



ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій  
Кафедра цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень

«Допущено до захисту»  
Гарант ОПП

Павло САГАЙДА

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання  
освітньо-професійної програми  
«Комп'ютерні науки та цифровий інтелект»  
за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки

**на тему «Дослідження моделей, методів та інформаційних  
технологій аналізу даних для оптимізації режиму роботи  
тунельної печі»**

Керівник роботи

Ірина ГЕТЬМАН

Консультант від  
бази практики

В'ячеслав УШАКОВ

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають  
посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Олексій ПІПКО

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Олена ПАВЛЕНКО

КРИВИЙ РІГ 2024

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»	
Факультет	<u>автоматизації виробництва та цифрових технологій</u>
Кафедра	<u>цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень</u>
Ступінь вищої освіти	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>122 Комп'ютерні науки</u>
ОПП	<u>Комп'ютерні науки та цифровий інтелект</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Гарант ОПП

Павло САГАЙДА

«02» грудня 2024 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Піпку Олексія Васильовича  
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Дослідження моделей, методів та інформаційних технологій аналізу даних для оптимізації режиму роботи тунельної печі  
керівник роботи Гетьман Ірина Анатоліївна, доцент, канд. техн. наук,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затверджені наказом Університету від 14.10.2024 р. №238/14.10.2024
2. Термін подання роботи 08.02.2025 р.
3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти, методична література з спеціальних дисциплін та підготовки кваліфікаційної роботи, науково-дослідницькі роботи з тематики автоматизації обробки й аналізу даних та методів цифрового інтелекту, літературні джерела, результати власних експериментів та досліджень, технологічні інструкції тощо
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Реферат. Зміст. Вступ. Розділ 1. Аналіз стану питання та концепції з проблеми оптимізації режиму роботи тунельної печі. Розділ 2. Розробка математичної моделі для оптимізації режиму роботи тунельної печі. Розділ 3. Розробка засобів моделювання програмного комплексу для оптимізації режиму роботи тунельної печі. Розділ 4. Проведення та результати теоретичних та експериментальних досліджень програмного комплексу для оптимізації режиму роботи тунельної печі. Розділ 5. Економічні розрахунки. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Актуальність, мета, об'єкт, предмет та завдання дослідження; розроблені або удосконалені математичні моделі, методика дослідження; діаграми проекту програмно-методичного комплексу в нотації UML (діаграми прецедентів, класів, послідовностей, діяльності); результати

розробки та експериментальних досліджень; результати економічних розрахунків; висновки до роботи; публікація результатів дослідження.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1	Гетьман І.А., доц. каф. ЦТПАР
2	Гетьман І.А., доц. каф. ЦТПАР
3	Гетьман І.А., доц. каф. ЦТПАР
4	Гетьман І.А., доц. каф. ЦТПАР
5	Гетьман І.А., доц. каф. ЦТПАР

7. Дата видачі завдання 02.12.2024

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз стану питання та концепції з проблеми оптимізації режиму роботи тунельної печі	20.01.2025 - 22.01.2025
2	Розділ 2. Розробка математичної моделі для оптимізації режиму роботи тунельної печі	23.01.2025 - 25.01.2025
3	Розділ 3. Розробка засобів моделювання програмного комплексу для оптимізації режиму роботи тунельної печі	27.01.2025 – 30.01.2025
4	Розділ 4. Проведення та результати теоретичних та експериментальних досліджень програмного комплексу для оптимізації режиму роботи тунельної печі	31.01.2025 - 03.02.2025
5	Розділ 5. Економічні розрахунки	04.02.2025 - 05.02.2025
6	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	06.02.2025 – 07.02.2025
7	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	08.02.2025 – 10.02.2025
8	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	11.02.2025 – 13.02.2025
9	Рецензування завершеної роботи. Захист	14.02.2025 – 17.02.2025

Здобувач

(Олексій ПІПКО)

Керівник роботи

(Ірина ГЕТЬМАН)

## РЕФЕРАТ

### ***Піпко О.В. Дослідження моделей, методів та інформаційних технологій аналізу даних для оптимізації режиму роботи тунельної печі.***

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра комп'ютерних наук за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки. – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» МОН України, м. Кривий Ріг, 2025.

Метою роботи є розробка та впровадження математичної моделі та програмного забезпечення для оптимізації режиму роботи тунельної печі. Об'єкт дослідження – процес оптимізації режиму роботи тунельної печі. Предмет дослідження – математичні моделі, методи та інформаційні технології аналізу даних для оптимізації режиму роботи тунельної печі. Методологія проведення роботи, дослідження – математичне моделювання, аналіз даних, розробка програмного забезпечення, експериментальні дослідження.

У роботі проведено аналіз існуючих методів та моделей оптимізації режиму роботи тунельної печі, розроблено нову математичну модель, яка враховує основні параметри роботи печі. Створено програмне забезпечення для автоматизації процесу моделювання та оптимізації. Проведено теоретичні та експериментальні дослідження, які підтвердили ефективність розробленої моделі та програмного забезпечення. Впровадження програмного забезпечення на виробництві ПРАТ «Запоріжвогнетрив» дозволило зменшити витрати природного газу та підвищити якість продукції.

Результати роботи впроваджені на виробництві ПРАТ «Запоріжвогнетрив». Впровадження розробленої системи дозволяє зменшити витрати природного газу, підвищити якість продукції та знизити собівартість виробництва. Рекомендації включають вдосконалення математичної моделі, розширення функціональності програмного забезпечення, проведення додаткових експериментальних досліджень та впровадження системи на інших підприємствах групи «Метінвест».

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ТУНЕЛЬНА ПІЧ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ОПТИМІЗАЦІЯ, ПРИРОДНИЙ ГАЗ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ, ВИРОБНИЧІ ПРОЦЕСИ, ЯКІСТЬ ПРОДУКЦІЇ, ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ

## ABSTRACT

***Pipko O.V. Research on models, methods, and information technologies of data analysis for optimizing the operation of a tunnel kiln.***

Qualification work for obtaining the degree of Master of Computer Science in the specialty 122 Computer Science. – LLC «TECHNICAL UNIVERSITY «METINVEST POLYTECHNIC» MES of Ukraine, Kryvyi Rih, 2025.

The aim of the work is to develop and implement a mathematical model and software for optimizing the operation mode of a tunnel kiln. The object of research is the process of optimizing the operation mode of a tunnel kiln. The subject of research is mathematical models, methods, and information technologies for data analysis to optimize the operation mode of a tunnel kiln. The methodology of the research includes mathematical modeling, data analysis, software development, and experimental research.

The work analyzes existing methods and models for optimizing the operation mode of a tunnel kiln, develops a new mathematical model that takes into account the main parameters of the kiln's operation. Software for automating the modeling and optimization process has been created. Theoretical and experimental studies have been conducted, confirming the effectiveness of the developed model and software. The implementation of the software at the PJSC «Zaporizhvognetryv» production facility allowed reducing natural gas consumption and improving product quality.

The results of the work have been implemented at the PJSC «Zaporizhvognetryv» production facility. The implementation of the developed system allows reducing natural gas consumption, improving product quality, and lowering production costs. Recommendations include improving the mathematical model, expanding the functionality of the software, conducting additional experimental research, and implementing the system at other enterprises of the «Metinvest» group.

KEYWORDS: TUNNEL KILN, MATHEMATICAL MODEL, OPTIMIZATION, NATURAL GAS, ENERGY EFFICIENCY, SOFTWARE, MODELING, PRODUCTION PROCESSES, PRODUCT QUALITY, ECONOMIC EFFECT

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

СУБД – система управління базою даних;

АСКТП – автоматизована система управління технологічним процесом;

ПЗ – програмне забезпечення;

ТП – тунельна піч;

SQL – Structured Query Language (структурована мова запитів).

SSMS - SQL Server Management Studio;

ПРАТ - Приватне Акціонерне Товариство;

IDE - Integrated Development Environment (інтегроване середовище розробки);

ТЗ – технічне завдання;

API - Application Programming Interface (прикладний програмний інтерфейс);

ММ – математична модель;

ВВТ – вентилятор високого тиску;

ЕОЛ - End Of Life (кінець життєвого циклу продукту);

ПТ - приймальне тестування;

ЦМВ – цех магнезійних виробів

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА КОНЦЕПЦІЇ З ПРОБЛЕМИ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМУ РОБОТИ ТУНЕЛЬНОЇ ПЕЧІ .....	13
1.1 Аналіз предметної області, сучасних принципів моделювання режиму роботи тунельної печі. Обґрунтування актуальності досліджень .....	13
1.2 Аналіз сучасних інформаційних технологій для оптимізації режиму роботи тунельної печі .....	23
1.3 Обґрунтування актуальності досліджень .....	26
1.4 Основні терміни і поняття предметної області з проблеми оптимізації режиму роботи тунельної печі .....	28
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМУ РОБОТИ ТУНЕЛЬНОЇ ПЕЧІ.....	30
2.1 Обґрунтування вибору методів теоретичних та експериментальних досліджень, програмного забезпечення для оптимізації режиму роботи тунельної печі .....	30
2.2 Математична модель для оптимізації режиму роботи тунельної печі .....	31
2.3 Розробка методики дослідження для оптимізації режиму роботи тунельної печі .....	35
2.4 Розробка технічного завдання на створення засобів моделювання програмного комплексу для оптимізації режиму роботи тунельної печі та вимоги до створюваної системи.....	37
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ЗАСОБІВ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМУ РОБОТИ ТУНЕЛЬНОЇ ПЕЧІ..	53
3.1 Розробка бізнес-процесів автоматизації процесу моделювання програмного комплексу для оптимізації режиму роботи тунельної печі	53
3.2 Розробка логічної моделі проєкту програмного комплексу для оптимізації режиму роботи тунельної печі .....	71

3.3 Розробка фізичної моделі проєкту програмного комплексу для оптимізації режиму роботи тунельної печі .....	74
<b>РОЗДІЛ 4. ПРОВЕДЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМУ РОБОТИ ТУНЕЛЬНОЇ ПЕЧІ.....</b>	<b>89</b>
4.1 Розробка програмного комплексу для для оптимізації режиму роботи тунельної печі .....	89
4.2 Опис перебігу та результати досліджень стосовно індивідуального завдання, приклади розрахунків .....	96
4.3 Рекомендації щодо використання результатів досліджень та застосування .....	98
<b>РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ .....</b>	<b>99</b>
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>102</b>
<b>ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>104</b>
<b>ДОДАТОК А.....</b>	<b>109</b>
<b>ДОДАТОК Б.....</b>	<b>111</b>

## ВСТУП

### **Актуальність теми**

На сьогоднішній день економія енергоресурсів є надзвичайно актуальною проблемою, оскільки їх вартість постійно зростає. Наприклад, вартість природного газу значно збільшилася протягом останніх років, що впливає на собівартість кінцевої продукції. Оптимізація режиму роботи тунельної печі дозволяє зменшити витрати природного газу, що є важливим для зниження виробничих витрат і підвищення конкурентоспроможності продукції. Крім того, зменшення споживання енергоресурсів сприяє зниженню викидів шкідливих речовин в атмосферу, що є важливим аспектом екологічної безпеки.

Тунельні печі широко використовуються в різних галузях промисловості, таких як виробництво кераміки, будівельних матеріалів, металургія та інші. Вони є ключовими елементами технологічних процесів, що забезпечують високу якість продукції. Однак, ефективність роботи тунельних печей значною мірою залежить від оптимального режиму їх експлуатації, що включає контроль температури, тиску, витрати газу та повітря.

Сучасні методи оптимізації режиму роботи тунельних печей базуються на використанні математичних моделей та інформаційних технологій. Це дозволяє автоматизувати процеси управління, зменшити вплив людського фактору та підвищити точність контролю параметрів. Впровадження таких методів сприяє зниженню витрат енергоресурсів, підвищенню якості продукції та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

Актуальність даної теми також обумовлена необхідністю підвищення конкурентоспроможності підприємств в умовах глобалізації ринків. Зменшення витрат на енергоресурси дозволяє знизити собівартість продукції, що є важливим фактором для успішної конкуренції на внутрішньому та зовнішньому ринках. Крім того, впровадження сучасних технологій управління виробничими процесами сприяє підвищенню інноваційного потенціалу підприємств та їх стійкості до змін зовнішнього середовища.

### **Зв'язок роботи з науково-технічними програмами, планами, темами**

Дослідження моделей, методів та інформаційних технологій аналізу даних для оптимізації режиму роботи тунельної печі пов'язане з науковими програмами, спрямованими на підвищення енергоефективності виробничих процесів. Це дослідження відповідає планам підприємств, які прагнуть зменшити витрати енергоресурсів та підвищити якість продукції. Зокрема, робота відповідає державним програмам з енергоефективності та екологічної безпеки, а також планам розвитку підприємств, що займаються виробництвом керамічних виробів.

На державному рівні, Україна активно впроваджує програми з енергоефективності та екологічної безпеки, що спрямовані на зниження енергоємності виробництва та зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферах. Ці програми включають заходи з модернізації виробничих процесів, впровадження новітніх технологій та підвищення ефективності використання енергоресурсів<sup>2</sup>.

Дослідження також відповідає планам розвитку підприємств групи «Метінвест», зокрема активів ПРАТ «Запоріжвогнетрив». Група «Метінвест» активно працює над підвищенням енергоефективності своїх виробничих процесів, зменшенням витрат енергоресурсів та

підвищенням якості продукції<sup>3</sup>. Впровадження новітніх технологій та оптимізація режимів роботи виробничих агрегатів є важливими складовими стратегії розвитку компанії<sup>4</sup>.

ПРАТ «Запоріжвогнетрив», як один з активів групи «Метінвест», займається виробництвом вогнетривких матеріалів, що використовуються в різних галузях промисловості, включаючи металургію та виробництво керамічних виробів. Оптимізація режиму роботи тунельної печі дозволить зменшити витрати природного газу, підвищити якість продукції та знизити собівартість виробництва, що є важливим для підвищення конкурентоспроможності підприємства.

Таким чином, дослідження моделей, методів та інформаційних технологій аналізу даних для оптимізації режиму роботи тунельної печі є актуальним та відповідає як державним програмам з енергоефективності та екологічної безпеки, так і планам розвитку підприємств групи «Метінвест», зокрема ПРАТ «Запоріжвогнетрив».

### **Мета і завдання дослідження**

Метою даної роботи є розробка та впровадження математичної моделі та програмного забезпечення для оптимізації режиму роботи тунельної печі. Основні завдання дослідження включають:

- провести аналіз сучасних методів та моделей оптимізації режиму роботи тунельної печі;
- розробити математичну модель для оптимізації режиму роботи тунельної печі;
- розробити програмне забезпечення для моделювання та оптимізації режиму роботи тунельної печі;
- провести теоретичні дослідження для перевірки ефективності розробленої моделі та програмного забезпечення;
- провести експериментальні дослідження на виробництві для оцінки ефективності розробленого програмного забезпечення;

– впровадити розроблене програмне забезпечення на виробництві та оцінити його ефективність.

### **Об'єкт та предмет дослідження**

Об'єктом дослідження є процес оптимізації режиму роботи тунельної печі.

Предметом дослідження є математичні моделі, методи та інформаційні технології аналізу даних для оптимізації режиму роботи тунельної печі.

Об'єкт дослідження включає в себе технологічні процеси, що відбуваються в тунельній печі, а також параметри, що впливають на ефективність її роботи, такі як температура, тиск, витрата газу та повітря.

### **Методи дослідження**

У роботі використовуються методи математичного моделювання, аналізу даних, розробки програмного забезпечення та експериментальні дослідження. Вибір конкретних методів обґрунтований необхідністю досягнення поставленої мети та вирішення завдань дослідження. Математичне моделювання дозволяє створити точну модель процесів, що відбуваються в тунельній печі, а аналіз даних допомагає виявити закономірності та оптимальні режими роботи. Розробка програмного забезпечення забезпечує автоматизацію процесу моделювання та аналізу даних, що підвищує точність та ефективність досліджень.

### **Наукова новизна роботи**

Наукова новизна роботи полягає у розробці нової математичної моделі та програмного забезпечення для оптимізації режиму роботи тунельної печі. Вперше запропоновано використання комплексного підходу, що включає математичне моделювання, аналіз даних та розробку програмного забезпечення для досягнення оптимальних

режимів роботи тунельної печі. Розроблена модель дозволяє враховувати різні параметри та умови роботи печі, що забезпечує більш точне та ефективне управління процесом випалювання.

### **Практичне значення отриманих результатів**

Практична значимість роботи полягає у можливості впровадження розробленого програмного забезпечення на виробництві для зменшення витрат природного газу та підвищення якості продукції. Результати дослідження можуть бути використані у виробничих процесах, що дозволить знизити собівартість продукції та підвищити її конкурентоспроможність. Крім того, впровадження розробленого програмного забезпечення сприятиме зниженню викидів шкідливих речовин в атмосферу, що є важливим аспектом екологічної безпеки.

### **Особистий внесок магістранта**

Особистий внесок автора полягає у розробці математичної моделі, програмного забезпечення та проведенні експериментальних досліджень для оптимізації режиму роботи тунельної печі. Автором самостійно виконано аналіз сучасних методів та моделей, розроблено алгоритми та програмне забезпечення, проведено експериментальні дослідження та аналіз отриманих результатів. Крім того, автором було проведено впровадження розробленого програмного забезпечення на виробництві та оцінка його ефективності.

### **Апробація отриманих результатів**

Результати дослідження були оприлюднені на низці науково-практичних конференцій та семінарів, зокрема на конференціях з питань енергоефективності та оптимізації виробничих процесів. Зокрема, результати були представлені на таких заходах:

1. VIII Всеукраїнська науково-практична конференція "Сучасні інформаційні технології, засоби автоматизації та електропривод", 20–22 квітня 2023 р., Краматорськ, ДДМА.

2. 3rd International Scientific and Practical Internet Conference "Scientific Research and Innovation", 18-19 квітня 2024 р., Дніпро, FOP Marenichenko VV.

3. Міжнародна наукова конференція "MININGMETALTECH 2024 – Гірничо-металургійний комплекс: інтеграція бізнесу, технологій та освіти", 28-29 листопада 2024 р.

4. 69th International Scientific and Practical Conference "Science — Technology — Innovation", 23–24 травня 2024 р., Ottawa, Canada, Pegas Publishing.

Отримані результати були високо оцінені фахівцями та отримали позитивні відгуки, що підтверджує їх наукову новизну та практичну значимість.

### **Публікації**

За результатами дослідження автором опубліковано одну фахову статтю у виданні "Вісник Херсонського національного технічного університету", що підтверджує наукову новизну та практичну значимість роботи:

Піпко О.В., Гетьман І.А., Держевецька М.А. Аналіз предметної області для програмної системи математичного моделювання тунельної печі з метою зменшення витрати природнього газу та покращення якості продукції, що випалюється // Вісник Херсонського національного технічного університету. 2023. № 4 (87). С. 110-116.

Ця публікація підтверджує наукову новизну та практичну значимість роботи, а також демонструє результати досліджень, проведених автором.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА КОНЦЕПЦІЇ З ПРОБЛЕМИ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМУ РОБОТИ ТУНЕЛЬНОЇ ПЕЧІ

1.1 Аналіз предметної області, сучасних принципів моделювання режиму роботи тунельної печі. Обґрунтування актуальності досліджень

На сьогоднішній день отримали розповсюдження три основні схеми по реалізації оптимального співвідношення природній газ/повітря:

- з використанням зворотних зв'язків від виконавчих пристроїв природного газу та повітря;
- з використанням сигналів від датчиків тиску на пальнику на природному газі та повітрі;
- з використанням сигналів від датчиків тиску на пальнику на природному газі та повітрі, а також сигналу від киснеміра на димових газах [1-3].

Схема з використанням зворотних зв'язків від виконавчих пристроїв природного газу та повітря. В першому випадку на етапі теплотехнічної наладки задаються значення режимної картки (крапки оптимального співвідношення природній газ/повітря), після чого вони записуються у контролер, який у подальшому працює по цій кривій. При цьому вважається, що тиск природного газу в колекторі залишається незмінним. А це не завжди відповідає дійсності. Відповідно при зміні тиску природного газу на вході порушується задане співвідношення та оптимальний режим паління. Також при наявності стабільного тиску природного газу співвідношення може

порушуватися завдяки тому, що калорійність природного газу, його хімічний склад може змінюватися.

Основними елементами такої системи є два виконавчі пристрої, які розташовані на газопроводі та повітропроводі (рис. 1.1) [1, 3]. На кожен з них підведено сигнал управління та сигнал зворотного зв'язку стосовно положення засувки виконавчого пристрою. Окремо варто відзначити, що такі системи стосовно розрідження працюють на природній тязі.

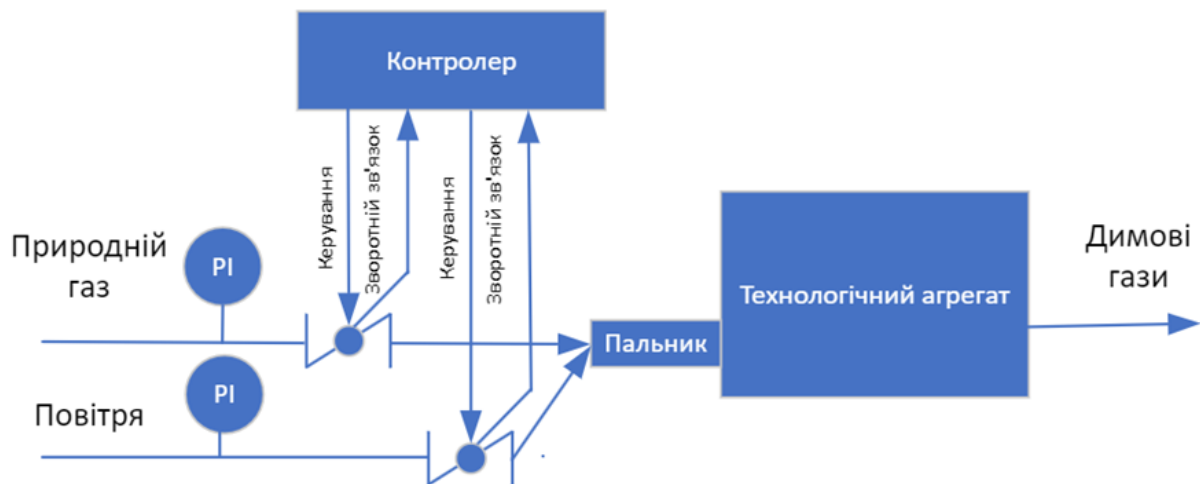


Рисунок 1.1 – Схема організації співвідношення газ/ повітря з використанням зворотних зв'язків

З економічної точки зору така схема буде дуже погано працювати. При найменшому порушенні співвідношення природній газ/повітря буде утворюватися недопал, не весь природний газ буде спалюватись або частина тепла з зайвим повітрям буде вилітати з топки печі.

Як правило, такі системи використовуються на невеличких технологічних агрегатах, наприклад, водогрійний котел НІСТУ-5 (рис. 1.2) [4]. В нашому випадку таку систему недоцільно

використовувати, оскільки забезпечити якісний режим паління вона не зможе на такому технологічному агрегаті, як тунельна піч.



Рисунок 1.2 – Водогрійний котел НІСТУ-5, внутрішня частина

Друга схема - схема з використанням сигналів від датчиків тиску на пальнику на природному газі та повітрі., яка отримала велике розповсюдження – це використання датчиків тиску природного газу та повітря (рис. 1.3) [1, 3]. Замість значень сигналів зворотного зв'язку в цьому випадку використовується уніфіковані токові сигнали з датчиків тиску природного газу та повітря.

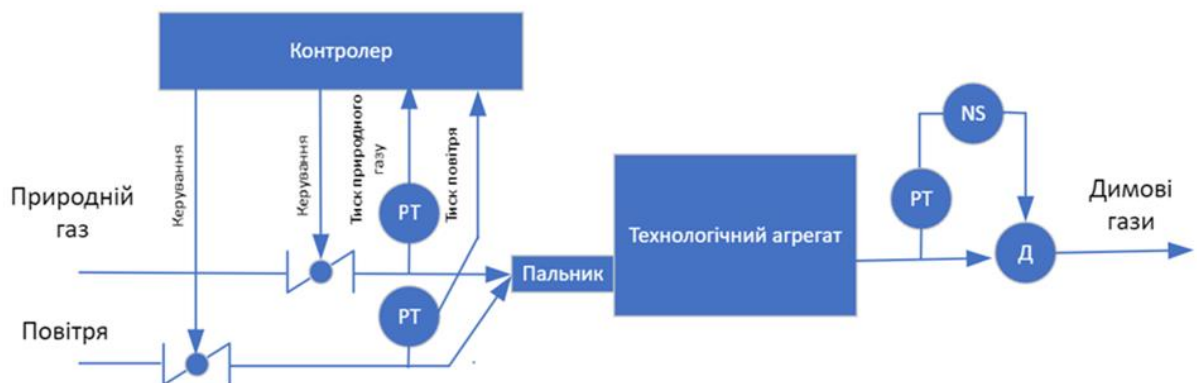


Рисунок 1.3 – Схема використання сигналів від датчиків тиску природного газу та повітря

Також варто відзначити, що до складу такої системи входить димотяг разом з контуром управління, який регулює розрідження в топці технологічно агрегату.

Такий підхід дозволяє вирішити проблему з коливанням тиску природного газу в колекторі, оскільки підтримується саме задане значення тиску. Відповідно підтримувати оптимальне співвідношення газ/повітря буде значно простіше. Проте при коливаннях калорійності природного газу можливі порушення співвідношення.

Такі системи використовуються, наприклад, на таких агрегатах, як водогрійні котли серії ПТВМ (рис. 1.4) або КВГМ, наприклад [5]. У випадку тунельної печі даний спосіб недоцільно використовувати, оскільки забезпечити якісний режим паління така реалізація не дозволить, оскільки вона не дозволить забезпечити оптимальне співвідношення природній газ/повітря.



Рисунок 1.4 – Водогрійний котел серії ПТВМ (зовнішній вигляд)

Схема з використанням сигналів від датчиків тиску на пальнику на природному газі та на повітрі, а також сигналу від киснеміра на димових газах. Ще один більш просунутий та більш якісний спосіб базується на використанні датчиків тиску природного газу та повітря

разом з киснеміром [3]. Останній дозволяє оцінити якість згорання природного газу за рахунок визначення відсотку кисня в димових газах. Саме зараз така система і працює на тунельній печі.

Зовнішній вигляд тунельної печі наведено на рисунку 1.5 [7].



Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд тунельної печі

Схема використання датчиків тиску природного газу та повітря разом з киснеміром наведена на рисунку 1.6 [6]. Фактично єдиною зміною з раніше наведеною на рисунку 1.3 у неї є додавання киснеміру.

Але забезпечити максимальну якість згорання природного газу вона не може. Річ в тому, що в топці печі, окрім повітря пальників, подається також і повітря високого тиску. Відповідно оцінити якість згорання природного газу неможливо, оскільки в димових газах будуть присутні і повітря пальників, і повітря високого тиску.

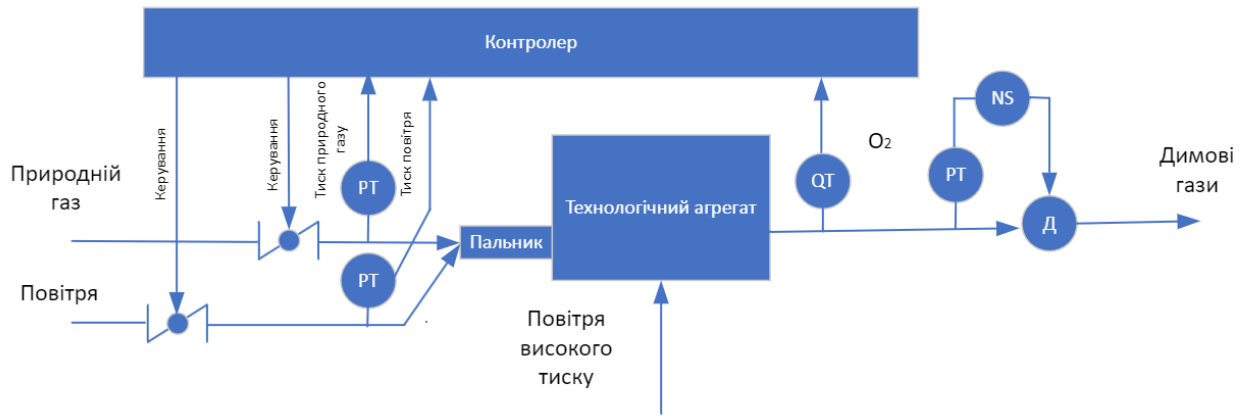


Рисунок 1.6 – Схема використання датчиків тиску природного газу та повітря разом з киснеміром

Схема з використанням сигналів від датчиків тиску на пальнику на природному газі та повітрі, а також сигналу від калориметру на природному газі. Для якісного згорання природного газу пропонується використати калориметр, який в режимі реального часу буде визначати кількість калорій у природному газі. Відповідно можна буде точно задати на певну температуру у топці печі кількість калорій природного газу, витрату та тиск природного газу разом з тиском повітря.

Фактично така система дозволить ще до створення обурення налаштувати співвідношення природній газ/повітря. Також вона не буде залежати від концентрації кисню в димових газах. Саме таку систему пропонується змонтувати на тунельній печі.

Схема використання датчиків тиску природного газу та повітря разом з киснеміром та калориметром наведена на рисунку 1.7. Фактично єдиною зміною з рисунком 1.6 у неї є додавання калориметру.

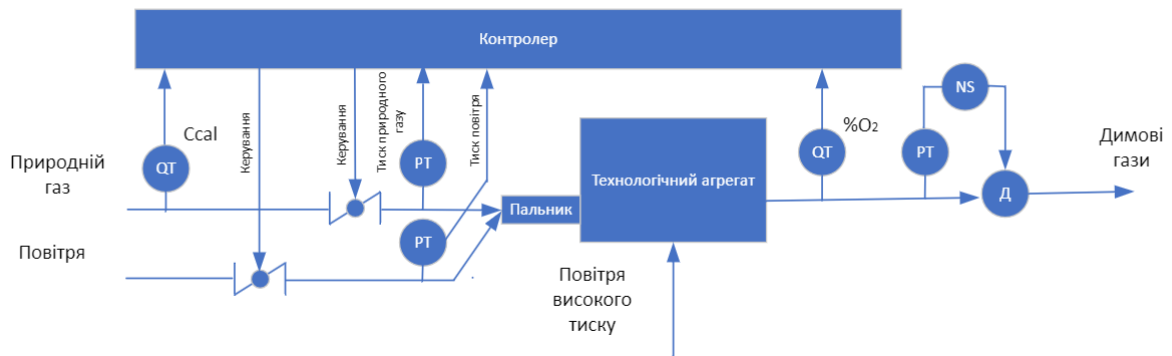


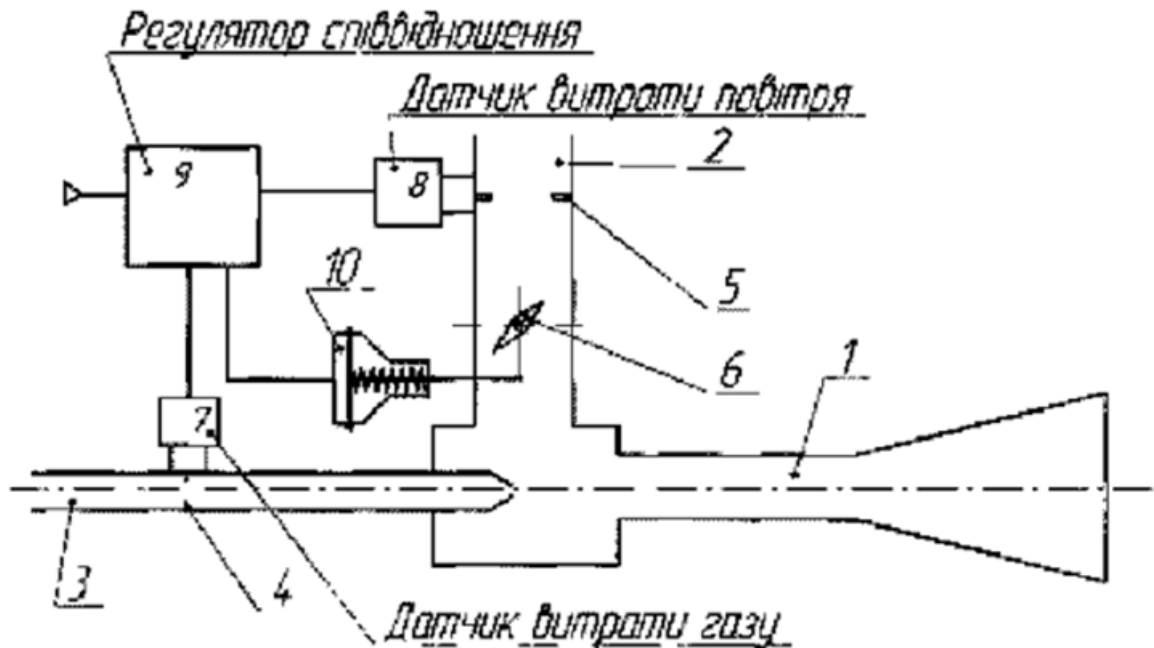
Рисунок 1.7 – Схема використання датчиків тиску природного газу та повітря разом з киснеміром та калориметром

На сьогоднішній день існує дуже багато патентних розробок стосовно забезпечення оптимального режиму згорання природного газу.

Одна з них – «Система регулювання співвідношення газ-повітря в інжекційних газових пальниках, що містить пальник, канали підведення повітря і газу, витратомірні пристрої, регулювальний орган та виконавчий механізм, яка відрізняється тим, що система оснащена датчиками витрати повітря і газу, регулятором співвідношення з інтегруючими властивостями» [9] (патент №62213 від 15.12.2003, рисунок 1.8).

Система працює наступним чином. При зміні режиму роботи газового пальника 1 регулювання співвідношення газ-повітря інжекційного типу внаслідок зовнішніх умов, таких, як тиск у каналі підведення газу 3, або атмосферних умов, відбувається зміна показань витратомірного пристрою 4, у датчику витрати газу 7 формується сигнал, пропорційний величині витрати газу. Відбувається неузгодженість витрат газу і повітря. Величина витрати повітря в каналі підведення повітря 2 вимірюється за допомогою витратомірного пристрою 5 і датчика витрати повітря 8. Регулятор співвідношення 9 виробляє пропорційно - інтегральний сигнал на

керування виконавчим механізмом 10, який за допомогою регулюючого органу 6 впливає на потік повітря, приводячи його відповідно до витрати газу, забезпечуючи постійно ефективне згоряння газу.

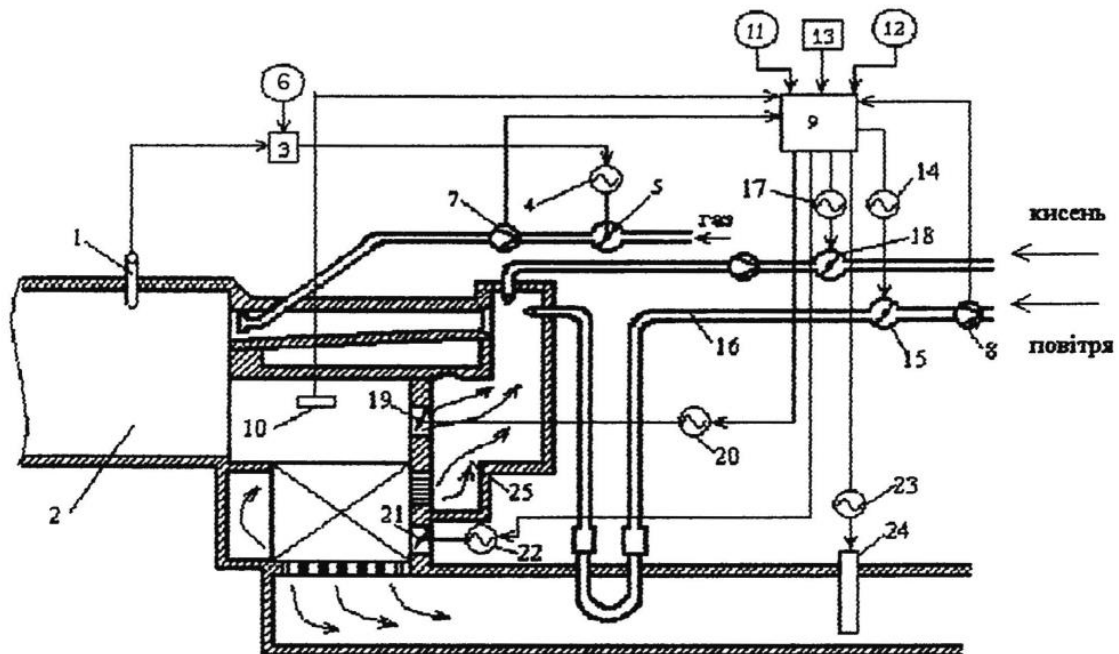


- 1 - пальник;
- 2 - канал підведення повітря;
- 3 - канал підведення газу;
- 4 - витратомірний пристрій природного газу;
- 5 - витратомірний пристрій повітря;
- 6 - регулювальний орган;
- 7 - датчики витрати газу;
- 8 - датчики витрати повітря;
- 9 - регулятор співвідношення;
- 10 - виконавчий механізм;

Рисунок 1.8 - Система регулювання співвідношення газ-повітря в інжекційних газових пальниках

У випадку тунельної печі таку систему недоцільно використовувати. Дуже велика кількість пальників не дозволить повноцінно такій системі працювати. Ця система розроблена для технологічних агрегатів, які працюють на одному пальнику та споживають невелику кількість природного газу.

Інший патент має назву «Пристрій для регулювання співвідношення паливо-повітря» [10] (патент №43017 від 15.11.2001, рисунок 1.9).



- |  |   |
|--|---|
| 1 – термопара;   | 16 – трубопровід подачі компресорного повітря;                      |
| 2 – робочий простір нагрівального колодезя;                          | 17 – виконавчий механізм подачі компресорного повітря;              |
| 3 – регулятор температури;   | 18 – регулятор подачі кисню;  |
| 4 – виконавчий механізм подачі палива;                               | 19 – засувка регулювання витрати рециркуляційних газів;             |
| 5 – засувка подачі природного газу;                                  | 20 – виконавчий механізм регулювання витрати рециркуляційних газів; |
| 6 – задавач температури;   | 21 – засувка регулювання витрати рекуперативного повітря;           |
| 7 – датчик витрати палива;   | 22 – виконавчий механізм витрати рекуперативного повітря;           |
| 8 – датчик витрати компресорного повітря;                            | 23 – виконавчим механізмом положення димового шиберу;               |
| 9 – регулюючий блок;   | 24 – димовий шибер;   |
| 10 – датчик аналізу продуктів згорання;                              | 25 – камера змішування.   |
| 11 – задавач співвідношення;   |   |
| 12 – задавач рециркуляції продуктів згорання;                        |   |
| 13 – задавач розрідження в робочому просторі нагрівального колодезя; |   |
| 14 – виконавчий механізм регулювання розрідження;                    |   |
| 15 – засувка виконавчого механізму регулювання розрідження;          |   |

Рисунок 1.9 - Пристрій для регулювання співвідношення паливо-повітря

Пристрій для регулювання співвідношення паливо - повітря, що містить задавач температури, датчик витрати палива і датчик витрати

компресорного повітря, які підключені до регулюючого блока, взаємозв'язаного з виконавчим механізмом витрати компресорного повітря, і регулятор тиску, який відрізняється тим, що пристрій додатково оснащений взаємозв'язаними між собою засувкою регулювання витрати рециркуляційних газів з виконавчим механізмом і засувкою регулювання витрати рекуперативного повітря з виконавчим механізмом, які підключені до регулюючого блока, що взаємозв'язаний з регулятором витрати кисню з виконавчим механізмом, датчиком аналізу продуктів згорання на кисень і задавач рециркуляції, а регулятор тиску зв'язаний з регулюючим блоком, причому задавач температури взаємозв'язаний за допомогою регулятора температури з датчиком витрати палива.

Наведена схема у цьому патенті має спеціалізований характер. Вона призначена для управління режимом роботи нагрівального колодязя. Відповідно використати її для управління режимом роботи тунельної печі не представляється можливим: немає ні рекуператору, ні кисню, ні рециркуляції продуктів згорання. Сама схема є дуже складною та спеціалізованою і саме тому її недоцільно використовувати на інших технологічних агрегатах.

Варто відзначити, що розробка таких систем автоматичного управління займає тривалий час. Для того, щоб це скоротити варто використати математичні моделі, які дозволять значно скоротити час розроблення таких систем. Більш того, за рахунок моделювання можна заздалегідь знайти помилки або не доопрацювання в таких системах та усунути їх ще на етапі розробки.

## 1.2 Аналіз сучасних інформаційних технологій для оптимізації режиму роботи тунельної печі

У вільному доступі аналогічні програмні продукти відсутні. Але схожі задачі можна виконати у такому програмному забезпеченні, як MATLAB або MS Excel. Проте обслуговування таких систем буде досить складним тому, що в інтерфейсі будуть присутні зайві елементи. На додачу стануть вимоги щодо апаратного забезпечення. Окремо варто виділити питання придбання ліцензій цього програмного забезпечення. Ну і в підсумку адміністратору буде значно важче обслуговувати такі програмні системи, аніж спеціалізовану.

На рисунку 1.10 наведено його логотип, а на рисунку 1.11 результати моделювання.

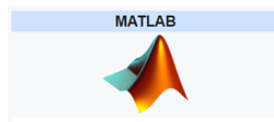


Рисунок 1.10 - Логотип пакету прикладних програм MATLAB

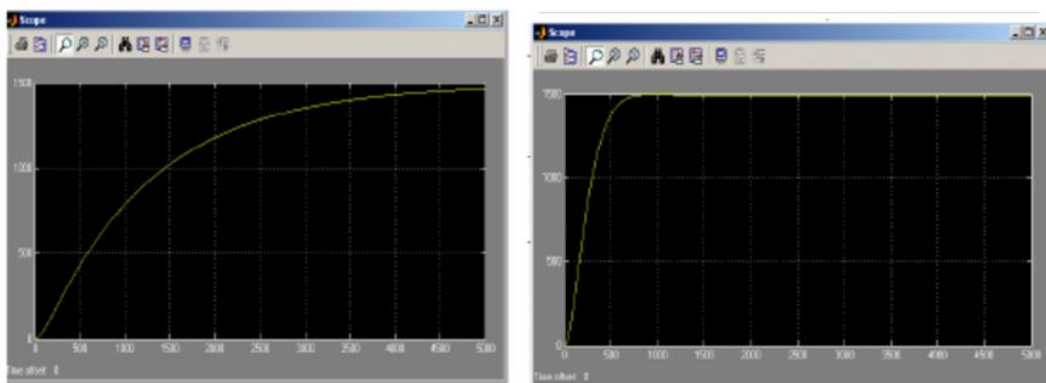


Рисунок 1.11 - Результати моделювання роботи печі в пакеті прикладних програм MATLAB

Недоліками пакету прикладних програм MATLAB є те що:

- потрібно придбати ліцензію;
- потрібно мати знання та навички роботи з цим прикладним програмним забезпеченням;
- високі вимоги до апаратного забезпечення персонального комп'ютера.

Однак у нього є й переваги. Це можливості корегування математичної моделі та корегування звітів.

Ще одним місцем, де можна зробити моделювання роботи тунельної печі є табличний процесор Excel (рис. 1.12).

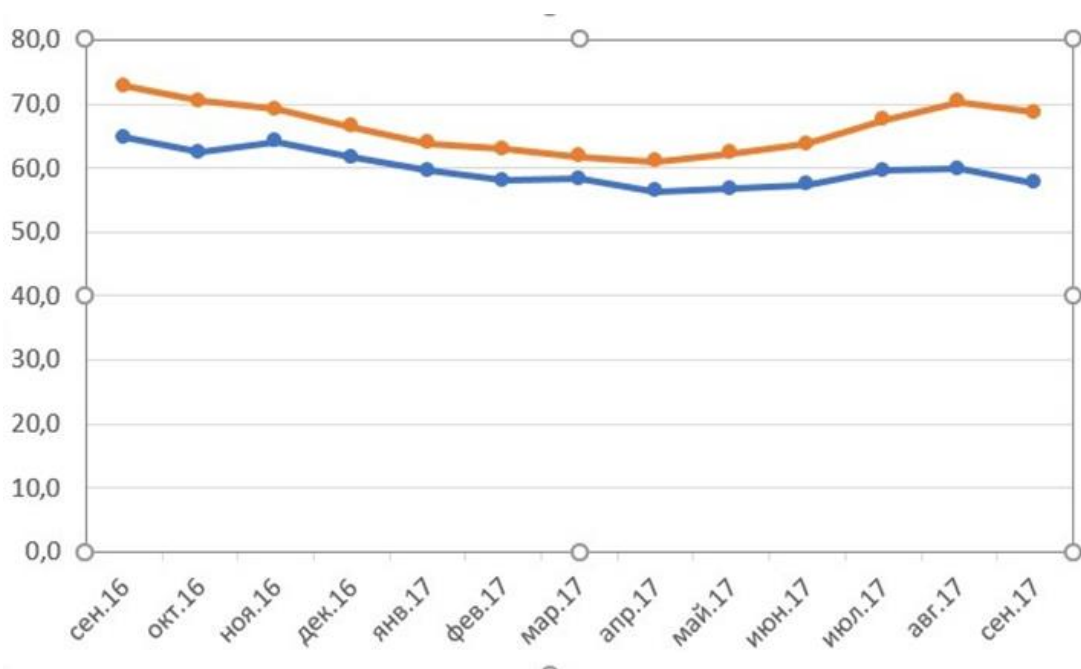


Рисунок 1.12 - Моделювання у табличному процесорі Excel

Недоліками табличного процесору Excel є також необхідність придбання ліцензії та наявність знань та навичок роботи з цим прикладним програмним забезпеченням а також потрібність використовувати спеціалізоване програмне забезпечення Visual Basic for Application.

Однак у нього багато переваг. Це й можливості корегувати математичну модель та звіти, значно менші вимоги до апаратного забезпечення персонального комп'ютера, ніж у випадку MATLAB, більш простий інтерфейс та велика кількість джерел інформації.

Окремо варто відзначити, що поточний час облік природного газу разом з відповідними розрахунками саме реалізовано у табличного процесору Excel (рис. 1.13). Недоліки даного рішення очевидні. По перше вплив людського фактору максимальний. Знімання показів може відбуватися з відхиленням по часу. Тобто один випалювальник знімає покази, наприклад, об 18:55, а інший об 20:05. По записам буде година, фактично 1 година та 10 хвилин. Відповідно відхилення витрати природного газу буду істотні. А це в нашому випадку неприпустимо. Тобто від використання такої системи потрібно відмовлятися і чим раніше, тим краще.

Сегодня дд.мм.гггг. чч.мм.сс. дddd			
3	Предыдущее значение счетчика	85 463 450 м³	
4	Текущее значение счетчика	85 470 980 м³	
5	Объем газа за период	7 530 м³	Всy = 8 127,4 м³
6	Давление газа	5 800 Па	
7	Температура газа	14 °C	
8	Давление атмосферное	101 325 Па	
9	Коефф. сжимаемости	1,00000	
11	ПП №3 ЦМБ1	8 127,4	Δ = 8 127,4 м³
12	Технологический узел учета РПЦ №7		δ = %

Рисунок 1.13 – Поточна система обліку витрати природного газу на основі табличного процесору Excel

Як було раніше зазначено, на поточний час аналогічні продукти у відкритому доступі відсутні. При цьому моделювання роботи тунельної печі дозволяє добитися суттєвого покращення якості продукції, що виготовляється у технологічному агрегаті, та зменшити витрати природного газу. Усе це реалізується за рахунок правильного режиму горіння, яке, в свою чергу, залежить від співвідношення газ/повітря та розрідження. Ще один фактор – це правильне розподілення температури за довжиною печі, яке за рахунок математичної моделі і досягається.

### 1.3 Обґрунтування актуальності досліджень

Як було зазначено раніше, на сьогоднішній день дуже актуальною проблемою є економія енергоресурсів, оскільки вартість їх постійно зростає, в тому числі і природного газу. Наприклад, на основі даних, які є у вільному доступі, вартість природного газу на протязі 2022 року зросла з 12242 грн. за 1000 м<sup>3</sup> до 28972 грн. за м<sup>3</sup> по максимальному значенню (табл. 1.1 та рис. 1.14), що у відсотковому еквіваленті дорівнює 136%.

З економічної точки зору чим менше використовується при використанні енергоресурсів, тим буде меншою собівартість кінцевої продукції. Тому економія енергоресурсів стає дуже актуальним питанням.

Таблиця 1.1 – Зміна вартості газу за 2022 рік

№ з/п	Дата	Вартість, грн	Відсоток збільшення відносно попереднього періоду, %	Відсоток збільшення відносно початку року, %
1	01.02.2022	12242	-	-
2	01.04.2022	13656	11,55	11,55
3	01.07.2022	28972	112,16	136,66
4	01.10.2022	26279	-9,30	114,66
5	01.01.2023	19100	-27,32	56,02



Рисунок 1.14 – Зміна вартості газу за 2022 рік

Один із способів, який дозволяє забезпечити економію природного газу – це забезпечити найбільш якісний режим паління за рахунок оптимального співвідношення природній газ/повітря. Саме за рахунок цього досить розповсюдженого способу і пропонуватиметься зменшити витрату природного газу.

#### 1.4 Основні терміни і поняття предметної області з проблеми оптимізації режиму роботи тунельної печі

Основні терміни, котрі будуть використовуватись під час реалізації предметної області «Дослідження моделей, методів та інформаційних технологій аналізу даних для оптимізації режиму роботи тунельної печі» надані в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Глосарій предметної області

№	Термін	Визначення
1	Автоматизована система управління технологічним процесом	Автоматизована система у вигляді комплексу програмних і технічних засобів, призначена для вироблення та реалізації керувальної дії на технологічний об'єкт керування згідно з прийнятими критеріями керування
2	Адміністратор системи	Працівник, посадові обов'язки якого передбачають забезпечення безаварійної, безвідмовної та стабільної роботи ПС «Моделювання режиму роботи тунельної печі»
3	Випалювальник	Користувач ПС «Моделювання режиму роботи тунельної печі», який повинен контролювати відповідність технологічних параметрів режимній карті
4	Енергетичні ресурси	Матеріальні об'єкти, в яких зосереджена енергія, придатна для практичного використання людиною. В нашому випадку це природній газ та електрична енергія
5	Крива нагрівання	Графік, на якому відображена залежність зміни температури від довжини тунельної печі
6	Математична модель	Система математичних співвідношень, які описують досліджуваний процес. В нашому випадку – роботу такого технологічного агрегату, як тунельна піч

Продовження табл. 1.2

№	Термін	Визначення
7	Майстер випалювальної дільниці	Користувач ПС «Моделювання режиму роботи тунельної печі», в обов'язки котрого входить узгодження отриманих початкових даних та результатів математичного моделювання. У подальшому він ставить завдання підлеглому персоналу суворо дотримуватись початкових даних та результатів математичного моделювання, тобто режимної карти
8	Моделювання	Вивчення об'єкта шляхом створення та дослідження його копії (моделі), яка за своїми властивостями відтворює властивості об'єкта, що досліджується
9	Начальник цеху	Користувач ПС «Моделювання режиму роботи тунельної печі», який має лише наглядові функції. Тобто він може лише наглядати за початковими даними та результатами математичного моделювання для виконання функції контролю
10	Оптимальний режим роботи технологічного агрегату	Такий режим роботи, при якому витрачається мінімальна кількість енергетичних ресурсів, досягається заданий розподіл температури по довжині печі та отримується продукція з максимальним рівнем якості
11	Початкові дані	Основні параметри технологічного процесу, на основі яких можна провести моделювання та отримати результати розрахунків
12	Режимна карта	Документ, в якому наведені основні параметри технологічного процесу, яких потрібно суворо дотримуватись
13	Система	Програмний комплекс, який представлений ПС «Моделювання режиму роботи тунельної печі», котрий призначений для проведення розрахунків на основі наданих користувачем даних та заданих математичних залежностей для отримання оптимального режиму роботи технологічного агрегату (тунельної печі)
14	Співвідношення природний газ/повітря	Параметр, який характеризує якість згорання природного газу. За допомогою цього параметру досягається максимально ефективно використання палива
15	Технолог	Користувач ПС «Моделювання режиму роботи тунельної печі», в обов'язки котрого входить введення початкових даних для виконання розрахунків та аналізу отримання даних

## РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМУ РОБОТИ ТУНЕЛЬНОЇ ПЕЧІ

2.1 Обґрунтування вибору методів теоретичних та експериментальних досліджень, програмного забезпечення для оптимізації режиму роботи тунельної печі

В нашому випадку можна використати фактично два датасети. Один з них – це безпосередньо результати вимірювань роботи тунельної печі. Їх можна за допомогою ODBC – драйверу завантажити з АСКТП тунельної печі. На ній використовується ПЗ компанії Allien & Bradley, в якому присутня база даних технологічних параметрів. Тому з отриманням цих даних проблем не повинно виникнути.

Другий датасет – це безпосередньо результати моделювання. З ними також немає проблем. Формули будуть у подальшому розроблені, а на їх основі не повинно бути проблем з отриманням даних.

Планується використовувати наявне програмне забезпечення ПРАТ «Запоріжвогнетрив», одного з активів групи компаній «Метінвест», яка в загалі орієнтується на ПЗ компанії Microsoft. Тому доцільно використати рішення останньої компанії. До переліку програмного забезпечення, яке буду використовувати входять:

- MS SQL Server (БД);
- MS SQL Server Management Studio (СКБД);
- MS Visual Studio (IDE, інтегроване середовище розробки);
- мова програмування C#.

Усі наведені програмні засоби є актуальними та постійно оновлюються. Також вони оптимально підходять для реалізації ПЗ

будь-якого рівня складності. Окрім того, є підтримка від компанії Microsoft та велика кількість джерел у вільному доступі, що значно спростить як проектування, так і підтримку розроблюваної системи. Саме це і обґрунтовує вибір цих засобів для реалізації даної системи.

## 2.2 Математична модель для оптимізації режиму роботи тунельної печі

На сучасному етапі виробництва на перший план виходить енергоефективність. Чим менше витрачається енергоресурсів в процесі виробництва, тим краще, тим менше собівартість отриманої продукції [11].

Існує два способи зменшення витрати енергоресурсів. Один з них базується на проведенні тривалих і дорого вартісних експериментів. При цьому отримати швидко бажаний результат досить проблематично, тому що, потрібно проведення тривалих дослідів, отримання статистичних даних з можливим порушенням технологічного процесу та отриманням невідповідної якості продукції. Раніше цей спосіб був безальтернативним. Проте зараз, зі збільшенням обчислювальної потужності персональних комп'ютерів та появою спеціалізованого програмного забезпечення він вже не настільки актуальний та відійшов на другий план.

Другий – це побудова математичної моделі технологічного агрегату, яка, хоч і спрощено, але відображає усі залежності в його роботі [11]. При цьому можна використати результати, які отримані в процесі експлуатації технологічного агрегату без відхилень від його режимної карти.

Повноцінну математичну модель роботи тунельної печі одразу зробити важко. Проте, якщо обрати певний напрямок, то можна без великих ускладнень отримати досить непогані результати. Наприклад, опрацюємо температурний режим даного технологічного агрегату. В цьому випадку на перший план виходить так звана крива нагрівання. Тобто розподіл температур по довжині печі. Умовно піч при такому моделюванні можна розділити на дві частини: керовану та некеровану. В некерованій немає пальників і температура в ній поступово зменшується в залежності від того, наскільки димові гази відійшли від керованої зони, в якій розташовані пальники.

Основна задача – це правильно змоделювати режим роботи керованої зони тунельної печі, в якій безпосередньо відбувається згорання природного газу. Фактична основа в цьому випадку – це потрібне значення температури для випалювання продукції. Наприклад, потрібне значення температури в керованій зоні тунельної печі – 1200 °С. Також потрібно враховувати початкову температуру. Якщо піч тільки почала працювати, то вона становить 20 °С. Відповідно потрібно збільшити температуру на 1180 °С і на це буде витрачено значно більше природного газу. Якщо ж початкова температура становить 1100 °С, тобто попередньо випалювалась якась продукція, то потрібно збільшити температуру усього на 100°С і на це вже буде використано значно менше природного газу.

У спрощеному вигляді кількість теплоти можна визначити наступним чином [12]:

$$Q = C * V * \Delta T + Q_{\text{втрат}}, \quad (2.1)$$

де Q - загальна кількість теплоти, кКал/кВт;

C - середня теплоємність матеріалів, Дж/(кг·К);

$V$  - об'єм простору,  $1 \text{ м}^3$ ;

$\Delta T$  - різниця температур,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$Q_{\text{втрат}}$  - теплові втрати,  $\text{кКал/кВт}$ ;

При цьому масу газу можна визначити наступним чином:

$$m_{\text{газу}} = Q / (q * \eta), \quad (2.2)$$

де  $m_{\text{газу}}$  - маса газу,  $\text{кг}$ ;

$q$  - теплотворна здатність газу,  $\text{кКал/кВт}$ ;

$\eta$  - ККД обладнання, %;

Формули (2.1) та (2.2) дозволяють розрахувати витрату газу. Але потрібно враховувати не тільки це, але і співвідношення природного газу та повітря. В нашому випадку використовуються пальники Kromschroder BIO140NB, для яких співвідношення природний газ/повітря повинно становити 1,05. Тобто на  $1 \text{ м}^3$  газу повинно йти  $1,05 \text{ м}^3$  повітря. При цьому також потрібно враховувати ще одне важливе обмеження – це температура повітря, яка подається до пальника і повинна знаходитися в діапазоні від  $270$  до  $450 \text{ }^{\circ}\text{C}$  згідно паспортних даних.

Окремо варто відзначити максимальну потужність пальника. Вона визначається графіком, який наведено на рисунку 2.1. Інший важливий графік регламентує співвідношення повітря високого тиску та підігрітого повітря та його наведено на рисунку 2.2.

На основі раніше наведеної інформації можна побудувати математичну модель роботи тунельної печі, яка дозволить істотно зменшити витрату природного газу за рахунок оптимізації режиму згорання.

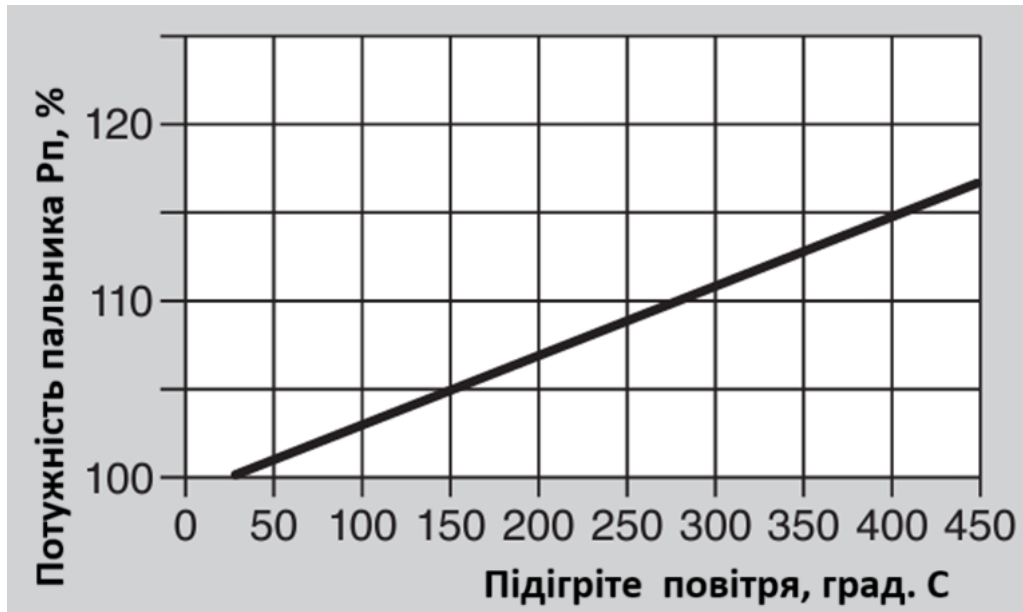


Рисунок 2.1 – Співвідношення потужності пального та температури підігрітого повітря для пального Kromschroder BIO140NB

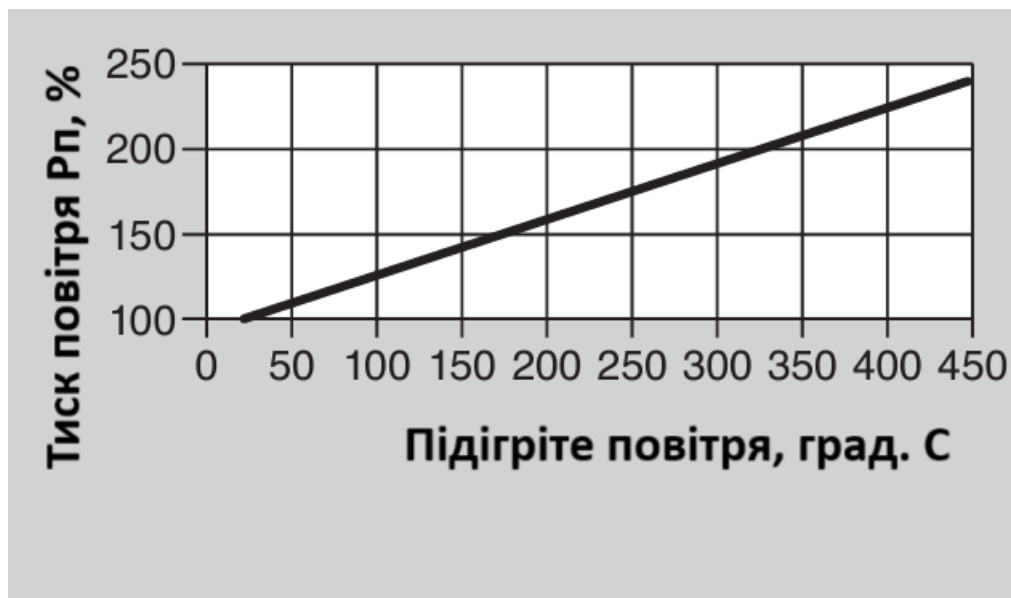


Рисунок 2.2 - Співвідношення повітря високого тиску та підігрітого повітря для пального Kromschroder BIO140NB

### 2.3 Розробка методики дослідження для оптимізації режиму роботи тунельної печі

Цей розділ присвячений розробці детальної методики дослідження, яка дозволить ефективно провести моделювання режиму роботи тунельної печі в рамках дипломної роботи. Методика включатиме в себе визначення мети дослідження, вибір методів моделювання, збір та обробку даних, а також оцінку отриманих результатів.

Як було раніше визначено, при виконанні дипломної роботи буде використано два датасети. Один з них базується на результатах вимірювань (тобто це фактичні, реальні дані роботи технологічного агрегату). Інший – це результати моделювання. Головна мета досліджень – це за допомогою моделювання визначити ті місця, за допомогою яких можна скоротити витрату природного газу та зменшити витрати на виготовлення продукції.

Інший момент, який також буде стосуватися даної роботи, - це мінімізація впливу людського фактору. Дуже часто саме це призводить до того, що отримується неякісна продукція, або йде перевитрата енергоресурсів. Тому мінімізація цього фактору є дуже актуальною на поточний час.

Розроблено розумову карту, яка наведена на рисунку 3.1. На питання «Who?» є відповіддю перелік користувачів. В нашому випадку це: Адміністратор (користувач, котрий підтримує дану програмну систему у працездатному стані, оперативно усуває несправності), Технолог (користувач, який згідно діючих правил задає початкові параметри для моделювання), Начальник цеху (користувач, який ознайомлюється з результатами узгоджує їх або повертає на

доопрацювання), Майстер дільниці (користувач, котрий приймає до відома режимну карту, погоджену начальником цеху) та Випалювальник (користувач, котрий бере за основу надану режимну карту та суворо її дотримується).

На питання «What» є відповіді оптимізація режиму паління, економія природного газу, оптимальна крива нагрівання та оптимальне розрідження. В свою чергу, відповіддю на питання «Where» є випалювальна дільниця, управління технології та якості та адміністратори комп'ютерної мережі. До категорії «How» є основне та додаткове моделювання. Ну відповідями на «Why» є зменшення витрати природного газу та покращення якості продукції. Ну відповідями на «Why» є зменшення витрати природного газу та покращення якості продукції.



Рисунок 2.3 — Розумова карта

2.4 Розробка технічного завдання на створення засобів моделювання програмного комплексу для оптимізації режиму роботи тунельної печі та вимоги до створюваної системи

#### 2.4.1 Загальні відомості

Програмна система моделювання роботи тунельної печі — це програмна система, яка дозволяє моделювати роботу тунельної печі, оптимізувати її роботу для скорочення витрати енергоресурсів.

Програмна система моделювання роботи тунельної печі може використовуватись технологічним персоналом для оптимізації роботи технологічного агрегату та ведення відповідних записів стосовно функціонування технологічного агрегату.

Реалізоване ПЗ повинно відповідати наступним основним вимогам:

- універсальним;
- функціонально достатнім (повним);
- надійним (автоматично зберегти всі дані та коректно завершити роботу програм без втрати даних);
- придатним до модернізації та масштабування;
- модульним;
- мати інтуїтивно зрозумілий для користувача інтерфейс;
- захищеним від зовнішніх впливів;
- здійснювати документування усіх дій користувачів програмного продукту.

Метою програмного комплексу є моделювання роботи тунельної печі для економії енергоресурсів та покращення якості продукції, що випалюється.

Результатом повинно стати:

- повний цикл моделювання роботи технологічного агрегату з отриманням режимної карти;
- скорочення витрати енергоресурсів за рахунок більш оптимального режиму паління;
- автоматизована передача режимної карти з ПЗ моделювання роботи тунельної печі до АСКТП технологічного агрегату;
- контроль дотримання режимної карти АСКТП технологічного агрегату.

Система має забезпечити:

- оптимізацію витрати природного газу;
- покращення якості продукції, що випалюється;
- формування забезпечення режимної карти технологічного агрегату.

#### 2.4.2 Вимоги чинного законодавства

Програмне забезпечення програмної системи моделювання роботи тунельної печі повинне відповідати вимогам чинних нормативно-правових документів, а саме:

- Конституція України;
- Закон України «Про інформацію»;
- Закон України «Про доступ до публічної інформації»;
- Закон України «Про захист персональних даних».

Даний перелік не є вичерпним. Вимоги Законодавства України, нормативних та керівних документів, що стосуються мети, призначення та цілей надання послуг можуть бути уточнені.

## 2.4.3 Вимоги до системи

### 2.4.3.1 Вимоги до надійності та відмовостійкості.

Надійність Системи повинна бути забезпечена за наступними напрямками:

- забезпечення працездатності компонентів програмно-технічної платформи;
- збереження даних.

При цьому повинна вимагатися мінімальна увага з боку системного адміністратора щодо реакції на усунення наслідків відмов компонентів, а також програмно-апаратними засобами повинно бути забезпечене збереження даних.

ПЗ повинне забезпечувати відмовостійку роботу в режимі 24x7x365 і гарантувати доступність для роботи кінцевих користувачів на рівні мінімум 99%.

Система має бути захищеною від фізичних відмов обладнання засобами логічного резервування даних і компонентів підсистем з використанням відповідних протоколів та засобів контейнеризації і віртуалізації. Для захисту від помилок у системному ПЗ та прикладному ПЗ має бути створена система резервного копіювання з метою оперативного відновлення робочих конфігурацій ПЗ з резервних копій.

Максимальний час відновлення працездатності ПЗ не більше 30 хвилин.

Збереженість інформації на випадок аварій повинна бути забезпечена у повному обсязі. Резервне копіювання повинно забезпечуватися функціональністю, реалізованою в рамках ПЗ

Системи та одночасно штатними засобами СУБД, що використовуються.

Для забезпечення резервного копіювання інформації на випадок аварій створюється окремі територіально рознесені з ЦОД сховища (сховище). Резервне копіювання має відбуватися з періодичністю, що забезпечує повне збереження та відновлення даних. Затрати часу на відновлення системи з урахуванням технічних затримок, підключення до резервного ЦОД та операцією контролю працездатності, повинні бути мінімальними для забезпечення безперервної роботи та не перевищувати однієї доби.

Збереження даних має забезпечуватися у випадках:

- вимкнення живлення;
- відмови технічних засобів обробки інформації;
- помилки, збоїв або руйнування програмного забезпечення.

Вимоги щодо надійності Системи можуть бути уточнені Виконавцем та повинні бути зазначені в наступних версіях технічного завдання.

#### 2.4.3.2 Вимоги до потужності ПЗ

Одночасно в системі може працювати до 10 користувачів включно. Повинна бути реалізована можливість збільшити кількість користувачів у складі системи у разі необхідності.

### 2.4.3.3 Вимоги до інтерфейсу користувача

Кінцеві користувачі отримують доступ до системи через веб-сайт. Back End частина системи повинна бути розташована на окремому сервері у заводській мережі. Інтерфейс повинен бути адаптивним і без проблем функціонувати на різних пристроях.

### 2.4.3.4 Загальні вимоги до документації.

Керівництво користувача. У системі повинно бути представлено Керівництво користувача для кожного окремо взятого користувача: адміністратора, начальника цеху, технолога, майстра випалювальної ділянки та випалювальника. У кожному керівництві користувача повинні бути розшифровані всі використані терміни, описи основних варіантів використання, включаючи альтернативні сценарії, а також докладний огляд інтерфейсу програми

Інтерактивна довідка. Інтерактивна довідка необхідна для вирішення питань, які виникли під час роботи. У довідці повинна бути реалізована можливість пошуку інформації за ключовими словами, а також варіант представлення інформації по окремих ключових словах, а також варіант представлення інформації по окремих позиціях меню програми. Довідка повинна містити максимально повну і докладну інформацію по роботі системи.

Керівництво по установці і конфігурації. Система повинна мати керівництво по установці у файлі ReadMe.txt, який повинен додаватися до системи. Файл ReadMe.txt повинен містити докладну

інструкцію по установці даної системи, щоб у разі потреби користувач зміг провести установку самостійно без допомоги адміністратора.

#### 2.4.4 Технологічний стек

Версії мов програмування, фреймворків, бібліотек та сервісів системи мають мати EOL(end of life) не раніше чим дата підписання договору + 6 місяців.

Система повинна використовувати технології, інструменти та системи БД, логування, тощо виключно із відкритим кодом. Для зберігання коду системи потрібно використовувати сервіс сімейства Git.

Безпосередньо продукти, на яких повинна базуватися система :

- операційна система Windows 11;
- систему управління розробкою програмним забезпеченням Набувача;
- база даних повинна базуватися на MS SQL Server.

Всі сервіси Системи мають відповідати вимогам:

- висока доступність (High Availability);
- відмовостійкість (Fault tolerance);
- надмірність (Redundancy);
- вертикальне та горизонтальне масштабування (Vertical and horizontal Scaling ability).

#### 2.4.5 Умови поставки та впровадження

Очікуваний термін завершення розробки та розгортання Рішення Виконавцем - до 1 травня 2025 року.

Для прийняття системи до експлуатації повинна бути створена приймальна комісія у складі представників Замовника та Набувача.

Виконавець передає Набувачеві виключні права на розроблене програмне забезпечення. В разі неможливості передачі виключних прав, Виконавець передає права на програмне забезпечення, які передбачають можливість здійснення Набувачем, чи обраними Набувачем третіми сторонами, будь-яких модифікації в програмному забезпеченні.

При здачі в експлуатацію система повинна пройти приймальне тестування (ПТ) для визначення її відповідності технічному завданню.

За результатами приймальних випробувань складається акт, в якому міститься висновок про ступінь відповідності Системи вимогам технічного завдання та рішення про прийняття її в промислову експлуатацію.

Програмне забезпечення, що постачається, повинно бути інстальоване та налаштоване на серверах, визначених Набувачем. Виконавець проводить прийняття Системи в цілому.

Система повинна мати таку документацію:

- функціональний опис системи;
- інструкція адміністратора системи;
- інструкція з резервного копіювання та відтворення даних;
- інструкція користувача системи;
- акт передання-прийняття примірника коду (Програмного забезпечення, що постачається);

- програма та методика попередніх випробувань;
- протокол попередніх випробувань та інших тестувань.

#### 2.4.6 Вимоги до виконавця

Наявність у команді Виконавця фахівців відповідного рівня кваліфікації для виконання робіт. Виконавець погоджується з тим, що під час виконання робіт він повинен підтримувати регулярну комунікацію та погоджувати рішення із Замовником. Виконавець погоджується з тим, що він готовий забезпечити відповідну інформаційну підтримку щодо розробки, надавати відповідні роз'яснення щодо неї всім зацікавленим сторонам за погодженням із Замовником та Набувачем, в тому числі брати участь у заходах, які може проводити Замовник або Набувач з метою забезпечення належного рівня якості виконання робіт.

Виконавець усвідомлює, що у разі перемоги, обов'язковим до підписання документом є Кодекс етичних норм (додається в тендерній документації).

Виконавець може залучити субпідрядників та інших підрядників за умови надання ними відповідних документів/сертифікатів, які підтверджують їх кваліфікацію.

Виконавець має повідомити Замовника та Набувача про залучення субпідрядників до підписання контракту, а Замовник та/або Набувача, у свою чергу, має право відмовитися від запропонованих субпідрядників.

Ризик випадкового знищення або випадкового пошкодження результату виконання робіт (їх стадій) до передачі їх Замовнику та Набувачу за Актами несе Виконавець.

#### 2.4.7 Що має містити пропозиція?

Пропозиція має містити:

- вартість загального обсягу робіт, та розбивку по наступним видам робіт за зразком (форма додається): аналіз цільової аудиторії, UX/UI дизайн, верстка, програмування (для кожного модулю/компоненту окремо), тестування, вартість подальшої підтримки;
- проектну пропозицію у довільній формі, що описує бачення щодо архітектури, технологічного стеку, інформаційної безпеки, етапів роботи, графік надання результатів тощо.
- інформацію щодо умов оплати;
- портфоліо компанії із зазначенням кількості співробітників загалом та співробітників, що будуть залучені до проекту (посада, досвід роботи), коротким описом мінімум 5 проектів, створених компанією, для оцінки попереднього досвіду та контактні дані для отримання рекомендацій;
- резюме залучених експертів;
- реєстраційні документи компанії. Усі документи мають бути підписані уповноваженою особою та завірені печаткою (для юридичних осіб, що мають печатку). На всіх сторінках мають стояти ініціали уповноваженої особи, яка підписує документ.

#### 2.4.8 Вимоги до захисту інформації від несанкціонованого доступу

Для забезпечення захисту інформації в розроблюваній системі необхідне поєднання наступних заходів:

- законодавчих (врахування нормативних актів, стандартів тощо, спрямованих на створення КСЗІ системи);
- адміністративних та організаційних (охорона систем мережі, особливо систем керування, підбір та контроль діяльності персоналу, причетного до створення системи);
- програмно-технічних (використання спеціальних апаратних і програмних засобів, що запобігають або ускладнюють несанкціонований доступ до елементів мережі та до інформації, перевірка відповідності вимогам технічного захисту обладнання, що використовується в системі).

Захист інформації в електронній системі базується на реалізації наступних основних принципів: централізоване управління системою; послідовність рубежів захисту інформації; адекватність та ефективність захисту; збереження захисту під час відмови частин системи; захист засобів безпеки; безперервність захисту; прихованість захисту.

Для забезпечення захисту інформації в системі повинна бути створена КСЗІ системи з підтвердженою відповідністю.

#### 2.4.9 Вимоги до інформаційної безпеки

Основною вимогою до інформаційної безпеки є відповідність вимогам закону України «Про захист інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах».

Парольні політики для адміністраторів мають визначатись у вигляді налаштувань і автоматично контролюватись системою керування контенту. Система має бути захищена від найбільш поширених типів атак, наприклад SQL injection, XSS, отримання доступу методом перебирання паролів, тощо. Перелік типових атак буде погоджений з Виконавцем в ході погодження дизайну і технічного завдання.

Паролі мають зберігатись і передаватись виключно в шифрованому вигляді, відповідності до вимог законодавства в галузі «Криптографічного захисту інформації». Інформація, що послаблює інформаційну безпеку (така, як id сесії, id користувача, тощо), не повинна відображатись публічно.

Реалізація парольної політики та захист від використання слабких паролів (наприклад блокування використання топ-1000 найбільш відомих паролей).

На фізичному рівні мають бути виконані наступні правила (можуть бути змінені на етапі побудови КСЗІ):

- фізичний доступ до обладнання повинен бути обмеженим та усі дії повинні бути зафіксовані;
- фізичний доступ до резервних копій системи повинен бути обмеженим відповідно до регламенту адміністрування системи та усі дії повинні бути зафіксованими;

– система повинна мати функціонал по обмеженню кількості запитів до ЦБД з метою її захисту від перевантаження.

#### 2.4.10 Вимоги до патентної чистоти

До усіх програмних та технічних засобів, що застосовуються в Системі, повинні бути дотримані умови ліцензійних угод та забезпечена патентна чистота.

Розробник не має виключного авторського права на жоден з компонентів системи чи систему в цілому.

Якщо буде з'ясовано, що ПЗ має бути сполучене з іншою системою з використанням протоколу або алгоритму обміну, для якого діють обмеження в Україні, дозвіл на застосування такого протоколу або алгоритму повинен отримуватись в компетентних органах перед реалізацією інтерфейсу сполучення та введенням в експлуатацію.

#### 2.4.11 Вимоги до розвитку та модернізації ПЗ ММ режиму роботи тунельної печі

Термін гарантованої технічної підтримки, що надається Виконавцем, має складати не менше 1 року з моменту постачання Рішення. Подальший розвиток Системи визначається Набувачем.

#### 2.4.12 Вимоги до стандартизації та уніфікації

Стандартизація та уніфікація функцій Системи повинна бути забезпечена за рахунок використання сучасних інструментальних програмних засобів, які підтримують єдину технологію проектування і розробки функціонального, інформаційного та програмного забезпечення.

ПЗ в цілому, та інші програмні компоненти Системи повинні відповідати основним міжнародним та національним угодам і стандартам в галузі інформаційних технологій.

Склад ПЗ має бути уніфікованим.

Для розробки документації етапу розробки програмного забезпечення мають будуть застосовані стандарти, не старіші за:

- IEEE 830 Software requirements specification and Software Engineering Institute templates;
- IEEE 1016 Software architecture design and Software Engineering Institute templates.

#### 2.4.13 Вимоги до інформаційного забезпечення

Інформаційне забезпечення повинно відповідати таким вимогам та можливостям:

- забезпечення фізичної та логічної цілісності даних;
- мінімізація надмірності даних, що зберігаються;
- стандартизація представлення даних;
- достовірність та актуальність даних.

ПЗ повинно мати властивості інтегрованого інформаційного середовища:

- забезпечувати зберігання даних про історію змін даних користувачами для забезпечення відповідальності за внесення змін до даних;
- забезпечувати розподіл і надання прав доступу заснованих на рольовому або іншому подібному принципі;
- забезпечувати автоматичну консолідацію та інформаційну цілісність у рамках географічно розподілених даних;
- передбачати за допомогою документованого API можливість інтеграції з іншими інформаційними системами.

## 2.4.15 Адміністративна інфраструктура

### 2.4.15.1 Розміщення системи

На період розробки та впровадження система має бути розміщена на окремому сервері у внутрішньо заводській мережі. При необхідності система повинна без проблем може бути перенесена у хмарне сховище.

### 2.4.15.2 Система резервного копіювання та відновлення після аварій

У рамках розробки системи повинні бути передбачені механізми резервного копіювання системи, регламент резервного копіювання та

інструкції щодо відновлення системи після аварій. Відновлення системи включає в себе:

1. Відновлення конфігурацій системного та прикладного ПЗ;
2. Відновлення інформації про користувачів;
3. Відновлення даних.

#### 2.4.15.3 Система логування

Система логування повинна забезпечувати логування таких подій:

- запуск/зупинка окремих сервісів системи;
- події безпеки типу login/logout;
- помилок у роботі системи, таких як комунікаційні, цілісності даних у системі, непередбачувані затримки в обробці інформації;
- критичні події від системи моніторингу (критичний об'єм пам'яті, дискового простору тощо);
- інші події безпеки.

#### 2.4.15.4 Система автоматичного тестування

Всі модулі Системи необхідно повністю або частково покрити автотестами та unit тестами.

Система автоматичного тестування створена з метою тестування нового функціоналу, емуляції штучного навантаження та

відтворення можливих помилок у режимі, максимально наближеному до реального.

#### 2.4.15.5 Система моніторингу

Система моніторингу забезпечує оперативний моніторинг роботи всіх компонентів системи, включаючи CPU, RAM, Disk I/O та вільне місце на дисковій підсистемі, навантаження, доступність каналів зв'язку.

#### 2.4.15.6 Вимоги до апаратного та програмного забезпечення

Вживані стандарти. Система повинна відповідати всім стандартам інтерфейсу користувача Microsoft® Windows® 11.

Системні вимоги. Мінімальні системні вимоги:

- 8Гб оперативної пам'яті пам'яті;
- накопичувач об'ємом 128Гб, на якому будуть вільними 10Гб;
- сучасний двоядерний процесор з тактовою частотою 3,4ГГц або вище;
- операційна система Windows 11.

Експлуатаційні вимоги. Система повинна бути здатна підтримувати мінімум 10 одночасних запитів користувачів, пов'язаних із функціонуванням ПЗ ММ режиму роботу тунельної печі та мати можливість їх подальшого збільшення.

## РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ЗАСОБІВ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМУ РОБОТИ ТУНельНОЇ ПЕЧІ

### 3.1 Розробка бізнес-процесів автоматизації процесу моделювання програмного комплексу для оптимізації режиму роботи тунельної печі

Як було раніше зазначено, на поточний час аналогічні продукти у відкритому доступі відсутні. При цьому моделювання роботи тунельної печі дозволяє добитися суттєвого покращення якості продукції, що виготовляється у технологічному агрегаті, та зменшити витрати природного газу. Усе це реалізується за рахунок правильного режиму горіння, яке, в свою чергу, залежить від співвідношення газ/повітря та розрідження. Ще один фактор – це правильне розподілення температури за довжиною печі, яке за рахунок математичної моделі і досягається.

При цьому на поточний час є цілий ряд проблем, які за допомогою цього програмного забезпечення можуть бути вирішені.

Одна з них – нераціональне використання палива. Інша – відхилення значень температури від значень кривої нагрівання. Ще одна – це відхилення розрідження при зміні режиму роботи печі від рекомендованого значення. Вирішення цих проблем наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Можливі варіанти вирішення проблем

Проблема	Нераціональне використання палива
Стосується	Технолога
Її наслідком є	Збільшена витрата природного газу, викид в атмосферу шкідливих речовин
Успішне рішення	Правильне обрання та суворий контроль за співвідношенням природного газу/повітря
Проблема	Відхилення значень температури від значень кривої нагрівання
Стосується	Технолога
Її наслідком є	Погіршення якості продукції, що виготовляється
Успішне рішення	За допомогою математичної моделі реалізувати тотальний контроль за розподіленням температури у печі та її відповідності кривій нагрівання
Проблема	Відхилення розрідження при зміні режиму роботи печі від рекомендованого значення
Стосується	Випалювальника, майстра випалювальної ділянки
Її наслідком є	Нераціональний режим роботи технологічного агрегату, викид шкідливих речовин в атмосферу
Успішне рішення	Зробити попереджувальну дію в математичній моделі, яка би унеможливила такий режим роботи тунельної печі

В свою чергу в таблиці 3.2 наведено позиціювання такого програмного продукту.

Таблиця 3.2 - Визначення позиції продукту

Для	Промислового підприємства
Якому	Потрібно покращити якість продукції та зменшити витрати енергетичних ресурсів
Назва продукту	Дослідження моделей, методів та інформаційних технологій аналізу даних для оптимізації режиму роботи тунельної печі.
Який	Заснований на промисловій СУБД, високонадійний, оптимізований
На відміну від	Аналогічні продукти у відкритому доступу відсутні
Наш продукт	Дозволяє скоротити витрати енергетичних ресурсів при збільшенні якості продукції

Основна задача такої системи – це моделювання роботи тунельної печі, оптимізація її роботи для скорочення витрати енергоресурсів. Для належної організації роботи такої програмної системи необхідно виконання наступних етапів вибір режиму роботи агрегату; отримання початкових даних; моделювання; завдання параметрів для оптимальної роботи (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 - Діаграма етапів функціонування програмної системи моделювання роботи тунельної печі

Розглянемо кожен з етапів окремо. Першим етапом при моделюванні тунельної печі є «Вибір режиму роботи агрегату» (рис 3.2, табл.3.3).

Він складається з таких етапів: завдання режиму роботи вентиляторів високого тиску (у подальшому ВВТ, з використанням перетворювача частоти чи через пускач); завдання кількості використовуваних пальників; завдання режиму роботи печі (нагрів чи випалення).



Рисунок 3.2 - Етап «Вибір режиму роботи агрегату»

Таблиця 3.3 - Характеристика етапу «Вибір режиму роботи агрегату»

Назва характеристики	Значення характеристики
Ім'я етапу	Вибір режиму роботи агрегату
Основні учасники	Майстер випалювальної ділянки, технолог, випалювальник
Вхідна подія	Зміна роботи агрегату
Вхідні документи	Режим роботи ВВТ, завдання кількості пальників, завдання режиму роботи печі
Вихідна подія	Перехід до етапу отримання початкових даних.
Вихідні документи	Частково сформована режимна карта технологічного агрегату
Клієнт етапу	Режимна карта

Наступний етап «Отримання початкових даних» складається з таких етапів: формування кривої нагрівання; завдання значень розрідження; розрахунок витрати природного газу. На рисунку 3.3

наведено етап «Отримання початкових даних», який складається з завдання кривої нагрівання, завдання значень розріджень, розрахунок витрати природного газу, завдання кількості пальників, завдання режиму роботи печі. У таблиці 3.4 наведена характеристика даного етапу.



Рисунок 3.3 – Етап «Отримання початкових даних»

Таблиця 3.4 - Характеристика етапу «Отримання початкових даних»

Назва характеристики	Значення характеристики
Ім'я етапу	Отримання початкових даних
Основні учасники	Майстер випалювальної ділянки, технолог, випалювальник
Вхідна подія	Завершення етапу «Вибір режиму роботи агрегату»
Вхідні документи	Крива нагріву, значення розрідження, витрата природного газу
Вихідна подія	Перехід до етапу «Моделювання»
Вихідні документи	Повністю сформована режимна карта технологічного агрегату (вихідні дані)
Клієнт етапу	Режимна карта

Етап «Моделювання» складається з початкового моделювання та моделювання для уточнення. На рисунку 3.4 наведено етап «Моделювання», який складається з попереднього та уточнюючого моделювання. Також у таблиці 3.5 наведена характеристика даного етапу.

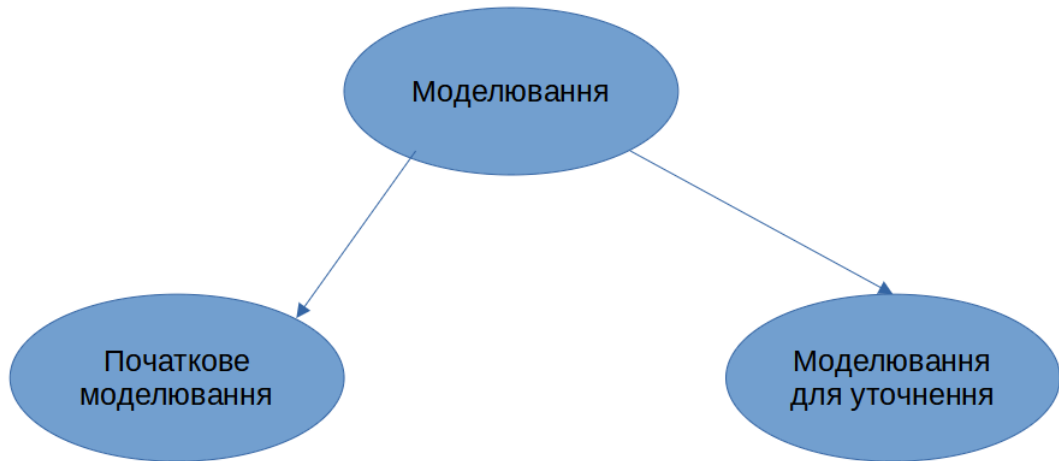


Рисунок 3.4 - Етап «Моделювання»

Таблиця 3.5 - Характеристика етапу «Моделювання»

Назва характеристики	Значення характеристики
Ім'я етапу	Моделювання
Основні учасники	Майстер випалювальної ділянки, технолог, випалювальник
Вхідна подія	Сформовані вихідні дані для проведення розрахунку
Вхідні документи	Документи, які сформовані на попередніх двох етапах
Вихідна подія	Отримання результатів розрахунків, моделювання.
Вихідні документи	Повністю розрахований режим роботи технологічного агрегату
Клієнт етапу	Режимна карта

Етап «Завдання параметрів для оптимальної роботи печі» складається з етапів «Запис даних до АСКТП» та «Контроль підтримання заданих значень в АСКТП».

На рисунку 3.5 наведено етап «Завдання параметрів», який складається з завдання параметрів та контролю їх дотримання. Також у таблиці 3.6 наведена характеристика даного етапу.

Таблиця 3.6 - Характеристика етапу «Завдання параметрів»

Назва характеристики	Значення характеристики
Ім'я етапу	Завдання параметрів
Основні учасники	Майстер випалювальної ділянки, технолог, випалювальник
Вхідна подія	Отримання результатів розрахунків, моделювання.
Вхідні документи	Результати моделювання
Вихідна подія	Оптимальна робота технологічного агрегату
Вихідні документи	Режимна карта
Клієнт етапу	Режимна карта

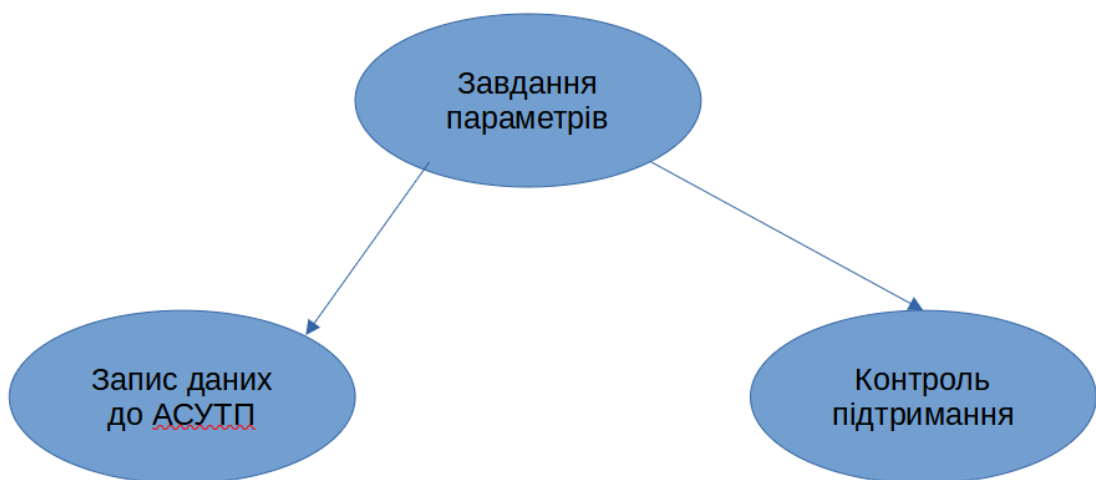


Рисунок 3.5 - Етап «Завдання параметрів»

Розглянемо відомості про користувачів. Перелік користувачів розроблюваної системи наступний: адміністратор системи, начальник цеху, технолог, майстер випалювальної дільниці та випалювальник.

Адміністратор системи контролює усі дії користувачів, виправляє помилки системи, підтримує її у робочому стані та оптимізує роботу.

Начальник цеху має лише наглядові функції. Тобто він може лише дивитись вихідні дані для розрахунків та результати, які були отримані за допомогою математичного моделювання.

Технолог повинен вводити початкові дані для розрахунків та контролювати отримані результати. Також в його обов'язки входить друкування звітів за потребою.

Майстер випалювальної дільниці повинен отримувати вихідні дані та результати математичного моделювання та ставити задачу випалювальнику суворо дотримуватись завданих режимів роботи.

Випалювальник повинен контролювати хід технологічного процесу та відповідність отриманих даних тим значенням, які надали датчики на тунельній печі. Тобто фактично відповідність отриманої режимної карти фактичним значенням, які були отримані з датчиків та виконавчих пристроїв тунельної печі. У таблиці 3.7 наведені профілі користувачів розроблюваної програмної системи.

Таблиця 3.7 - Профілі користувачів

Типовий представник	Адміністратор
Опис	Користувач системи, наділений правами адміністратора, у нього є доступ до усіх функцій
Тип	Адміністратор
Відповідальність	Забезпечує роботоспособність та стабільність роботи системи, ліквідує помилки.
Критерій успіху	Стабільне отримання результатів моделювання режимів роботи тунельної печі

Продовження табл. 3.7

Типовий представник	Адміністратор
Типовий представник	Начальник цеху
Опис	Користувач системи, наділений лише наглядовими функціями
Тип	Користувач
Відповідальність	Контролює початкові дані та отримані результати
Критерій успіху	Оптимальний режим роботи технологічного агрегату
Типовий представник	Технолог
Опис	Користувач системи, який задає початкові дані та перевіряє на відповідність отримані результати
Тип	Користувач
Відповідальність	Задає початкові дані, аналізує отримані дані за результатами моделювання
Критерій успіху	Оптимальний режим роботи технологічного агрегату
Типовий представник	Майстер випалювальної ділянки
Опис	Користувач системи. Отримує початкові дані та результати моделювання, узгоджує їх, та ставить завдання випалювальнику дотримуватись заданих параметрів
Тип	Користувач
Відповідальність	Узгоджує отримані дані, ставить завдання підлеглому персоналу
Критерій успіху	Оптимальний режим роботи технологічного агрегату
Типовий представник	Випалювальник
Опис	Користувач системи, який контролює технологічні параметри
Тип	Користувач
Відповідальність	Суворий контроль за відповідністю результатів математичного моделювання та отриманих значень з технологічного агрегату
Критерій успіху	Оптимальний режим роботи технологічного агрегату

У системі повинно бути представлено Керівництво користувача для кожного окремо взятого користувача: адміністратора, начальника цеху, технолога, майстра випалювальної ділянки та

випалювальника. У кожному керівництві користувача повинні бути розшифровані всі використані терміни, описи основних варіантів використання, включаючи альтернативні сценарії, а також докладний огляд інтерфейсу програми

Інтерактивна довідка необхідна для вирішення питань, які виникли під час роботи. У довідці повинна бути реалізована можливість пошуку інформації за ключовими словами, а також варіант представлення інформації по окремих ключових словах, а також варіант представлення інформації по окремих позиціях меню програми. Довідка повинна містити максимально повну і докладну інформацію по роботі системи.

Система повинна мати керівництво по установці у файлі ReadMe.txt, який повинен додаватися до системи. Файл ReadMe.txt повинен містити докладну інструкцію по установці даної системи, щоб у разі потреби користувач зміг провести установку самостійно без допомоги адміністратора.

Перелік акторів даної системи наступний: адміністратор системи, начальник цеху, технолог, майстер випалювальної ділянки, випалювальник 1, випалювальник 2, випалювальник 3, випалювальник 4 та випалювальник 5. Четверо випалювальників працюють по змінах та один з них на підміні (рис. 3.6).

Адміністратор системи контролює усі дії користувачів, виправляє помилки системи, підтримує її у робочому стані та оптимізує роботу ПС.

Начальник цеху має лише наглядові функції. Тобто він може лише дивитись вихідні дані для розрахунків та результати, які були отримані за допомогою математичного моделювання.

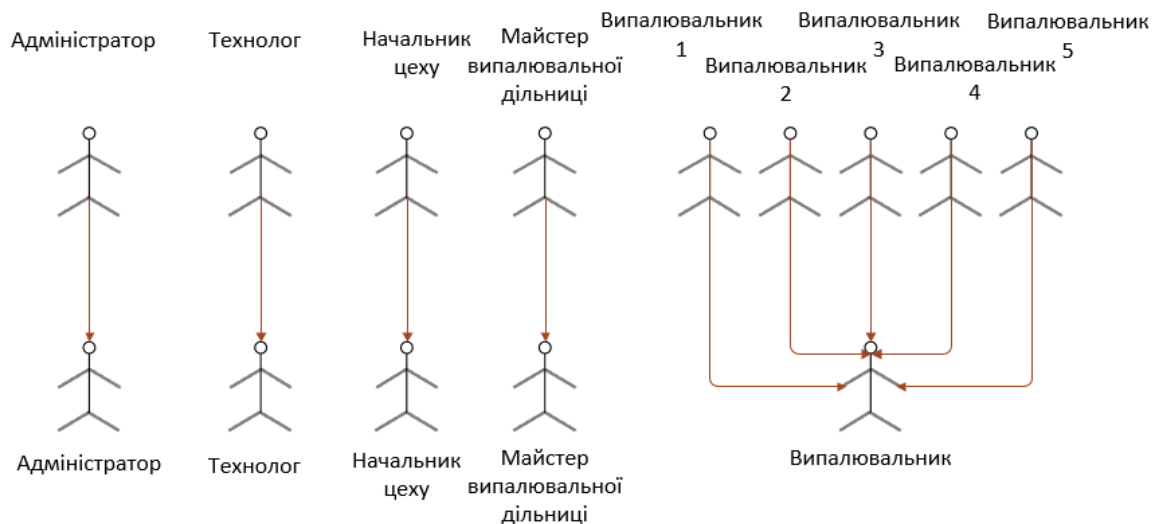


Рисунок 3.6 - Аналіз акторів системи

Технолог повинен вводити початкові дані для розрахунків та контролювати отримані результати.

Майстер випалювальної дільниці повинен отримувати вихідні дані та результати математичного моделювання та ставити задачу випалювальнику суворо дотримуватись завданих режимів роботи.

Випалювальник повинен контролювати хід технологічного процесу та відповідність отриманих даних тим значенням, які надали датчики на тунельній печі. За результатами проведеного інтерв'ю стало зрозуміло, що усі випалювальники будуть використовувати систему однотипно. Відповідно це дало змогу об'єднати п'ять ролей в одну.

В таблиці 3.8 наведено короткий опис наявних у системі акторів для ПС «Моделювання режиму роботу тунельної печі».

Таблиця 3.8 - Короткий опис акторів

Актор	Короткий опис
Адміністратор	Користувач системи, наділений правами адміністратора, у нього є доступ до усіх функцій
Технолог	Користувач системи, який задає початкові дані та перевіряє на відповідність отримані результати
Начальник цеху	Користувач системи, наділений лише наглядовими функціями
Майстер випалювальної ділянки	Користувач системи, який отримує початкові дані та результати моделювання, узгоджує їх, та ставить завдання випалювальнику суворо дотримуватись завданих параметрів
Випалювальник	Користувач системи, який контролює технологічні параметри

Для кожного з акторів виявляємо максимально можливу кількість варіантів використання. Кожному з них надано коротке формулювання. Виявлені варіанти використання зведені в таблицю 3.9.

Таблиця 3.9 - Виявлення варіантів використання акторів

Основний актор	Найменування	Формулювання
Адміністратор	Авторизація користувача	Цей варіант дозволяє адміністратору входити в систему
Адміністратор	Проведення моделювання	Цей варіант дозволяє контролювати адміністратору хід моделювання
Технолог	Авторизація користувача	Цей варіант дозволяє користувачу входити в систему

Продовження табл. 3.9

Основний актор	Найменування	Формулювання
Технолог	Введення даних	Цей варіант дозволяє користувачу вводити початкові дані для проведення розрахунків
Технолог	Отримання результатів моделювання	Цей варіант дозволяє користувачу отримувати результати математичного моделювання
Технолог	Друкування звітів	Цей варіант дозволяє користувачу звіт результатів моделювання
Технолог	Контроль параметрів в АСКТП	Цей варіант дозволяє користувачу контролювати параметри в АСКТП
Начальник цеху	Авторизація користувача	Цей варіант дозволяє користувачу входити в систему
Начальник цеху	Отримання результатів моделювання	Цей варіант дозволяє користувачу отримувати результати математичного моделювання
Начальник цеху	Друкування звітів	Цей варіант дозволяє користувачу звіт результатів моделювання
Майстер випалювальної ділянки	Авторизація користувача	Цей варіант дозволяє користувачу входити в систему
Майстер випалювальної ділянки	Отримання результатів моделювання	Цей варіант дозволяє користувачу отримувати результати математичного моделювання
Технолог	Контроль параметрів в АСКТП	Цей варіант дозволяє користувачу контролювати параметри в АСКТП

Продовження табл. 3.9

Основний актор	Найменування	Формулювання
Начальник цеху	Авторизація користувача	Цей варіант дозволяє користувачу входити в систему
Начальник цеху	Отримання результатів моделювання	Цей варіант дозволяє користувачу отримувати результати математичного моделювання
Начальник цеху	Друкування звітів	Цей варіант дозволяє користувачу звіт результатів моделювання
Майстер випалювальної ділянки	Авторизація користувача	Цей варіант дозволяє користувачу входити в систему
Майстер випалювальної ділянки	Друкування звітів	Цей варіант дозволяє користувачу звіт результатів моделювання
Випалювальник	Авторизація користувача	Цей варіант дозволяє користувачу входити в систему
Випалювальник	Отримання результатів моделювання	Цей варіант дозволяє користувачу отримувати результати математичного моделювання
Випалювальник	Передача даних у систему АСКТП	Цей варіант дозволяє користувачу перевіряти коректність даних, які надані системі АСКТП
Випалювальник	Друкування звітів	Цей варіант дозволяє користувачу звіт результатів моделювання

На рисунку 3.7 наведено діаграма варіантів використання

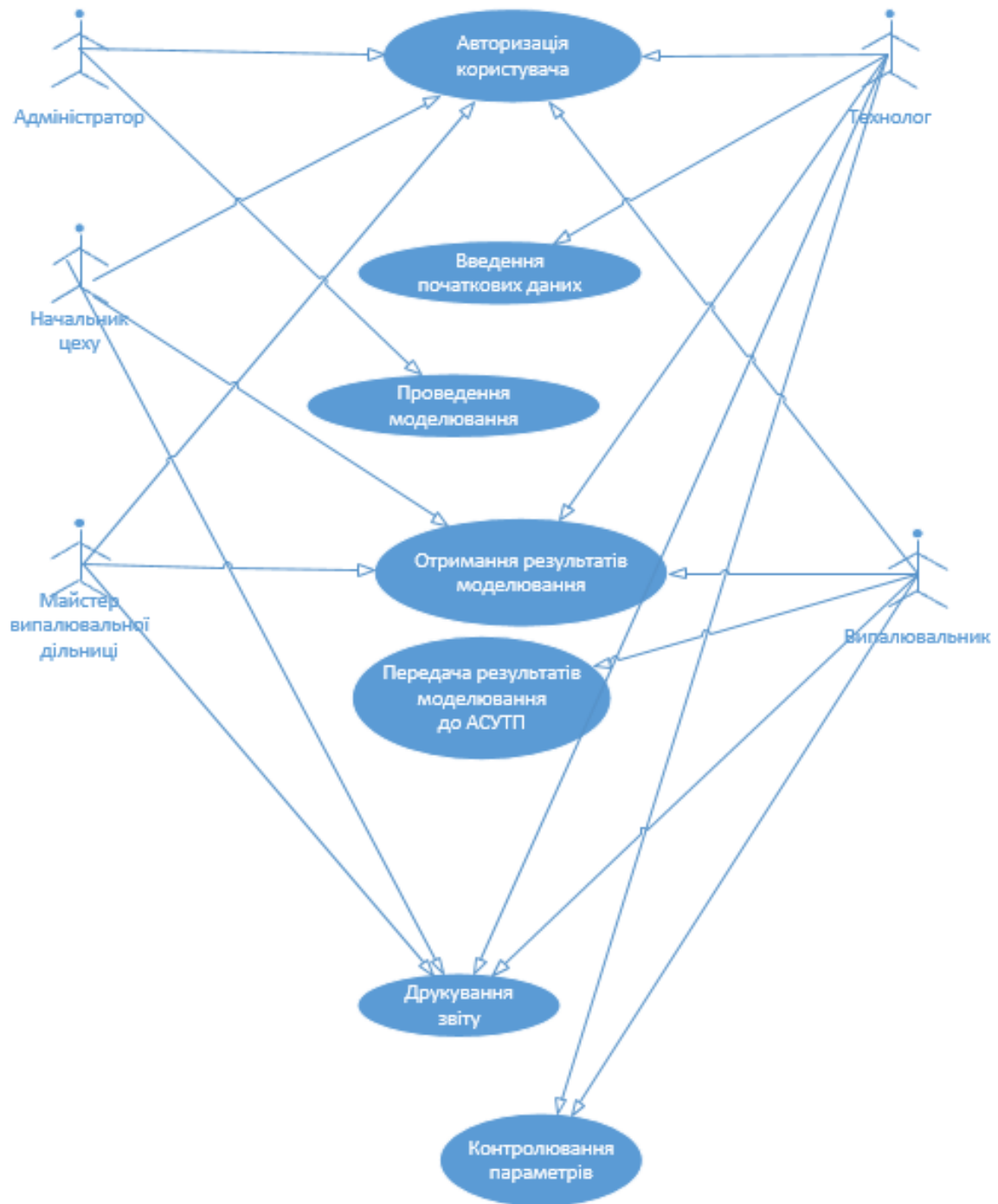


Рисунок 3.7 - Діаграма варіантів використання

На першому етапі була розроблена функціональна схема системи (рис. 3.8).

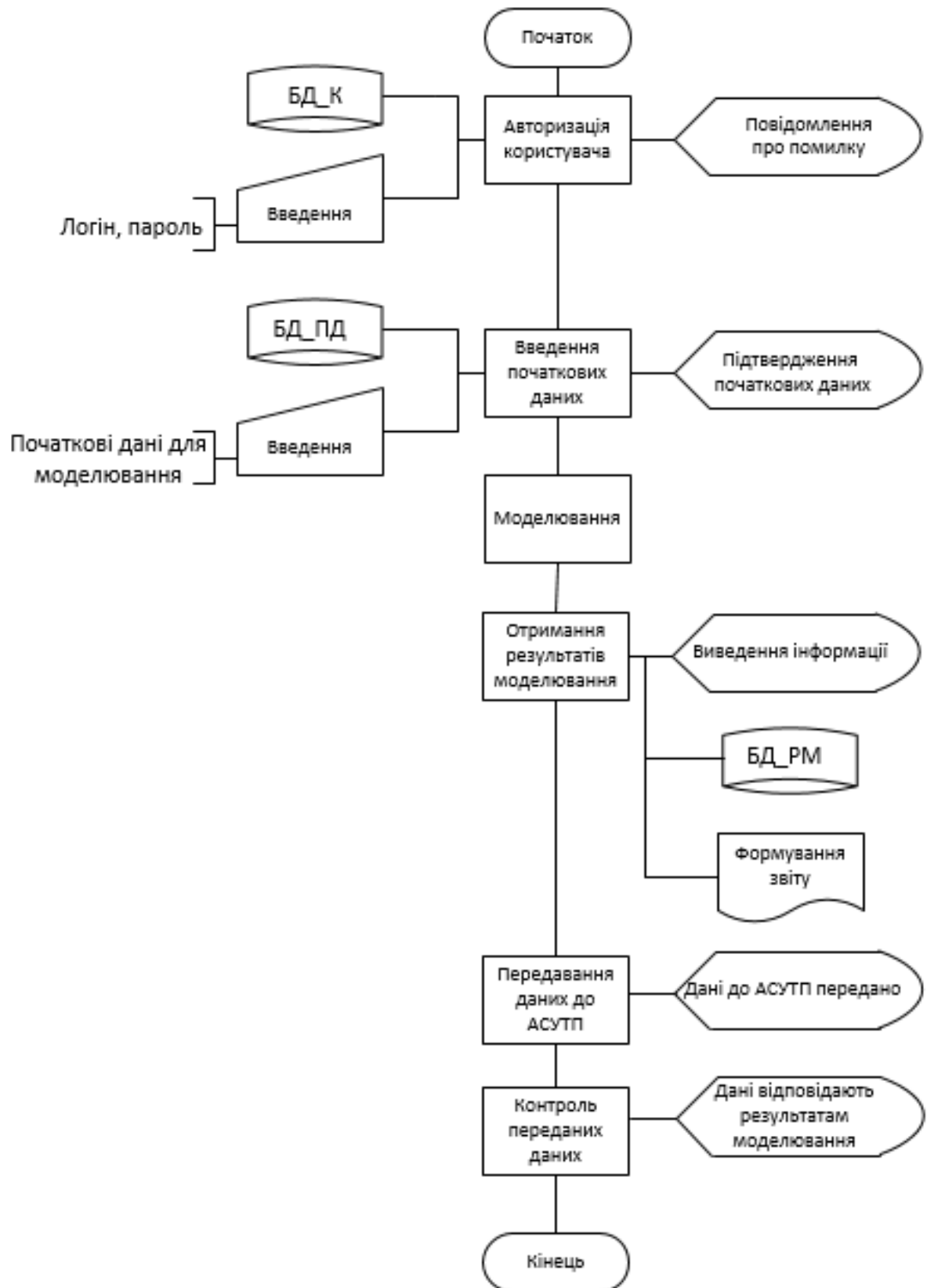


Рисунок 3.8 - Функціональна схема розроблюваної програмної системи

З наведеної функціональної схеми (рис. 3.8) видно, що програмний засіб розбивається на наступні основні блоки:

1 - авторизація користувача (на цьому етапі користувач авторизується в системі шляхом введення за допомогою клавіатури логіну та паролю, правильність логіну та паролю перевіряється у базі даних користувачів БД\_К, при введенні неправильних даних буде виведено відповідне повідомлення);

2 - введення початкових даних (на цьому етапі користувач (технолог), вводить початкові дані для проведення розрахунку за допомогою клавіатури, потім з'являється відповідне вікно для підтвердження введеної інформації, далі отримані дані записуються до бази даних початкових даних БД\_ПД);

3 - моделювання (на цьому етапі згідно обраного режиму моделювання та на основі математичної моделі виконуються розрахунки);

4 - отримання результатів моделювання (на цьому етапі отримані розрахунки записуються до бази даних результатів моделювання БД\_РМ, формується звіт та виводяться на екран результати розрахунків);

5 - передавання результатів розрахунків до АСКТП (на цьому етапі результати математичного моделювання у вигляді режимної карти передаються до автоматизованої системи управління тунельною піччю);

6 - контроль переданих даних (на цьому етапі перевіряється відповідність заданої за результатами моделювання режимної карти та технологічних параметрів, котрі вимірюються);

На наступному етапі була розроблена ієрархічна схема модулів системи (рис. 3.9).

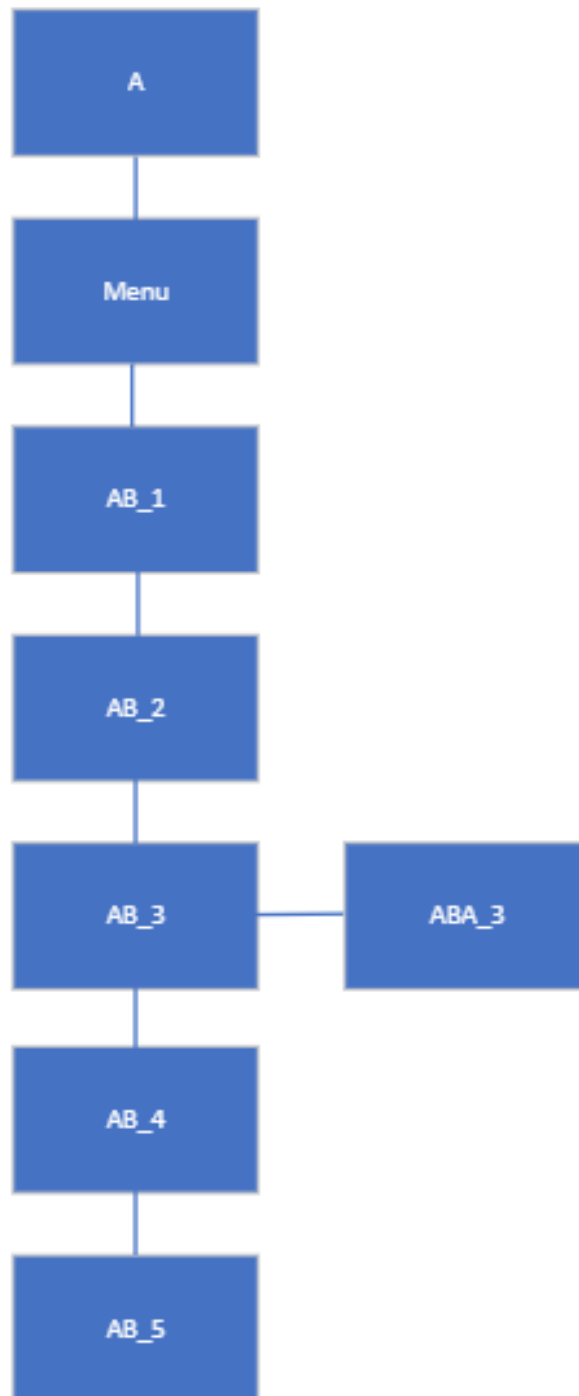


Рисунок 3.9 - Ієрархічна схема модулів розроблюваної системи

Вона складається з наступних модулів:

A - модуль авторизації користувача, якщо автизація відбулася успішно, то відбувається запуск основного модулю Menu;

Menu - основний модуль програмної системи, з нього запускається подальше моделювання технологічного агрегату;

AB\_1 - програмний модуль для введення початкових даних математичного агрегату технологічного агрегату;

AB\_2 - програмний модуль, в якому безпосередньо математично моделювання тунельної печі за допомогою заданих алгоритмів;

AB\_3 - програмний модуль в якому відбувається отримання результатів моделювання;

ABA\_3 - додатковий програмний модуль, який виводить результати моделювання у вигляді звіту, відображає їх на екрані та записує у відповідну базу даних;

AB\_4 - програмний модуль, який передає результати математичного моделювання до автоматизованої системи управління технологічним агрегатом у вигляді режимної карти;

AB\_5 - програмний модуль, який контролює відповідність розрахованої режимної карти та технологічних параметрів, які вимірюються на технологічному агрегаті.

### 3.2 Розробка логічної моделі проекту програмного комплексу для оптимізації режиму роботи тунельної печі

Далі була етапі розроблена діаграма класів UML для розроблюваної програмної системи (рис. 3.10).

Вона складається з наступних основних класів: Autorization user (авторизація користувача), Input date (введення даних для розрахунку), Modeling (моделювання), Output date (отримання даних

модельювання), Visualization report (виведення в інтерфейсі результатів модельювання), Output report (виведення результатів модельювання у вигляді звіту на паперовому носію), Send to DB (запис результатів модельювання до бази даних), Output date to ATPMS (передача режимної карти до АСКТП), Control date ATPMS (контроль технологічних параметрів в АСКТП).

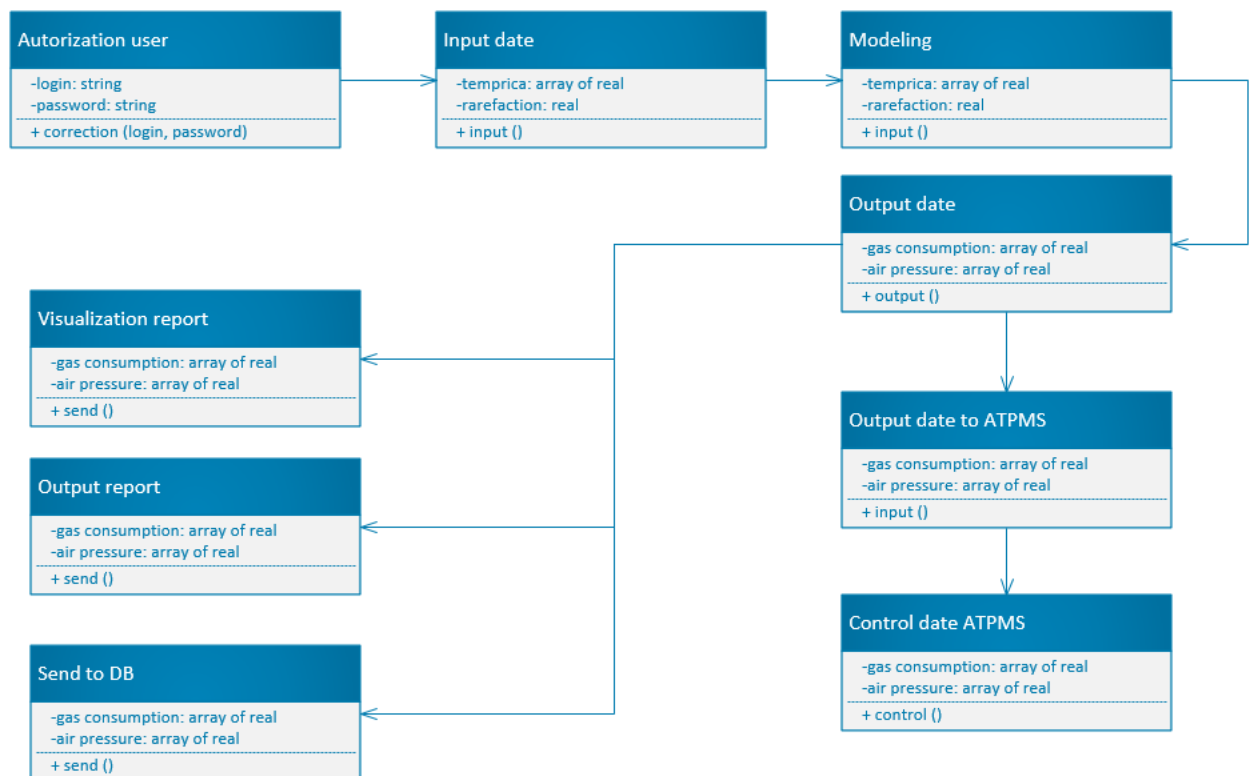


Рисунок 3.10 - Діаграма класів UML для програмної системи, що розробляється

На першому етапі виникає потреба в зміні режиму роботи печі, яку ініціює технолог (сутність - технолог). Далі технолог, як користувач, авторизується в системі (сутність - користувач). На наступному етапі вводить дані для розрахунку (сутність - дані). Після того, як він задав результати, система виконує розрахунки згідно математичної моделі (сутність - модель). На наступному етапі

результати розрахунків передаються до автоматизованої системи управління технологічним процесом (сутність - система). Далі контролюється дотримання (відповідність) режимної карти (даних розрахунків) та параметрів технологічного процесу на відповідність (сутність – контроль режиму).

Створено діаграму послідовності досліджуваного процесу для програмної системи, що розробляється, з точки зору технолога (актор/користувач системи) (рис. 3.11).

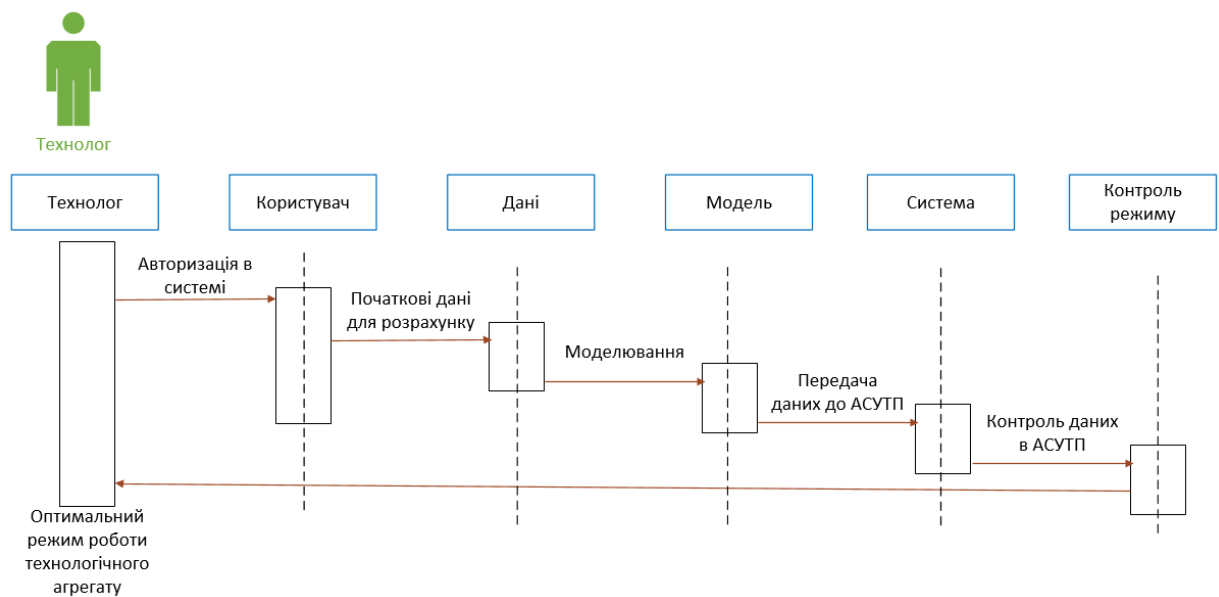


Рисунок 3.11 - Діаграма послідовності досліджуваного процесу для програмної системи, що розробляється, з точки зору технолога

Була розроблена також контекстна діаграма, яка наведена на рисунку 3.12. В її центрі знаходиться програмна система для дослідження моделей, методів та інформаційних технологій аналізу даних для оптимізації режиму роботи тунельної печі.

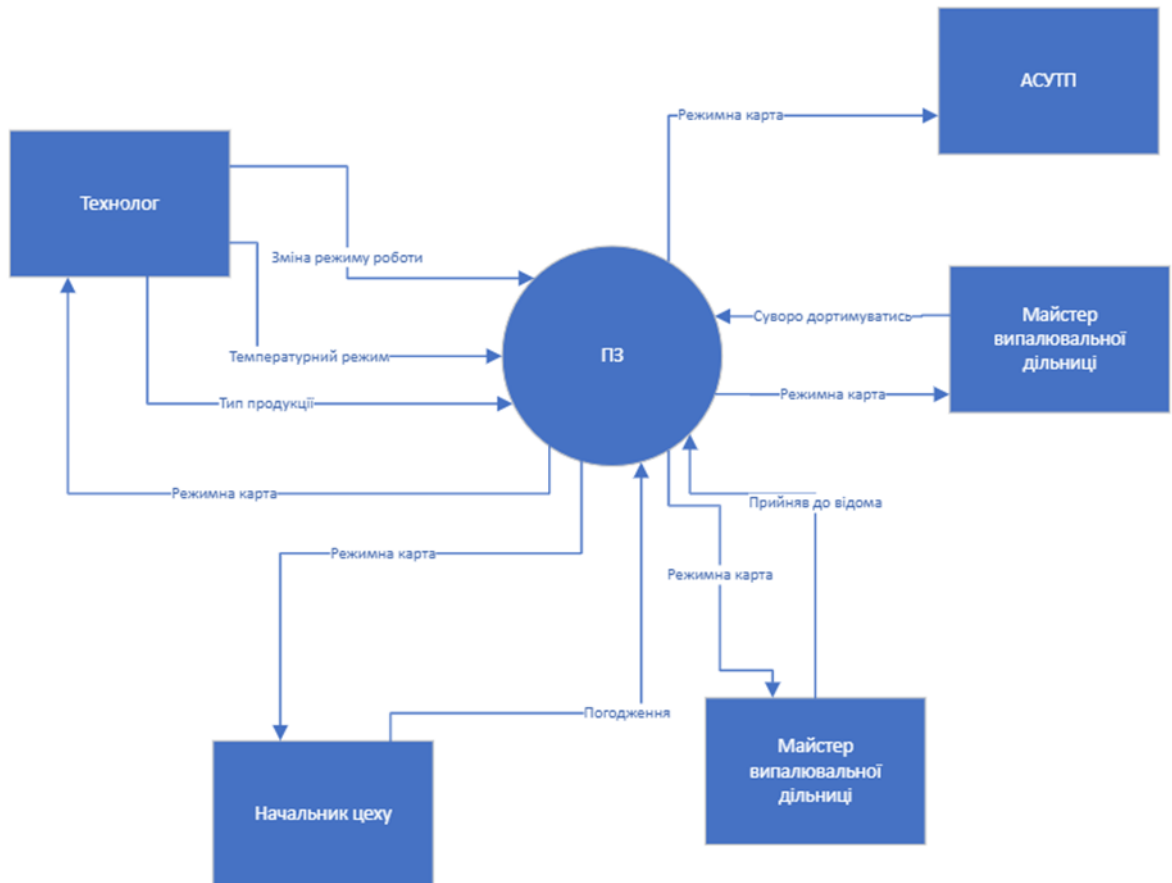


Рисунок 3.12 - Контекстна діаграма для оптимізації режиму роботи тунельної печі

### 3.3 Розробка фізичної моделі проєкту програмного комплексу для оптимізації режиму роботи тунельної печі

На основі проведеного дослідження розроблена діаграма варіантів використання для розроблюваної системи, яка наведена на рисунку 3.13.

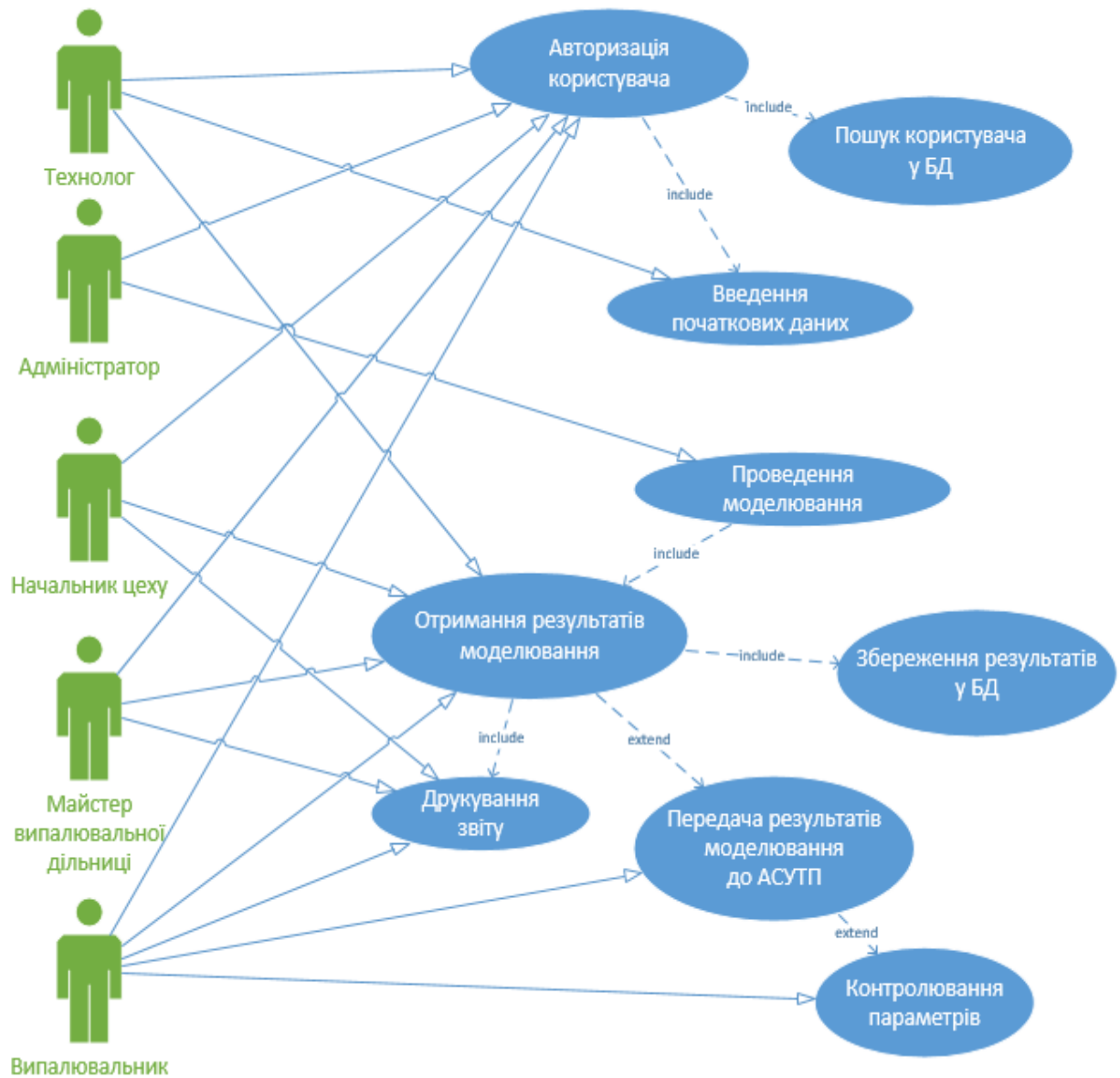


Рисунок 3.13 – Діаграма Use Case для програмної системи, що розробляється

В системі передбачено 5 акторів (користувачів): технолог, адміністратор, начальник цеху, майстер випалювальної ділянки та випалювальник. Головним з них є технолог. При зміні режиму роботи печі (наприклад, у випадку зміни типу продукції, що виробляється) він заходить до системи та авторизується. На наступному етапі задає початкові дані (криву нагрівання, розрідження, тощо). Після отриманих даних система проводить розрахунки на основі

математичної моделі та формує режимну карту технологічного агрегату.

На наступному етапі формується звіт, заноситься відповідний запис у базу даних та передаються дані у автоматизовану систему управління технологічним процесом. Начальник цеху та майстер випалювальної дільниці мають наглядову функцію. Вони ознайомлюються з результатами розрахунків та узгоджують їх. Випалювальник повинен ознайомитися з результатами моделювання та суворо дотримуватися режимної карти технологічного агрегату. Адміністратор – це комп'ютерний фахівець, який підтримує систему у працеспроможному стані.

Далі побудовано діаграму діяльності (рис. 3.14).

Першим етапом в роботі даної системи є зміна режиму роботи печі. Далі користувач (в даному випадку технолог) авторизується в системі. Потім виконується перевірка логіну та паролю. На наступному етапі система отримує початкові дані для розрахунку. Після виконується початкове моделювання. Якщо результати задовільняють, то система переходить до наступних етапів, інакше виконується додаткове моделювання. Після завершення моделювання дані друкуються на звіт, записуються у базу даних та передаються в АСКТП. В подальшому лише необхідно контролювати дотримання АСКТП заданої на основі розрахунків режимної карти.

Створено діаграму станів (State) для програмної системи, що розробляється (рисунок 3.15).

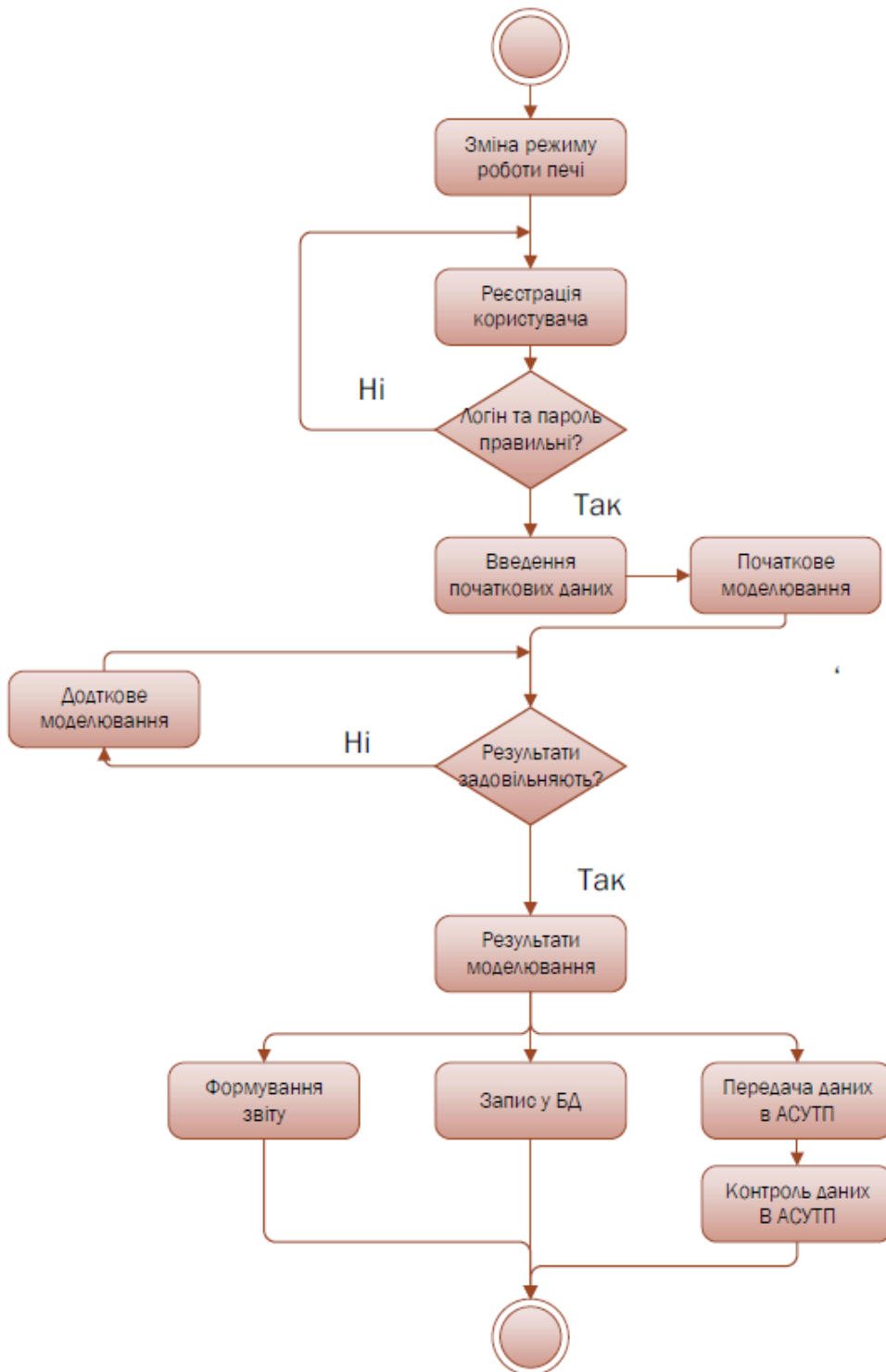


Рисунок 3.14 - Діаграма діяльності програмної системи, що розробляється

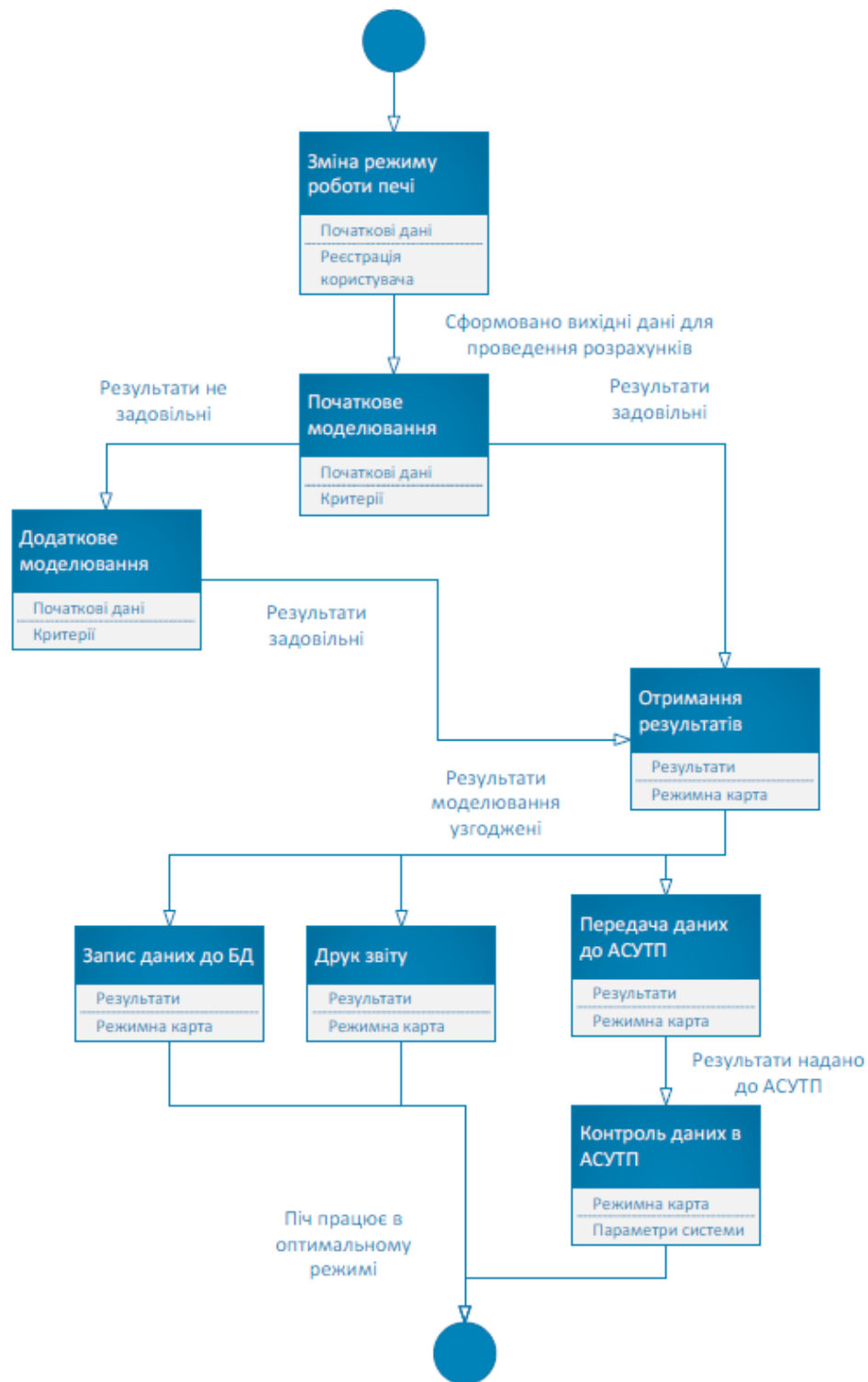


Рисунок 3.15 - Діаграма станів (State) для програмної системи, що розробляється

При реалізації програмної системи передбачено наступні основні стани:

- зміна режиму роботи печі;
- початкове моделювання на основі початкових даних та критеріїв математичної моделі;
- при незадовільних результатах початкового моделювання виконується додаткове моделювання.
- по закінченню моделювання формуються результати.
- результати моделювання друкуються у вигляді звіту.
- результати моделювання заносяться у базу даних.
- результати моделювання надходять в АСКТП.
- виконується контроль дотримання результатів розрахунку в АСКТП.

Також була побудована продукційна модель для програмної системи, що розробляється.

Порядок дій при розв'язанні цієї задачі наступний.

Цільові дії (обов'язкові) при функціонуванні такої системи: виконання зміни режиму роботи печі; контролювання технологічних параметрів в автоматизованій системі управління технологічними параметрами (далі по тексту - АСКТП).

Проміжні дії при функціонування такої системи:

- авторизація користувача;
- введення початкових даних;
- виконання початкового моделювання;
- виконання додаткового моделювання;
- отримання результатів моделювання;
- формування звіту за результатами моделювання;
- записування результатів моделювання до бази даних;
- передавання даних до АСКТП.

У разі необхідності виконання зміни режиму роботи печі (наприклад, у випадку зміни типу продукції, що випалюється; цільова,

обов'язкова дія) повинна статися авторизація користувача. Після того, як сталася авторизація користувача, то необхідно ввести початкові дані для виконання математичного моделювання роботи технологічного агрегату. Далі, після того, як введено початкові дані, починається виконання початкового моделювання за попередньо сформованим алгоритмом та закладеною математичною моделлю. Якщо за результатами виконання початкового моделювання отримано незадовільні результати, то починається виконання додаткового моделювання за попередньо сформованим алгоритмом та закладеною математичною моделлю, котре забезпечує отримання більш точних результатів. Після закінчення виконання початкового або додаткового моделювання відбувається отримання результатів моделювання. На наступному етапі після завершення отримання результатів моделювання відбувається одразу три дії: формування звіту за результатами моделювання; записування результатів моделювання до бази даних; передавання даних до АСКТП.

На кінцевому етапі роботи програмної системи для математичного моделювання роботи тунельної печі з метою зменшення витрат енергоресурсів та покращення якості отримуваної продукції, після завершення передавання даних до АСКТП виконується контролювання технологічних параметрів в АСКТП.

Усе раніше описане можна перетворити у наступні пропозиції типу «якщо, то»:

- якщо потрібне виконання зміни режиму роботи печі, то необхідна авторизація користувача;
- якщо авторизація користувача пройшла успішно, то потрібно введення початкових даних;
- якщо введення початкових даних завершено та перевірено, то починається виконання початкового моделювання;

– якщо виконання початкового моделювання завершено та результати його незадовільні, то починається виконання додаткового моделювання;

– якщо виконання початкового або додаткового моделювання завершено з задовільними результатами, то отримано результати моделювання;

– якщо отримано результати моделювання, то виконується формування звіту за результатами моделювання;

– якщо отримано результати моделювання, то виконується записування результатів моделювання до бази даних;

– якщо отримано результати моделювання, то виконується передавання даних до АСКТП;

– якщо завершено передавання даних до АСКТП, то виконується контролювання технологічних параметрів в АСКТП.

Введемо позначення для фактів (Ф), дій (Д) і продукції (П), тоді:

Суб'єкт = тунельна піч;

Ф1 – суб'єкт повинен змінити режим роботи;

Ф2 – необхідно отримати результати математичного моделювання роботи суб'єкта;

Ф3 - результати математичного моделювання роботи суб'єкта отримано;

Ф4 – в АСКТП контролюється дотримання отриманої режимної карти;

Д1 – користувач авторизувався у системі для проведення математичного моделювання суб'єкту;

Д2 – користувач ввів початкові дані для проведення математичного моделювання суб'єкту;

Д3 – виконується початкове математичне моделювання роботи суб'єкта;

Д4 - виконується додаткове математичне моделювання роботи суб'єкта;

Д5 – результати математичного моделювання роботи суб'єкта отримано та сформовано у звіт;

Д6 – результати математичного моделювання роботи суб'єкта отримано та записано до бази даних;

Д7 - результати математичного моделювання роботи суб'єкта отримано та передано до АСКТП;

Д8 – виконується контролювання технологічних параметрів в АСКТП.

Для продукції встановимо пріоритет (у дужках перед комою, чим вище пріоритет, ніж раніше перевіряється правило):

П1 (8, Ф1) = Д1;

П2 (7, Ф1 та Д1) = Д2;

П3 (6, Ф2 та Д2) = Д3;

П4 (5, Ф2 та Д3) = Д4;

П5 (4, (Ф3 та Д3) або (Ф3 та Д4)) = Д5;

П6 (3, Ф3 та Д5) = Д6;

П7 (2, Ф3 та Д6) = Д7;

П8 (1, Ф4 та Д7) = Д8.

Для відображення взаємозв'язку продукції зроблено граф (рис. 3.16).

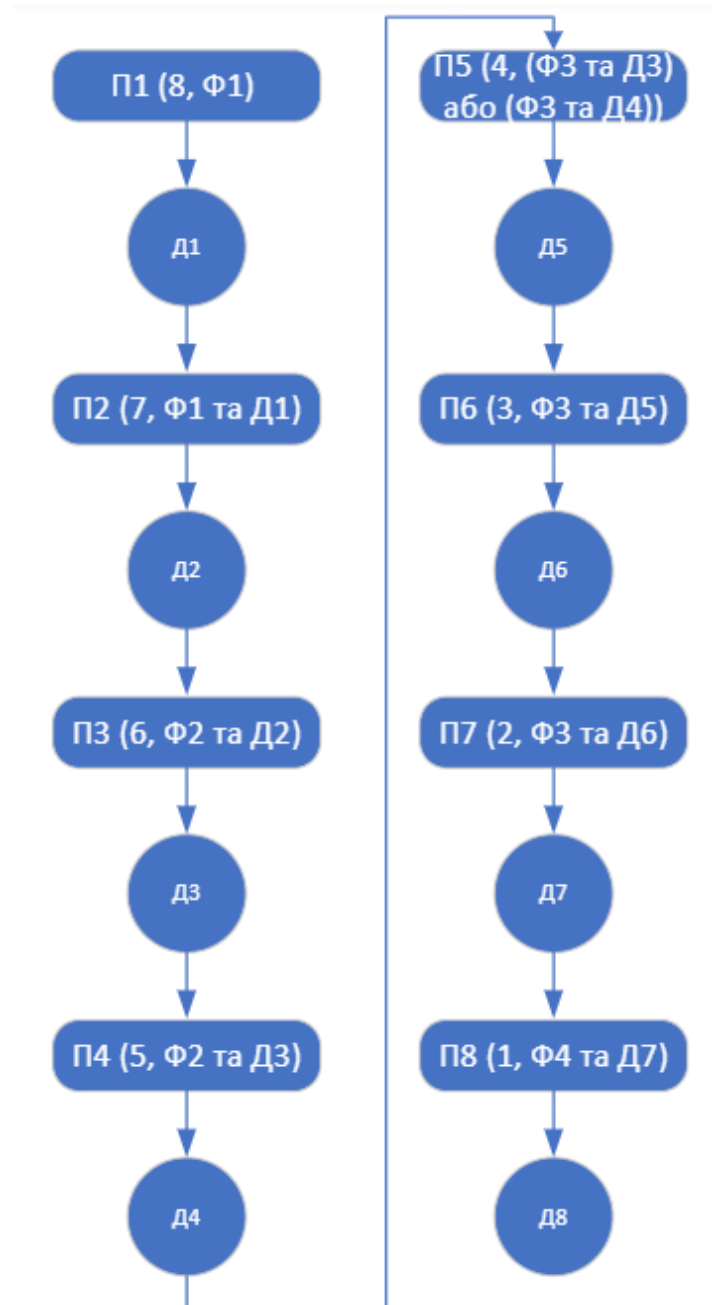


Рисунок 3.16 – Схема продукції предметної області програмної системи для математичного моделювання роботи тунельної печі з метою зменшення витрат енергоресурсів та покращення якості отримуваної продукції

Побудуємо мережеву модель представлення знань у предметній області для програмної системи для математичного

моделювання роботи тунельної печі з метою зменшення витрат енергоресурсів та покращення якості отримуваної продукції.

Ключові поняття даної предметної області – тунельна піч та режимна карта. Вершинами графу назначимо наступне: тунельна піч, користувач, початкові дані, математичне моделювання, результати, звіт, бази, даних, АСКТП та режимна карта, яка повинна змінити режим роботи у відповідності з оновленою режимною картою. Відповідно користувач повинен авторизуватися у програмній системі для математичного моделювання роботи тунельної печі з метою зменшення витрат енергоресурсів та покращення якості отримуваної продукції. Після авторизації користувач вводить початкові дані для моделювання. Після завершення введення виконується моделювання. За результатами виконання моделювання отримуються результати. У подальшому ці результати використовуються для формування звіту, запису у базу даних та передавання в АСКТП. На завершальному етапі виконується контроль дотримання режимної карти. Семантична мережа предметної області наведена на рисунку 3.17.

Побудуємо фреймової модель подання знань в предметній області для програмної системи для математичного моделювання роботи тунельної печі з метою зменшення витрат енергоресурсів та покращення якості отримуваної продукції.

Ключові поняття даної предметної області з точки зору фреймової модель – користувач, який взаємодіє з технологічним агрегатом, та безпосередньо технологічний агрегат (в нашому випадку тунельна піч). Визначимо фрейми – об'єкти, які наведено в таблиці 3.10. Фрейми-спадкоємці містять усі слоти своїх батьків, вони явно прописуються тільки у разі зміни будь-якого параметра (табл. 3.11).



Рисунок 3.17 - Семантична мережа предметної області програмної системи, що розробляється

Таблиця 3.10 - Опис фреймів – об'єктів

Користувач			
Ім'я слоту	Значення слоту	Спосіб отримання значення	Демон
Роль	Керуючий/базовий	3 зовнішніх джерел	
Посада	Адміністратор/ Майстер дільниці/Технолог /Начальник цеху	3 зовнішніх джерел	

## Продовження табл. 3.10

Технологічний агрегат			
Ім'я слоту	Значення слоту	Спосіб отримання значення	Демон
Призначення	Сировина/Підготовка сировини/Пресування/випалювання/сортування	3 зовнішніх джерел	
Дільниця	Склад сировини/ Помольна дільниця/ Пресова дільниця/Склад готових виробів	3 зовнішніх джерел	
Програмне забезпечення			
Ім'я слоту	Значення слоту	Спосіб отримання значення	Демон
Призначення	Моделювання/управління	3 зовнішніх джерел	
Рівень	Технологічний/Цеховий	3 зовнішніх джерел	

В таблиці 3.11 описані фрейми – зразки технологічного агрегату, а саме тунельної печі.

Таблиця 3.11 - Опис фреймів – зразків

Тунельна піч АКО Технологічний агрегат			
Ім'я слоту	Значення слоту	Спосіб отримання значення	Демон
Призначення	Випалювання	3 зовнішніх джерел	
Дільниця	Випалювальна	3 зовнішніх джерел	

В таблиці 3.12 описані фрейми-спадкоємці для об'єкту користувач.

Взаимозв'язок фреймів представлений на рисунку 3.18.

Таблиця 3.12 - Опис фреймів – спадкоємців для об'єкту користувач

Адміністратор АКО Користувач			
Ім'я слоту	Значення слоту	Спосіб отримання значення	Демон
Роль	Адміністратор	З зовнішніх джерел	
Посада	Адміністратор	З зовнішніх джерел	
Випалювальник			
Ім'я слоту	Значення слоту	Спосіб отримання значення	Демон
Роль	Користувач	З зовнішніх джерел	
Посада	Випалювальник	З зовнішніх джерел	
Майстер			
Ім'я слоту	Значення слоту	Спосіб отримання значення	Демон
Роль	Користувач	З зовнішніх джерел	
Посада	Майстер	З зовнішніх джерел	
Начальник цеху			
Ім'я слоту	Значення слоту	Спосіб отримання значення	Демон
Роль	Користувач	З зовнішніх джерел	
Посада	Начальник цеху	З зовнішніх джерел	
Технолог			
Ім'я слоту	Значення слоту	Спосіб отримання значення	Демон
Роль	Користувач	З зовнішніх джерел	
Посада	Технолог	З зовнішніх джерел	

Була розроблена діаграма «сутність-зв'язок», яка наведена на рисунку 3.19. Фактично вона складається з трьох основних таблиць: USER (користувачі), REZ\_KARTA (режимна карта) та PRODUCTION (довідник продукції). Як таблиця USER, так і PRODUCTION відносяться до таблиці REZ\_KARTA у співвідношенні один до багатьох.

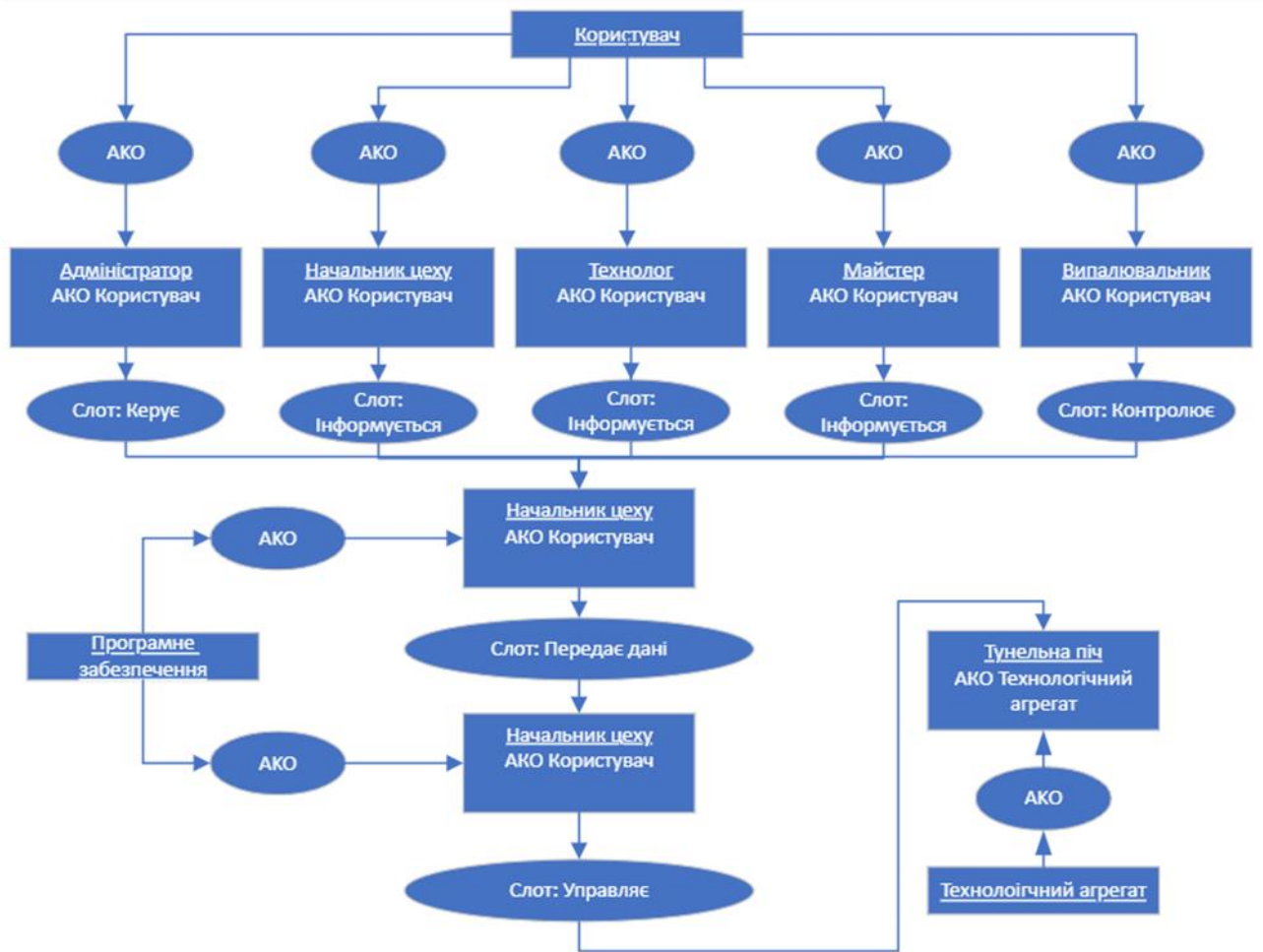


Рисунок 3.18 - Взаємозв'язок фреймів

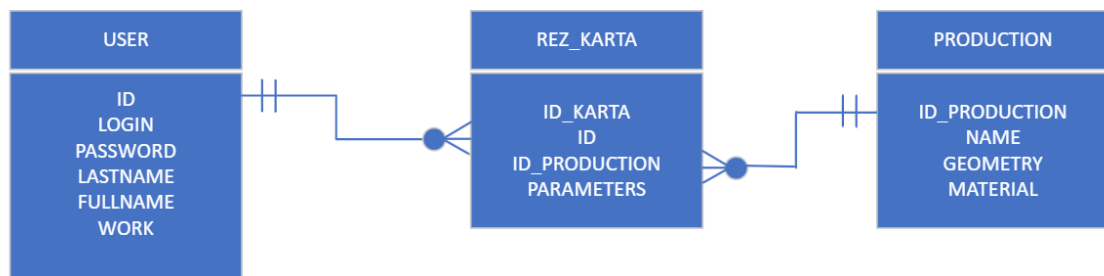


Рисунок 3.19 - Діаграма «сутність-зв'язок» для оптимізації режиму роботи тунельної печі

## РОЗДІЛ 4. ПРОВЕДЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМУ РОБОТИ ТУНЕЛЬНОЇ ПЕЧІ

### 4.1 Розробка програмного комплексу для для оптимізації режиму роботи тунельної печі

На першому етапі реалізації дипломного проекту була реалізована база даних. Це основа майбутнього проекту. Схема entity–relationship model (ER model) даної бази даних наведена на рисунку 4.1.

Ця діаграма відображає структуру бази даних, що використовується для моделювання та вимірювання процесів нагріву. Вона містить наступні таблиці та зв'язки між ними, які описані далі по тексту.

Таблиця *RezultatyModelyuvannya* (Результати моделювання). Основний ключ - це *id\_rm*. Зовнішні ключі – це *id\_kn* (посилання на *KriviNaqriyuvannya*) та *id\_korustuvach* (посилання на *Korustuvachi*). Поля *z24m* - *z32m* містять значення модельованої температури, поле *Qgas* містить запропоноване значення витрати газу, *dm* (дата моделювання), *tm* (час моделювання).

Таблиця *RezultatyVymiryuvan* (Результати вимірювань). Поле основний ключ *id\_rv*. Зовнішні ключі - *id\_kn* (посилання на таблицю *KriviNaqriyuvannya*) та *id\_korustuvach* (посилання на таблицю *Korustuvachi*). Поля *z24v* - *z32v* містять значення, що вимірюється,

поле Qgasm містить витрату газу, dv (дата вимірювання), tv (час вимірювання).

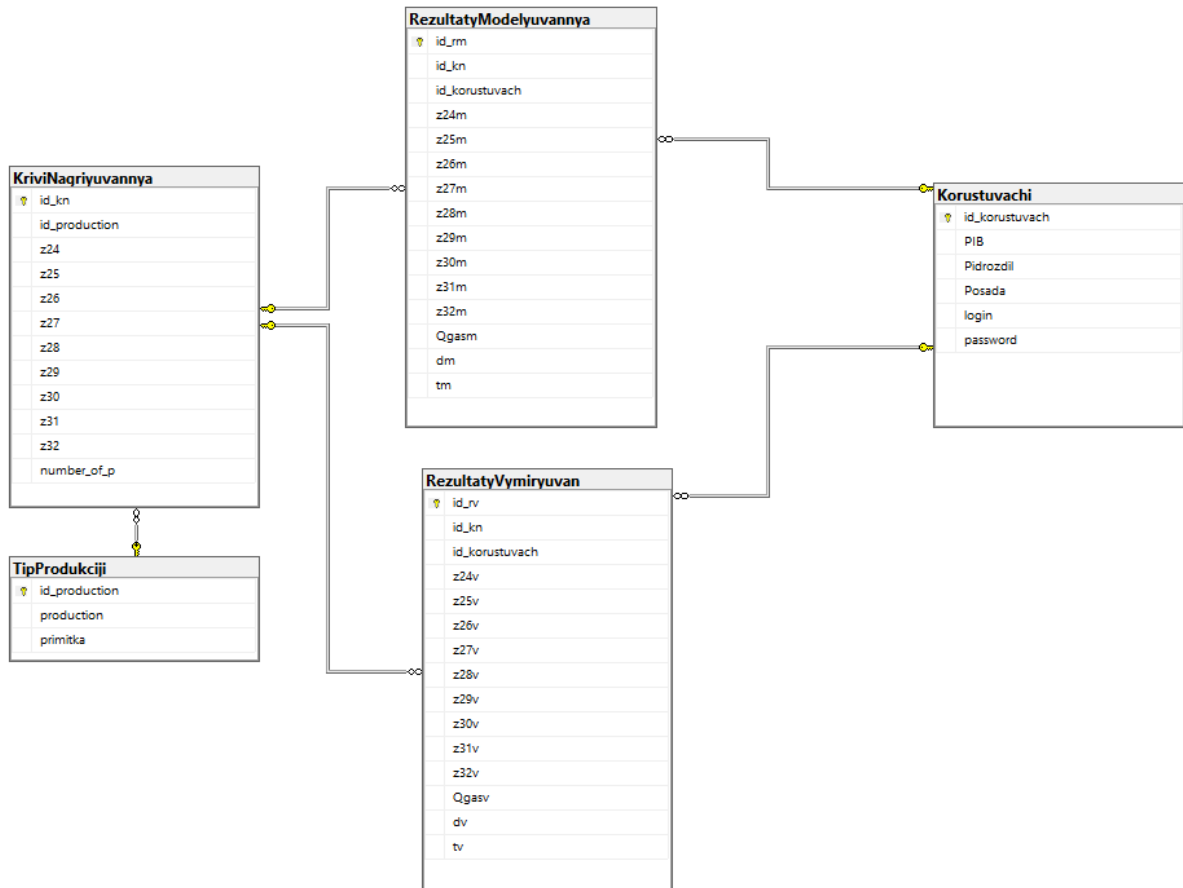


Рисунок 4.1 – ER-діаграма розробленої бази даних

Таблиця KriviNaqriyuvannya (Криві нагрівання). Основний ключ її - id\_kn. Зовнішній ключ для неї - id\_production (посилання на таблицю TipProdukciji). Поля містять значення z24 - z32 (параметри нагрівання), number\_of\_p – це кількість прогонів.

Таблиця TipProdukciji (Тип продукції) має основний ключ id\_production. Також до її складу входять поля production (назва продукції) та primitka (примітка).

Таблиця Korustuvachi (Користувачі) має основний ключ id\_korustuvach. Вона має тільки поля PІB (ПІБ користувача), Pidrozdil (підрозділ), Posada (посада), login, password. Основні взаємозв'язки між RezultatyModelyuvannya та RezultatyVymiryuvan пов'язані з KriviNaqriyuvannya, що означає, що кожен запис у цих таблицях відповідає певній кривій нагрівання. KriviNaqriyuvannya пов'язана з TipProdukcii, що дозволяє визначити, для якої продукції використовується певна крива нагрівання. RezultatyModelyuvannya та RezultatyVymiryuvan також пов'язані з Korustuvachi, що дає змогу відстежувати, який користувач виконував моделювання або вимірювання.

Ця база даних використовується для аналізу нагрівальних процесів шляхом порівняння змодельованих і фактичних (вимірних) параметрів.

Зміст таблиці Korustuvachi наведено на рисунку 4.2.

	id_korustuvach	PІB	Pidrozdil	Posada	login	password
1	1	Іванов Іван Іванович	ЦМВ	Адміністратор	admin1	pass123
2	2	Петров Петро Петрович	АЦ ВВВ	Технолог	tech1	pass234
3	3	Сидоров Сидір Сидорович	ЦМВ	Начальник цеху	chief1	pass345
4	4	Коваленко Олексій Олексійович	АЦ ВВВ	Начальник цеху	chief2	pass456
5	5	Гриценко Григорій Григорович	ЦМВ	Заступник начальника цеху з виробництва	deputy1	pass567
6	6	Мельник Михайло Михайлович	АЦ ВВВ	Заступник начальника цеху з виробництва	deputy2	pass678
7	7	Романенко Роман Романович	ЦМВ	Майстер випалювальної дільниці	master1	pass789
8	8	Ткаченко Тарас Тарасович	АЦ ВВВ	Майстер випалювальної дільниці	master2	pass890
9	9	Козак Костянтин Костянтинович	ЦМВ	Випалювальник	operator1	pass901
10	10	Шевченко Сергій Сергійович	АЦ ВВВ	Випалювальник	operator2	pass902
11	11	Лисенко Леонід Леонідович	ЦМВ	Випалювальник	operator3	pass903
12	12	Дмитренко Дмитро Дмитрович	АЦ ВВВ	Випалювальник	operator4	pass904
13	13	Бондаренко Борис Борисович	ЦМВ	Випалювальник	operator5	pass905
14	14	Кравченко Кирило Кирилович	АЦ ВВВ	Випалювальник	operator6	pass906
15	15	Мазур Максим Максимович	ЦМВ	Випалювальник	operator7	pass907
16	16	Семененко Семен Семенович	АЦ ВВВ	Випалювальник	operator8	pass908
17	17	Гаврилюк Гаврило Гаврилович	ЦМВ	Випалювальник	operator9	pass909
18	18	Юрченко Юрій Юрійович	АЦ ВВВ	Випалювальник	operato...	pass910

Рисунок 4.2 – Зміст таблиці Korustuvachi

На рисунку 4.3 наведено перелік кривих нагрівання – таблиці KriviNaqriyuvannya.

	id_kn	id_production	z24	z25	z26	z27	z28	z29	z30	z31	z32	number_of_p
1	1	1	1270	1300	1330	1360	1370	1390	1400	1380	1350	9
2	2	1	1290	1320	1350	1380	1390	1410	1400	1370	1370	12
3	3	1	1270	1300	1330	1360	1370	1390	1400	1380	1360	15
4	6	2	1360	1380	1400	1420	1440	1460	1480	1450	1420	15
5	11	3	1200	1250	1400	1430	1450	1470	1470	1450	1420	15
6	16	4	1150	1270	1360	1390	1410	1420	1420	1400	1330	9
7	17	4	1260	1320	1390	1410	1430	1450	1440	1420	1420	12
8	18	4	1310	1340	1370	1420	1440	1460	1460	1440	1440	15
9	19	4	1330	1360	1390	1420	1440	1460	1470	1470	1440	18
10	21	5	1280	1310	1370	1400	1420	1440	1450	1430	1410	9
11	22	5	1300	1330	1360	1420	1440	1460	1470	1450	1450	12
12	23	5	1320	1350	1380	1440	1460	1480	1490	1470	1440	15
13	26	6	1330	1360	1390	1420	1440	1460	1470	1470	1440	9
14	27	6	1350	1380	1410	1440	1460	1480	1490	1480	1480	12
15	28	6	1370	1400	1430	1460	1480	1500	1510	1490	1460	15
16	31	7	1320	1380	1420	1450	1470	1490	1500	1480	1450	9
17	32	7	1390	1420	1450	1470	1490	1500	1520	1500	1480	12
18	33	7	1300	1360	1400	1440	1460	1500	1520	1500	1480	15

Рисунок 4.3 – Таблиця кривих нагрівання

На рисунку 4.4 відображено зміст таблиці RezultatyModelyuvannya.

	id_rm	id_kn	id_korustuvach	z24m	z25m	z26m	z27m	z28m	z29m	z30m	z31m	z32m	Qgasm	dm	tm
1	1	1	2	1200	1210	1215	1220	1225	1230	1235	1240	1245	1550,5	2025-02-04	14:30:00.0000000

Рисунок 4.4 – Зміст таблиці RezultatyModelyuvannya

В свою чергу на рисунку 4.5 показано зміст таблиці RezultatyVymiryuvan.

	id_rv	id_kn	id_korustuvach	z24v	z25v	z26v	z27v	z28v	z29v	z30v	z31v	z32v	Qgasv	dv	tv
1	1	1	9	1205	1210	1215	1220	1225	1230	1235	1240	1245	1555,7	2025-02-04	14:30:00.0000000

Рисунок 4.5 - Вміст таблиці RezultatyVymiryuvan

На рисунку 4.6 наведено вміст таблиці TipProdukcii. Це все тестові набори для перевірки працеспроможності розроблюваної програми.

	id_production	production	primitka
1	1	ШКУ - 39	NULL
2	2	ШПД - 39	NULL
3	3	ШПД - 43	NULL
4	4	МКРА - 50	NULL
5	5	МЛС - 62	NULL
6	6	МЛС - 64	NULL
7	7	ВГО - 72, МКСК, ВГО - 85,90	NULL

Рисунок 4.6 - Вміст таблиці TipProdukcii

Наступним кроком стало розроблення програми. При її запуску з'являється авторизаційна форма. В ній потрібно ввести логін та пароль (рис. 4.7).

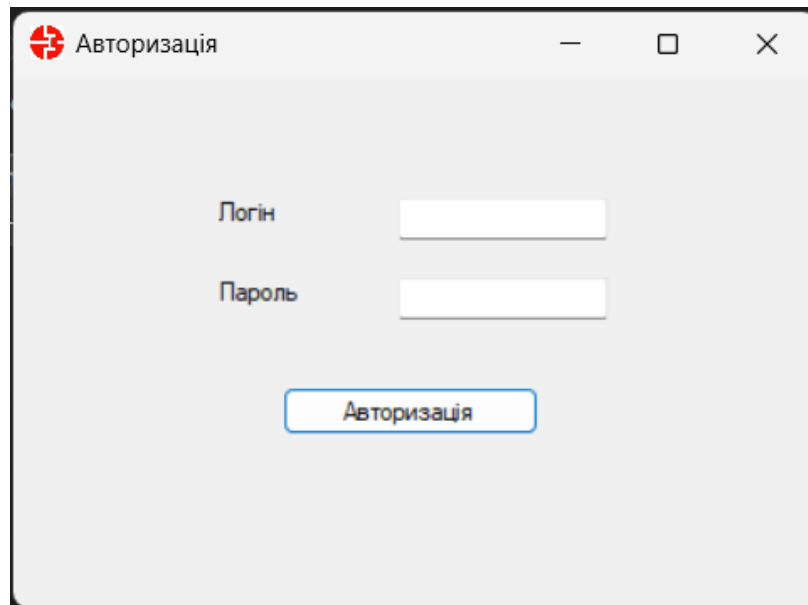
The image shows a standard Windows-style dialog box with a title bar that reads "Авторизація" (Authorization) next to a red icon. The dialog has a light gray background. It contains two text input fields. The first is labeled "Логін" (Login) and the second is labeled "Пароль" (Password). Below these fields is a single button with the text "Авторизація" (Authorization) inside it.

Рисунок 4.7 – Форма для авторизації

Після вдалої авторизації користувача відкривається головна форма розробленого додатку. Вона відображена на рисунку 4.8. Головне її завдання – виконати комунікацію між іншими елементами інтерфейсу. Це реалізовано за допомогою основного меню. В ньому є 4 основних пункти: «Файл», «Моделювання», «Результати моделювання» та «Про програму».

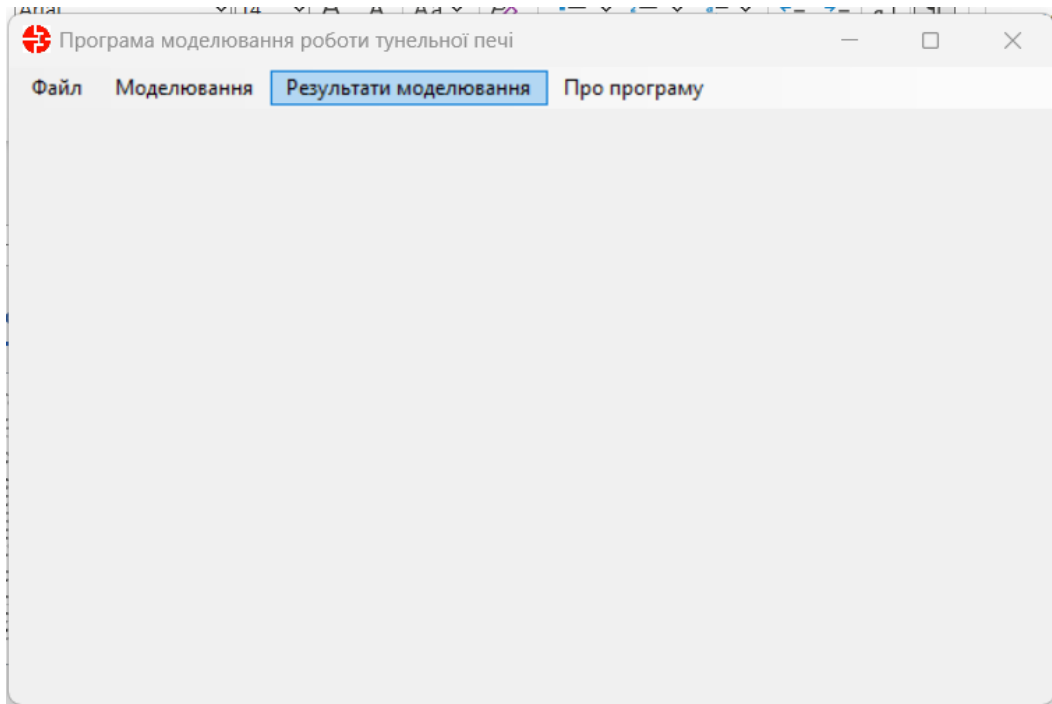


Рисунок 4.8 – Головна форма розробленого додатку

Пункт меню «Файл» має такі підпункти: «Зчитати дані» (рис. 4.9), «Зберегти дані», «Вивести звіт» та «Вихід».

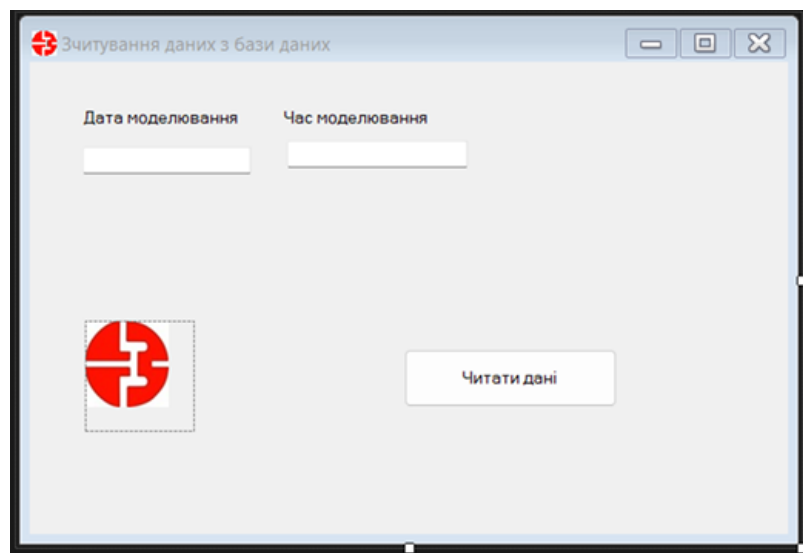


Рисунок 4.9 – Форма для зчитування даних з БД

Пункт «Моделювання» немає підпунктів. Пункт «Результати моделювання» має підпункти «Результати моделювання в табличній формі» та «Результати моделювання в графічній формі».

В свою чергу, пункт меню «Про програму» має два підпункти: «Допомога» та «Про програму» (рис. 4.10).

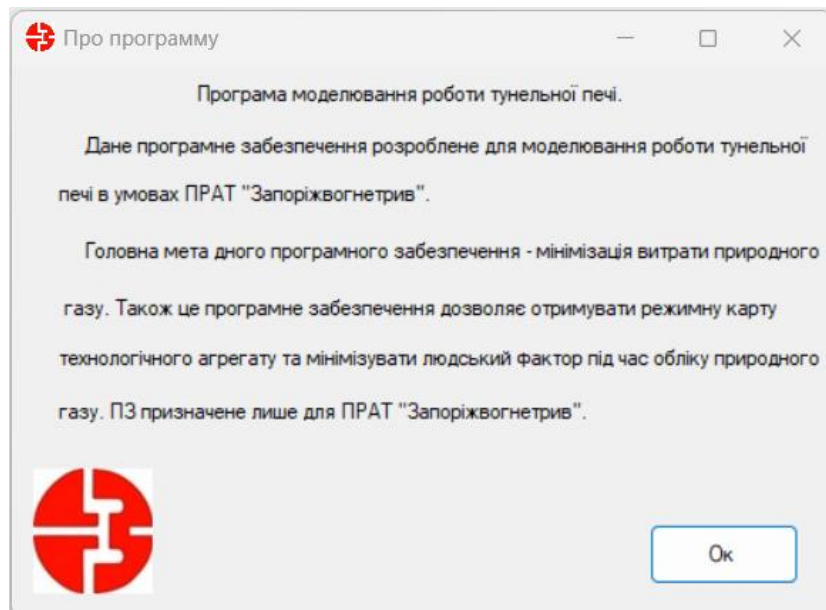


Рисунок 4.10 – Форма «Про програму»

#### 4.2 Опис перебігу та результати досліджень стосовно індивідуального завдання, приклади розрахунків

Для опрацювання роботи програми було використано, як раніше було зазначено, використовувався тестовий набір даних. Дані було опрацьовано у графічній формі та у вигляді таблиці. Результат у вигляді графіків наведено на рисунку 4.11. Результат опрацювання даних у вигляді таблиці наведено на рисунку 4.12.

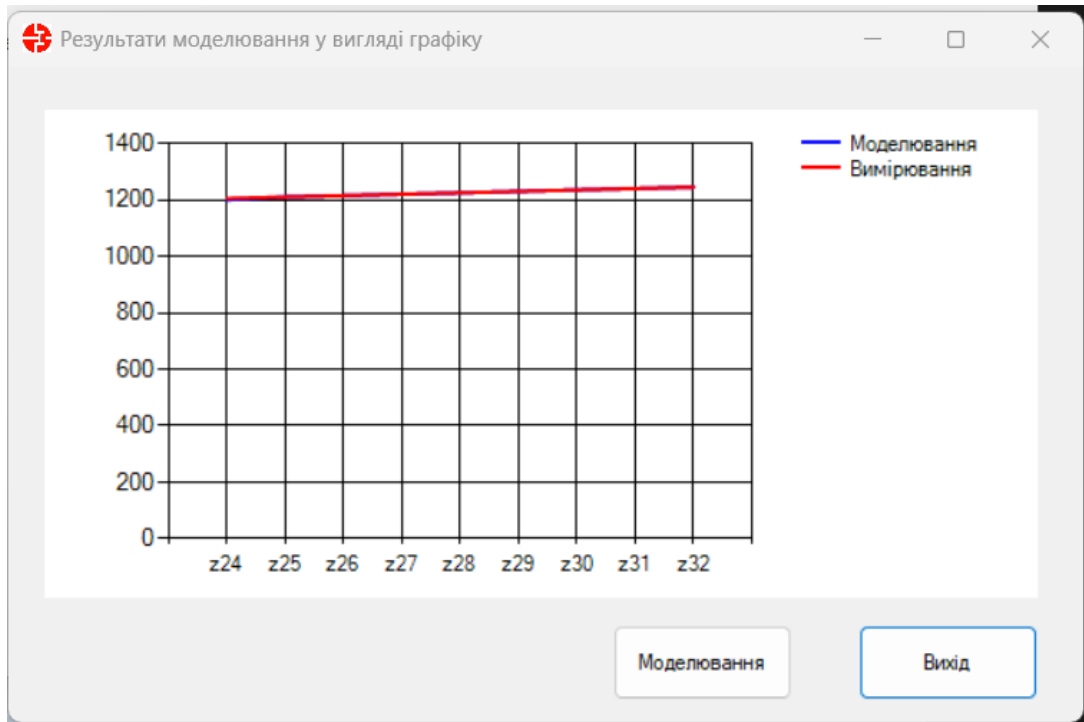


Рисунок 4.11 – Результат роботи програми у вигляді графіку

Результати моделювання у табличній формі

Результати моделювання

	id_m	id_kn	id_korustuvach	z24m
▶	1	1	2	1200
*				

Результати вимірювань

	id_rv	id_kn	id_korustuvach	z24v
▶	1	1	9	1205
*				

Вихід

Рисунок 4.12 – Результат роботи програми у вигляді таблиці

#### 4.3 Рекомендації щодо використання результатів досліджень та застосування

Розроблене програмне забезпечення дозволить з певною дискретизацією контролювати витрату природного газу на основних технологічних агрегатах. Основна проблема, яка зараз наявна на ТП зараз – це підclinювання заслінок виконавчих пристроїв. Це призводить до перевитрати природного газу та збільшення собівартості продукції.

Для того, щоб вирішити це питання пропонується контролювати витрату газу з певною періодичністю. У випадку виникнення перевитрати природного газу пропонується задіяти відповідні служби для проведення подальшої діагностики. Як результат, перевитрата природного газу, яка виникла у березні минулого року, при використанні такого ПЗ не мала би міста. За приблизними підрахунками дана перевитрата становила 200000 гривень. Це досить велика сума.

Додатково це ПЗ дозволяє виконати ММ режиму роботи тунельної печі та отримати оптимальні характеристики режиму роботи технологічного агрегату. Тобто сформувати його режимну карту без проведення дороговартісних досліджень.

## РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

Напряму економічний ефект від впровадження даної системи розрахувати досить важко. Це обумовлено тим, що є велика кількість факторів, які впливають на процес роботи тунельної печі. Але дещо можна визначити заздалегідь і саме на цих факторах потрібно сконцентруватися.

На поточний час відомо, що відбувся збій в роботі АСКТП тунельної печі. Якщо точніше, то одна з засувок знаходилася у відкритому стані. Це відбулося у березні 2024 року. Про інші аналогічні події такого плану невідомо на поточний час. Точний час початку даної події встановити не представляється можливим. Кінець – орієнтовно 31 березня 2024 року. Орієнтовні втрати природного газу згідно оцінок відділу головного енергетика у грошовому еквіваленті становлять 200 000 грн. Якщо розділити ці 200 000 грн на 12 місяців (тобто на рік), то отримуємо 16667 грн. на місяць. Но це лише одна з можливих складових використання даного програмного забезпечення.

У таблиці 5.1 наведені результати добового споживання природного газу ТП-3 ЦМВ. Добове споживання становить 27463 м<sup>3</sup> на добу. Візьмемо це значення за середнє. Орієнтовно піч працює на рік 340 діб у середньому. Відповідно щорічне споживання природного газу становить  $340 * 27463 = 9\,337\,420$  м<sup>3</sup> на рік. Тепер візьмемо останню актуальну вартість за 1000 м<sup>3</sup>, яка становить 19100 грн. Тепер спрогнозуємо орієнтовну економію природного газу на рівні 0,25 % від річного споживання. Відповідно від 9 337 420 м<sup>3</sup> на рік отримуємо 0,25 %, тобто отримуємо економію 23 343,55 м<sup>3</sup> на рік. Тепер розрахуймо грошовий еквівалент річної економії.

Таблиця 5.1 – Результати добового споживання газу ТП ЦМВ

Точка обліку	Тунельна піч ЦМВ 3 (18184)	
Канал обліку	Обсяг газу р.у (м3)	
Серійний №	18184	18184
Час \\\ дата	28.01.2025	29.01.2025
00:00-01:00	599,00000	556,00000
01:00-02:00	610,00000	574,00000
02:00-03:00	581,00000	553,00000
03:00-04:00	596,00000	569,00000
04:00-05:00	573,00000	542,00000
05:00-06:00	572,00000	549,00000
06:00-07:00	596,00000	559,00000
07:00-08:00	578,00000	557,00000
08:00-09:00	566,00000	592,00000
09:00-10:00	591,00000	580,00000
10:00-11:00	569,00000	581,00000
11:00-12:00	583,00000	599,00000
12:00-13:00	567,00000	563,00000
13:00-14:00	560,00000	571,00000
14:00-15:00	558,00000	596,00000
15:00-16:00	552,00000	587,00000
16:00-17:00	549,00000	581,00000
17:00-18:00	544,00000	605,00000
18:00-19:00	530,00000	593,00000
19:00-20:00	565,00000	606,00000
20:00-21:00	548,00000	562,00000
21:00-22:00	538,00000	570,00000
22:00-23:00	550,00000	602,00000
23:00-24:00	553,00000	588,00000
Разом	13628,00000	13835,00000
Разом, загальне	27463,00000	

Для цього отримане раніше значення річної економії у 23 343,55 м<sup>3</sup> на рік помножуємо на 19100 грн та поділимо на 1000 м<sup>3</sup>. У підсумку отримуємо 445 861,805 грн на рік. Тобто на місяць це буде становити 37155,15 грн.

Відповідно щомісячний економічний ефект від впровадження даної системи буде становити 16667 грн. від першого заходу та 37155,15 грн. від другого, тобто 53822, 15 грн. на місяць. Отримане значення помножуємо на 12 місяців отримуємо 645 865,81 грн.

Витрати на придбання MS SQL Server будуть становити 949 доларів США. Тобто в гривневому еквіваленті отримуємо  $949 \text{ USD} * 41,47 \text{ грн} = 39\,355,03 \text{ грн}$  на рік. Витрати на придбання ліцензії на MS Visual Studio становлять 26 047,80 на рік [12]. Відповідно витрати на придбання ліцензійного ПЗ будуть становити 65 402,83 грн. Знову ж таки, ця інформація взята з відкритих джерел. Наявність прямого договору у ТОВ «Метінвест» з корпорацією Microsoft дозволить суттєво зменшити вартість придбання ліцензій. Також витрати на розробку ПЗ не повинні перевищити 200 000 грн. Ця сума також враховує апаратне забезпечення. Відповідно витрати на впровадження системи будуть становити  $65\,402,83 + 200\,000 = 265\,402,83 \text{ грн}$ . Відповідно окупність системи буде становити  $265402,83/645\,865,81 = 0,41$  року.

Знову ж таки, отримані значення мають орієнтовний ефект. Але вони все одно вказують на економічну доцільність впровадження даної системи.

## ВИСНОВКИ

У даній дипломній роботі було досягнуто наступних результатів, які відповідають поставленій меті та завданням дослідження.

Проведено детальний аналіз існуючих методів та моделей оптимізації режиму роботи тунельної печі, що дозволило визначити основні напрямки для подальших досліджень. Виявлено переваги та недоліки різних підходів до оптимізації, що стало основою для розробки нової математичної моделі. Розроблено нову математичну модель, яка враховує основні параметри роботи тунельної печі, такі як температура, тиск, витрата газу та повітря. Модель дозволяє оптимізувати режим роботи печі, зменшуючи витрати природного газу та підвищуючи якість продукції. Створено програмне забезпечення, яке реалізує розроблену математичну модель та дозволяє автоматизувати процес моделювання та оптимізації. Програмне забезпечення забезпечує зручний інтерфейс для введення даних, проведення розрахунків та аналізу результатів. Проведено теоретичні дослідження, які підтвердили ефективність розробленої моделі та програмного забезпечення. Виконано експериментальні дослідження на виробництві, які показали, що впровадження розробленого програмного забезпечення дозволяє зменшити витрати природного газу на 0,25 % від річного споживання, що еквівалентно економії 23 343,55 м<sup>3</sup> газу на рік. Впроваджено програмне забезпечення на виробництві ПРАТ «Запоріжвогнетрив», що дозволило зменшити витрати природного газу та підвищити якість продукції. Оцінка ефективності показала, що щомісячний економічний ефект від впровадження системи становить 53 822,15 грн, а річний – 645 865,81 грн.

Рекомендації щодо подальшого удосконалення включають подальше вдосконалення математичної моделі, розширення моделі для врахування додаткових параметрів та умов роботи тунельної печі, використання більш точних методів моделювання для підвищення точності розрахунків. Розширення функціональності програмного забезпечення передбачає додавання нових функцій для більш детального аналізу даних та оптимізації режиму роботи печі, інтеграцію програмного забезпечення з іншими системами управління виробничими процесами. Проведення додаткових експериментальних досліджень включає виконання додаткових експериментів на різних виробничих майданчиках для підтвердження універсальності та ефективності розробленої системи, аналіз результатів експериментів для подальшого вдосконалення моделі та програмного забезпечення. Впровадження системи на інших підприємствах групи «Метінвест» передбачає розширення впровадження розробленої системи на інші підприємства групи «Метінвест» для підвищення енергоефективності та якості продукції, проведення навчання персоналу для ефективного використання програмного забезпечення.

Таким чином, результати даної дипломної роботи підтверджують доцільність та ефективність розробленої математичної моделі та програмного забезпечення для оптимізації режиму роботи тунельної печі. Впровадження розробленої системи дозволяє зменшити витрати природного газу, підвищити якість продукції та знизити собівартість виробництва, що є важливим для підвищення конкурентоспроможності підприємства.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1 Конспект лекцій з дисципліні «Автоматизація теплових процесів» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 144 Теплоенергетика, Кам'янське : ДДТУ, 2019. С.138.

2 Анастасенко С.М. Бугрім Л.І. Білюк І.С., Гаврилов С.О. Жигуліна В.В. Семенов М.М., Шостак О.В. А64 Основи автоматизації об'єктів теплоенергетики. Навчальний посібник для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика». Миколаїв: НУК, Львів, «Новий Світ-2000», 2020. С. 111.

3 А.М. Тігарєв, Т.Г. Тігарєва. Удосконалення систем регулювання водогрійних котлів. Журнал «Інформатика та математичні методи в моделюванні». 2022. том 1-2, с. 94-102.

4 Котел НІСТУ-5, URL: <https://mmzavod.com.ua/index.php/kotly-vodogrejnye/kotel-niistu-5>

5 Котли серій КВ-ГМ та ПТВМ, URL: [https://energetik.ua/catalog/vodogriyni\\_kotly/kotli-vodogriyni-serii-ptvm/](https://energetik.ua/catalog/vodogriyni_kotly/kotli-vodogriyni-serii-ptvm/)

6 Регулювання співвідношення паливо/повітря, URL: <https://studfile.net/preview/9229697/page:4/>

7 Тунельна піч для випалу цегли: огляд, різновиди, технологія, URL: <http://poradu24.com/remontu/tunelna-pich-dlya-vipalu-cegli-oglyad-riznoviditexnologiya.html>

8 Північно-Східне міжрегіональне управління Державної служби з питань праці. Газ у побуті. URL: <https://pns.dsp.gov.ua/>

9 Система регулювання співвідношення газ-повітря в інжекційних газових пальниках: пат. №62213 Україна : F23D 14/00. № 2003 010850; завл. 31.01.2003; опубл. 15.12.2003, Бюл. №12, 2003р. URL: <https://uapatents.com/2-62213-sistema-regulyuvannya-spivvidnoshennya-gaz-povitrya-v-inzhekciijnikh-gazovikh-palnikakh.html>

10 Пристрій для регулювання співвідношення паливо-повітря: пат. №43017 Україна: F23N1/02. №2000 116769; завл. 28.11.2000; опубл. 15.11.2001, Бюл. №12, 2001р. URL: <https://uapatents.com/3-43017-pristriji-dlya-regulyuvannya-spivvidnoshennya-palivo-povitrya.html>

11 Математичне моделювання систем і процесів: навч. Посібник / П.М. Павленко, С.Ф. Філоненко, О.М. Чередніков, В.В. Трейтяк . К.: НАУ, 2017. 392 с.

12 Стажицький О.М., Таран Є.Ю., Гординський Л.Д. Основи математичного моделювання: Навчальний посібник. К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2006. 96 с.

13 М.І. Горбійчук, М.І. Когутяк, В.М. Гарасимів Математична модель підігрівника з проміжним теплоносієм // Методи та прилади контролю якості : наук.-техн. журн. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ. 2021. № 2. 2021. с. 83 - 95.

14 Microsoft Visual Studio Professional 2022 URL: <https://www.softkey.ua/ua/catalog/programming/microsoft-visual-studio-professional-2019-olp/>

15 Коноваленко І.В. Програмування мовою С# 6.0. Тернопіль: ТНТУ. 2016. 227с.

16 Розробка додатків засобами мови програмування С#: Навч.-метод. посібник для проведення лабораторних робіт для студентів вищих навчальних закладів спеціальності «системний аналіз» /Є.В.Івохін, М.Ф.Махно, О.Г.Піскунов. К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2021. 100 с.

17 Брила А.Ю., Антосяк П.П., Глебена М.І., Чупов С.В., Семейон І.В. Основи програмування у С#. Методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів І-го курсу математичного факультету спеціальності «Прикладна математика». Ужгород, 2014. 60 с.

18 Програмування мовою С# Visual Studio 2019. Лабораторний практикум: у 3-х ч. Ч. 1. / Л. В. Соловей, Н. М. Мірошніченко, Т. Г. Бабак. Харків : НТУ «ХПІ», 2022. 120 с.

19 Бази даних та знань у системах цифрового інтелекту: методичні вказівки що до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності

«Комп'ютерні науки», магістерський рівень підготовки / Сагайда, П.І.; Техн. ун-т «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА». Запоріжжя, 2023. 78 с.

20 Математичне моделювання та методи розрахунку теплотехнологічних процесі.: Навч. посіб. Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2004. 248 с.

21 Rob Miles C# Programming Yellow Book Cheese” Edition 8.2. 2016. 216с.

22 Svetlin Nakov FUNDAMENTALS OF COMPUTER PROGRAMMING WITH C#. Sofia. 2013. 1122с.

23 Jon Skeet C# in Depth SECOND EDITION MANNING Greenwich. Stamford. Manning Publications Co. 2011. 586с.

24 Andrew Stellman. Jennifer Greene. Head First C#. Second Edition. Sebastopol. O'Reilly Media. 2010. 834с.

25 Alan Beaulieu. Learning SQL, Second Edition. Sebastopol. O'Reilly Media. 2009. 337с.

26 Allen G.Taylor. SQL For Dummies®, 5th Edition. Hoboken. Wiley Publishing, Inc. 2003. 435с.

27 Nick Harrison. SQL Queries Succinctly. Syncfusion, Inc. Morrisville. 2017. 104с.

28 Мороз В.І., Братченко О.В., Логвіненко О.А. Основи конструювання і САПР: математичне моделювання при проектуванні і конструюванні технічних засобів: Конспект лекцій. Харків: УкрДАЗТ, 2014. 49 с.

329 Математичне моделювання технологічних об'єктів: Розрахунково-графічна робота. [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» /уклад.: З. Я. Козаневич, Т.А. Дунаєва. Київ : КПІ ім.. Ігоря Сікорського, 2021. 30с.

30 Конспект лекцій з дисципліни «Технології комп'ютерного проектування» для студентів за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» усіх форм навчання /Укладач: А.В. Пархоменко. Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. 86 с.

31 Математичне моделювання та оптимізація процесів і систем. Частина 1. Навчальний посібник. /уклад.: О. В. Барабаш, О. В. Свинчук, А. П. Мусієнко. Київ : КПІ ім.. Ігоря Сікорського, 2023. 160с.

32 Конспект лекцій з дисципліни «Математичне моделювання та застосування ЕОМ в хімічні технології» для студентів для студентів спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» напрямку Укл.: Іванченко А.В. Кам'янське: ДДТУ, 2016. 48 с.

33 Математичне моделювання об'єктів керування хімічних і фармацевтичних виробництв: навч.посібник / Красніков І. Л., Бабіченко А. К., Вельма В. І., Подустов М. О., Зайцев О. І., Бабіченко Ю. А.; за ред. А.К. Бабіченко. Х. : Вид-во ТОВ «С.А.М.», 2015 р. 224 с.

34 Коноваленко І.В. Платформа .NET та мова програмування C# 8.0: навчальний посібник / Коноваленко І.В., Марущак П.О. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2020. 320 с.

35 Тунельні хлібопекарські печі. Методичні вказівки для студентів, які навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування», здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр». Таврійський державний агротехнологічний університет, 2016 .18 с.

36 Автоматизація виробничих процесів: підручник / В. П. Хорольський, Ю. М. Коренець. Кривий Ріг: [ДонНУЕТ], 2022. 400 с.

37 Автоматизація технологічних процесів і виробництв у чорній металургії : навчальний посібник / В. П. Кравченко, О. О. Койфман, О. І. Сімкін. Одеса : Олді+, 2023. 276 с.

38 Піпко О.В., Гетьман І.А., Держевецька М.А. Аналіз предметної області для програмної системи математичного моделювання тунельної печі з метою зменшення витрати природнього газу та покращення якості продукції, що випалюється //Вісник Херсонського національного технічного університету. 2023. № 4 (87). С. 110-116.  
[https://journals.kntu.kherson.ua/index.php/visnyk\\_kntu/article/view/499](https://journals.kntu.kherson.ua/index.php/visnyk_kntu/article/view/499)

39 Піпко О.В., Гетьман І.А. Аналіз сучасних принципів моделювання роботи тунельної печі. Сучасні інформаційні технології, засоби автоматизації та електропривод: матеріали VIII Всеукраїнської науково-

практичної конференції, 20–22 квітня 2023 р. / За заг. ред. О. Ф. Тарасова. Краматорськ : ДДМА, 2024. С. 100-103. URL: [https://cit.dgma.donetsk.ua/materials/paper\\_citae\\_2024.pdf](https://cit.dgma.donetsk.ua/materials/paper_citae_2024.pdf)

40 Піпко О.В., Гетьман І.А. Досягнення оптимального співвідношення природного газу та повітря: аналіз різних підходів //Scientific Research and Innovation: Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Internet Conference, April 18-19, 2024. FOP Marenichenko VV, Dnipro, Ukraine. P. 17 5. URL: <http://www.wayscience.com/wp-content/uploads/2024/04/Conference-Proceedings-April-18-19-2024.pdf#page=175>

41 International scientific conference “MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education” : conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2024. Vol.1. С. 341-344. URL: <http://baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/view/542/14497/30432-1>

42 Pipko O. Development of the mode map of the technological unit using mathematical modeling. The 69th International scientific and practical conference “Science - Technology Innovation” (23 – 24 May, 2024) Pegas Publishing, Canada, Ottawa. 2024. P. 90-95.

## ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Відомості роботи

Формат	№ п/п	Назва документу	Найменування об'єкту або вибору	Кількість сторінок
A4	1	Пояснювальна записка	КЦТПАР.122-23-1м.01.00.КР.ПЗ	111
Графічна частина				
A4	2	Загальні положення щодо обігу вагонів	КЦТПАР.122-23-1м.01.01.КР.ПЗ	1
A4	3	Аналіз предметної області, сучасних принципів моделювання режиму роботи тунельної печі	КЦТПАР.122-23-1м.01.02.КР.ПЗ	1
A4	4	Аналіз предметної області, сучасних принципів моделювання режиму роботи тунельної печі	КЦТПАР.122-23-1м.01.03.КР.ПЗ	1
A4	5	Математична модель для оптимізації режиму роботи тунельної печі	КЦТПАР.122-23-1м.01.04.КР.ПЗ	1
A4	6	Діаграма етапів функціонування програмної системи моделювання роботи тунельної печі	КЦТПАР.122-23-1м.01.05.КР.ПЗ	1
A4	7	Аналіз акторів системи	КЦТПАР.122-23-1м.01.06.КР.ПЗ	1
A4	8	Діаграма варіантів використання	КЦТПАР.122-23-1м.01.07.КР.ПЗ	1
A4	9	Ієрархічна схема модулів розроблюваної системи	КЦТПАР.122-23-1м.01.08.КР.ПЗ	1
A4	10	Діаграма класів UML для програмної системи, що розробляється	КЦТПАР.122-23-1м.01.09.КР.ПЗ	1
A4	11	Діаграма послідовності досліджуваного процесу для програмної системи, що розробляється	КЦТПАР.122-23-1м.01.10.КР.ПЗ	1

## Продовження табл. А.1 – Відомості роботи

Формат	№ п/п	Назва документу	Найменування об'єкту або вибору	Кількість сторінок
Графічна частина				
A4	12	Контекстна діаграма для оптимізації режиму роботи тунельної печі	КЦТПАР.122-23-1м.01.11.КР.ПЗ	1
A4	13	Діаграма Use Case для програмної системи, що розробляється	КЦТПАР.122-23-1м.01.12.КР.ПЗ	1
A4	14	Діаграма діяльності програмної системи, що розробляється	КЦТПАР.122-23-1м.01.13.КР.ПЗ	1
A4	15	Діаграма станів (State) для програмної системи, що розробляється	КЦТПАР.122-23-1м.01.14.КР.ПЗ	1
A4	16	Семантична мережа предметної області програмної системи, що розробляється	КЦТПАР.122-23-1м.01.15.КР.ПЗ	1
A4	17	Взаємозв'язок фреймів	КЦТПАР.122-23-1м.01.16.КР.ПЗ	1
A4	18	Діаграма «сутність-зв'язок» для оптимізації режиму роботи тунельної печі	КЦТПАР.122-23-1м.01.17.КР.ПЗ	1
A4	19	ER-діаграма розробленої бази даних	КЦТПАР.122-23-1м.01.18.КР.ПЗ	1
A4	20	Зміст таблиць	КЦТПАР.122-23-1м.01.19.КР.ПЗ	1
A4	21	Реалізація програми	КЦТПАР.122-23-1м.01.20.КР.ПЗ	1
A4	22	Економічні розрахунки	КЦТПАР.122-23-1м.01.21.КР.ПЗ	1
A4	23	Висновки	КЦТПАР.122-23-1м.01.22.КР.ПЗ	
A4	24	Економічне обґрунтування	КЦТПАР.122-23-1м.01.23.КР.ПЗ	1

ДОДАТОК Б  
ПЕРЕЛІК ТА ВІДБИТКИ НАУКОВИХ ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ  
ДОСЛІДЖЕННЯ



# CERTIFICATE

*Pipko Oleksii*

*for Participation in the International scientific-technical conference*

## **MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education**

**November 29–30, 2023**

*Total: 15 hours – 0.5 ECTS credit*

**Oleksandr POVAZHNYI**  
 Doctor of Economics, Professor  
 Rector of LLC "TECHNICAL UNIVERSITY  
 "METINVEST POLYTECHNIC"



## СЕРТИФІКАТ УЧАСНИКА

підтверджує, що

**Олексій Піпко**

**студент групи 122-23-1м**

взяв участь у заході "Студентські гуртки: обмін ідеями та досвідом",

який відбувся 31.05.2024,

та виступив з доповіддю на тему

**"Формування режимної карти технологічного агрегату  
 за допомогою математичного моделювання на прикладі тунельної печі"**

Дякуємо за активну участь та внесок у розвиток студентської наукової спільноти!

Проректор з науково-дослідної роботи  
 Голова Ради молодих вчених



Володимир Кухар  
 Марина Держевецька



TSC-2829233-MIP dated 29.11.2024

# CERTIFICATE



*Oleksii PIPKO*

*for Participation in the International scientific-technical conference*

## **MININGMETALTECH 2024 - The mining and metals sector: integration of business, technology and education**

**November 28–29, 2024**

*Total: 15 hours – 0.5 ECTS credit*

**Oleksandr POVAZHNYI**  
 Doctor of Economics, Professor,  
 Rector of LLC "TECHNICAL UNIVERSITY  
 "METINVEST POLYTECHNIC"





Головна / Архіви / № 4(87) (2023): Вісник Херсонського національного технічного університету / ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

## АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ДЛЯ ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТУНЕЛЬНОЇ ПЕЧІ З МЕТОЮ ЗМЕНШЕННЯ ВИТРАТИ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ТА ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ, ЩО ВИПАЛЮЄТЬСЯ

О. В. ПІПКО

<https://orcid.org/0009-0006-3543-904X>

І. А. ГЕТЬМАН

М. А. ДЕРЖЕВЕЦЬКА

DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.4.13>

**Ключові слова:** тунельна піч, енергоефективність, математичне моделювання, MES-система, співвідношення газу/повітря, автоматизована система управління, прогнозування витрат газу.

### Анотація

Актуальність ефективного використання енергоресурсів у виробництві та економія природного газу визначають необхідність удосконалення систем математичного моделювання тунельних печей. Стаття розглядає проблему зменшення витрат природного газу та покращення якості продукції шляхом оптимізації співвідношення газу та повітря. У роботі розглядаються три основні схеми регулювання співвідношення природний газ/ повітря. Автори пропонують перейти



Опубліковано  
2024-01-29

Номер  
[№ 4\(87\) \(2023\): Вісник Херсонського національного технічного університету](#)

Розділ  
ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

Мова

English

Українська

