10^{-3}$  Н/м;
- 3) парціальний тиск газоутворюючої фази, наростаючий при температурі, яка вище температура розм'якшення скла на 50–70 °С, при чому тиск газової фази повинно наростати поступово в температурному інтервалі, співпадаючим з температурним інтервалом, що забезпечує робочу в'язкість.

При спінюванні протікають такі процеси:

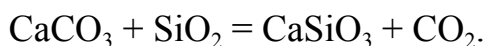
- розм'якшення окремих частинок при нагріванні (фізичний);
- спікання частинок скла та газоутворювачів одна з одною при деякому зменшенні обсягу (усадкою) (фізико-хімічний);

- зниження в'язкості скломаси (фізичний) та початок хімічної реакції між вуглецем і сульфатною сіркою:
  - $\text{Na}_2\text{SO}_4 + 4\text{C} = \text{Na}_2\text{S} + 4\text{CO}$   
або водою:
  - $\text{H}_2\text{O} + \text{C} = \text{CO} + \text{H}_2$ ,  
яка протікає при температурі на 50-70 ° С вище за температуру початку розм'якшення скляного порошку;
- утворення в скломасі порожнин, зростання їх розмірів при наступному нагріванні та зниження при цьому в'язкості скломаси, обсяг якої збільшується при максимально можливій температурі;
- закріплення, стабілізація структури порожнин, що утворилася, і надання скломасі твердості та міцності в результаті переходу її при охолодженні з пластично-в'язкого в склоподібний, твердий і далі пружно-крихкий стан.

Процеси силікато- та склоутворення відбуваються в момент варіння скла, а в момент спучування (спінювання) йдуть переважно реакції, пов'язані з розкладанням чи окисленням (згорянням) газоутворювача. Тому вибір газоутворювача диктується температурним інтервалом спікання скломаси. У вуглецевмісних піноутворюючих сумішах процеси газо- та піноутворення відбуваються в результаті реакцій між сульфатом натрію (якщо він міститься у склі) і вуглецем при 477–577°С і у склі, що не містить сульфатної сірки, внаслідок взаємодії вуглецю з водою.

На заводах як газоутворювач широко застосовують кокс, антрацит, мармурову крихту, крейду та вапняк. Поширені також графіт, піролюзит  $\text{MnO}_2$ , карбід кремнію  $\text{SiC}$ , карбід кальцію  $\text{CaC}_2$ . Взаємодія коксу та антрациту зі скляним порошком викликає при температурі 620–700 °С ендотермічні ефекти (реакція між нерозкладеними) карбонатами з  $\text{SO}_2$  або сульфатами у присутності  $\text{SiO}_2$ ).

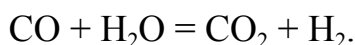
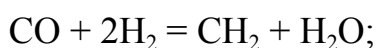
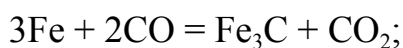
Якщо газоутворювачем є вапняк, то при температурі 600 °С протікає ендотермічна реакція заміщення:



При температурі 800 °С ця реакція, а також процеси

$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaCO}_3 = \text{CaNa}_2(\text{CO}_3)_2$  та  $\text{CaNa}_2(\text{CO}_3)_2 + \text{SiO}_2 = \text{CaSiO}_3 + \text{Na}_2\text{SiO}_3 + 2\text{CO}_2$  йдуть найінтенсивніше.

Ендотермічні реакції взаємодії газоутворювача зі скломасою сприяють рівномірному газоутворенню, екзотермічні ж, навпаки, порушують рівномірну структуру піноскла. До останніх відносять реакції, що виникають, головним чином, у піноскляній шихті з вуглецевмісними газоутворювачами:



Піноскло має різні кольори залежно від газоутворювача: чорний і сірий, (коли як газоутворювач застосовуються антрацит, сажа, торф'яний напівкокс), фіолетовий (3-4% піролюзиту), зелений (1,5-2% вапняку або мармуру і 0,5-1%  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  і  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ).

Розрізняють кілька способів виробництва піноскла порошковим методом[8]:

- 1) одностадійний;
- 2) двостадійний;
- 3) спосіб безперервного спінювання стрічки піноскла;
- 4) спосіб отримання гранульованого піноскла;
- 5) гідротермальний метод.

Сировинні матеріали, що входять до більшості хімічних варіацій складу сировини:



1)  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ , доломіт - входить до складу  $\text{MgO}$  і  $\text{CaO}$ . Домішка знижує температуру плавлення, підвищує поверхневий натяг, зменшує час провару скломаси.

2)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , сода кальцинована - допоміжна речовина, яка необхідна для супроводження додавання у суміш оксиду натрію ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), для зменшення температури варіння скла, знижує в'язкість скломаси.

3)  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , сульфат натрію - функція аналогічна до  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

4)  $\text{CaCO}_3$ , крейда - допоміжна речовина, яка необхідна для супроводження додавання у суміш оксиду кальцію ( $\text{CaO}$ ), який знижує температуру плавлення і в'язкість скломаси.

5)  $\text{SiO}_2$ , кварцевий пісок - головний оксид, що ускладнює гомогенізацію скла, поліпує в'язкість скломаси, покращує механічні та хімічні характеристики.

6) технічний вуглець – газотворююча домішка. Та сама сажа яку використовують як вторинно оброблений ресурс .

## 1.2 Моделювання технічного процесу та матеріальної бази.

Зазвичай усі підприємства з виготовлення піноскла мають типовий склад агрегатів та обладнання. Звичайно, фірм постачальників такого обладнання безліч, але основні функції того чи іншого агрегата одного типу в цілому однакові. Загальний план цеху з виробництва може мати такий вигляд, як зображено на рисунку 1.2, з деякими відмінностями, в залежності від потреб власника.

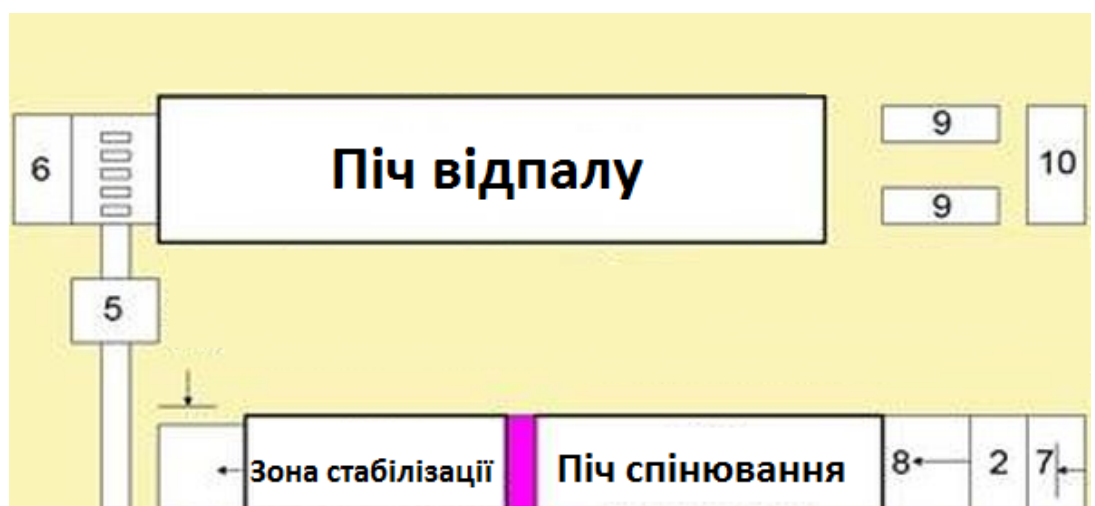


Рисунок 1.1 – Схематичний план цеху піноскляного підприємства.

На рисунку 1.1 також цифрами позначені такі елементи: 1,2 – конвеєр для транспортування форм; 3 – установка виймання блоків з форми; 4 – промисловий кантовач; 5 – маніпулятор(подвісний кран); 6 – установка завантаження блоків до печі відпалу; 7 – завантажувальне обладнання; 8 – установка завантаження та ущільнення шихти; 9 – обладнання обрізки блоків; 10 – лінія з обладнання упаковки блоків.

Найважливіший елемент усього виробництва – піч у якій проходять процеси спінювання та стабілізації. Саме від цієї ланки залежить якість та кількість продукції. Необхідно дуже ретельно контролювати якісні процеси, які проходять всередині цього обладнання, такі як температурні режими, склад повітря, швидкість термічної обробки та інші. До того ж, вихід с ладу елементів цієї печі може ставити під загрозу не тільки надходження продукції та прибутковий аспект виробництва, але й безпеку та життя робітників та обслуговуючого персоналу всього виробництва. Саме тому подальший аналіз та моделювання буде зосереджено само на цьому елементі виробництва.

## **1.2 Схема інформаційно-матеріальних потоків**

Беручи до уваги технологічний процес виробництва, можна змоделювати схему руху матеріальних потоків у центральній печі. Схема руху матеріальних потоків представлена на рисунку 1.2.

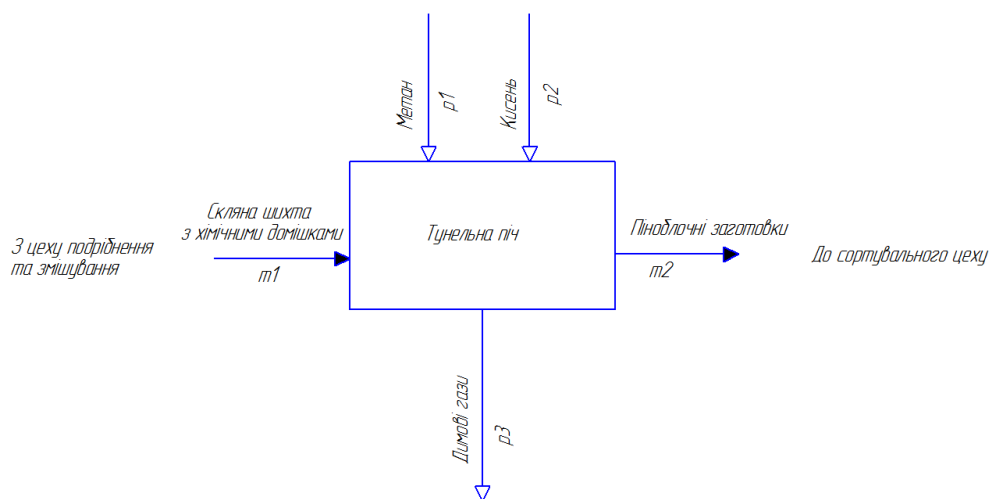


Рисунок 1.2 – Схема інформаційно-матеріальних потоків технологічного процесу виробництва піноскла

Схема подібного роду дає вичерпне поняття про використаних у процесі виготовлення, а саме у процесі термічної обробки сировини, ресурсів, які є основою технологічного процесу виготовлення продукції, а також залучені до цього процесу служби, агрегати, людські ресурси, тощо . Подрібнено скло змішане с добавками, необхідними для спінення, поступає з цеху попередньої обробки, де після подрібнення та очищення від домішок скляна сировина проходить процес додавання до шихти хімічно активних речовин. Метан та кисень, які зображені на верхній частині схеми, є ресурсами для роботи газового пальника, що забезпечіє необхідну температуру всередині печі. Продукти згорання, що утворюються внаслідок процесів сгорання, відводяться з виробництва у атмосферу.

Завдяки схемі руху матеріальних потоків та знанню технологічного процесу, теер можливо визначимо параметри для сигналізації, контролю і управління, які зведемо в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 - Перелік параметрів сигналізації, контролю і управління

Параметр	Точка технологічного процесу	Функція	Діапазон вимірюваної величини	Допустима похибка вимірювань	Агресивність	Пожежо-вибухо небезпечність
Температура	Піч	Контроль, управління,	0..1000°C	1%	+	+
Тиск димових газів	Димовивід печі	Контроль, управління, сигналізація	0..1.1МПа	1%	-	+

Продовження таблиці 1.1

Параметр	Точка технологічного процесу	Функція	Діапазон вимірюваної величини	Допустима похибка вимірювань	Агресивність	Пожежо-вибухо небезпечність
Концентрація CO	Робоча зона печі	Контроль, сигналізація	0..0,1 об.%	0,01 об.%	-	-
Концентрація O <sub>2</sub>	Робоча зона печі	Контроль, сигналізація	0..4 об.%	0,1 об.%	-	-
Концентрація метану	Робоча зона печі	Контроль, сигналізація	0..4 об.%	0,1 об.%	-	-
Витрата газу	Газопровід пальника	Контроль, управління	0..250 куб. м/ч	5 куб. м/ч	-	+
Витрата повітря	Газопровід пальника	Контроль, управління	0..15 куб. м/ч	0,5 куб. м/ч	-	+

## 2 ВИБІР КАНАЛІВ УПРАВЛІННЯ, СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА БЛОКУВАННЯ

При необхідності вибрати регулюючі величини, потрібно знати призначення процесу, його ефективність, цільові показники, яких необхідно дотримуватися, а також інші процеси на з якими він зв'язаний. Після збору такої інформації аналізується всі можливі впливи на об'єкт управління, які можуть бути причиною обурюючих сигналів. Необхідно визначити шляхи та методи усунення таких впливів, що б привести систему у стабільний стан.

Забезпечити необхідну безпеку і рівень стійкості технологічного процесу допоможе впровадження автоматичних засобів контролю і сигналізації.

### 2.1 Контур регулювання тиску димових газів

Для забезпечення виміру тиску газів-результатів горіння на виході робочої зони служить датчик тиску РТ. Для забезпечення контролю тиску цих газів, на виході робочої зони розташована запірно-регулююча арматура(рис. 2.1). У випадку надзвичайної ситуації, спричиненої у зоні контролю, аварійна інформація може відображатися на панелі оператора, відбуватися звукова або силова сигналізація для сповіщення.

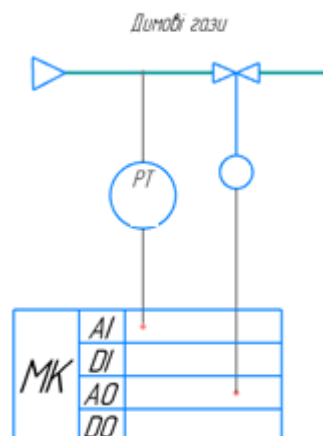


Рисунок 2.1 - Схема контролю тиску димових газів на виході рообочої зони печі

## 2.2 Контур контролю і сигналізації вмісту CO в димових газах

Для вимірювання концентрації вуглекислого газу в середовищу печі служить датчик концентрації QFT (рис. 2.2). У випадку надзвичайної ситуації, спричиненої у зоні контролю, аварійна інформація може відображатися на панелі оператора, відбуватися звукова або силова сигналізація для сповіщення.

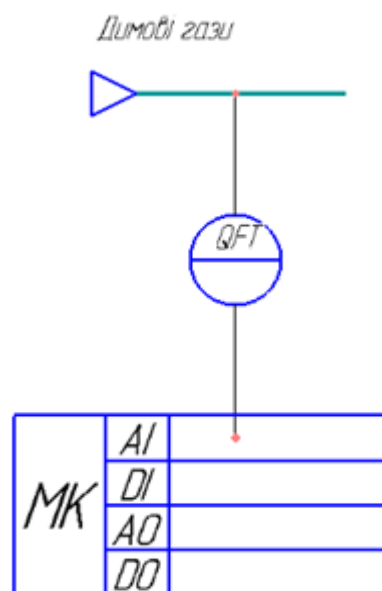


Рисунок 2.2 - Схема контролю концентрації вмісту CO в димових газах робочого середовища

## 2.3 Контур контролю і сигналізації вмісту O<sub>2</sub> в димових газах

Для вимірювання концентрації O<sub>2</sub> в середовищі печі служить датчик концентрації QFT (рис. 2.3). У випадку надзвичайної ситуації, спричиненої у зоні контролю, аварійна інформація може відображатися

на панелі оператора, відбуватися звукова або силова сигналізація для сповіщення.

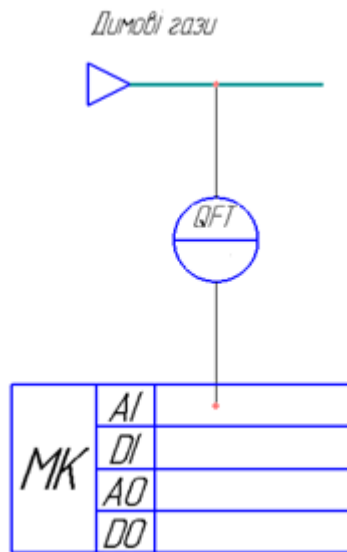


Рисунок 2.3 - Схема контролю концентрації вмісту  $O_2$  в димових газах робочого середовища

#### 2.4 Контур контролю і сигналізації стану середовища навколо печі

Контур перевіряє два показники безпосередньо поблизу печі спінювання, температура середовища та рівень загазованості. Вихід показників за межу норми може означати порушення цілісності корпусу печі, або протічку трубопроводу. Рівень загазованості (за до вибухонебезпечною концентрацією метану) перевіряється за допомогою датчика концентрації QFT(рис. 2.4.1).



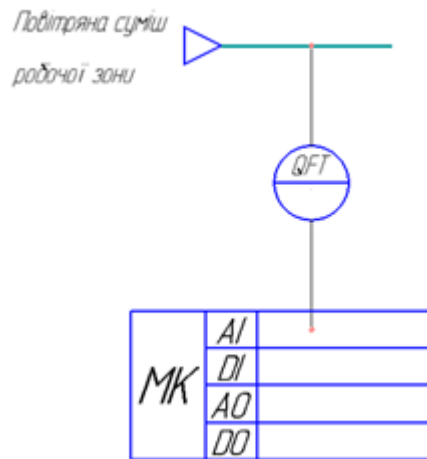


Рисунок 2.4.1 - Схема контролю концентрації метану

Температура вимірюється и контролюється за допомогою датчиків температури ТТ(рис. 2.4.2), які передають зібрані дані на мікроконтроллер для подальшої обробки та на панель оператора для відображення.

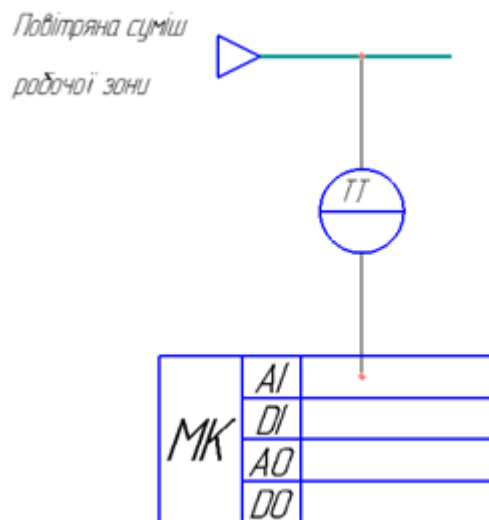


Рисунок 2.4.2 - Схема контролю температури

У випадку виходу параметрів за межі визначені технологічним процесом в даний момент, вихід параметрів за межу норми, тобто у випадку надзвичайної ситуації, спричиненої у зоні контролю, аварійна інформація може відображатися на панелі оператора, відбуватися звукова або силова сигналізація для сповіщення.

## 2.5 Контур контролю подачі горючих матеріалів

Контроль подачі горючих матеріалів відбувається за допомогою датчиків розходу, які знаходяться на трубопроводах для газу та повітря відповідно. Регулювання потоку горючих матеріалів відбувається за допомогою запірно-регулюючих арматур, що знаходяться на відповідних місцях трубопроводу(рис. 2.5). Данні щодо витрати вимірюються і контролюються за допомогою датчиків розходу, які передають зібрані дані на мікроконтроллер для подальшої обробки та на панель оператора для відображення. У випадку надзвичайної ситуації, спричиненої у зоні контролю, аварійна інформація може відображатися на панелі оператора, відбуватися звукова або силова сигналізація для сповіщення.

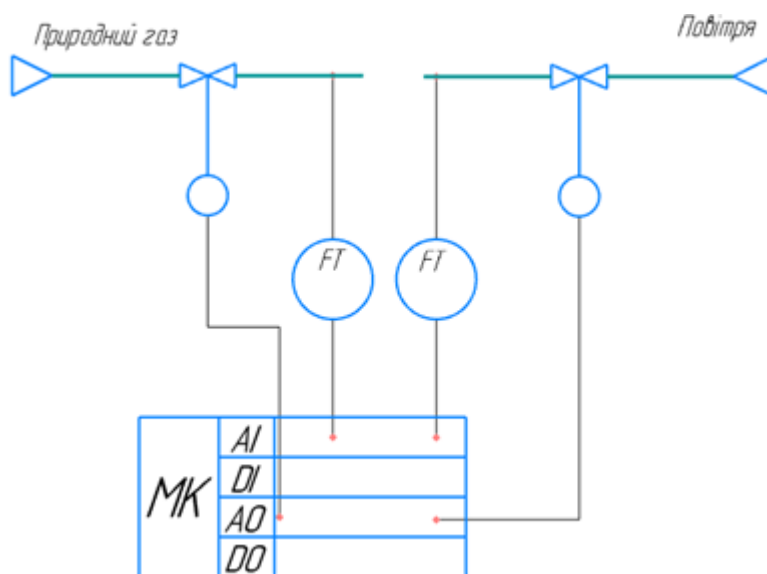
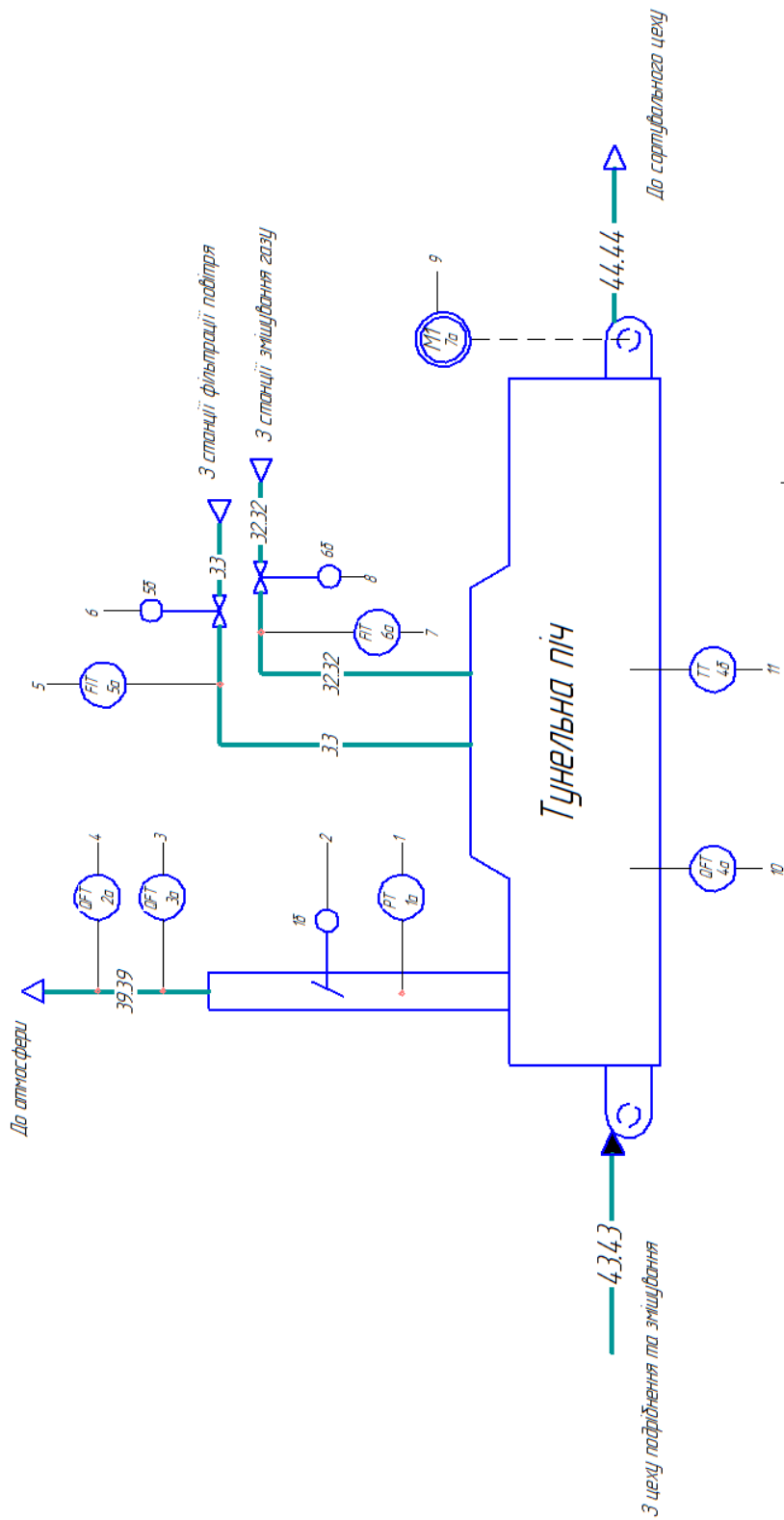


Рисунок 2.5 - Схема контролю і регулювання подачі горючих матеріалів

## 2.6 Загальна технологічна схема етапу спінювання

На основі аналізу необхідних технологічних контурів та схеми руху матеріальних потоків можна створити повну схему технологічного процесу етапу спінювання, що зображена на рисунку 2.6. Підготовлена

сировина надходить до печі за допомогою конвеєра або допоміжними технічними засобами. Паливні матеріали подаються по трубопроводам с датчиками та органами регулювання. Димові гази, що утворюються під час процесу згорання, який необхідний для регулювання температури в робочій зоні, відводяться за допомогою димоходів, на яких встановлені датчики та органи регулювання. Продукція, що пройшла етап спінювання, виходить з зони спінювання печі та направляються у зону стабілізації, до проходить повільне охолодження. В приміщенні , де розташована піч, знаходяться датчики загазованості, що контролюють стан середовища, та у випадку надзвичайної ситуації подають сигнал на контролер та сповіщають оператора.



Позиція	Найменування
-32.32-	Природний газ
-39.39-	Димові гази
-4.3.4.3-	Сиробина
-4.4.4.4-	Формоване піноскло

Рис  
уно  
к  
2.6  
–  
Тех  
нол  
огі  
чна  
схе  
ма  
тер  
міч  
ног  
о  
ета  
пу  
зон  
и  
спі  
ню  
ван  
ня  
та  
ста  
біл  
ізіц  
іі)

## **3 ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОЗРОБКА СИСТЕМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА ЗАХИСТУ І АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ**

### **3.1 Структура АСУ ТП.**

Однією з критичних точок на сучасному підприємстві будь якого масштабу є можливість доступу до інформації про виробничий процес. Необхідно забезпечити доступ якщо не з будь якої точки, то хоча б з важливих вузлових місць. Це может мати вирішальне значення на ефективність роботи та у випадках надзвичайних ситуацій. Цього можна досягти за допомогою впровадження інтегрованої багаторівневої автоматизованої системи управління. Дані, що надходять від датчиків, виконавчих пристроїв, стан робочих середовищ та інші виробничі параметри поступають на верхній рівень управління, до відповідальних осіб підприємства. Необхідність такого кроку неможливо переоцінити - на високому конкурентному ринку всі відділи, від виробничого до

Сучасна багаторівнева система управління передбачає включення до нижнього рівня управління програмованих логічних контролерів, що реалізують функції збору і обробки інформації в безпосередній близькості від ОУ, а функції узагальнення та аналізу виробничої інформації і документообігу виконуються на верхніх рівнях управління за допомогою керуючих обчислювальних комплексів, персональних комп'ютерів та серверів.

маркетингового, повинні функціонувати спільно для досягнення високої ефективності в обслуговуванні споживчого ринку.

логічні схеми і представляють виміряну величину у вигляді цифрового сигналу, що відповідає специфікації протоколу передачі даних, визначеного для цих пристроїв. Проте, для активного и широкого використання приладів першого типу необхідно використовувати спеціальні перетворювачі - аналогово-цифрові або цифро-аналогові. Такі прилади спрощують роботу при передачі даних між приладами в мережі.

Контроллери є наступним рівнем ієрархії в схемі. Автоматичне керування технологічним процесом, обробка інформації та сигналізація подій – їх основна робота. Видача сигналів на виконавчі механізми, за допомогою контролерів, в результаті обробки даних, що надходять с датчиків та вимірювальних приладів про стан технологічних параметрів є основною метою вищезазначених приладів.

Також в мережу можуть бути включені спеціальні сервери з технологічними даними. Сервери забезпечують швидкісні обробку, надійне збереження та беспечній обмін інформацією між технологічними пристроями і мережами персональних комп'ютерів.

Більшість підприємств малого та середнього бізнесу використовують 2-х рівневу систему управління. Перший рівень становлять датчики та зчитувачі робочих параметрів. До другого рівня належать контроллери, які збирають інформацію с пристроїв першого рівня та оброблюють її. Доцільно буде спиратися на дворівневу систему управління при створенні АСУ для цільового технічного процесу. Принципово важливими критеріями вибору засобів автоматизації (зокрема нижнього рівня) виступають їх точність, надійність, захищеність, а також доступність та ціна. Для уникнення конфліктів в протоколі RS-485 на одному об'єкті слід намагатися

використовувати засоби автоматизації, що випускаються одним виробником. Одним з найпоширеніших виробників на ринку є компанія ОВЕН. Вона займає значну частку на ринку обладнання в Україні, та має непогану репутацію, то ж доцільно в подальшому використовувати саме обладнання ОВЕН.

### **3.2 Нижній рівень автоматизованої системи управління технологічним процесом**

Як було зазначено вище, нижній рівень необхідний для збору інформації з датчиків технологічних параметрів, контроль робочих параметрів, контроль справності датчиків і ліній зв'язку, обслуговувати сигналізацію про відхилення показників за допустимі технологічні межі, а також передавати інформацію в АСУ верхнього рівня.

#### **3.2.1 Вибір датчиків**

##### **3.2.1.1 Датчики температури**

В даному ТП проводиться регулювання температури зони спінювання печі. Враховуючи особливості технологічного процесу, кількість датчиків може суттєво різнитися, але слід використовувати датчики одного типу, для уникнення проблем сумісності обладнання. Проте внаслідок різних температурних умов может бути необхідність у використанні різних типів датчиків. У цьому випадку слід вибрати датчики що використовують один и той же інтерфейс підключення, що спростить подальше використання системи.

Так як діапазон вимірюваних температур достатньо великий, необхідно використовувати термоперетворювачі опору ДТО. Слід зосередити увагу на тому, що діапазон вимірюваних температур у всіх

точках зони практично однаковий, тож є можливість застосувати один тип датчика для цих точок. Ефективним рішенням буде спільно з термоперетворювачем застосовувати нормуючий перетворювач. Найпоширенішими термоперетворювачами для даного типу задач є термоперетворювачі компанії ОВЕН з серії ДТС: ОВЕН ДТС ХХ4[1] та ОВЕН ДТС ХХ5[2]. Порівняємо характеристики термоперетворювачів в таблиці.

Таблиця 3.1 – Основні технічні характеристики термоперетворювачів опору ДТС

Найменування	Тип	Номінальна статична характеристика	клас допуску	Вбудований нормуючий перетворювач (НП) в 4 ... 20	Діапазон вимірюваних температур
Овен ДТС	ХХ4	50М	А; В; С	-	-50...150 <sup>0</sup> С
		100М		-	-50...250 <sup>0</sup> С
Овен ДТС	ХХ5	50П	А; В; С	+	-40...600 <sup>0</sup> С
		100П		+	-40...1250 <sup>0</sup> С
		Pt100			



Термоперетворювач опору типу XX5 буде найкращим вибором за рахунок більшого температурного дивапазону роботи. Також важливу роль грає той момент, що він оснащений захисною арматурою.

Отже, для вимірювання температур застосуємо термоперетворювач опору марки ОВЕН ДТПК125 -0914.2100.1

Даний термометр КТМС «хромель-алюмель», матеріал захисної арматури - кераміка корунд CER795 с діапазоном вимірювання температури:  $-40 \dots + 1100 \text{ }^\circ\text{C}$ , класом допуску 1, з ізольованим робочим спаєм, діаметром КТМС 4,5 мм, з металевою комутаційної головкою, довжиною монтажної частини 2100 мм, в корпусі 125 у вибухозахищеному виконанні[89]. У разі необхідності можливо встановити декілька датчиків у різних точках робочої зони.

Зовнішній вигляд обраного датчика температури представлений на малюнку 3.1.

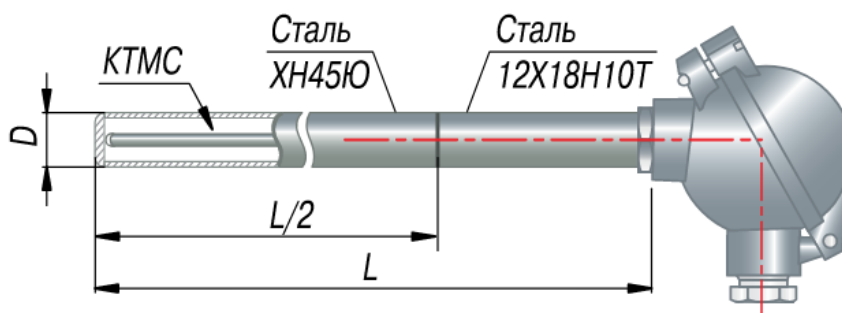


Рисунок 3.1 – Датчик температури ОВЕН ДТПК125-0914.2100.1

### 3.1.1.2 Датчик тиску

В данному ТП контроль тиску проводиться в трубопроводі виводу димових газів с робочої зони печі. Діапазон вимірюваних тисків у всіх точках практично однаковий, отже, у випадку необхідності можна застосувати один тип датчика для декількох точок. Для вимірювання тиску проведемо вибір між найпоширенішими датчиками:

- ОВЕН ПД100И моделі 8x1[3] - датчик тиску для котельних та вентиляції;
- ОВЕН ПД100И моделі 1x1[3] - датчики тиску покращеної якості для основних виробництв;
- ПД-Р-1,6МПа [4] – датчик економ варіанту для промислових об'єктів малої енергетики.

Порівняємо характеристики датчиків тиску в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Основні технічні характеристики датчиків (перетворювачів) тиску

Найменування	ПД100И-ДА1,6-111-0,25	ПД100И-ДИ0,1-871-0,25	ПД-Р-1,6МПа
Основна приведена похибка	±0,25 %	± 0,25%	± 0,5%
Вихідний сигнал	4...20 мА	4...20 мА	4...20 мА
Ступінь захисту корпусу	IP65	IP65	IP65
Верхня межа вимірювання	1,6 МПа	0,1МПа	1,6 МПа
Штуцер для підключення	M20x1,5 манометричний	M20x1,5 манометричний	M20x1,5 манометричний
Ціна, грн	3210	2905	1450

Серед цих трьох, датчики ОВЕН ПД100И-ДА1,6-111-0,25 та ПД-Р-1,6Мпа підходять під технічні параметри, а датчик ПД100И-ДИ0,1-871-0,25 має недостатню межу вимірювання. Остаточний вибір паде на ОВЕН ПД100И-ДА1,6-111-0,25, оскільки вибір датчиків одного виробника спрощує роботу з ними, та дає змогу уникнути ситуацій з конфліктном обладнання, хоча датчик ПД-Р-1,6Мпа має меншу вартість. До того ж, при роботі с високими температурами та в екстремальних середовищах краще надати перевагу більш надійному варіанту, за для безпеки персоналу та виробництва та зменшення ризику фінансових втрат, в результаті непередбачуваної ситуації повязаної з виходом приладу з ладу .

Зовнішній вигляд обраного датчика тиску представлений на малюнку 3.2.



Рисунок 3.2 – Датчик тиску ОВЕН ПД100И-ДА1,6-111-0,25

### 3.1.1.3 Датчики хімічного складу повітря

В даному ТП проводиться контроль складу повітря відносно концентрації CO, O<sub>2</sub>, та метану.

#### а) Датчики концентрації CO

Датчики CO використовуються для визначення наявності в повітрі приміщень слідів чадного газу і подальшого спостереження за рівнем його змісту. На промисловому ринку такі датчики представлені у великій кількості, зазвичай кожен виробництвом вибирає їх під свої потреби.

Серед використовуваних на підприємствах для контролю технологічного процесу з печами найпоширенішими є:

- ОВЕН ПКГ100-CO2 [5] ;
- МА-0-1110 [6] .

Порівняємо вище вказані промислові датчики вуглекислого газу та зведемо їх дані в таблицю 3.3:

Таблиця 3.3 - Основні технічні характеристики датчиків концентрації

Найменування	ОВЕН ПКГ100-CO2	МА-0-1110
Діапазон виявлення	0...300 мг/м3	0...250 мг/м3
Точність виявлення	±20 мг/м3	±15 мг/м3
Вихідний сигнал	4– 20 мА або 2-10В (аналоговий)	4– 20 мА або 2-10В (аналоговий)
Ціна, грн	23560	19290

Серед цих двох датчиків надаємо перевагу ПКГ100-CO2 від компанії ОВЕН, хоча датчик від іншого виробника більш точний, але нам важлива інтеграція до системи обладнання одного типу.

Зовнішній вигляд датчика представлений на малюнку 3.3.

## б) Датчики концентрації O<sub>2</sub>

Датчики O<sub>2</sub> використовуються для визначення кількості в повітрі кисню, та подальшого спостереження за рівнем його змісту.

На цей раз неможливо знайти рішення серед товарів компанії ОВЕН, тому порівнюємо два промислові датчики O<sub>2</sub>, що є на ринку обладнання, в таблиці 3.4:

- МА-9-1195[7];
- ИПЦ-О2[8].

Таблиця 3.4 - Основні технічні характеристики датчиків концентрації

Найменування	ИПЦ-О2	МА-9-1195
Діапазон виявлення	0-25 %	0-25 %
Споживана потужність	не більше 1 Вт	не більше 1 Вт
Вихідний сигнал	4– 20 мА або 2-10В (аналоговий)	4– 20 мА або 2-10В (аналоговий)
Ціна, грн	15430	16500

Порівнявши технічні характеристики датчиків можна зробити висновок, що вони мають однакові технічні показники. Але датчик ИПЦ-О2 має різні показники точності виявлення при перепадах

температури, а отже слід надати перевагу МА-9-1195 як більш надійному.

**в) Датчики концентрації метану(загазованості робочої зони)**

Датчики використовуються для визначення концентрації метану в середовищі приміщення, (за до вибухонебезпечною концентрацією метану). Необхідно мати такі датчики в АСУ ТП, оскільки для живлення газових пальників використовують суміші метану.

Порівняємо два промислові датчики метану в таблиці 3.5:

- МА-2-3400[9];
- ДЗ-1-СН4[10].

Таблиця 3.5 - Основні технічні характеристики датчиків концентрації

Найменування	АДТ-23-3400	ДЗ-1-СН4
Діапазон виявлення	650...5000 мг/м3	330...6 670 мг/м3
Точність виявлення	±2 %	±2 % (±580 мг/м3)
Вихідний сигнал	4– 20 мА або 2-10В (аналоговий)	4– 20 мА або 2-10В (аналоговий)
Ціна, грн	10780	10950

Порівнявши технічні характеристики датчиків можна зробити висновок, що вони мають практично однакові технічні показники. Але перевагу надамо датчику ДЗ-1-СН4, як продукту компанії ОВЕН. Корпус датчика може бути виготовлений в різних матеріалах в залежності від замовлення.

Зовнішній вигляд обраного датчика представлений на малюнку 3.4.



Рисунок 3.4 – Датчик концентрации CO в повітрі ОВЕН ДЗ-1-СН4

#### **3.1.1.4 Датчики розходу**

У цьому ТП здійснюється регулювання витрати газової суміші та повітря, що використовуються для живлення пальника та нагріву повітря та сировини у зоні печі. Для вимірювання витрати можна використати наступні рішення:

##### **а) Датчики контролю розходу повітря**

Оберемо и порівняємо два перетворювача диференціального тиску. Перетворювач диференціального тиску ОВЕН ПД200[11] та датчик різності (перепаду) тиску САПФИР-22-ДД[12]. Вони призначені для вимірювання перепадів тиску або рівня рідини в трубопроводах під тиском або витрати середовища на звужуючих пристроях у системах автоматичного регулювання та керування на виробництвах в промисловості і ЖКГ: газорозподільних системах, парогенеруючих об'єктах, вузлах обліку газу, об'єктах енергетики, «барабанах» котлів в котельнях, , вентиляційних системах і т.д. Основні характеристики датчиків наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Основні технічні характеристики датчиків різниці тиску

Назва датчика	функціональні особливості	Діапазон вимірювань	Основна похибка	Вихідний сигнал	Вартість, грн
САПФИР-22-ДД-2440	Датчик різниці (перепаду) тиску	63 кПа	0,15 %	0-5 мА, 4-20 мА	16 402,23
ОВЕН ПД200ДД-2-155-0,1-2-Н	Перетворювач диференціального тиску	0,04 МПа	1 %	4-20 мА	15 602,61

Порівнявши технічні характеристики, а також вартість датчиків, і взявши до уваги принцип дії, зробимо висновок, що датчик диференціального тиску ОВЕН ПД200ДД-2-155-0,1-2-Н підходить краще, так як він має достатню для даних вимірювань точність та меншу вартість. Тому вибираємо датчик тиску ОВЕН ПД200ДД-2-155-0,1-2-Н

Зовнішній вигляд датчика представлений на малюнку 3.4.





## б) Датчики контролю розходу газу

Для рішення питання контролю розходу природного газу можна обрати такий самий датчик з попереднього пункту, але у вибухозахищеному варіанті - ПД200ДД-2-155-0,1-2-Н- Exd[11].

При необхідності стандартного звужуючого пристрою, для обох датчиків є можливість встановити діафрагму безкамерну ДБС-0,6-50-Б, технічні характеристики якої наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 - Основні технічні характеристики діафрагми безкамерної ДБС-0,6-50-Б

Найменування	Позначення	УМОВНИЙ ТИСК Ру, МПа	УМОВНІ ПРОХО- ди Ду, мм	Матеріал	УМОВНЕ ПО- значення	Вартість, грн
Діафрагма безкамерна	ДБС	0,6	50	Сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632	Б	3150

Зовнішній вигляд діафрагми представлений на малюнку 3.5.



Рисунок 3.5 – Діафрагма безкамерна ДБС-0,6-50-Б

### 3.1.2 Виконавчі механізми

Для регулювання тиском, витратою і концентрацією необхідно вибрати виконавчо-регулюючі механізми.

Серед доступного на ринку України обладнання недостатньо недостатньо необхідних варіантів, тому в якості такого механізму може бути використані регулюючі заслінки VFH з електроприводом виробництва Elettromeccanica Delta (Італія)[13] сконструйовані для регулювання і управління подачі повітря і газу. Кранами можна керувати вручну, використовуючи рукоятку (для установки потужності пальника) або автоматично, використовуючи сервомотор (Модульована або ступеневу управління) або привід соленоїда (двоступеневих управління). Налаштування можна контролювати на градуйованою шкалою, що дозволяє точно виставити регульований коефіцієнт. Цей тип обладнання придатний для регулювання повітря і газу в процесах горіння, таких як промислові печі, сушарки, плавильні печі і печі випалу, а також регулювання потоків димових газів або перегрітого повітря. Для керування використовуються аналогові сигнали In/Out 0-10V, 0(4) -20mA. Напруга живлення 24В.

Зовнішній вигляд регулюючої заслінки VFH з електроприводом представлений на малюнку 3.5



Рисунок 3.6 – Регулююча заслінка VFH

### **3.1.3 Вибір двигуна для допоміжних механізмів печі**

Для того, щоб переміщати конвеєр с формами всередині печі будемо використовувати електродвигун.

#### **а) Електродвигун АИММ 132М4[14]**

Зовнішній вигляд двигуна АИММ 132М4 зображений на рисунку 3.7.



Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд двигуна АИММ 132М4

Технічні характеристики двигуна АИММ 132М4 наведені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Технічні характеристики двигуна АИММ 132М4

Виробник	ТМ-Мотор
Напруга	0,38 кВ
Номинальний струм	22,2 А
Потужність	11,0 кВт
Частота обертання	1500,0 об / хв
ККД	88,5 %
Захисний кожух	Так
Ступінь захисту	IP 54
Маса	125 кг
Ціна	17 484 грн

**б) Електродвигун 4ВР130[14]**

Зовнішній вигляд двигуна 4ВР130 зображений на рисунку 3.8.



Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд двигуна 4ВР130

Технічні характеристики двигуна 4ВР130 наведені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Технічні характеристики двигуна 4BP130

Виробник	ТМ-Мотор
Напруга	0,38 кВ
Номінальний струм	7,5 А
Потужність	11,0 кВт
Частота обертання	1500,0 об / хв
Режими роботи	Тривалий
Система охолодження двигуна	Зовнішній обдув
ККД	84,0 %
Захисний кожух	Так
Ступінь захисту	IP 54
Маса	87,2 кг
Ціна	15 476 грн

За технічними характеристиками обидва двигуни є підходящими. Хоча двигун 4BP130 і дешевше, двигун АИММ 132М4 має більший ККД, о ж зупиниммо вибір на ньому.

В процесі виробництва питання керування двигунами виникне неоднаразово. Для цього необхідно додаткові проміжні пристрої. Питання керування швидкістю обертів двигуна не постає, достатньо просто правильно їх запустити, то ж необхідно лише обрати пристрій плавного пуску. Лінійка пристроїв плавного пуску УПП2 забезпечують управління пуском і зупинкою електродвигуна потужністю до 110 кВт в режимі плавного наростання напруги. Особливості та переваги лінійки УПП2: легка установка на DIN-рейку пристроїв до 30 кВт; вбудований байпас; 2- або 3-провідне управління запуском / зупинкою.

## **3.2 Верхній рівень автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУ ТП)**

Цей рівень виконує функції діалогової взаємодії з оператором, тобто фактично це відображення, накопичення і аналіз даних.

Основні функції управління, реалізуються на основі підбору необхідних технічних засобів. Головним завданням вибору технічних засобів є перевірка сполучення каналів управління контролера з приводами.

На підставі викладених даних маємо такі вимоги до портів контролера (табл. 3.11).

Таблиця 3.11 - Вхідні і вихідні сигнали

Сигнали	кількість сигналів
Аналогові вхідні	21
Дискретні вхідні	2
Аналогові вихідні	15
Дискретні вихідні	6

### **3.2.1 Вибір контролера**

Для реалізації управління ТП необхідно використати контролер з можливістю встановлення додаткових модулів розширення.

Варианти таких контролерів наступні:

#### **а) Програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК 160-24.А.М[16]**

ПЛК 160 призначений для створення систем управління малими та середніми об'єктами.

Побудова системи управління і диспетчеризації на базі ОВЕН ПЛК можливо як за допомогою провідних засобів - використовуючи вбудовані інтерфейси Ethernet, RS-232, RS-485, так і за допомогою бездротових засобів - використовувачи радіо, GSM, ADSL модеми.

Контролер виконаний в компактному DIN-рейковому корпусі. Розширення кількості точок введення \ виведення здійснюється шляхом підключення зовнішніх модулів введення \ виводу за допомогою одного з вбудованих інтерфейсів.

У контролері закладені потужні обчислювальні ресурси при відсутності операційної системи:

- високопродуктивний процесор RISC архітектури ARM9, з частотою 180МГц компанії Atmel;
- великий обсяг оперативної пам'яті - 8МБ;
- великий обсяг постійної пам'яті - Flash пам'ять, 4МБ;
- обсяг енергонезалежної пам'яті, для зберігання змінних - до 16КБ.

Зовнішній вигляд ПЛК представлений на малюнку 3.9.



Рисунок 3.11 – ОВЕН ПЛК 160

Електричні параметри

- Два варіанти живлення для кожного контролера:
- змінний струм: (90-265)В, (47...63)Гц;
- постійний струм: (18-29)В.

- Невелика споживана потужність до 10Вт.
- Дискретні входи - 16
- Дискретні виходи - 12
- Аналогові входи - 8
- Аналогові виходи - 4
- Всі дискретні входи контролера вимірюють сигнал 24В.
- Тип сигналу може бути як n-p-n, так і p-n-p.
- Дискретні виходи типу: Р - реле.

«Швидкі» аналогові входи, для підключення уніфікованих датчиків струму, напруги. Дискретні виходи контролерів даної лінійки можуть бути налаштовані на видачу ШІМ, або генератора з високою точністю.

Вартість ПЛК - 13440 грн.

#### **б) Програмований логічний контролер SIMATIC S7-1200[17]**

Програмований контролер SIMATIC S7-1200 виробництва SIEMENS це базовий контролер для вирішення найрізноманітніших завдань автоматизації малого і середнього рівня. Цей контролер має модульну конструкцію і універсальне призначення. Він здатний працювати в реальному масштабі часу, може використовуватися для побудови відносно простих вузлів локальної автоматики або вузлів комплексних систем автоматичного управління, що підтримують інтенсивний комунікаційний обмін даними через мережі Industrial Ethernet / PROFINET, а також PtP (Point-to-Point) з'єднання.

Програмований контролер S7-1200 має компактні пластикові корпуси із ступенем захисту IP20, може монтуватися на стандартну 35 мм профільну шину DIN або на монтажну плату і працює в діапазоні



температур від 0 до +50 ° С. Він здатні обслуговувати 24 дискретних і 12 аналогових канали введення-виведення.

Центральний процесор має високу продуктивність і забезпечує підтримку широкого набору функцій:

- Програмування на мовах LAD (Ladder Diagram), FBD (Function Block Diagram) і SCL (Structured Control Language), вичерпний набір команд.
- Висока швидкодія, час виконання логічної операції не перевищує 0.1 мкс.
- Вбудована завантажена пам'ять об'ємом до 4 Мбайт, що розширюється картою пам'яті ємністю до 4 Гбайт.
- Робоча пам'ять ємністю до 150 Кбайт.
- Незалежна пам'ять ємністю 10 Кбайт для роботи без обслуговування збереження даних при перебоях в живленні контролера.
- Вбудовані дискретні входи універсального призначення, що дозволяють вводити потенційні або імпульсні сигнали.
- Вбудований апаратний годинник реального часу з запасом ходу при перебоях в живленні 20 днів.
- Вбудовані швидкісні лічильники з частотою проходження вхідних сигналів до 1 МГц.
- Вбудовані імпульсні виходи з частотою проходження імпульсів до 1 МГц (тільки в CPU з транзисторними виходами).
- Підтримка функцій ПД регулювання.
- Підтримка функцій управління переміщенням відповідно до вимог стандарту PLCopen.
- Підтримка функцій оновлення операційної системи.
- Вбудований WEB - сервер, що дозволяє виконувати дистанційну діагностику програмованих контролерів з використанням стандартного Web браузера.

- Парольний захист програми користувача.
- Комунікаційні модулі CM 12xx і CP 12xx для підключення контролера до мережі Industrial Ethernet, PROFIBUS DP, обміну даними через послідовні канали зв'язку, мобільну мережу GSM, канали зв'язку систем телеуправління.

Зовнішній вигляд ПЛК представлений на малюнку 3.10.



Рисунок 3.10 –ПЛК SIMATIC S7-1200

Вартість ПЛК - 22906,36 грн.

Всі вищепредставлені контролери однаково добре підходять для поставлених завдань і вимог, але на нижньому рівні автоматизації переважно були обрані датчики фірми ОВЕН, тому для уникнення конфліктів в протоколі RS 485 зупиняємо свій вибір на ОВЕН ПЛК 160-24.А.М.

В такому наборі обладнання існує необхідність використання додаткового модуля вводу аналогових сигналів, виведення аналогових сигналів і виведення дискретних сигналів. Також необхідними компонентами є панель оператора і блок живлення.

### **3.2.2 Модуль аналогового введення ОВЕН МВ110-24.8АС**

Прилад призначений для перетворення вимірюваних аналогових сигналів в цифровий код і передачі результатів вимірювання в мережу RS-485. Призначається для побудови автоматизованих систем збору даних в різних областях промисловості, сільського та комунального господарства, на транспорті.

Конфігурація приладу здійснюється на ПК через адаптер інтерфейсу RS-485 / RS-232 або RS-485 / USB (наприклад, ОВЕН АС3-М або

Зображення приладу представлено на малюнку 3.11.



Рисунок 3.11 – ОВЕН МВ110-24.8АС

Основні технічні характеристики приладу ОВЕН МВ110-24.8АС наведені в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 - Основні технічні характеристики ОВЕН МВ110-24.8АС

Найменування	Значення
Напруга живлення	24 В постійного струму
Споживана потужність, ВА, не більше	8
Межа основної зведеної похибки, %	0,25
Межа додаткової зведеної похибки, %	0,12
Роздільна здатність: - для діапазонів струмів від 4 до 20 мА і від 0 до 20 мА, мкА не більше - для діапазону струму від 0 до 5 мА, мкА не більше - для діапазону напруги від 1 до 10 В, мВ, не більше	4 1 2
Кількість аналогових каналів вимірювання	8
Вхідний опір в режимі вимірювання струму від 0 до 20 мА і від 4 до 20 мА, Ом	від 130 до 250
Період оновлення результатів через виміри по кожному каналу, мс	$5 \pm 2$ %
Вихідна напруга вбудованого джерела живлення, В	$24 \pm 3$

Продовження таблиці 3.12

Найменування	Значення
Роздільна здатність: - для діапазонів струмів від 4 до 20 мА і	

### **3.2.3 Модуль аналогового виведення ОВЕН МУ110-24.8І**

Модуль аналогового виведення ОВЕН МУ110-24.8І призначений для перетворення цифрових сигналів, які передаються по мережі RS-485, в аналогові сигнали діапазоном від 4 до 20 мА і в аналогові сигнали діапазоном від 0 до 10 В для управління виконавчими механізмами або для передачі сигналів приладів реєстрації і самописцям. МУ110 працює в мережі RS-485 за протоколами ОВЕН, ModBus-RTU, ModBus-ASCII, DCON.

Конфігурація ОВЕН МУ110-24.8І здійснюється за допомогою ПК через адаптер інтерфейсу RS-485 / RS-232 або RS-485 / USB (наприклад, ОВЕН АС3-М або АС4, відповідно) за допомогою програми «Конфігуратор М110», що входить в комплект поставки.

Прилад відповідає вимогам по стійкості до впливу перешкод відповідно до ГОСТ Р 51522 для обладнання класу А.

Основні технічні характеристики приладу ОВЕН МУ110-24.8І наведені в таблиці 3.14.

Таблиця 3.14 - Основні технічні характеристики ОВЕН МУ110-24.8І

Найменування	Значення
Напруга живлення	24 В постійного струму
Споживана потужність, ВА, не більше	6
Кількість аналогових вихідних елементів	8
Тип аналогових вихідних елементів	ЦАП «параметр – струм 4...20 мА»

Продовження таблиці 3.14

Найменування	Значення
Основна приведена похибка ЦАП,%, не більше	$\pm 0,5$
Опір навантаження, підключається-моє до виходу, Ом	0...1300
Інтерфейс зв'язку з майстром мережі	RS-485
Максимальна кількість приладів, одночасно підключаються до мережі RS-485, не більше	32
Максимальна швидкість обміну по	115200
Ступінь захисту корпусу	IP20
Габаритні розміри приладу, мм	$(63 \times 110 \times 73) \pm 1$
Маса приладу, кг, не більше	0,5
Середній термін служби, років	8

### **3.2.4 Графічна панель оператора з сенсорним управлінням**

Для візуалізації проходження ТП, відображення поточних параметрів, задання вхідних величин і індикації каналу аварії застосуємо сенсорну графічну панель оператора ОВЕН СП270 (рис. 3.15).



Рисунок 3.15 – ОВЕН СП270

Основні технічні характеристики ОВЕН СП270 наведені в таблиці 3.15.

Таблиця 3.15 - Основні технічні характеристики ОВЕН СП270

Напруга живлення постійного струму	22...26 В
Споживаний струм	не більше <u>0,150 А</u>
Споживана потужність	не більше 30 Вт (номінальна споживання 5 Вт)
Використовувані інтерфейси зв'язку	RS-232 (2 шт.), RS-485 (1 шт.)
Тип інтерфейсу для зв'язку з ПЛК	RS-232, RS-485
Тип інтерфейсу для завантаження проекту з ПК	RS-232
Швидкість передачі даних по інтерфейсах	4800, 9600, 14400, 19200, 38400, 115200 бит/с
Пам'ять програм (Flash-RAM)	4 Мбайт
Пам'ять даних (SD RAM)	4 кбайт
Ступінь захисту корпусу з боку лицьової панелі	IP65
Тип дисплея, діагональ	цветной (TFT), 178 мм (7")
Кількість відображаємих кольорів	256
Розмір дисплея	480x234 пиксела

### 3.2.5 Блок живлення

Для живлення модулів введення, виведення, ПЛК та панелі оператора виберемо блок живлення. Загальна споживана потужність становить близько 53 Ватт, але звертаючи увагу на велику кількість елементів, що потребують живлення, доцільно використати два блоки замість одного та розподілити споживачів.

Застосуємо одноканальний блок живлення ОВЕН БП60Б-Д4 (рис. 3.15) потужністю 60 Ватт.





Рисунок 3.16 - Одноканальний блок живлення ОВЕН БП60Б-Д4

Основні технічні характеристики ОВЕН БП60Б-Д4 наведені в таблиці 3.16.

Таблиця 3.16 - Основні технічні характеристики ОВЕН БП60Б-Д4

Частота вхідної змінної напруги:	47...63 Гц
Поріг спрацьовування захисту по струму:	не більше 1,5 I <sub>max</sub>
Максимальна вихідна потужність:	60 Вт
Робочий діапазон температур:	-20...+50 °С
Рівень радіоперешкод по ГОСТ Р 51527:	група С
Вихідна напруга:	24 ± 1 % В
Амплітуда пульсації вихідної напруги:	120Мв
Макс. струм навантаження I <sub>max</sub> :	2,5 А
Струм споживання:	1,03...0,41 А
Ціна, грн	4115,09

### 3.3 Система сигналізації та блокування

Для здійснення технологічної сигналізації можна використати блок технологічної сигналізації ПТС-164МИ[17]

Блок технологічної сигналізації призначений для узагальненої і поканальної сигналізації параметрів технологічних процесів, значення яких в процесі роботи перевищують ті чи інші технологічні значення. Використовується в локальних і комплексних системах промислової автоматизації виробничих процесів в схемах технологічної і аварійної

сигналізації. Основні технічні характеристики ПТС-164МИ наведені у таблиці 3.18

Таблиця 3.17 - Основні технічні характеристики системи ПТС-164МИ

Технічна характеристика:	Значення:
Кількість дискретних входів	8
Тип входу	сухий контакт
Опір входного контакту, що відповідає ввімкненому входу	не більше 100 Ом
Кількість дискретних виходів	8
Вид навантаження	одиничний індикатор
Максимальна споживана потужність по одному входу	не більше 50 мА
Максимальна споживана потужність підключених ПТС-85	не більше 5 А
Живлення	постійне напруження 24В нестабілізованого струму
Споживаний струм	не більше 170 мА (без урахування споживання зовнішніх індикаторів)
Максимальна кількість ведених пристроїв ПТС-85, підключених до ведучого пристрою ПТС-25	8 штук
Кріплення блоків	рельс DIN36x7,5 EN50022

Габаритні розміри (ВхШхГ)	86x180x45 мм
Робоча температура	Від -40 °С до +70 °С

Прилад технологічної сигналізації ПТС-64 складається одного або декількох блоків ПТС-8 (ведений пристрій або прилад поканального сигналізації) та одного блоку ПТС-2 (ведучий пристрій або прилад узагальненої сигналізації).

Підключення приладу технологічної сигналізації ПТС-64 здійснюється наступним способом. До ведучого пристрою ПТС-2 підключаються від одного до восьми ведених пристроїв ПТС-8. Схема підключення приладу представлена на рис. 3.17.

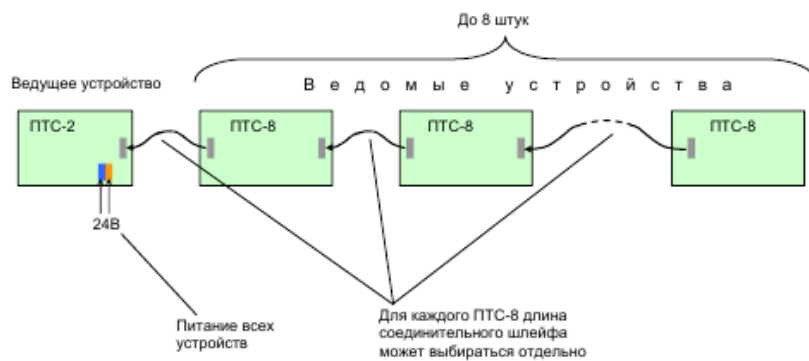


Рисунок 3.17 – Схема підключення приладу ПТС 64

Зовнішній вигляд приладу технологічної сигналізації ПТС-64 представлений на малюнку 3.18.

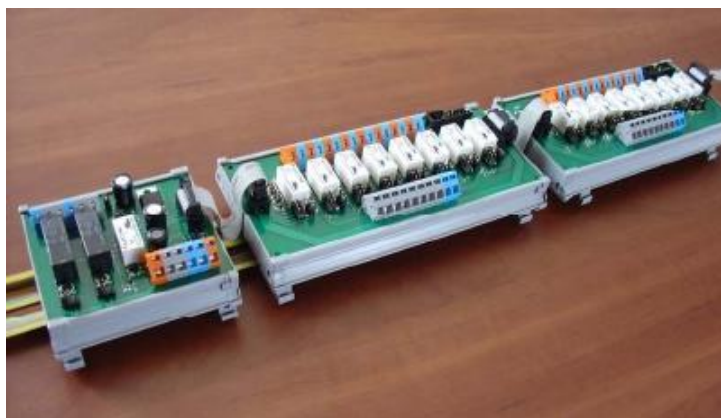
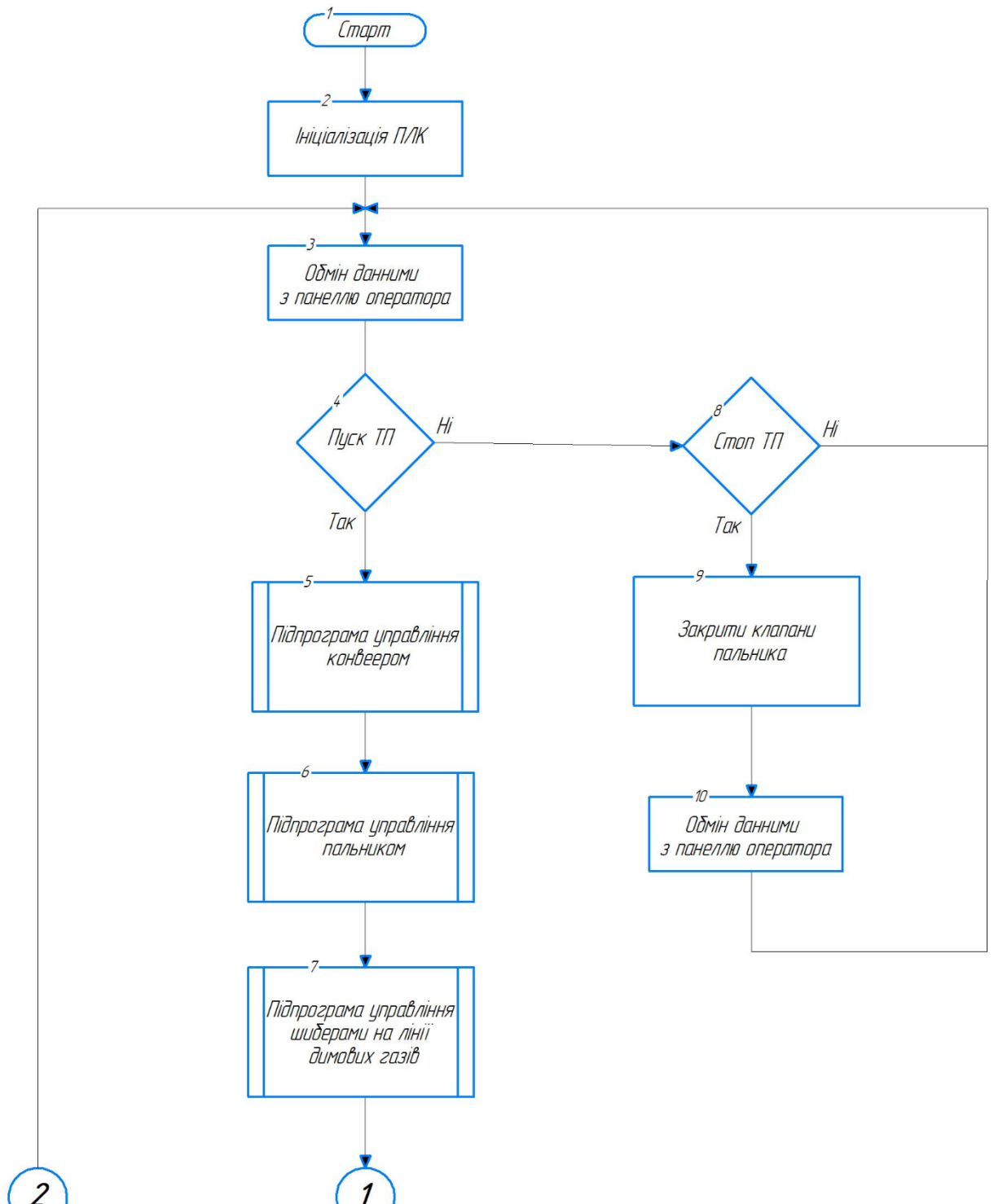
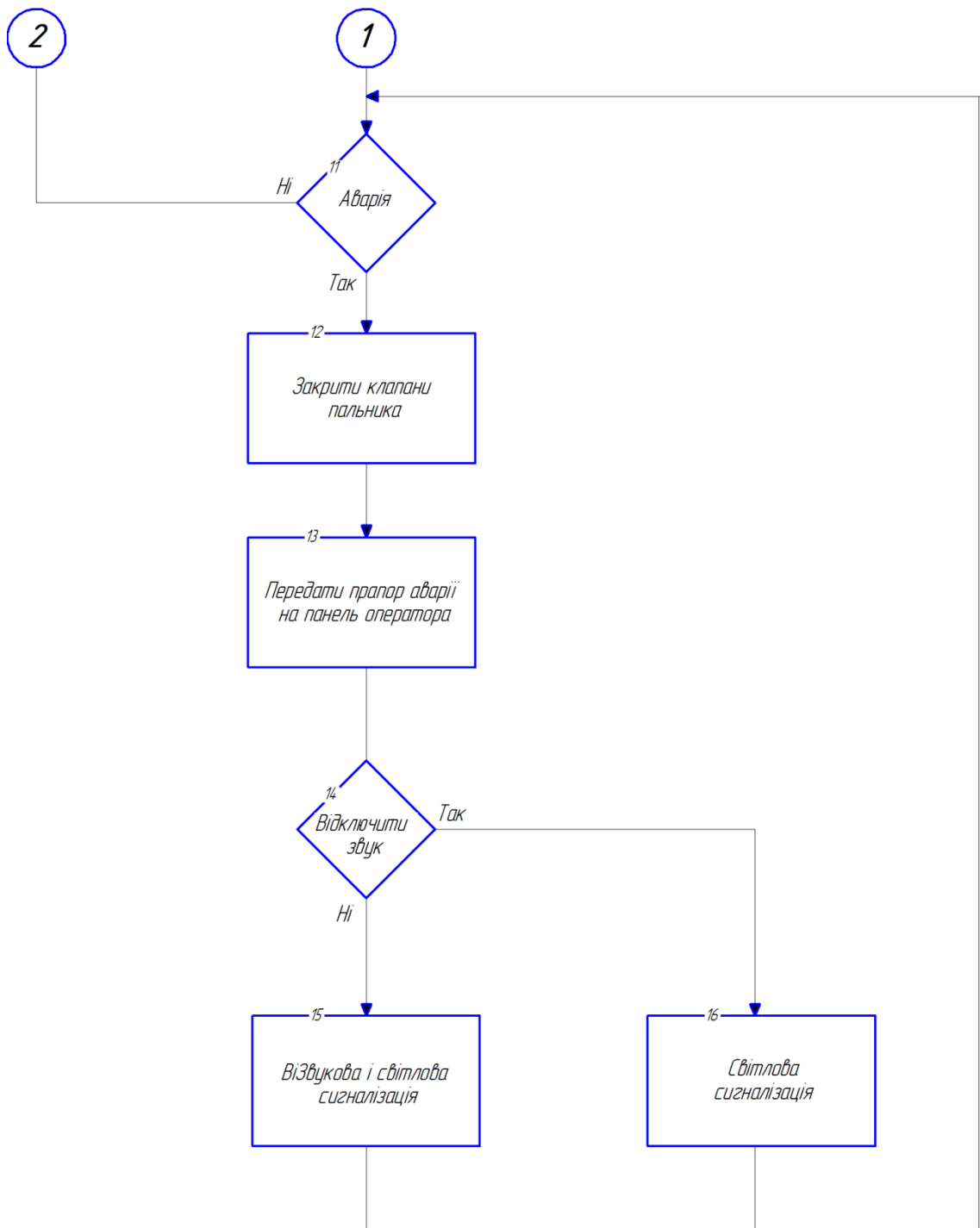


Рисунок 3.18 - Зовнішній вигляд приладу сигналізації ПТС-64

### 3.4 Розробка алгоритмів управління

У загальному вигляді система працює за алгоритмом, представленим на малюнку 3.19.





### Рисунок 3.19 – Загальний алгоритм роботи системи

Алгоритми окремих підпрограм управління наведені на малюнках  
3.20-3.24.

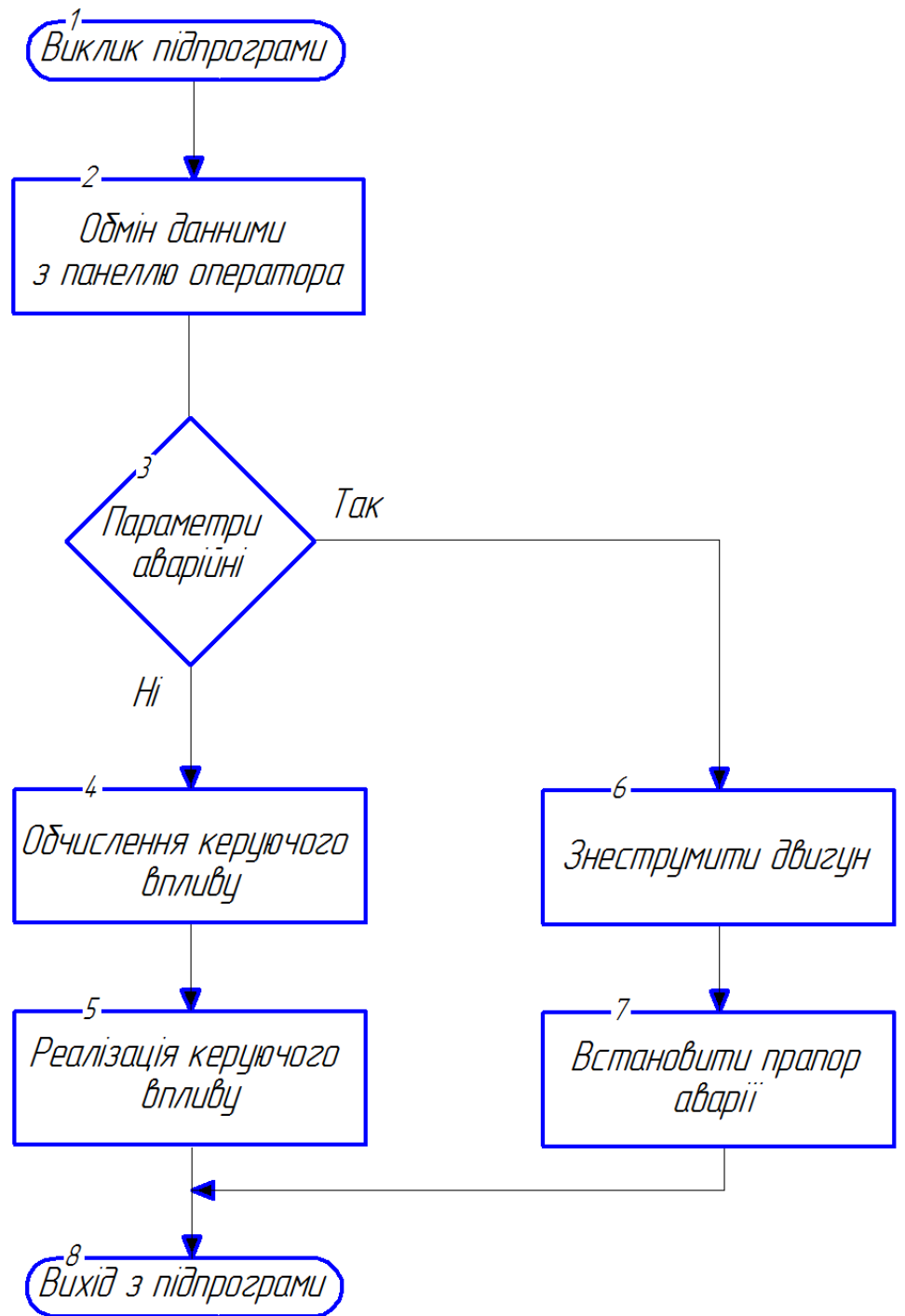


Рисунок 3.20 – Підпрограма управління конвеєром

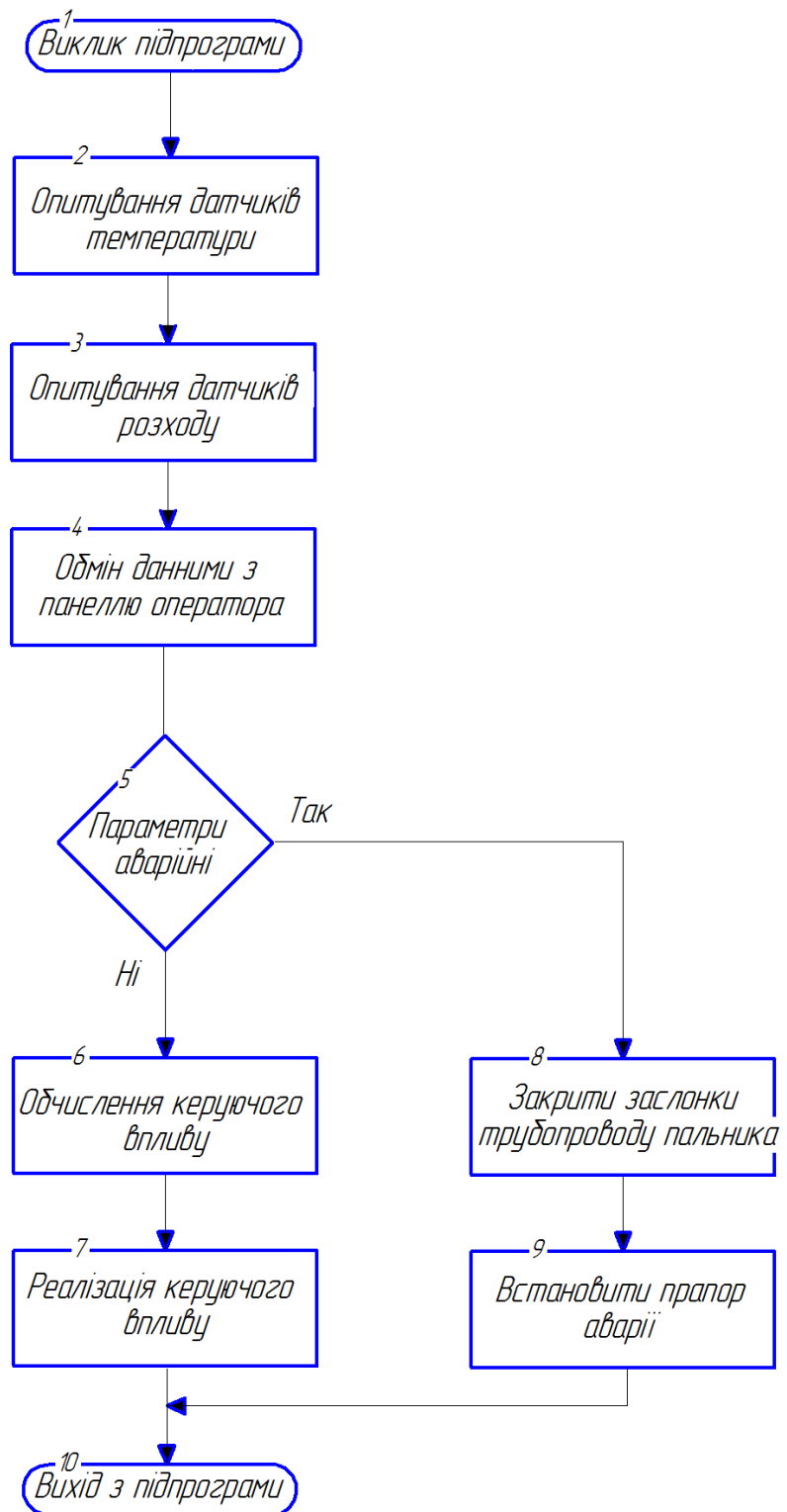


Рисунок 3.21 – Підпрограма управління режимами термообробки



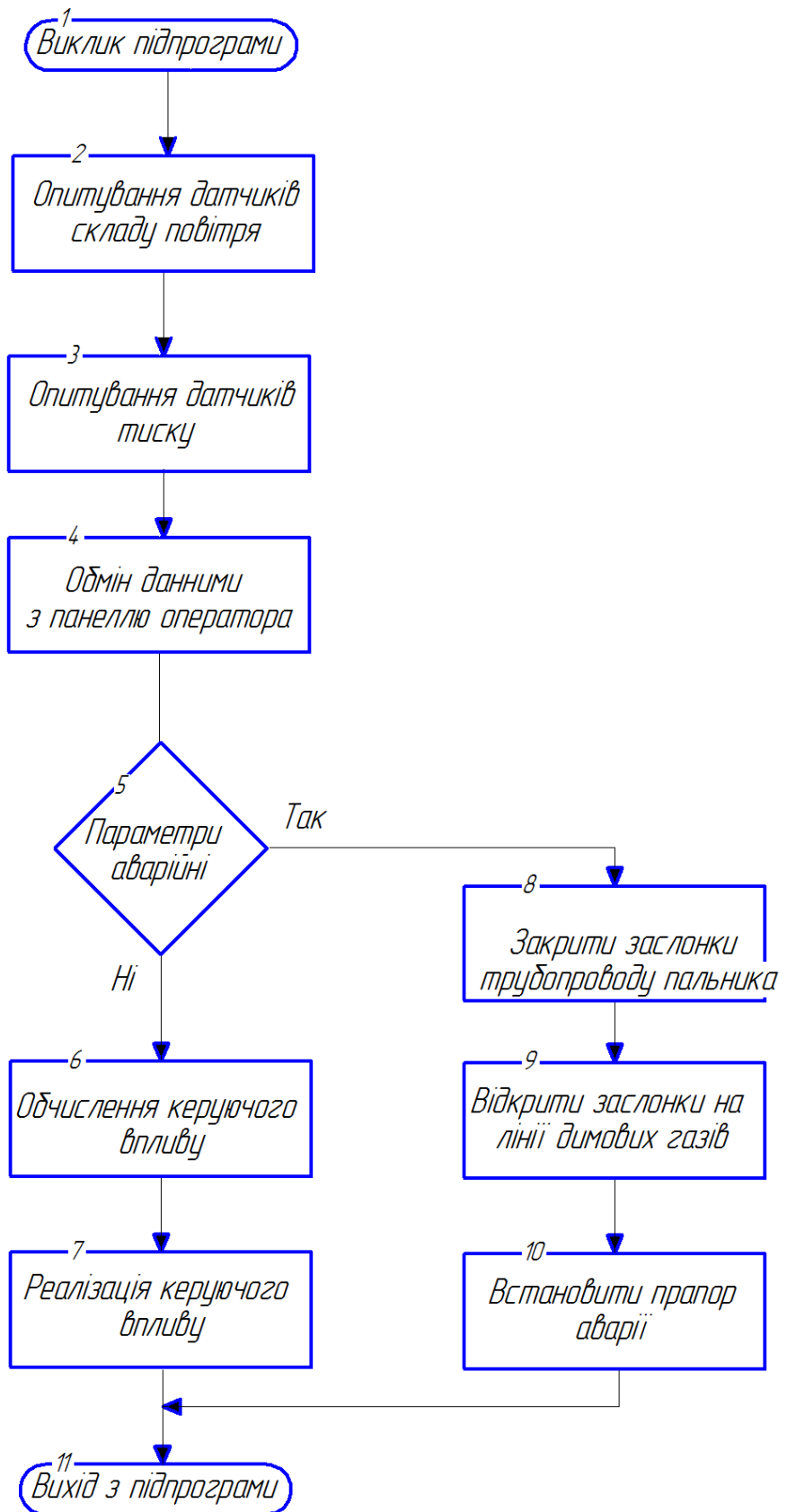


Рисунок 3.22 – Підпрограма управління заслонками на лінії димових газів

## 4 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 4.1 Опис об'єкта моделювання

Технологічний процес термообробки піноскла дуже складний і включає в себе багаторівневі етапи. Одним з основних є перехід від режиму нагріву до режиму спінювання, який проходить в середині печі и виділяється поступовим зростанням і утриманням температури на певному рівні. Від протікання цієї операції безпосередньо залежить якість кінцевого продукту і безпеку процесу.

Об'єкт моделювання являє контур регулювання температури виробчій зоні печі. Трубопровід подачі палива оснащений регулювальним клапаном, який в даному випадку виступає безпосереднім об'єктом управління. Параметр управління – температура, °С.

Вимоги до якості регулювання об'єкта управління:

- час перехідного процесу  $\leq 1200$  с;
- перерегулювання  $\leq 20\%$ ;

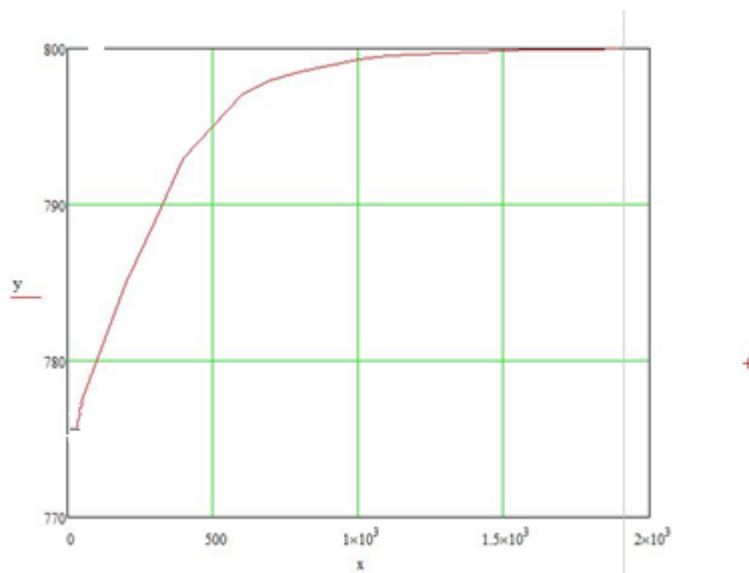


Рисунок 4.1 – Экспериментально отримана рива розгону об'єкта управління

Виконуємо нормування даної кривої розгону. (рис. 4.2).

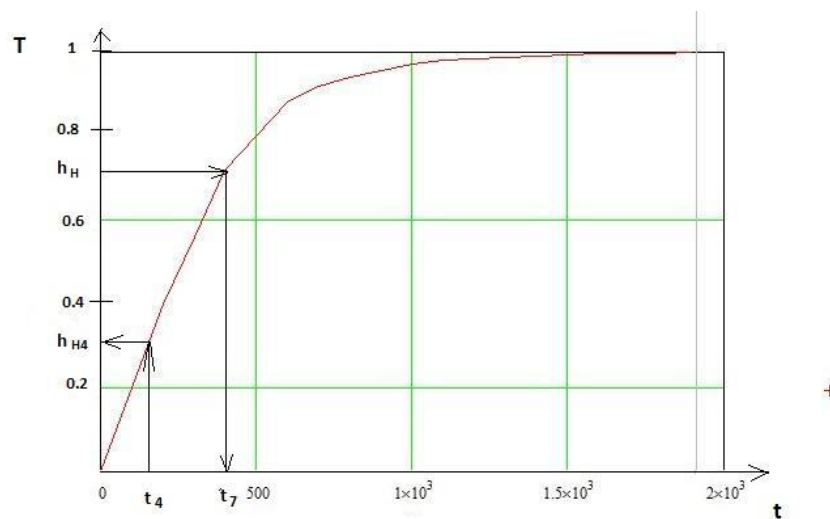


Рисунок 4.2 - Нормована крива розгону об'єкта управління

Для визначення передавальної функції скористаємося методом Орманса.

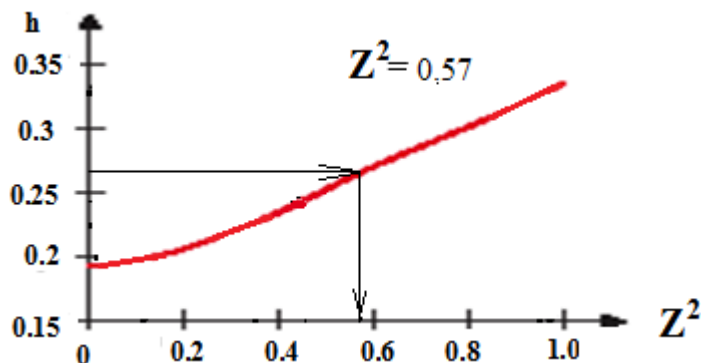
Цей метод дозволяє по нормованій кривій розгону визначити дві домінуючі постійні об'єкта управління для моделі виду

$$W(p) = \frac{Ke^{-\tau p}}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)},$$

де  $\tau$  - транспортне запізнювання (визначається по кривій розгону).

Отримання передавальної функції об'єкта управління виконується в такій послідовності:

- 1) з нормованою кривою розгону визначаємо час, що відповідає значенню  $h_N = 0,7$  і позначаємо його  $t_7$ . З графіка (рис. 4.2) цей час становить 3,53 секунди;
- 2) Отриманий інтервал ділимо на три частини. Піднімаємо перпендикуляр кривою розгону і визначаємо величину  $h_{N4}$ . На графіку (рис.1.2)  $h_{N4} = 0,26$ ;
- 3) постійні часу об'єкта управління  $T_1$  і  $T_2$  визначаються за допомогою допоміжної величини  $Z^2$ , для знаходження якої використовується номограма Орманса (рис.4.3).



### Рисунок 4.3 - Номограма Орманса

4) постійні часу об'єкта управління  $T_1$  і  $T_2$  визначаються за такими формулами:

$$T_1 = \frac{t_7}{2.4}(1+z) \quad (4-2a)$$

$$T_2 = \frac{t_7}{2.4}(1-z) \quad (4-2б)$$

$$Z = \sqrt{Z^2} = \sqrt{0,57} = 0,75;$$

$$T_1 = 388(1 + 0,75) / 2,4 = 282,9 \text{ с};$$

$$T_2 = 388 (1 - 0,75) / 2,4 = 40,4 \text{ с}.$$

Коефіцієнт посилення визначаємо за формулою

$$K = \frac{Y_{уст}}{X}, \quad (4-3)$$

де  $Y_{уст}$  - сталі значення вихідного параметра;  $X$  - значення вхідної величини (керуючого сигналу).

$$K = \frac{25}{1} = 25.$$

Так як  $T_1 \gg T_2$ , передавальна функція може бути представлена у вигляді

$$W(s) = \frac{K \cdot e^{-\tau \cdot s}}{T \cdot s + 1} = \frac{25e^{-20 \cdot s}}{282,9 \cdot s + 1}. \quad (4-4)$$

### 4.3 Перевірка адекватності моделі методом Фішера

Змодельємо об'єкт управління з його функцією передачі (4-4) в MatLab (Simulink). Схема моделі зображена на малюнку 4.4.

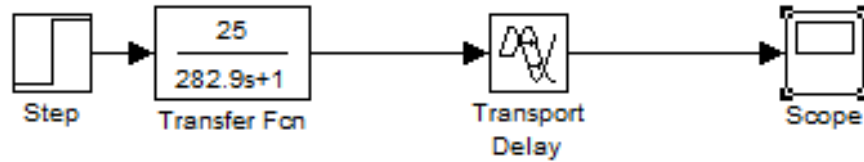


Рисунок 4.4 - Схема моделі досліджуваного об'єкта

Запускаємо процес моделювання і отримуємо криву розгону (рис. 4.5).

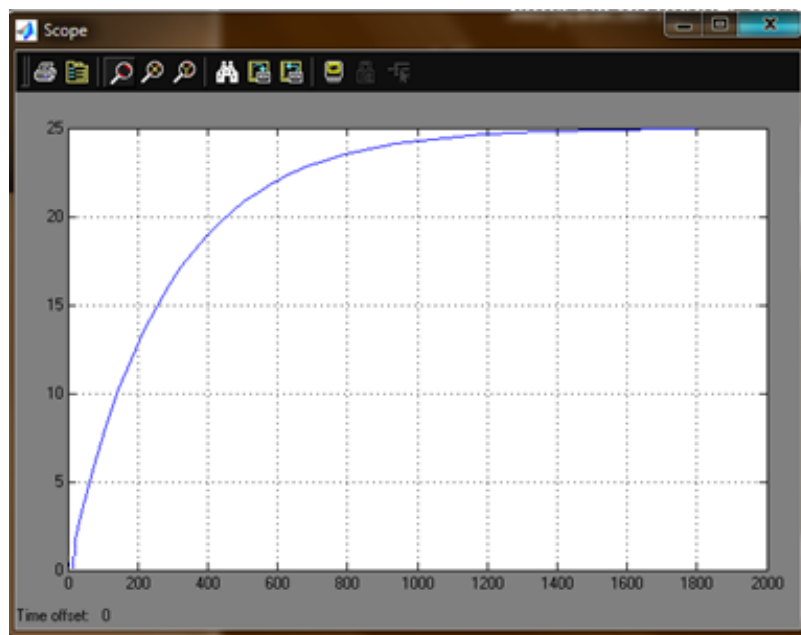


Рисунок 4.5 - Крива розгону об'єкта управління, отримана в MatLab (Simulink)

Аналогічно п.2 виконуємо нормування даної кривої розгону (рис. 4.6).

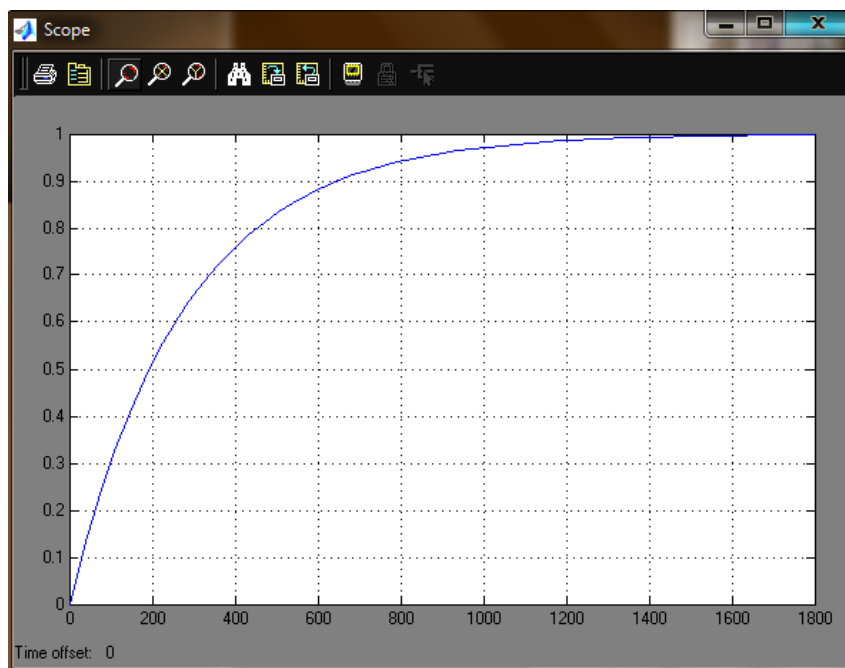


Рисунок 4.6 - Нормована крива розгону об'єкта управління, отримана в MatLab (Simulink)

Отримана крива майже збігається з аналогічною з попереднього пункту (рис. 4.3), а отже, моделювання виконано правильно.

а) час перехідного процесу:

$$t_p = 3T = 1030 \text{ с;}$$

б) перерегулювання:

$$\sigma = \frac{h_{\max}(t) - h_{уст}(t)}{h_{уст}(t)} = \frac{1-1}{1} \cdot 100\% = 0\% \quad (4-5)$$

Область зміни  $t$  ділимо на 10 інтервалів. Визначаємо середнє значення для 10-ти точок на експериментальній кривій розгону (рис. 4.3), рівномірно розподілених по кривій і 10-ти точок при тих же моментах часу на кривій розгону, отриманій в MatLab (рис.4.6).

Для цих точок визначаємо мат. очікування (середнє значення  $\bar{Y}$ ) за формулою

$$\bar{Y}_{Y1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{1i} \quad (4-6a)$$

$$\bar{Y}_{Y2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{2i} \quad (4-6б)$$

де  $\bar{Y}_{Y1}$  - мат. очікування, отримане для експериментальної кривої розгону (рис. 4.2),

$\bar{Y}_{Y2}$  - мат. очікування, отримане для теоретичної кривої розгону (рис. 4.6).

$$\bar{Y}_{Y1} = \frac{0,08 + 0,2 + 0,36 + 0,56 + 0,68 + 0,8 + 0,86 + 0,9 + 0,964 + 0,996}{10} = 0,64$$

$$\bar{Y}_{Y2} = \frac{0,06 + 0,18 + 0,34 + 0,53 + 0,65 + 0,78 + 0,84 + 0,89 + 0,96 + 0,97}{10} = 0,62$$

Визначаємо оцінку дисперсії середнього для кожної вибірки

$$S_{Y1} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{Y}_{Y1} - y_i)^2 \quad (4-7a)$$

$$S_{Y2} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{Y}_{Y2} - y_i)^2 \quad (4-7б)$$

$$S_{Y1} = \frac{(0,64-0,08)^2 + (0,64-0,2)^2 + (0,64-0,36)^2 + (0,64-0,56)^2 + (0,64-0,68)^2 + (0,64-0,8)^2 + (0,64-0,86)^2 + (0,64-0,9)^2 + (0,64-0,964)^2 + (0,64-0,996)^2}{10} = 0,107$$

$$S_{Y2} = \frac{(0,62-0,06)^2 + (0,62-0,18)^2 + (0,62-0,34)^2 + (0,62-0,53)^2 + (0,62-0,65)^2 + (0,62-0,78)^2 + (0,62-0,84)^2 + (0,62-0,89)^2 + (0,62-0,96)^2 + (0,62-0,97)^2}{10} = 0,109$$

Визначаємо відношення оцінок дисперсій, причому більша з отриманих оцінок дисперсій ділиться на меншу

$$\frac{S_{Y_{\text{большая}}}}{S_{Y_{\text{меньшая}}}} \quad (4-8)$$



$$\frac{S_{\text{УБольшая}}}{S_{\text{Уменьшая}}} = \frac{0,109}{0,107} = 1,02$$

Порівнюючи отримане значення зі значенням критерію Фішера  $F_{0,95,10,10} = 2,98$ , робимо висновок, що отримана модель адекватна об'єкту управління, так як  $1,02 < 2,98$ .

#### 4.4 Синтез оптимального регулятора методом розширених частотних характеристик (методом Дудникова)

Выщеописаний об'єкт управління являється послідовним з'єднанням аперіодичної ланки першого порядку і ланки транспортного запізнювання, для яких відомі готові вираження для розширеної частотної характеристики. Таким чином РЧХ об'єкта управління має вигляд

$$W_o(m, \omega) = \frac{Ke^{m\omega\tau}}{\sqrt{(1-Tm\omega)^2 + (T\omega)^2}} e^{j(-\arctg \frac{T}{Tm\omega-1} - \omega\tau)}. \quad (4-9)$$

Вибираємо ПІ-регулятор, так як модель об'єкта управління є інерційною з чистим запізненням.

Розширена АФЧХ ПІ-регулятора з двома незалежними параметрами налаштування, яка описується передавальною функцією

$$W_{\text{ПИ}}(s) = k_1 + \frac{1}{T_u s} = k_1 + \frac{k_0}{s}, \quad (4-10a)$$

відома з літературних джерел Стефані

$$W_{\text{ПИ}}(k_0, k_1, m, \omega) = \frac{\sqrt{(k_0 - m\omega k_1)^2 + (\omega k_1)^2}}{\omega \sqrt{m^2 + 1}} e^{j(-\frac{\pi}{2} + \arctg \frac{\omega k_1}{k_0 - m\omega k_1} - \arctg m)} \quad (4-10б)$$

Складаємо рівняння балансу амплітуд і фаз

$$A_{\text{ПМ}}(k_0, k_1, m, \omega) = \frac{1}{A_0(m, \omega)} \quad (4-11a)$$

$$\Psi_{\text{ПМ}}(k_0, k_1, m, \omega) = \Psi_0(m, \omega) \quad (4-11б)$$

Для визначення параметрів настройки ПІ-регулятора використовуємо співвідношення

$$\text{Re}(W_p(m, j\omega)) = \text{Re}(W_0^*(m, j\omega)) \quad (4-12a)$$

$$\text{Im}(W_p(m, j\omega)) = \text{Im}(W_0^*(m, j\omega)) \quad (4-12б)$$

де  $W_0^*(m, j\omega)$  - зворотна (інверсна) розширена АФЧХ.

Таким чином, представивши вираз розширеної АФЧХ ПІ-регулятора  $W_{\text{ПМ}}(k_0, k_1, \omega)$  в алгебраїчній формі і підставивши його в вищенаведений вираз, отримаємо параметричне вираз рівняння лінії рівного загасання (ЛРЗ) як функції частоти

$$k_0(\omega) = \omega(m^2 + 1) \text{Im}(W_0^*(m, j\omega)) \quad (4-13a)$$

$$k_1(\omega) = m \text{Im}(W_0^*(m, j\omega)) - \text{Re}(W_0^*(m, j\omega)) \quad (4-13б)$$

Для оцінки діапазону робочих частот побудуємо розширену ФЧХ об'єкта управління в логарифмічному масштабі (рис. 4.7) і проведемо на ній лінії паралельні осі частот, відповідних виконання умови балансу фаз для ПІ-регулятора і І-регулятора. Перетин цих прямих з кривою РФЧХ дає мінімальне і максимальне значення діапазону робочих частот.

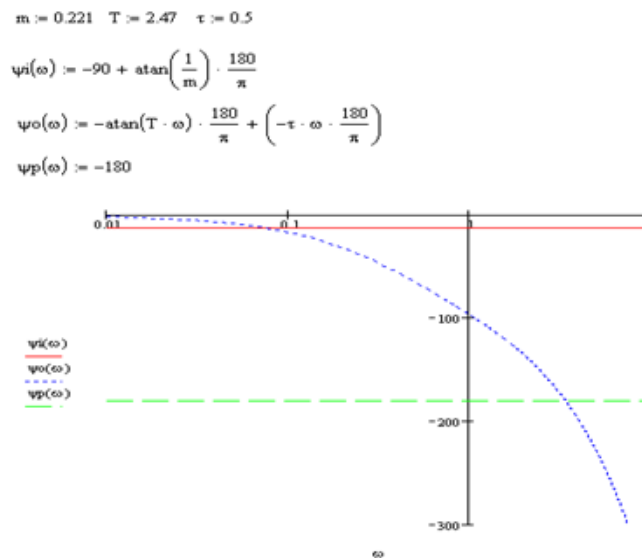


Рисунок 4.7 - Вибір діапазона робочих частот

У знайденому діапазоні робочих частот  $\omega_r = 0,08 \dots 3$  Гц будуюмо відповідно до вираження (4-13) лінію рівного загасання для заданого значення  $\psi = 0,75$ , якому відповідає показник коливальності  $m = 0,221$  (рис. 4.8).

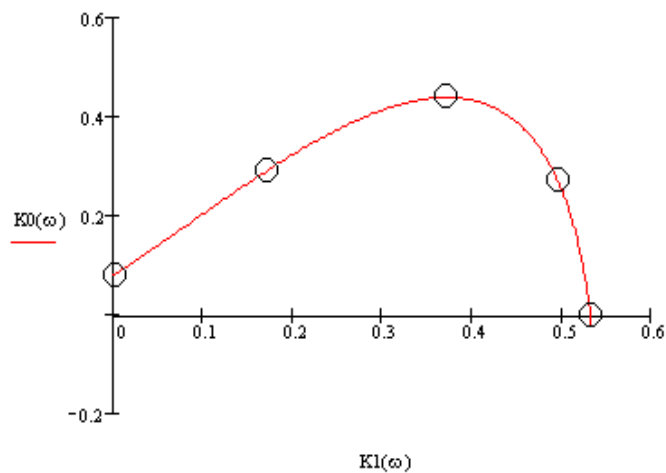


Рисунок 4.8 - Лінії рівного загасання в робочому діапазоні частот

Для визначення оптимальної настройки для п'яти точок, взятих на лінії рівного загасання, визначаємо значення налаштувань ПІ-регулятора, і для них проводимо моделювання. Результати моделювання (перехідні характеристики замкнутої системи з регулятором) представлено на

малюнку 4.9, а значення налаштувань і відповідні їм показники якості наведені в таблиці 4.1.

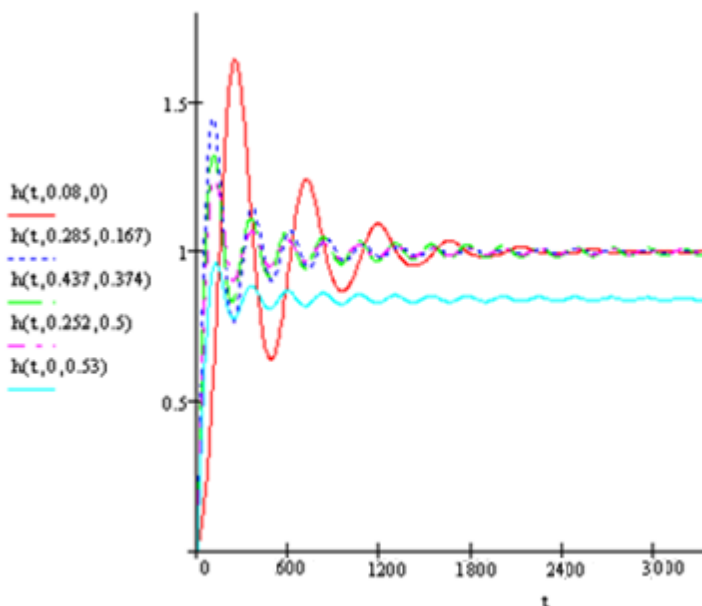


Рисунок 4.9 - Результати моделювання при налаштуваннях ПІ-регулятора, отриманих методом розширених АФЧХ

Таблиця 4.1 - Показники якості

№	$k_0$	$k_1$	$t_p, c$	$\sigma, \%$
1	0,08	0	1607	56
2	0,285	0,167	1556	49
3	0,437	0,374	1127	33
4	0,252	0,5	817	15
5	0	0,53	533	10

Можна помітити, що в разі застосування ПІ-регулятора (найнижча крива) для статичного об'єкта управління ми отримуємо статичну систему, має при заданому ступені загасання велику статичну помилку.

Четверта крива задовольняє заданим показникам якості перехідного процесу:  $T_{\text{пп}} = 817$  с, при значенні перерегулювання

$\sigma=15\%$ , тому можна вважати синтез виконаний успішно за заданими налаштуваннями регулятора.

#### 4.6 Синтез оптимального регулятора за допомогою програмних засобів MatLab

Серед інструментів програмного пакету MatLab є можливість автоматичного налаштування параметрів регуляторів, за допомогою середовища Simulink. Такий метод налаштування більш точний ніж формульний метод, де всі значення необхідно обчислювати вручну. До того ж, такий метод синтезу більш гнучкий і дозволяє розглянути певну кількість можливих варіантів налаштування регулятора за значно коротший проміжок часу. З метою налаштувати системи на мінімальний час перехідного процесу і перерегулювання, збираємо структурну схему, як вказано на рисунку 4.10:

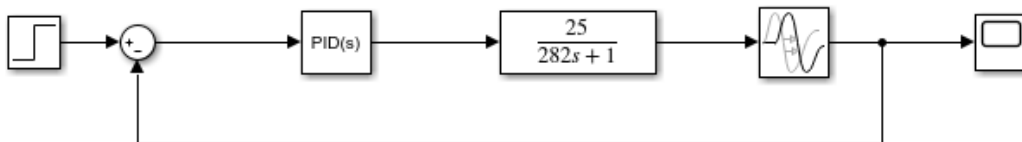


Рис. 4.10 - Структурна схема з ПІД-регулятором

У вікні управління регулятором (Рис. 4.11) є можливість тонкого налаштування, а також використання блоку і як ПІД-регулятор, і ПІ-регулятор. Спочатку виставимо налаштування для ПІД-регулятора. Встановлюємо необхідні показники та вмикаємо автоматичне регулювання параметрів.

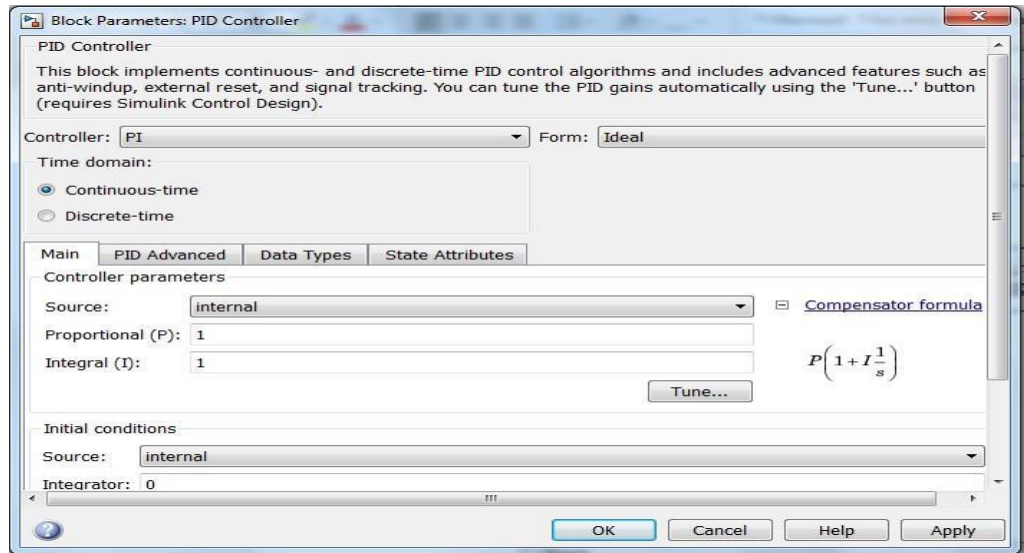


Рис. 4.11 - Вікно управління ПІД-регулятором

Після отримання перехідної характеристики, за допомогою панелі з регуляторами(рис. 4.12), вибираємо оптимальні налаштування.



Рис. 4.12 - Панель з регуляторами

Добиваємося найменшого часу перехідного процесу та перерегулювання  $\sigma$ (рис.4.13), визначаємо параметри регулятора і якість регулювання.

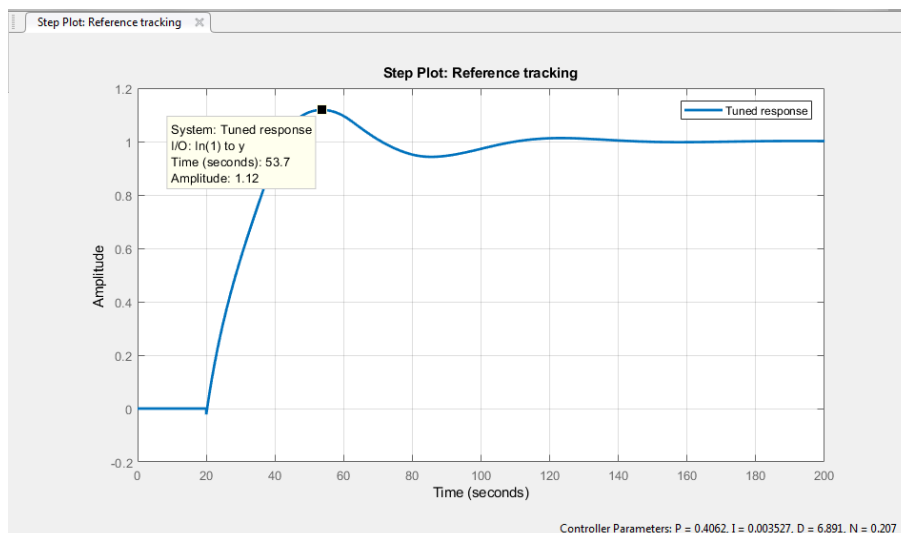


Рис. 4.13 - Перехідна характеристика при налаштуванні методами Матлаб для ПІД-регулятора

Аналогічно визначаємо оптимальні параметри для ПІ-регулятора для мінімального час перехідного процесу і перерегулювання.

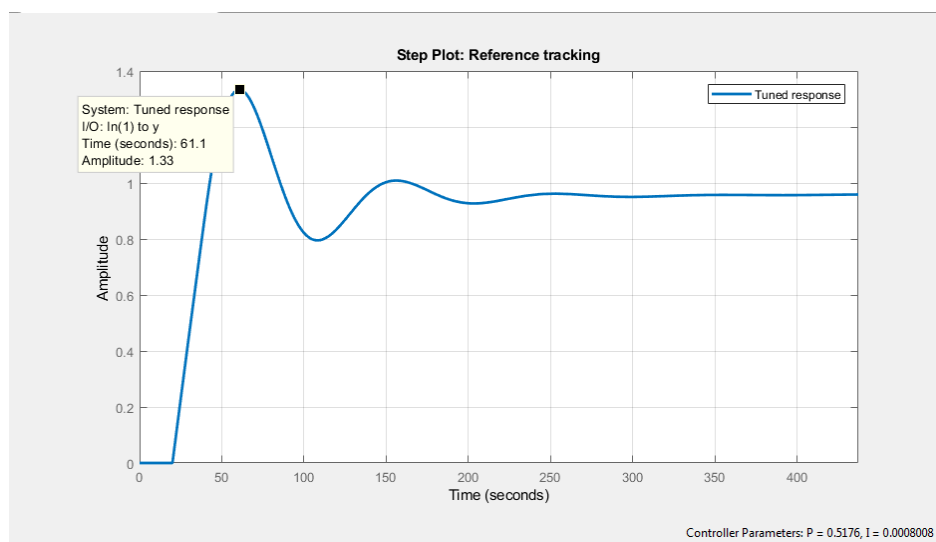


Рис. 4.14 - Перехідна характеристика при налаштуванні методами Матлаб для ПІ-регулятора

Зведемо отримані з двох експериментальних налаштувань дані в одну таблицю(таб.4.2).

Тип регулятора	$\sigma, \%$	$t_{пп}, c$
ПІД	10	105
ПІ	24	220

Таблиця 4.2. - Порівняння результатів автоматичного налаштування ПІ та ПІД регуляторів отримані методами Матлаб.

У даній ситуації з експериментальним налаштуванням моделі, результати отримані налаштуванням системи з ПІД регулятором дають

більш точні і більш швидкі результати: вона має найкращий час перехідного процесу  $T_{\text{ин}} = 105$  с, при мінімальному значенні перерегулювання близькому до  $\sigma=10\%$ . Тобто, теоретично для системи більше підходить ПД регулятор.

## **5 РЕАЛІЗАЦІЯ АСУТП В TRACE MODE**

Для реалізації АСУТП у данному дослідницькому проекті було прийняте рішення використати програмний пакет АПР TRACE MODE 6. Це продукт компанії AdAstra Research Group, що значно поширений серед малих та середніх підприємств нашого регіону. Програмний комплекс призначений для розробки програмного забезпечення АСУТП, систем телемеханіки, автоматизації будівель, систем обліку електроенергії, води, газу, тепла, а також забезпечення їх функціонування в реальному часі. В процесу моделювання були проведені наступні кроки:

### **5.1 Створення АРМ екрану**

АРМ екран у вигляді мнемосхеми графічно відображає технологічний процес, а також дозволить реалізувати індикацію параметрів процесу. Це зручний інструмент для оператора, який дозволяю оперативно реагувати на події, відстежувати ті чи інші технологічні параметри процесу.

Як ціль для моделювання була обрана піч спінювання, як основне джерело важливих технолоогічних процесів та можливих надзвичайних ситуацій.

На рисунку 5.1 наведено екран АРМ, що детально відображає зону спінювання печі, та процес що проходить у цій зоні. На ньому



відображається основний показник процесу – в данному випадку температура всередині печі.

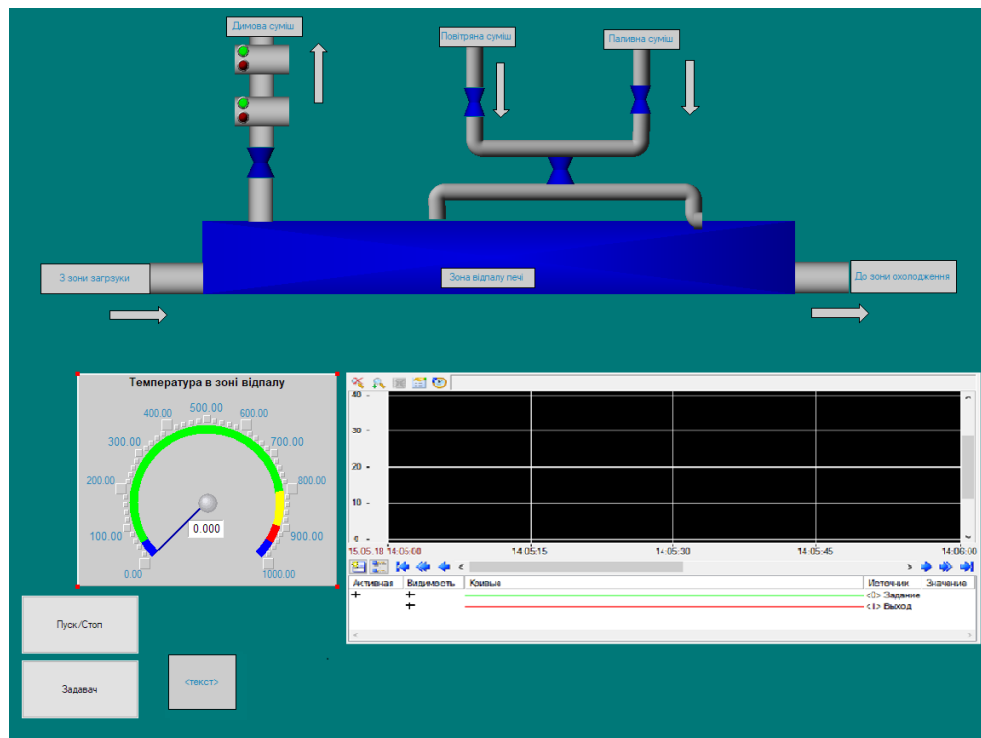


Рисунок 5.1 – АРМ екран оператора для АСУТП

## 5.2 Створення програмного забезпечення для контролера

Вищезначений програмний пакет дозволяє також створювати програмне забезпечення для контролерів задля реалізації необхідних керуючих процесів. В данному випадку таким процесом виступає процес підтримки температури в печі.

Скористаємося мовою програмування Техно FBD. Його відмінною рисою є наочність. Складання програми полягає в угрупованні відповідних графічних елементів і створення зв'язків між ними. Використання такого способу програмування практично виключає появу помилок, а так само дозволяє легко змінити структуру програми. Отримана схема компілюється засобами TRACE MODE, отримане математичне забезпечення переноситься в контролер.

Для імітації роботи використовується модуль «Модель об'єкта (OBJ)».

Даний блок моделює об'єкт управління для налагодження алгоритмів регулювання або підготовки демонстраційних проектів. Він являє собою комбінацію аперіодичного (інерційного) ланки першого порядку і ланки запізнювання, тобто передавальна функція блоку має вигляд:

$$W(s) = \frac{k}{Ts+1}$$

де  $k$  і  $T$  - відповідно коефіцієнт посилення і постійна часу інерційного ланки першого порядку.

Крім того, на вихідний сигнал блоку можна накласти перешкоду у вигляді випадкової складової, синусоїдального сигналу або випадкових кидків. Тут же можна задати випадкове коливання динамічних характеристик об'єкта.

Як приклад на Рисунку 5.2 показаний відгук блоку (крива 2) на прямокутний імпульс (крива 1).

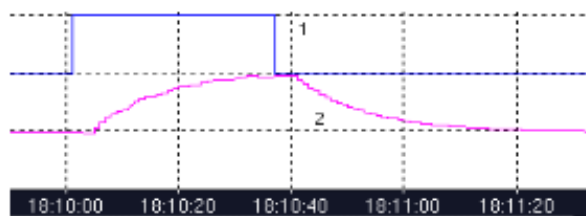


Рисунок 5.2- Робота модуля OBJ

Вхідним по відношенню до модельованого об'єкту є вхід Завдання. Входи  $K$ ,  $T$  і  $N$  використовуються для завдання відповідно коефіцієнта посилення, постійної часу і часу запізнювання.

Блок для імітації роботи з температурою в печі наведено на рисунку 5.3.

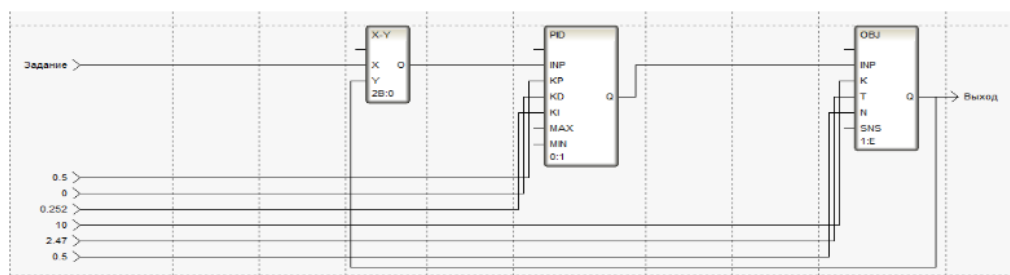


Рисунок 5.3 - Блок для імітації роботи з температурою.

### 5.3 Перевірка роботи системи

Для імітації роботи АСУТП в програмі доступний режим симуляції. Для запуску симуляції необхідно задати значення в поле «завдання» та підтвердити його. Як тільки програма отримує завдання, віртуальний котроллер відпрацьовує закон регулювання і виводить систему на задане значення, цей процес представлений на рисунку 5.4

У лівому нижньому куті екрана АРМ відображається шкала температури в зоні печі. На ній видно як система відпрацьовує зрівноваження впливу.

У правій нижній частині екрана відображаються графіки зміни параметрів, які забезпечує реєстрацію значень.

Робота моделі представлена на рисунку 5.4.

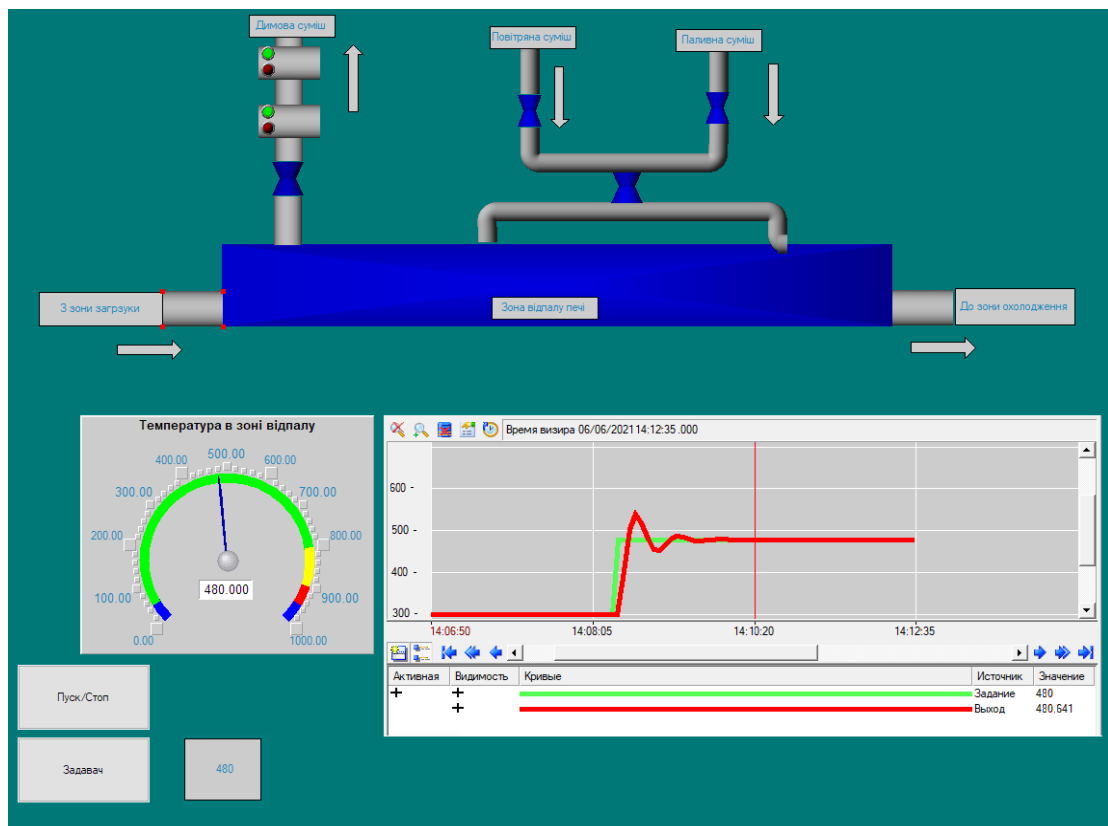


Рисунок 5.4 - Екран симуляції контуру управління температурою зоні спінювання печі.

## **6 АНАЛІЗ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОГО АСПЕКТУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ**

### **6.1 Шляхи розширення мінерально-сировинної бази для виробництва піноматеріалів**

Для успішного розвитку промисловості піноматеріалів першорядне значення має розширення мінерально-сировинної бази. В цьому достатньо особливий інтерес викликає використання, як сировинних матеріалів, висококремнистих аморфних гірських порід [17]

Проблема силікатоутворення при взаємодії аморфного оксиду кремнію у вигляді трепелу та розчинів гідроксиду натрію розглянута в роботі П. А. Кетова [18]. Автором виявлено умови утворення в'язучих композицій та шихти для одержання пористих матеріалів. У процесі термообробки отриманого матеріалу газовиділення, що супроводжує процес варіння скла, може бути використане для створення стійких піноскляних виробів з високим значенням в'язкості скломаси.

Дослідниками з Росії та Казахстану представлені результати лабораторно-технологічної оптимізації сумішей та термічних режимів отримання гранульованого та блочного піноскла з опокової породи Шиповського родовища (Республіка Казахстан, Південний Урал) [19]. У лабораторних умовах були розроблені оптимальні склади та способи підготовки гранул для виготовлення гранульованого та блочного піноскла з опокової сировини при концентрації гідроксиду натрію у суміші (на суху

частину шихти) 17-22 мас. %. При максимальній концентрації NaOH отримані гранульовані піноскла з насипною щільністю 80 кг/м<sup>3</sup> та блочне піноскло зі щільністю 120 кг/м<sup>3</sup>. При одній і тій же концентрації гідроксиду натрію в шихті - 17 мас. % (залежно від особливостей підготовки грануляту) було отримано гранульоване піноскло класу -12+10 мм з насипною щільністю в діапазоні від 135 до 200 кг/м<sup>3</sup>. Наступні напівпромислові випробування показали, що гранульоване піноскло з цієї сировини можна отримувати в промисловому масштабі з використанням вітчизняного обладнання.

Авторами [20] розроблено склад легкоплавкого скла на основі опоки, кальцинованої соди та бури при співвідношенні інгредієнтів 1:0,3:0,35 відповідно, а також спосіб отримання блочного піноскла.

Сучасний стан досліджень в галузі отримання піноскла з крем'янистих порід за одностадійною схемою розглянуто К. С. Івановим із співавторами [21]. Сформульовано основні технологічні принципи, покладені в основу дослідного гранульованого виробництва піноскла на основі діатомітів. Гранульований піносклокерамічний матеріал «ДіатомІК» фракції 5–10 мм має такі характеристики: насипна щільність 350 кг/м<sup>3</sup>; міцність при стисканні - 1,9 МПа; водопоглинання за обсягом – 2,8 %; коефіцієнт розм'якшення - 0,98; теплопровідність - 0,11 Вт/м·К [22].

Питання технології отримання піноскла на основі діатоміту, зниження собівартості шихти, особливості підготовки піноутворюючих сумішей, залежність об'ємної ваги готового піноскла від величини питомої поверхні та виду застосовуваного помольного обладнання, технологічна лінія виготовлення склогрануляту для виробництва піноскла представлені у циклі робіт В. Є. Маневича та Р. К. Суботіна зі співавторами [23–25].

Л. К. Казанцевої розглянуто особливості термоактивованого пороутворення цеолітлужної шихти [26]. Встановлено, що при витриманні

сухої гранульованої шихти на повітрі в ній відбувається карбонатизація вільної NaOH з утворенням гідратованого карбонату натрію -  $\text{Na}_3[\text{CO}_3][\text{HCO}_3]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Такий самий процес протікає і з NaOH, оцлюдованої внутрішньокристалічними порами та каналами цеолітів. Карбонат натрію, укладений у внутрішньокристалічних порах та каналах цеолітів, представляє собою додаткове джерело пороутворюючого газу -  $\text{CO}_2$ . Це дозволяє знизити щільність піноскла до 100-150 кг/м<sup>3</sup>.

Авторами [27] розглянуто особливості термоактивованого пороутворення цеолітмістних порід та опоки в лужних складах. Встановлено, що низькотемпературною пороутворюючою газовою фазою в системі опоку + NaOH і породою, що містить цеоліт + NaOH є пара води, що утворюється при дегідратації гідратованих силікатів натрію.

В. А. Лотовим показано можливість застосування алюмосилікатних порід та матеріалів для варіння скла, яке можна використовувати при виробництві піноскла [28]. В якості сировини використані глини, суглинки, глинисті сланці, граніти, цеолітові породи, а також техногенна сировина - горильники та кислі золи ТЕЦ. При приготуванні скляної шихти проводилося коригування суміші алюмосилікатної породи та кальцинованої соди добавками кварцового піску, доломіту або вапняку. Шихти мали наступний склад, %: алюмосилікатна порода - 62-64; сода - 20-22, кварцовий пісок - 7-10; вапняк або доломіт - 7-8. Шихту спікали при температурі 970 °С, потім різко охолоджували та подрібнювали разом із 3-4 % коксового горіха та 1 % нітрату натрію чи калію. Отриману шихту завантажували у форми, випалювали при 800 °С протягом 60-70 хв, після спінювання шихти форму поміщали в піч при 650 ° для стабілізації і подальшого охолодження. Піноскло на основі алюмосилікатних порід характеризувалося міцністю при стисканні 1,0-1,4 МПа, щільністю 180-200

кг/м<sup>3</sup>, коефіцієнт теплопровідності 0,058–0,065 Вт/К·м та водопоглинання 3–5 %.

Значна кількість публікацій присвячена використанню у виробництві піноматеріалів вторинної сировини, насамперед відходів скла: листової, скляної тари, електронно-променевої трубок, склобою, отриманого під час демонтажу телевізорів та комп'ютерів [29–33 та ін.]. Так, у роботі [34] наведено результати досліджень отримання піноскла на основі бою тарного, листового, лампового скла та їх суміші. Показано можливість використання параметрів, одержуваних з урахуванням зіставлення відносної щільності і пористості початкового і кінцевого станів матеріалу, для прогнозування, контролю та кінетичних досліджень процесу порізації піноскла.

На підвищення рентабельності утилізації різних скляних відходів та можливості виробництва піноскла з нестандартного скла змінного складу за збереження високої якості одержуваної продукції спрямовано винахід [35]. Гранульована шихта для отримання піноскла містить наступні компоненти, мас. %: рідке скло - 5-15; вода - 5-15; піноутворювач, включаючи гліцерин, - 1-2; каолін або каолініт - 1-3; мелене скло (сіяне) - інше. Як карбонатний піноутворювач використовують CaCO<sub>3</sub> або MgCO<sub>3</sub>, або BaCO<sub>3</sub>, або SrCO<sub>3</sub> до 1 мас. % у суміші з гліцерином. При виробництві шихти експериментально визначають пропорції компонентів при максимальній та мінімально допустимій щільності меленого скла з урахуванням щільності рідкого скла, а також середню щільність суміші шихти після перемішування та додавання мінімального значення води.

У роботі [36] представлено піноскло, отримане з несортованого бою скла, що утворюється у сфері побутового споживання населення та розглянуто деякі особливості технології його одержання.

Авторами [37, 38] показано, що термообробка композиційного матеріалу з дисперсного скла в матриці з гідратованих полісилікатів натрію призводить до утворення склокристалічного матеріалу комірчастої структури з високими теплоізоляційними характеристиками. Технічне рішення дозволяє відмовитися від використання як сировини спеціального скла та замінити його несортним склом. Отриманий матеріал придатний для застосування в стінових конструкціях як самонесуча теплоізоляційна основа.

В. В. Васюкова та С. В. Карманової розглянуто деструкцію автомобільного скла при нагріванні з урахуванням того, що скло є багатошаровою конструкцією з полімерними захисними матеріалами, виконаними з пластифікатора ацеталізованих полівінілових спиртів [39]. Показано, що при піролізі захисних матеріалів утворюється вуглецевий залишок, який може бути джерелом газу для виробництва піноскла.

У роботі [40] встановлено оптимальний сировинний склад для отримання блочного піноскла на основі склобою з використанням як газоутворювача доломітового борошна в кількості до 1,0 % від маси сухої речовини (склобою) та модифікатора структури - рідкого скла (2,5-3,0% від маси склобою). При цьому співвідношенні вихідних компонентів було отримано зразки блочного піноскла теплоізоляційно-конструкційного призначення середньої щільності 270–300 кг/м<sup>3</sup>, з показником межі міцності при стисканні 2,0–2,1 МПа та водопоглинання до 3,0%.

Значна кількість публікацій зарубіжних авторів присвячена використанню у виробництві піноматеріалів сумішей склобою та зол-винесення ТЕС [41–44].

Авторами [42] отримані піноскла з використанням склобою та золи-винесення ТЕС з добавками карбонатів (доломіт-і кальціймістних) як піноутворювачів. Оцінено вплив речовинного складу та кількості шламів, а



також температури спікання на уявну щільність, міцність при стисканні, мікроструктуру та кристалічні фази. Встановлено, що гомогенні мікроструктури з великими порами можуть бути отримані шляхом додавання лише 1–2 мас. % карбонатів та з використанням низької температури спікання (850 °С), що призводить до синтезу піноскло із щільністю 0,36–0,41 г/см<sup>3</sup> та міцністю при стисканні 2,40–2,80 МПа.

У роботі [43] також вивчено можливість використання відходів скла та золи-винесення як вхідних матеріалів для отримання піноскла. Термогравіметричним аналізом встановлена температура спінювання – близько 950 °С. Піноблоки отримували за даної температури протягом 20 хв з використанням SiC як піноутворювача. Піноскло мало об'ємну щільність 0,27 г/см<sup>3</sup>, міцність при стисканні 0,98 МПа та пористість 82 %.

Автори [44] отримували склокерамічні піноматеріали з використанням золи-винесення та відходів скла в якості основних компонентів, бури і карбонату кальцію в якості флюсу та газоутворювача відповідно. Оптимальні параметри для одержання піноматеріалів: температура - 800 ° С, час - 45 хв. Склад шихти, мас %: зола - 40, відходи скла - 60, бура - 30 і карбонат кальцію - 0,5. Зразки, приготовлені таким чином, мають об'ємну щільність 0,46 г/см<sup>3</sup>, характеризуються міцністю при стисканні понад 5 МПа та теплопровідністю близько 0,36 Вт/м.к.

Серія робіт присвячена використанню відходів скла, отриманих під час демонтажу телевізорів, моніторів та інших електронних приладів [45-49 та ін.]. Так, сировиною для приготування високоміцних пористих склокерамічних піноматеріалів китайські дослідники використовували очищене скло катодно-променевих трубок і панелей, отримані при демонтажі телевізорів, а також германіймісні хвости збагачення [49]. Шихту готували шляхом змішування компонентів з SiC, бурою та TiO<sub>2</sub> як піноутворювачем, флюсового агента та стабілізатора. Зразки, спінені при

температурі 880 °С протягом 30 хв, що містять 56,5% порошкового скла, 40,0% хвостів і 1,0% SiC, продемонстрували найкращі комплексні характеристики. Як основна кристалічна фаза зразків зафіксований діопсид  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ . Матеріал характеризувався такими показниками: об'ємна щільність - 0,226 г/см<sup>3</sup>, міцність на вигин - 3,32 МПа та теплопровідність - 0,68 Вт/м.К. Ряд досліджень обґрунтовує придатність для отримання піносклів побічних продуктів та відходів виробництва будівельних матеріалів та будівництва [50–55 та ін.].

Можливість отримання піносклокристалічного матеріалу на основі низькотемпературної фрити, що синтезується при температурі 900 °С з відсіву будівельних пісків фракції -60 мкм, що містять близько 70 мас. % SiO<sub>2</sub> показана в роботі томських дослідників [51]. Отриманий матеріал у 3 рази перевищує за міцністю піноскло та в 1,5 рази керамзит, що характеризується низьким водопоглинанням - 0,1%.

Авторами [52] було синтезовано новий будівельний ізоляційний матеріал з урахуванням відходів полірування кераміки в інтервалі температури спікання 1010–1200 °С. Як добавки застосовані карбід кремнію,  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  та оксид магнію. У роботі [53] піноматеріали отримані з використанням порошку керамогранітної плитки, як основна сировина з добавками SiC і CaO. Спікання вели за температури 1000–1200 °С. Показано, що розмір часток SiC істотно впливає на кількість і розміри порожнин. Встановлено, що додавання невеликої кількості CaO значно прискорює спінювання, потім ефект поступово пригнічується за рахунок збільшення вмісту анортиту.

Питання утилізації мінераловатного теплоізоляційного матеріалу після завершення життєвого циклу розглянуті Я. І. Вайсманом із співавторами [54]. Показано, що одним з перспективних напрямів

вторинного використання мінеральної вати може бути її застосування як добавки при підготовці шихти для виробництва піноскляних матеріалів.

Іспанськими дослідниками зумовлена можливість використання відходів від знесення будівель для синтезу різних скломатеріалів: глазур для керамічних плиток та піностеклів [55]. Як спінювачі використані нітрид алюмінію  $AlN$  і ціанамід кальцію  $CaCN_2$ . Щільність матеріалів становила 120–230 кг/м<sup>3</sup>.

Я. І. Вайсман, А. А. та П. А. Кетови розглянули питання вторинного використання піноскляних та піносклокристалічних плит для виробництва нових плитних склокристалічних матеріалів пористої будови [56]. Після завершення життєвого циклу плитне піноскло може бути перероблене в піноскляний щебінь, який, у свою чергу, може бути заповнювачем при виробництві нових плитних піносклокристалічних матеріалів.

Помітна кількість публікацій присвячена використанню для отримання піноматеріалів відходів гірничо-металургійного комплексу [57-61 та ін.]. У роботах [57–59] вивчено можливість утилізації кремнеземовмісних відходів та побічних продуктів переробки апатит-нефелінових та евдіалітових руд Мурманської обл. Розроблено склади та способи отримання ефективних блокових та гранульованих піносклокристалічних матеріалів.

Велика кількість досліджень присвячена використанню металургійних та паливних шлаків [62-66 та ін.].

У роботі [62] піноскло було отримано за порошковою технологією з використанням склобою і титановмісного доменного шлаку з  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  як флюс при температурі 900 °С, як газоутворювач і стабілізатор піни додавали  $CaCO_3$  і  $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$  відповідно. Оцінювали вплив кількості флюсу на щільність, водопоглинання, міцність при

стисканні, мікроструктуру та кристалічні фази піноскла. Піноскло, містить 10 мас. %  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , продемонструвало найкращий комплекс якостей.

Китайськими дослідниками було отримано склокерамічні піноматеріали на основі доменного шлаку та відходів скла [63]. Для утворення зародків кристалічних фаз використані  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$  та  $\text{CaF}_2$ . Як піноутворювач, стабілізатор піни і флюсу, додавали  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  та  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  відповідно. Матеріали із 50 мас. % шлаку володіють найкращими властивостями: об'ємна щільність - 0,79 г/см<sup>3</sup>, водопоглинання - 2,71% і міцність при згинанні - 14,34 МПа.

Склокерамічні піноматеріали, описані у статті [64], були отримані з використанням 50-70% шлаку, що утворюється при плазмовій переробці твердих побутових відходів. Як піноутворювач і флюс використовували карбонат кальцію і буру відповідно.

Досліджено вплив температури спікання на щільність, механічну міцність та кристалічні фази. Встановлено, що піноматеріали з 70 мас. % шлаку, спечені при температурі 920 °С демонструють відмінне співвідношення міцності до щільності (міцність при стисканні більше 2,5 МПа та щільність менше 0,3 г/см<sup>3</sup>) через утворення мікрокристалічних фаз.

За технологією низькотемпературного синтезу склогрануляту (проміжного продукту утворення склоподібної маси при термічній обробці шлаків і зол ТЕС та коригувальних добавок з його наступним спінюванням) отриманий піносклокристаліт – ефективний теплоізоляційний матеріал [67].

На розширення матеріально-сировинної бази для виробництва піносклокристалічних матеріалів та зниження їх собівартості спрямовано винахід [68]. Шихта для виготовлення склогранулята для піносклокристалічних матеріалів містить наступні компоненти, мас. %:

кремнеземовмісна порода - 25-50; кальцинована сода - 25; золошлаковий відхід - 25-50. Золошлакові відходи містять, мас. %:  $\text{SiO}_2$  - не менше 55;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - не більше 20;  $\text{CaO}$  — трохи більше 15 з питомою поверхнею відходів щонайменше 3000  $\text{cm}^2/\text{г}$ . В якості кремнеземсодержащего матеріалу беруть породу із вмістом  $\text{SiO}_2$  щонайменше 83 мас. % та розміром фракції  $-0,1$  мм.

## **6.2 Зниження енерговитрат процесу виробництва, скорочення часу підготовки шихти, покращення властивостей піноматеріалів**

На думку А. А. Кетова, плитне піноскло не може конкурувати з традиційними теплоізоляційними матеріалами на будівельному ринку [69].

У незмінному варіанті використання плитного піноскла можливе при зниженні його вартості до величин, порівнянних з аналогами, що нараз неможливо. Рішення автор бачить у поєднанні властивостей теплоізоляції з конструкційними або облицювальними, а також при виготовленні легкої пористої цеглини з матеріалу – аналога піноскла, але пофарбованого. Перспективна ринкова ніша піноскла - застосування його для теплоізоляції теплоносіїв з температурою 150–650 °С та в агресивних середовищах у хімічному, нафтохімічній галузях та енергетиці .

Переваги та недоліки теплоізоляційних матеріалів, що пропонуються на будівельному ринку СНД, викладені також у статті І. М. Терещенка із співавторами [70]. Зазначено, що за сукупністю показників піноскло перевершує відомі утеплювачі, володіючи, однак, високою вартістю, обумовленою енерговитратністю виробництва, що робить його неконкурентоспроможним.

У той же час автори [71] оцінювали якість і вартість різних теплоізоляційних матеріалів для конструкцій, що захищають будівлі,

вважають, що найбільш перспективним матеріалом є піноскло. Такого висновку вони дійшли на основі оцінки довговічності і стабільність властивостей матеріалів. Так, експериментальні дослідження об'єктів, утеплених піносклом більше 50 років тому, показали відсутність скільки-небудь помітних змін у структурі матеріалу. Фактична ж довговічність пінобетону становить 20-25 років, мінераловатних плит - 10-15 років, пінополістиролу - 15-20 років [71].

Л. В. Сапачова та С. Ю. Горегляд зазначають, що використання піноскла у вигляді засипні теплоізоляції, наприклад, під фундаментну плиту, дозволяє скоротити бюджет будівництва на цьому етапі робіт до 35 % [72]. Економія здійснюється за рахунок зменшення витрат на земляні роботи та роботи з улаштування фундаментної основи.

Однак, у разі гранульованого піноскла основною проблемою його широкого використання є висока ціна. Таким чином, для масового виведення піноматеріалів до ринку необхідно істотно знизити їх собівартість. Це може бути зниження енерговитрат процесу виробництва, скорочення часу підготовки шихти, покращення властивостей піноматеріалів. Розглянемо деякі дослідження у цих напрямках.

Одним із способів поліпшення технологічних властивостей скляних шихт є їх ущільнення, основне призначення якого полягає в концентрації максимуму корисних властивостей у мінімумі обсягу [73, 74].

Попереднє брикетування піноскляної шихти з використанням води як технологічної зв'язки розглянуто у роботі [75]. Встановлено, що гідратація та гідроліз скла сприяють поліпшенню умов спучування піноскла та підвищенню його фізикотехнічних показників.

Ряд досліджень присвячений застосуванню механохімічної активації шихти [76, 77].

У роботі [76] встановлено, що метод механохімічної активації дозволяє отримати змішану лужна в'язучу речовину, перспективну для виробництва безвипалових теплоізоляційних матеріалів із високими механічними характеристиками. Можливість виготовлення піноскла з бідних цеолітвмісних порід з механоактивацією подрібненої породи розглянуто авторами роботи [77]. Показано значне збільшення інтенсивності спінювання суміші. При цьому макро- та мікропориста структура піноматеріалу, отриманого із зазвичай подрібненої породи на стрижневому млині, відрізняється від піноматеріалу, виготовленого із механоактивованого порошку породи.

Зазначимо, що використання механохімічної активації потребує відповідних розрахунків, що обґрунтовують економію у наступних технологічних операціях або суттєве поліпшення властивостей готового продукту.

В. В. Самойленко із співавторами досліджено вплив дисперсності скляної шихти на основні параметри піноскла [78]. З використанням карбонатного газоутворювача – мікрокальциту у кількості 2 мас. % проводили спінювання скляних шихт [79]. Показано, що механічні та теплофізичні показники піноскла функціонально пов'язані з його щільністю лінійними залежностями. Оптимальну структуру пористого матеріалу з порами переважно 100-500 мкм забезпечує термообробка скляної шихти з різним ступенем змільчення (від 3300 до 6200 см<sup>2</sup>/г) при температурі 750 ° С протягом 45 хв. Щільність піноскла варіює від 200 до 260 кг/м<sup>3</sup>. Вибором певного поєднання гранулометричного складу вихідної сировини та температурно-часових умов його спінювання забезпечується отримання піноскла із заданими експлуатаційними властивостями.

Ресурсо- та енергозберігаючий технологічний процес отримання теплоізоляційного матеріалу Siver із щільністю менше 150 кг/м<sup>3</sup> на основі

відходів виробництва фторсолів кремнегеля розроблено авторами [80]. Істотною перевагою матеріалу є його широка сфера застосування, що забезпечується можливістю отримання дрібногранульованого і вузькофракціонованого продукту, наприклад, фракції  $-2+0,5$  мм. Технологія виробництва включає основні стадії: механоактивація кремнегеля, змішування компонентів, синтез полісилікатів натрію, дроблення та класифікація, спінування. Центральною ланкою технологічного процесу, що розробляється, є стадія гідротермального синтезу полісилікатів на основі суспензій кремнегеля та NaOH, яка здійснюється у чотири етапи: реакція деполімеризації кремнезему, коагуляція, диспергація та поліконденсація. Особливо важливою обставиною, що забезпечує отримання кінцевого продукту, є поділ у часі перших двох стадій. У роботі розглянуто новий перспективний напрямок - низькотемпературний синтез склоподібних спінених теплоізоляційних матеріалів на основі відходів виробництв з переробки фосфатних руд. Розроблений технологічний процес забезпечує отримання спіненого матеріалу з високими техніко-експлуатаційними властивостями та характеризується відсутністю енерговитратних стадій. Температура спінування становить 250–300 °С.

Я. І. Вайсманом та Ю. А. Кетовим досліджено вплив масопереносу розчину силікату натрію на гранули при сушінні сирцевих гранул у технології гранульованого піноскла [81]. Авторами показано, що в процесі сушіння відбувається перенесення розчинених компонентів на поверхню гранули. Введення у вихідну композицію компонентів, що сприяють зольгель-перетворенню силікатного розчину та затвердінню гранул, запобігає міграції іонів  $\text{Na}^+$  та відкриває нові технологічні можливості.

Спрощення процесу та отримання піносклокристалічного матеріалу з покращеними характеристиками є технічним результатом винаходу [82]. Цей матеріал має пінну структуру із щільністю 150–1000 кг/м<sup>3</sup>, містить як



кристалічні фази  $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ ,  $5\text{CaO}\cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$  та  $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ . Піносклокристалічний матеріал отримують з порошкоподібної суміші скла, кварцового піску та газоутворювача. Потім утворюють суміш водним розчином силікату натрію у вигляді рідкого скла, додають  $\text{SiO}_2$  у вигляді піску, подрібненого до  $-0,1$  мм. Отриману водомістку пасту витримують до утворення монолітного блоку, нагрівають до піноутворення при температурі  $750\text{--}850$  °C та отримують силікатний матеріал.

Результати дослідження фазового складу вихідної глинистої сировини та піноскла проведені у роботі [83]. Встановлено, що в піносклах системи склобій — глина гідроксид натрію доданого в шихту  $2\text{--}3$  % (понад маси сухої шихти) карбонатного та вуглецевих газоутворювачів призводить до підвищення середньої щільності піноскла і, як наслідок, його міцність. Це сприяє розширенню сфери застосування піноскла, наприклад, як конструкційно-теплоізоляційний матеріал. У разі використання вапняку підвищення фізико-механічних властивостей піноскла може бути пояснено кристалізацією омфациту. При використанні антрациту приріст щільності та міцності порожнин обумовлений головним чином поліпшенням порової структури матеріалу.

Ряд авторів досліджують вплив малих добавок різних оксидів на піноутворення, кристалізацію та властивості пеностекол, що синтезуються [85, 86 та ін.].

О. В. Казьміної із співавторами розглянуто вплив малих добавок цирконієвого концентрату із середнім розміром частинок  $30$  нм на фізико-механічні властивості піноскла [85]. Встановлено, що введення в піноутворювальну суміш діоксиду цирконію призводить до зміни макроструктури піноскла і збільшення середнього розміру пір до  $2,5$  мм.

Нанорозмірний  $\text{ZrO}_2$  зменшує в'язкість розплаву при спінюванні. Оптимальною з погляду механічних властивостей є масовий вміст діоксиду

цирконію 0,3%. Міцність піноскла збільшується в присутності нанорозмірних частинок до 1,4 МПа порівняно з міцністю вихідного піноскла 1,1 МПа.

Іранськими дослідниками вивчені піноутворення та кристалізаційні властивості при випалюванні пресованої шихти на основі склокерамічної композиції, що містить діопсид [86]. Піноутворювач - частки SiC у кількості 2%. Досліджували вплив PbO на піноутворювальну здатність скла. Результати показали, що додавання PbO не тільки покращує піноутворення, покращує змочування склочастинки SiC, але також підвищує температуру кристалізації та збільшує температурний інтервал між точкою дилатометричного розм'якшення та початком кристалізації. Кут змочування скла - SiC був зменшений з 85 ° - для безсвинцевого скла до 55 ° - для скла, що містить 15 мас. % PbO.

В. Ф. Васкаловим, І. І. Ведяковим та А. Д. Орловим запатентована корисна модель, спрямована на розширення фракційного складу гранул, що виробляються, виробництво гранул сферичної форми, комплексну механізацію технологічної лінії виробництва гранульованих матеріалів на основі крем'янистих порід (діатомітів, опок, трепелів), а також на зниження собівартості гранульованих піносклокристаличних матеріалів[87].

Технологічна лінія для виробництва гранульованих піносклокристаличних матеріалів включає змішувальний пристрій, що складається з виробничого блоку змішування та формування сирцевих гранул, з виробничого блоку змішування та спінювання сирцевих гранул, фракціонування та зберігання готової продукції. Змішувальний пристрій технологічної лінії містить приймальні та видаткові бункери з дозаторами, накопичувальні пристрої, тарілчастий змішувач-гранулятор, встановлений на виробничому блоці змішування та формування сирцевих гранул та розміщений за змішувачем-гранулятором швидкісного типу, барабанну піч,

що обертається на виробничому блоці змішування і спінювання сирцевих гранул. Крім того, на блоці змішування та спінювання сирцевих гранул, фракціонування та зберігання готової продукції передбачена закрыта система технологічного транспорту та сортування готового продукту, що складається з системи безперервного пневмотранспорту, до якого входять трубопроводи, розвантажувальні циклони та вентилятори. Застосування цього змішувального пристрою на технологічній лінії для виробництва гранульованих матеріалів дозволило знизити середню насипну густину з 210 до 180 кг/м<sup>3</sup>, при цьому коефіцієнт теплопровідності знизився на 15%.

Застосування комплексної механізації дозволило суттєво знизити енерговитрати, витрати сировини на 1 м<sup>3</sup> готової продукції, знизити собівартість готової продукції. Підвищилася надійність роботи обладнання, знизилися витрати на обслуговування лінії, покращились екологічні показники виробництва[87].

А. Л. Писаревим показано, що застосування механічного перемішування під високим тиском перед охолодженням скломаси та введеного в неї газоутворювача призводить до утворення рівномірно розподілених бульбашок із заздалегідь заданим діаметром [88].

Зі спіненої скломаси формують піноскло потрібної форми та призначення, яке має щільність, що здається, близько 0,25 г/см<sup>3</sup>, середній розмір газових пор близько 30 мкм. При цьому підвищується продуктивність установки, зменшується вартість за рахунок можливості комплектування стандартними агрегатами, підвищується функціональна гнучкість, коефіцієнт використання робочих площ та повнота завантаження робочих агрегатів.

Технологічна лінія для виробництва гранульованого теплоізоляційного піносклокристалічного матеріалу запатентована Л. К. Казанцевою та А. І. Нікітіним [89]. До її складу входять: ділянка

підготовки сировинних матеріалів для одержання сухих тонкодисперсних порошків, ділянка отримання сирцевих гранул на основі змішування та грануляції сухих компонентів з розчином лугу та ділянка термічної обробки сирцевих гранул. Після сушіння та спінювання отримують піносклокристалічний теплоізоляційний матеріал.

Зрештою, не можна не відзначити великого практичного значення застосування методів математичного моделювання для розробки та вдосконалення сучасних енергозберігаючих технологій виробництва піноматеріалів, прогнозування їх властивостей

## ВИСНОВКИ

На підставі Технічного завдання було виконано дослідження та проаналізовано інформаційне та технічне забезпечення системи автоматизації технічного процесу виробництва піноскла.

До складу двохрівневої АСУ ТП, яка стала результатом дослідження, входять:

- датчики та зчитувачі, розташовані на технологічному обладнанні та вздовж технологічної ланки;
- виконавчі та контролюючі органи, які обробляють отримані від контролера сигнали та регулюють технічні параметри;
- контролер, який виконує первинну обробку інформації від датчиків, видає керуючий вплив для регулюючих органів.

Даний технологічний процес має великий потенціал з нарощування ефективності, майже в кожному аспекті виробництва, хоча і достатньо маловигідний у короткочасній перспективі. Використання сучасних методів управління та сучасних технічних засобів автоматизації в подальшому забезпечить можливості реалізувати якісно нові технології управління і виробництва. Хоча мають певні проблеми з економічністю виробництва, з реалізацією продукції у короткостроковому плані, але поступова реалізація існуючих рішень на ринку патентів дозволить покращити такі моменти, як:

- підвищення якості продукції, що виробляється;
- підвищення обсягу продукції, що виробляється;
- зниження витрат сировинних і енергетичних ресурсів за деякими статтями витрат на ТП;
- збільшення попиту на продукцію за рахунок високих характеристик.

Також є потенціал для використання в виробництві вторинної сировини інших підприємств, що покращить ситуацію з рентабельністю продукції.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ОВЕН ДТП хх4. Высокотемпературные термомпары на основе КТМС. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт] - Режим доступу - вільний: <https://owen.ua/ru/datchiki/dtpxxx4-termopary-s-kabelnym-vyvodom> (дата звернення 14.09.2021). – Назва з екрану.
2. ОВЕН ДТП хх5. Высокотемпературные термомпары на основе КТМС. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт] - Режим доступу - вільний: <https://owen.ua/ru/datchiki/dtpxxx5-vysokotemperaturnyje-termopary-na-osnove-ktms/tehnicheskie-harakteristiki>, (дата звернення 14.09.2021). – Назва з екрану.
3. ПД100И-111/171/181. Датчики давления общепромышленные. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт] - Режим доступу - вільний: <https://owen.ua/ru/datchiki/pd100i-111-171-181-datchiki-davlenija-obsche-promyshlennye>. (дата звернення 14.09.2021). – Назва з екрану.
4. ПД-Р-1,6МПа. Датчики давления общепромышленные. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт] - Режим доступу - вільний: <https://packo.ru/katalog/datchik-preobrazovatel-davleniya-pd-r> (дата звернення 14.09.2021). – Назва з екрану.
5. ПКГ100-CO2 промышленный датчик (преобразователь) концентрации углекислого газа в воздухе. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт] - Режим доступу - вільний: [https://owen.ru/product/pkg100\\_co2](https://owen.ru/product/pkg100_co2). (дата звернення 14.09.2021). – Назва з екрану.

6. МА-0-1110 - Промышленный датчик углекислого газа. [Электронный ресурс] : [Веб-сайт] - Режим доступа - вільний: <https://www.energometrika.ru/catalog/ma-9-1195-datchik-kisloroda-o2-mu-gard-s-elektrohimicheskim-sensorom.html>. (дата звернення 14.09.2021). – Назва з екрану.
7. МА-9-1195 - Промышленный датчик кислорода. [Электронный ресурс] : [Веб-сайт] - Режим доступа - вільний: <https://www.energometrika.ru/catalog/ma-9-1195-datchik-kisloroda-o2-mu-gard-s-elektrohimicheskim-sensorom.html>. (дата звернення 14.09.2021). – Назва з екрану.
8. ИПЦ-О2- Промышленный датчик кислорода. [Электронный ресурс] : [Веб-сайт] - Режим доступа - вільний: <https://optima-shop.com.ua/gazoanalizatory/mnogokanalnie-cifrovie-gazoanalizatory-dozor-s-c/datchiki-i-komponenty-dozor-s-c>. (дата звернення 14.09.2021). – Назва з екрану.
9. МА-2-3400. Датчик (сигнализатор) горючих газов (метана). [Электронный ресурс] : [Веб-сайт] - Режим доступа - вільний: <https://www.energometrika.ru/catalog/ma-2-3400-datchik-metana-ch4-mu-gard.html> (дата звернення 14.09.2021). – Назва з екрану.
10. ДЗ-1-СН4. Датчик (сигнализатор) горючих газов (метана). [Электронный ресурс] : [Веб-сайт] - Режим доступа - вільний: <https://owen.ua/ru/datchiki/dz-1-ch4-datchik-signalizator-gorjuchih-gazov-metana> (дата звернення 14.09.2021). – Назва з екрану.
11. ПД200-ДД модель 155 датчик дифференциального давления общепромышленный [Электронный ресурс] : [Веб-сайт] - Режим доступа - вільний: [https://owen.ru/product/preobrazovateli\\_differentsial\\_nogo\\_davleniya\\_owen\\_pd200\\_dd](https://owen.ru/product/preobrazovateli_differentsial_nogo_davleniya_owen_pd200_dd) (дата звернення 14.09.2021).

12. САПФИР-22-ДД датчик дифференциального давления общепромышленный [Электронный ресурс] : [Веб-сайт] - Режим доступа - вільний: <http://avtomatica.org/sapfir-22-dd>. (дата звернення 14.09.2021).
13. VFH регулюючі заслінки [Электронный ресурс] : [Веб-сайт] - Режим доступа - вільний: <https://www.italgaz.com.ua/brands/elektrogas-elettromeccanica-delta-spa.html>(дата звернення 14.09.2021).
14. Электродвигуни промислові. [Электронный ресурс] : [Веб-сайт] - Режим доступа - вільний: <https://ewi-engineering.com.ua/aimmaiu-132-m4-110-kvt1500-obmin.html> (дата звернення 14.09.2021).
15. ПЛК160 [M02] контроллер для средних систем автоматизации с DI/DO/AI/AO (обновленный) [Электронный ресурс] : [Веб-сайт] - Режим доступа: <https://owen.ru/product/plk160>, вільний. (дата звернення 14.09.2021). – Назва з екрана.
16. SIMATIC S7-1200 контроллер для средних систем автоматизации с DI/DO/AI/AO (обновленный) [Электронный ресурс] : [Веб-сайт] - Режим доступа: <https://www.siemens-pro.ru/components/s7-1200.htm> (дата звернення 14.09.2021). – Назва з екрана.
17. Блок технологічної сигналізації ПТС-164МИ. [Электронный ресурс] : [Веб-сайт] - Режим доступа: [http://www.microl.ua/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=garden\\_flypage.tpl&product\\_id=56&category\\_id=17&option=com\\_virtuemart&Itemid=71](http://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=56&category_id=17&option=com_virtuemart&Itemid=71) (дата звернення 14.09.2021).
18. Кетов П. А. Получение строительных материалов из гидратированных полисиликатов // Строительные материалы. 2012. № 11. С. 22–23.



19. Л. К. Казанцева. Теплоизоляционный материал на основе опоки / Строительные материалы. 2013. № 5. С. 85–89.
20. А. А. Жималов. Использование аморфных кремнистых пород — опок для получения пеностекла с пониженной температурой вспенивания / Стекло и керамика. 2017. № 1. С. 14–16.
21. Иванов К. С., Диатомиты в технологии гранулированного пеностекла / Иванов К. С., Радаев С. С., Селезнева О. И. // Стекло и керамика. 2016. № 5. С. 15–19.
22. Смирнов П. В., Литология пород Туртаской свиты и возможности их использования в качестве сырья для производства пеностеклокерамики на примере Успенской площади (Тюменская область) / Смирнов П. В., Иванов К. С., Константинов А. О. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т. 326, № 7. С. 112–120.
23. В. Е. Маневич, Диатомит — кремнеземосодержащий материал для стекольной промышленности // Стекло и керамика. 2012. № 5. С. 34–39.
24. В. Е. Маневич, Подготовка пенообразующей смеси для получения пеностекла на основе диатомита // Строительные материалы. 2016. № 7. С. 100–102.
25. Ефременков В. В., Разработка технологии изготовления стеклогранулята для производства пеностекла / Ефременков В. В., Маневич В. Е., Субботин Р. К. // Стекло и керамика. 2016. № 9. С. 8–13.
26. Казанцева Л. К. Особенности изготовления пеностекла из цеолитщелочной шихты // Стекло и керамика. 2013. № 8. С. 3–7.

27. Казанцева Л. К., Формирование источника порообразующего газа при увлажнении природных алюмосиликатов раствором NaOH // Стекло и керамика. 2012. № 10. С. 37–42.
28. Лотов В. А. Получение пеностекла на основе природных и техногенных алюмосиликатов // Стекло и керамика. 2011. № 9. С. 34–37.
29. Мелконян Р. Г. Стеклобой: необходимо наращивать объемы утилизации // Стекло мира. 1998. № 4. С. 23–25.
30. Павлушкина Т. К., Использование стеклобоя в производстве строительных материалов / Павлушкина Т. К., Кисиленко Н. Г. // Стекло и керамика. 2011. № 5. С. 27-34.
31. Кулаев Н. С., Пеностекло из стеклобоя/ Кулаев Н. С., Гаркави М. С. // Строительные материалы. 2007. № 3. С. 74–76.
32. Fernandes H. R., Tulyaganov D. U., Ferreira J. M. F. Production and characterization of glass ceramic foams from recycled raw materials, *Advances in Applied Ceramics*. 2009. Vol.108, No. 1. P. 9–13.
33. Пузанов С. И., Комплексная переработка стеклобоя в производстве строительных материалов/ Пузанов С. И., Кетов А. А. // Экология и промышленность России. 2009. № 12. С. 4–7.
34. Лотов В. А., Кинетика процесса формирования пористой структуры пеностекла/ Лотов В. А., Кривенкова Е. В. //Стекло и керамика. 2002. № 3. С. 14–17.
35. Пат. РФ № 2439005. Гранулированная шихта для изготовления пеностекла и способ ее получения / В. В. Егоров, С. Б. Родин, С. С. Родин. Оpubл. 27.04.2011, Бюл. № 12.
36. Стаховская Н. Э., Пеностекло из несортированных отходов стекла/ Стаховская Н. Э., Червоный А. И // Строительные материалы, 2016. № 11. С. 24–26.

37. Вайсман Я. И., Кетов П. А., Потапов А. Д. Стеклокристаллический ячеистый материал на основе дисперсного стекла // Вестник МГСУ. 2017. № 7. С. 85–92.
38. Vaisman Ia., Ketov A., Ketov Iu. Cellular glass obtained from non-powder preforms by foaming with steam // *Ceramics International*. 2016. Vol. 42. P. 15261–15268.
39. Васюков В. В., Утилизация автомобильного стекла с получением пеностекла/ Васюков В. В., Карманова С. В. // *Строительные материалы*. 2012. № 7. С. 103–106.
40. Мусафирова Г. Я., Блочное пеностекло на основе стеклобоя, доломитовой муки и жидкого стекла/ Мусафирова Г. Я., Мусафиров Э. В., Лыщик М. В. // *Техника и технология силикатов*. 2017. № 1. С. 7–11.
41. Glass ceramic foams from coal ash and waste glass: production and characterization / A. R. Voccaccini [et al.] // *Advances in Applied Ceramics*. 2016. Vol. 105, No. 1. P. 32–39.
42. Fernandes H. R., Tulyaganov D. U., Ferreira J. M. F. Preparation and characterization of foams from sheet glass and fly ash using carbonates as foaming agents // *Ceramics International*. 2017. Vol. 35, No. 1. P. 229–235.
43. Preparation of foam glass from waste glass and fly ash / J. Bai [et al.] // *Materials Letters*. 2016. Vol. 136. P. 52–54.
44. Preparation of glass ceramic foams for thermal insulation applications from coal fly ash and waste glass / M. Zhu [et al.] // *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 112. P. 398–405.
45. Guo H. W., Gong Y. X., Gao S. Y. Preparation of high strength foam glass-ceramics from waste cathode ray tube // *Materials Letters*. 2015. Vol. 64. P. 997–999.

46. Lee Chul-Tae Production of alumino-borosilicate foamed glass body from waste LCD glass // J. Industrial and Engineering Chemistry. 2016. Vol. 19. P. 1916–1925.
47. The use of egg shells to produce cathode ray tube glass foams / H. Fernandes[et al.] // Ceramics International. 2013. Vol. 39. P. 9071–9078.
48. Effect of Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> as foaming agent on dynamics and structure of foam glass melts / R. R. Petersen [et al.] // Journal of Non-Crystalline Solids. 2015. Vol. 400. P. 1–5.
49. Preparation of high strength glass ceramic foams from waste cathode ray tube and germanium tailings / Q. Zhang [et al.]// Construction and Building Materials. 2016. Vol. 111. P. 105-110.
50. Казьмина О. В., Использование дисперсных отсеков строительных песков для получения пеностеклокристаллических материалов // Строительные материалы. 2016. № 1–2. С. 93–97.
51. Бобкова Н. М., Получение пеностекла на основе гранитных отсеков Микашевичского месторождения/ Бобкова Н. М., Баранцева С. Е., Трусова Е. Е. // Стекло и керамика. 2007. № 2. С. 13–16.
52. Synthesis, characterization and modeling of new building insulation material using ceramic polishing waste residue / R. Ji [et al.] // Construction and Building Materials. 2015. Vol. 85. P. 119-126.
53. Effect of silicon carbide particle size and CaO content on foaming properties during firing and microstructure of porcelain ceramics / X. Xi [et al.] // Ceramics International. 2014. Vol. 40. No. 8. Part B. P. 12931–12938.
54. Вайсман Я. И., Утилизация минеральных ват в производстве ячеистого стекла/ Вайсман Я. И., Жуков Д. Д., Кетов Ю. А. //Строительные материалы. 2015. № 12. С. 89–91.

55. Recycling of construction and demolition waste generated by building infrastructure for the production of glassy materials / A. Domínguez [et al.] // *Ceramics International*. 2016. Vol. 42. P. 15217–15223.
56. Вайсман Я. И., Вторичное использование пеностекла при производстве пеностеклокристаллических плит/ Вайсман Я. И., Кетов А. А., Кетов П. А. // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 56–59.
57. Пат. РФ № 2246457. Шихта для получения пеностекольного облицовочного материала / В. Т. Калинин [и др.]. Оpubл. 20.02.05, Бюл. № 5.
58. Суворова О. В., Утилизация горнопромышленных отходов Кольского полуострова с получением гранулированного пористого материала/ Суворова О. В., Манакова Н. К. // *Экология промышленного производства*. 2014. № 1. С. 2–5.
59. Суворова О. В., Использование отходов и побочных продуктов переработки апатито-нефелиновых и эвдиалитовых руд для получения теплоизоляционных пеностеклокристаллических материалов/ Суворова О. В., Манакова Н. К. // *Вестник МГТУ*. Т. 20, № 1/2. С. 189–196.
60. Chen X., Lu A., Qu G. Preparation and characterization of foam ceramics from red mud and fly ash using sodium silicate as foaming agent // *Ceramics International*. 2013. Vol. 39, N 2. P. 1923–1929.
61. Novel glass ceramic foams materials based on red mud / Y. Guo [et al.] // *Ceramics International*. 2014. Vol. 40. P. 6677–6683.
62. Effects of  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  on the properties of foam glass from waste glass and titania-bearing blast furnace slag / H. Wang [et al.] // *Materials Letters*. 2014. Vol. 132. P. 176–178.

63. Preparation and characterization of glass-ceramic foams from blast furnace slag and waste glass / L. Ding [et al.] // Materials Letters. 2015. Vol. 141. P. 327–329.
64. Preparation of glassceramic foams from the municipal solid waste slag produced by plasma gasification process / B. Tang [et al.] // Materials Letters. 2014. Vol. 128, No. 10. P. 68–70.
65. Е. А. Яценко Применение математического моделирования при исследовании прочностных свойств пеношлакостекла // Стекло и керамика. 2011. № 3. С. 21–24.
66. Е. А. Яценко Физикохимические свойства и структура пеношлакостекла на основе отходов ТЭС // Стекло и керамика. 2013. № 1. С. 3–6.
67. Д. О. Байджанов, Теплоизоляционный материал на основе местного техногенного сырья // Стекло и керамика . 2016. № 11. С. 40–43.
68. Пат. РФ № 2415817. Шихта для изготовления стеклогранулята для пеностеклокристаллических материалов / О. В. Казьмина [и др.]. Оpubл. 10.04.11, Бюл. № 10.
69. Вайсман Я. И., Вторичное использование пеностекла при производстве пеностеклокристаллических плит/ Вайсман Я. И., Кетов А. А., Кетов П. А. // Строительные материалы. 2017. № 5. С. 56–59
70. Кетов А. А. Перспективы пеностекла в жилищном строительстве // Строительные материалы. 2016. № 3. С. 79–81.
71. Пучка О. В., Оценка качества и стоимости теплоизоляционных материалов для ограждающих конструкций зданий/ Пучка О. В., Степанова М. Н., Наумова Я. Г // Строительные материалы. 2008. № 12. С. 22–24.

72. Сапачева Л. В., Пеностекло для экологичного строительства в России/ Сапачева Л. В., Горегляд С. Ю. // Строительные материалы. 2015. № 1. С. 30–31.
73. Назаров В. И., Техника уплотнения стекольных шихт / Назаров В. И., Мелконян Р. Г., Калыгин В. Г., под общ. ред. проф. О. С. Чехова. М.: Легпромбытиздат, 1985. 176 с.
74. Мелконян Р. Г., Экологические проблемы использования техногенного сырья в производстве стекла и керамики./ Мелконян Р. Г., Макаров Д. В., Суворова О. В Апатиты: КНЦ РАН, 2016. 224 с.
75. Гаркави М. С., Влияние технологических параметров подготовки шихты на свойства пеностекла/ Гаркави М. С., Мельчаева О. К., Назарова А. И // Стекло и керамика. 2011. № 2.С. 3–7.
76. Гороховский А. В. , Теплоизоляционный материал на основе боя стекла, подвергнутого механохимической активации // Стекло и керамика. 2010. № 1. С. 6–9.
77. Казанцева Л.К., Пеностекло из механоактивированных бедных цеолитсодержащих пород // Стекло и керамика. 2013. № 10. С. 18–22.
78. Самойленко В. В., Влияние дисперсности стекольной шихты на структуру и свойства пеностекла/ Самойленко В. В., Углова Т. К., Татаринцева О. С. //Стекло и керамика. 2014. № 6. С. 3–6.
79. Самойленко В. В., Роль рецептурно-технологических факторов в формировании пеностекла/ Самойленко В. В., Татаринцева О. С. // Стекло и керамика. 2013. № 6. С. 3–5.
80. Терещенко И. М., Получение эффективных теплоизоляционных материалов на основе кремнегеля/ Терещенко И. М., Жих Б. П.,Кравчук А. П. // Строительные материалы. 2016. № 7. С. 45–48.
81. Вайсман Я. И., Массоперенос раствора силиката при сушке сырцовых гранул в технологии гранулированного пеностекла/

- Вайсман Я. И., Кетов Ю. А. // Строительные материалы. 2015. № 1. С. 27–29.
82. Пат. РФ № 2272006. Пеностеклокристаллический материал и способ его получения / А. А. Кетов, И. С. Пузанов, М. П. Пьянков, Д. В. Саулин. Оpubл. 20.03.06, Бюл. № 8.
83. Дамдинова Д. Р., Пеностекла системы стеклобой — глина — гидроксид натрия: составы, структура и свойства/ Дамдинова Д. Р., Анчилов Н. Н., Павлов В. Е. // Строительные материалы. 2014. № 8. С. 38–40.
84. Казьмина О.В., Свойства пеностеклового материала, модифицированного наноразмерным диоксидом циркония // Стекло и керамика. 2016. № 2. С. 3–6.
85. Preparation and characterisation of diopside-based glass-ceramic foams / S. Hasheminia [et al.] // Ceramics International. 2012. Vol. 38, No. 3. P. 2005–2010.
86. Пат. РФ № 2550641. Смесительное устройство технологической линии для производства гранулированных пеностеклокристаллических материалов / В. Ф. Васкалов, И. И. Ведяков, Д. А. Орлов. Оpubл. 10.05.15, Бюл. № 13.
87. Пат. РФ № 2108305. Способ изготовления пеностекла / А. Л. Писарев. Оpubл. 10.04.98, Бюл. № 11.
88. Пат. РФ № 2572441. Технологическая линия для производства гранулированного теплоизоляционного пеностеклокристаллического материала / Л. К. Казанцева, А. И. Никитин. Оpubл. 10.01.16, Бюл. № 1.



## REFERENCES

1. DTPXxx4. Vysokotemperaturnye termopary na osnove KTMS. [High-temperature thermocouples based on KTMS] Available at: <https://owen.ua/ru/datchiki/dtpxxx4-vysokotemperaturnyje-termopary-na-osnove-ktms/tehnicheskie-harakteristiki>, .(Accessed 14.09.2021) (in Russian)
2. DTPXxx5. Vysokotemperaturnye termopary na osnove KTMS. [High-temperature thermocouples based on KTMS] Available at: <https://owen.ua/ru/datchiki/dtpxxx5-vysokotemperaturnyje-termopary-na-osnove-ktms/tehnicheskie-harakteristiki>, .(Accessed 14.09.2021) (in Russian)
3. PD100I-111/171/181. Datchiki davleniia obshchepromyshlennye.[ PD100I-111/171/181. General industrial pressure sensors.] Available at: <https://owen.ua/ru/datchiki/pd100i-111-171-181-datchiki-davlenija-obsche-promyshlennye>. .(Accessed 14.09.2021) (in Russian)
4. PD-P1,6MPa. Datchiki davleniia obshchepromyshlennye.[ PD-P1,6MPa.. General industrial pressure sensors.] Available at:

- <https://packo.ru/katalog/datchik-preobrazovatel-davleniya-pd-r>.(Accessed 14.09.2021) (in Russian)
5. PKG100-SO2 promyshlennyi datchik (preobrazovatel') kontsentratsii uglekislogo gaza v vozdukh. [PKG100-CO2 is an industrial sensor (transducer) of carbon dioxide concentration in the air.] Available at: [https://owen.ru/product/pkg100\\_co2](https://owen.ru/product/pkg100_co2). .(Accessed 14.09.2021) (in Russian)
  6. MA-0-1110 promyshlennyi datchik (preobrazovatel') kontsentratsii uglekislogo gaza v vozdukh. [MA-0-1110 is an industrial sensor (transducer) of carbon dioxide concentration in the air.] Available at: <https://www.energometrika.ru/catalog/ma-9-1195-datchik-kisloroda-o2-mu-gard-s-elektrohimicheskim-sensorom.html>. .(Accessed 14.09.2021) (in Russian)
  7. MA-9-1195 - Promyshlennyi datchik kisloroda.[ MA-9-1195 - Industrial oxygen sensor.] Available at: <https://www.energometrika.ru/catalog/ma-9-1195-datchik-kisloroda-o2-mu-gard-s-elektrohimicheskim-sensorom.html>. .(Accessed 14.09.2021) (in Russian)
  8. IPC-O2- Promyshlennyi datchik kisloroda.[ IPC-O2- Industrial oxygen sensor.] Available at: <https://optima-shop.com.ua/gazoanalizatory/mnogokanalnie-cifrovie-gazoaanalizatory-dozor-s-c/datchiki-i-komponenty-dozor-s-c>. .(Accessed 14.09.2021) (in Russian)
  9. MA-2-3400. Datchik (signalizator) goriuchikh gazov (metana). [MA-2-3400. Combustible gas (methane) sensor (signaling device)]. Available at: <https://www.energometrika.ru/catalog/ma-2-3400-datchik-metana-ch4-mu-gard.html>. .(Accessed 14.09.2021) (in Russian)

10. DZ-1-CH4. Datchik (signalizator) goriuchikh gazov (metana). [DZ-1-CH4. Combustible gas (methane) sensor (signaling device)]. Available at: <https://owen.ua/ru/datchiki/dz-1-ch4-datchik-signalizator-gorjuchih-gazov-metana>. (Accessed 14.09.2021) (in Russian)
11. PD200-DD model' 155 datchik differentsial'nogo davleniia obshchepro-myshlennyi [PD200-DD model 155 general industrial differential pressure sensor]. Available at: [https://owen.ru/product/preobrazovateli\\_differentsial\\_nogo\\_davleniya\\_owen\\_pd200\\_dd](https://owen.ru/product/preobrazovateli_differentsial_nogo_davleniya_owen_pd200_dd). (Accessed 14.09.2021) (in Russian)
12. SAPFIR-22-DD datchik differentsial'nogo davleniia obshchepro-myshlennyi [SAPFIR-22-DD general industrial differential pressure sensor]. Available at: <http://avtomatika.org/sapfir-22-dd>. (Accessed 14.09.2021) (in Russian)
13. VFH regukuuchi zaslonki [VFH control flaps] Available at: <https://www.italgaz.com.ua/brands/elektrogas-elettromeccanica-delta-spa.html>. (Accessed 14.09.2021) (in Russian)
14. Electrodvogateli promislenie [Industrial electric motors] Available at: <https://ewi-engineering.com.ua/aimmaiu-132-m4-110-kvt1500-obmin.html> (Accessed 14.09.2021) (in Russian)
15. PLK160 [M02] kontroller dlia srednikh sistem avtomatizatsii s DI/DO/AI/AO (obnovlennyi) [PLC160 [M02] controller for medium automation systems with DI / DO / AI / AO (updated)] Available at: <https://owen.ru/product/plk160>. (Accessed 14.09.2021) (in Russian)
16. SIMATIC S7-1200 kontroller dlia srednikh sistem avtomatizatsii s DI/DO/AI/AO (obnovlennyi) [SIMATIC S7-1200 controller for medium automation systems with DI / DO / AI / AO (updated)] Available at:

- <https://www.siemens-pro.ru/components/s7-1200.htm>. (Accessed 14.09.2021) (in Russian)
17. Blok tekhnologicheskoi signalizacii PTS-164MI [PTS-164MI technological alarm unit]. Available at: [http://www.microl.ua/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=garden\\_flypage.tpl&product\\_id=56&category\\_id=17&option=com\\_virtuemart&Itemid=71](http://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=56&category_id=17&option=com_virtuemart&Itemid=71). (Accessed 14.09.2021) (in Russian)
  18. Ketov P. A. Obtaining building materials from hydrated polysilicates, *Stroitel'nye materialy* [Building materials], 2012, № 11, pp. 22–23. (in Russian)
  19. L. K. Kazantseva. Heat-insulating material based on flask, *Stroitel'nye materialy* [Building materials], 2013, № 5, pp. 85–89 (in Russian)
  20. A. A. Zhimalov The use of amorphous siliceous rocks - flasks for obtaining foamed glass with a low foaming temperature, *Steklo i keramika* [Glass and ceramics], 2017, № 1, pp. 14–16. (in Russian)
  21. Ivanov K. S., Radaev S. S., Selezneva O. I., Diatomites in the technology of granulated foam glass, *Steklo i keramika* [Glass and ceramics] 2016. № 5. pp. 15–19. (in Russian)
  22. Smirnov P. V., Ivanov K. S., Konstantinov A. O. Lithology of rocks of the Turtass formation and the possibility of their use as a raw material for the production of glass-ceramic foam on the example of the Uspenskaya area *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov.* [ Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources] 2015. T. 326, № 7. pp. 112–120. (in Russian)
  23. V. E. Manevich, Diatomite - a silica-containing material for the glass industry, *Steklo i keramika* [Glass and ceramics] 2012, № 5, pp. 34–39. (in Russian)

24. V. E. Manevich, Preparation of a foaming mixture for obtaining foam glass based on diatomite ,*Stroitel'nye materialy*[Building materials] 2016. № 7. pp.100–102. (in Russian)
25. Efremenkov V.V., Manevich V.E., Subbotin R.K. Development of technology for the manufacture of glass granules for the production of foam glass, *Steklo i keramika* [Glass and ceramics], 2016, No. 9, pp. 8–13. (in Russian)
26. Kazantseva L. K., Features of the manufacture of foam glass from a zeolite-alkaline charge [Glass and ceramics], 2013, № 8, pp. 3–7. (in Russian)
27. L. K. Kazantseva, Formation of a source of pore-forming gas when natural aluminosilicates are moistened with a NaOH solution, *Steklo i keramika* [Glass and ceramics], 2012, № 10, pp. 37–42. (in Russian)
28. Lotov V.A. Production of foam glass based on natural and technogenic aluminosilicates, *Steklo i keramika* [Glass and ceramics], 2011, № 9, pp. 34–37. (in Russian)
29. Melkonian R.G. Glass cullet: it is necessary to increase the volume of utilization, *Steklo mira* [Glass of the world], 1998, № 4, pp. 23–25. (in Russian)
30. Pavlushkina T. K., Kisilenko N. G. Use of glass breakage in the production of building materials, *Steklo i keramika* [Glass and ceramics], 2011, № 5, pp. 27-34. (in Russian)
31. Kulaev N. S., Garkavi M. S. Foam glass from cullet, *Stroitel'nye materialy*[Building materials], 2007, № 3, pp. 74–76. (in Russian)
32. Fernandes H. R., Tulyaganov D. U., Ferreira J. M. F. Production and characterization of glass ceramic foams from recycled raw materials, *Advances in Applied Ceramics*. 2009. Vol.108, No. 1. P. 9–13. (in English)

33. Puzanov S. I., Ketov A. A. Complex processing of cullet in the production of building materials, *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*[Ecology and Industry of Russia], 2009, № 12, pp. 4–7. (in Russian)
34. Lotov V. A., Krivenkova E. V. Kinetics of the formation of a porous structure of foam glass, *Steklo i keramika*[Glass and ceramics], 2002, № 3, pp. 14–17. (in Russian)
35. Pat. RF № 2439005. Granulirovannaya shikhta dlia izgotovleniya penostek-la i sposob ee polucheniia, V. V. Egorov, S. B. Rodin, S. S. Rodin. Opubl. 27.04.2011, *Biul.* № 12. (in Russian)
36. Stakhovskaia N. E., Chervonyi A. I. Foam glass from unsorted glass waste, *Stroitel'nye materialy*[Building materials] 2016. № 11. pp. 24–26. (in Russian)
37. Vaisman Ia. I., Ketov P. A., Potapov A. D. Glass-crystalline cellular material based on dispersed glass, *Vestnik MGSU*[Vestnik MGSU]. 2014. № 7. pp. 85–92. (in Russian)
38. Vaisman Ia., Ketov A., Ketov Iu. Cellular glass obtained from non-powder preforms by foaming with steam, *Ceramics International*. 2016. Vol. 42. pp. 15261–15268.(in English)
39. Vasiukov V. V., Karmanova S. V. Utilization of automobile glass with the production of foam glass, *Stroitel'nye materialy*[Building materials], 2012, № 7, pp. 103–106. (in Russian)
40. Musafirova G.Ya., Musafirov E.V., Lyshchik M.V. Block foam glass based on cullet, dolomite flour and liquid glass, *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*[Technique and technology of silicates], 2017, No. 1, pp. 7–11. (in Russian)
41. A. R. Boccaccini, Glass ceramic foams from coal ash and waste glass: production and characterization A. R. Boccaccini, *Advances in Applied Ceramics*.2006. Vol. 105, No. 1. pp. 32–39.(in English)

42. Fernandes H. R., Tulyaganov D. U., Ferreira J. M. F. Preparation and characterization of foams from sheet glass and fly ash using carbonates as foaming agents, *Ceramics International*. 2017. Vol. 35, No. 1. P. 229–235.
43. J. Bai [et al.], Preparation of foam glass from waste glass and fly ash, *Materials Letters*. 2016. Vol. 136. pp. 52–54. (in English)
44. M. Zhu[et al.], Preparation of glass ceramic foams for thermal insulation applications from coal fly ash and waste glass, *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 112. pp. 398–405. (in English)
45. Guo H. W., Gong Y. X., Gao S. Y. Preparation of high strength foam glass-ceramics from waste cathode ray tube, *Materials Letters*. 2015. Vol. 64. pp. 997–999. (in English)
46. Lee Chul-Tae Production of alumino-borosilicate foamed glass body from waste LCD glass, *J. Industrial and Engineering Chemistry*. 2016. Vol. 19. pp. 1916–1925. (in English)
47. H. Fernandes[et al.], The use of egg shells to produce cathode ray tube glass foams , *Ceramics International*. 2013. Vol. 39. pp. 9071–9078. (in English)
48. R. R. Petersen [et al.], Effect of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  as foaming agent on dynamics and structure of foam glass melts, *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2015. Vol. 400. pp. 1–5. (in English)
49. Q. Zhang [et al.], Preparation of high strength glass ceramic foams from waste cathode ray tube and germanium tailings, *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 111. pp. 105-110. (in English)
50. Kaz'mina O. V., The use of dispersed screenings of building sands to obtain foam glass-crystalline materials, *Stroitel'nye materialy*[*Construction Materials*], 2016, № 1–2, pp. 93–97. (in Russian)

51. Bobkova N. M., Barantseva S. E., Trusova E. E. Production of foam glass based on granite screenings of the Mikashevichskoye deposit, *Steklo i keramika*[Glass and ceramics], 2007, № 2, pp. 13–16. (in Russian)
52. R. Ji [et al.], Synthesis, characterization and modeling of new building insulation material using ceramic polishing waste residue, *Construction and Building Materials*, 2015, Vol. 85, pp. 119-126. (in English)
53. X. Xi [et al.], Effect of silicon carbide particle size and CaO content on foaming properties during firing and microstructure of porcelain ceramics, *Ceramics International*, 2014, Vol. 40, No. 8, Part B, pp. 12931–12938. (in English)
54. Vaisman Ia. I., Zhukov D. D., Ketov Iu. A. Utilization of mineral wool in the production of cellular glass. *Stroitel'nye materialy*[Construction Materials], 2015, No. 12, pp. 89–91. (in Russian)
55. A. Domínguez [et al.] Recycling of construction and demolition waste generated by building infrastructure for the production of glassy materials, *Ceramics International*, 2016, Vol. 42, pp. 15217–15223. (in English)
56. Vaisman Ia. I., Ketov A. A., Ketov P. A. Recycling of foam glass in the production of foam glass-crystalline plates, *Stroitel'nye materialy*[Construction Materials], 2017, № 5, pp. 56–59. (in Russian)
57. Pat. RF № 2246457. Shikhta dlia polucheniia penostekol'nogo oblitsovoch-nogo materiala / V. T. Kalinnikov [i dr.]. Opubl. 20.02.05, *Biul. № 5*.
58. Suvorova O. V., Manakova N. K., Utilization of mining wastes of the Kola Peninsula with the production of granular porous material, *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*, [Ecology of industrial production], 2014, No. 1, pp. 2–5. (in Russian)
59. Suvorova O. V., Manakova N. K., Use of waste and by-products of processing of apatite-nepheline and eudialyte ores to obtain heat-insulating



- foam-glass-crystalline materials, Vestnik MGTU, [Bulletin of MGTU], T. 20, № 1/2, pp. 189–196. (in Russian)
60. Chen X., Lu A., Qu G. Preparation and characterization of foam ceramics from red mud and fly ash using sodium silicate as foaming agent, *Ceramics International*. 2013. Vol. 39, N 2. pp. 1923–1929. (in English)
61. Y. Guo [et al.], Novel glass ceramic foams materials based on red mud, *Ceramics International*. 2014. Vol. 40. pp. 6677–6683. (in English)
62. H. Wang [et al.], Effects of  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  on the properties of foam glass from waste glass and titania-bearing blast furnace slag, *Materials Letters*. 2014. Vol. 132. pp. 176–178. (in English)
63. L. Ding [et al.], Preparation and characterization of glass-ceramic foams from blast furnace slag and waste glass, *Materials Letters*. 2015. Vol. 141. pp. 327–329. (in English)
64. B. Tang [et al.], Preparation of glassceramic foams from the municipal solid waste slag produced by plasma gasification process, *Materials Letters*. 2014. Vol. 128, No. 10. pp. 68–70. (in English)
65. E. A. Iatsenko *Primenenie matematicheskogo modelirovaniia pri issledo-vanii prochnostnykh svoistv penoshlakostekla*, *Steklo i keramika*, [Glass and ceramics], 2011. № 3. pp. 21–24. (in Russian)
66. E. A. Iatsenko, Physicochemical properties and structure of foam and slag glass based on TPP waste, *Steklo i keramika* [Glass and ceramics], 2013, № 1, pp.3–6. (in Russian)
67. D. O. Baidzhanov, Thermal insulation material based on local technogenic raw materials, *Steklo i keramika* [Glass and ceramics],. 2016, № 11, pp. 40–43. (in Russian)
68. Pat. RF № 2415817. Shikhta dlia izgotovleniia steklogranuliata dlia peno-steklokristallicheskih materialov, O. V. Kaz'mina [i dr.]. Opubl. 10.04.11, Biul. № 10.

69. Suvorova O. V., Manakova N. K., Use of waste and by-products of processing of apatite-nepheline and eudialyte ores to obtain heat-insulating foam-glass-crystalline materials, Vestnik MGTU, [Bulletin of MGTU], T. 20, № 1/2, pp. 189–196. (in Russian)
70. Ketov A.A. Prospects for foam glass in housing construction, Stroitel'nye materialy, [Building materials]. 2016. No. 3. pp. 79–81. (in Russian)
71. Puchka O. V., Stepanova M. N., Naumova Ia. G. Evaluation of the quality and cost of heat-insulating materials for the enclosing structures of buildings Stroitel'nye materialy, [Building materials]. 2008. № 12. pp. 22–24. (in Russian)
72. Sapacheva L. V., Goregliad S. Iu. Foam glass for environmentally friendly construction in Russia, Stroitel'nye materialy, [Building materials]. 2015. № 1. pp. 30–31. (in Russian)
73. Nazarov V. I., Melkonian R. G., Kalygin V. G. Tekhnika uplotneniia ste-kol'nykh shikht, pod obshch. red. prof. O. S. Chekhova. M.: Legprombytizdat, 1985. 176 p. (in Russian)
74. Melkonian R. G., Makarov D. V., Suvorova O. V. Ekologicheskie problemy ispol'zovaniia tekhnogennogo syr'ia v proizvodstve stekla i keramiki. Apatity: KNTs RAN, 2016. 224 p. (in Russian)
75. Garkavi M. S., Mel'chaeva O. K., Nazarova A. I. Influence of technological parameters of charge preparation on the properties of foam glass, Steklo i keramika[Glass and ceramics], 2011, № 2, pp. 3–7. (in Russian)
76. A. V. Gorokhovskii , Thermal insulation material based on broken glass subjected to mechanochemical activation, Steklo i keramika[Glass and ceramics], 2010, № 1, pp. 6–9 (in Russian)

77. L. K. Kazantseva Foam glass from mechanically activated poor zeolite-containing rocks, *Steklo i keramika*[Glass and ceramics], 2013, № 10, pp. 18–22. (in Russian)
78. Samoilenko V. V., Uglova T. K., Tatarintseva O. S. Influence of the dispersity of glass batch on the structure and properties of foam glass, *Steklo i keramika*[Glass and ceramics], 2014. № 6. pp. 3–6. (in Russian)
79. Samoilenko V. V., Tatarintseva O. S The role of recipe-technological factors in the formation of foam glass, *Steklo i keramika*[Glass and ceramics], 2013. № 6. pp. 3–5. (in Russian)
80. Tereshchenko I. M., Zhikh B. P., Kravchuk A. P. Obtaining effective heat-insulating materials based on silica gel, *Stroitel'nye materialy*[Construction materials.]. 2016. № 7. pp. 45–48. (in Russian)
81. Vaisman Ia. I., Ketov Iu. A. Mass transfer of silicate solution during drying of raw granules in the technology of granulated foam glass, *Stroitel'nye materialy*[Construction materials.], 2015. № 1. pp. 27–29. (in Russian)
82. Pat. RF № 2272006. Penosteklokristallicheskii material i sposob ego polucheniia , A. A. Ketov , I. S. Puzanov, M. P. P'iankov, D. V. Saulin. Opubl. 20.03.06, Biul. № 8. (in Russian)
83. Damdinova D. R., Anchiloev N. N., Pavlov V. E. Foam glass of the glass-forehead system - clay - sodium hydroxide: compositions, structure and properties, *Stroitel'nye materialy*. [ Construction Materials] 2014. № 8. pp. 38–40. (in Russian)
84. Kaz'mina O.V., Properties of foam glass material modified with nanosized zirconium dioxide, *Steklo i keramika*[Glass and ceramics], 2016. № 2. pp. 3–6. (in Russian)
85. S. Hasheminia [et al.], Preparation and characterisation of diopside-based glass-ceramic foams, *Ceramics International*. 2012. Vol. 38, No. 3. pp. 2005–2010. (in English)

86. Pat. RF № 2550641. Smesitel'noe ustroistvo tekhnologicheskoi linii dlia proizvodstva granulirovannykh penosteklokristallicheskih materi-alov / V. F. Vaskalov, I. I. Vediakov, D. A. Orlov. Opubl. 10.05.15, Biul. № 13.
87. Pat. RF № 2108305. Sposob izgotovleniia penostekla / A. L. Pisarev. Opubl. 10.04.98, Biul. № 11.
88. Pat. RF № 2572441. Tekhnologicheskaia liniia dlia proizvodstva granuli-rovannogo teploizoliatsionnogo penosteklokristallicheskogo materiala / L. K. Kazantseva, A. I. Nikitin. Opubl. 10.01.16, Biul. № 1.