

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ ГІДРОАЕРОМЕХАНІКИ

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

на тему:

«Рекуперація теплоти вихідних газів на ділянці термічної обробки  
машинобудівного підприємства »

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»

за освітньо-професійною програмою «Енергетичний менеджмент»

Виконавець роботи  
(прізвище і ініціали)

Гонтар В.О.

(підпис студента)

Випускна робота  
захищена на засіданні

ЕК з оцінкою

*В роботі не виявлено текстових,  
ілюстративних та інших запозичень  
без коректного на них посилання*

Керівник роботи

(підпис)

Хованський С.О.

(прізвище і ініціали)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Секретар комісії

(підпис)

доцент каф. ПГМ

(наукова ступінь, звання або посада)

Суми 2021

Сумський державний університет  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра прикладної гідроаеромеханіки  
Спеціальність 144 «Теплоенергетика»  
(освітньо-професійна програма «Енергетичний менеджмент»)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
прикладної гідроаеромеханіки  
\_\_\_\_\_ Ковальов І.О.  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра**  
\_\_\_\_\_ Гонтар Владислав Олегович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Рекуперация теплоти вихідних газів на ділянці термічної обробки машинобудівного підприємства

затверджена наказом по університету №0169 від “09” квітня 2021 р.

2 Термін здачі студентом закінченої роботи до “08” червня 2021 р.

3 Вихідні дані до роботи: будівельна та проектна документація об'єкта енергетичного обстеження; нормативні вимоги, дійсні на території України.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно вирішити).

**Вступ** (мета, задачі та актуальність виконання роботи).

1. **Загальний опис об'єкта енергетичного обстеження** (загальні відомості про об'єкт енергетичного обстеження; опис технологічного виробництва та дійсного стану будівлі; обстеження енергетичних систем і системи водопостачання об'єкта; аналіз споживання енергоносіїв; висновок).

2. **Інструментальне обстеження** (програма і методика інструментального обстеження печі; підготовка до візуального і термографічного обстеження димових труб; обробка матеріалів тепловізійної зйомки; висновки).

3. **Числове моделювання теплового стану** (створення тривимірної моделі; побудова розрахункової сітки; проведення комп'ютерного розрахунку; висновки).

4. **Аналіз результатів моделювання теплового стану** (загальний аналіз результатів розрахунку; аналіз результатів розрахунків при різних температурах робочого процесу; висновки).

5. **Рекуператори для промислових печей** (характеристики промислових печей; характеристика рекуператорів для промислових печей; техніко-економічне обґрунтування і підбір рекуператорів; висновки)

**Висновки** (загальна характеристика отриманих результатів за кожним етапом виконаної роботи)

5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу (з точним зазначенням креслень або плакатів)

1. Креслення промислової печі.

2. Аналіз результатів моделювання.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи (за змістом розрахунково- пояснювальної записки)	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування вихідних даних	05.04-09.04.21	
2	Загальне опис об'єкта енергетичного обстеження	12.04-16.04.21	
3	Інструментальне обстеження	лютий-травень	
4	Числове моделювання теплового стану	19.04-14.05.21	
5	Аналіз результатів теплового стану	17.05-28.05.21	
6	Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.	31.05-03.06.21	
7	Оформлення розрахунково- пояснювальної записки та графічних матеріалів	04.06-07.06.21	
8	Здача роботи на перевірку	08.06.21	
9	Доопрацювання зауважень	до 13.06.21	
10	Захист роботи	14.06-19.06.21	

Дата видачі завдання “ 05 “ квітня 2021 р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(Прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(Прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 93 с., 11 таблиці, 36 рисунків, 3 додатки, 15 літературних джерел.

Графічні матеріали: енерготехнологічна – усього чотири аркуша формату А3.

Мета роботи: є підвищення ефективності роботи промислової печі, промислового підприємства Сумський завод насосного та енергетичного машинобудування «Насосенергомаш», на основі аналізу її теплових режимів.

Відповідно до поставленої мети були вирішені такі завдання:

- здійснити аналіз споживання ПЕР на дослідженому промислового підприємства;
- розробити математичну та числову модель теплового стану промислової печі;
- провести моделювання процесів аеродинаміці та теплообміну в промисловій печі для аналізу її теплового стану;
- запропонувати рекуператор теплової енергії для промислових печей.

Предметом дослідження є досліджень термодинамічні параметри теплового стану промислової печі.

Об'єктом дослідження Об'єктом дослідження є промислова піч машинобудівного підприємства «Насосенергомаш».

Методи дослідження: інструментальне температури печі, економіко-математичні методи під час розробки енергозберігаючих заходів.

Ключові слова: ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ, ТЕПЛОВІЗІЙНЕ ОБСТЕЖЕННЯ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ANSYS, ТЕПЛОВИЙ СТАН, РЕКУПЕРАЦІЯ.

**Тема роботи – «Рекуперация теплоты выходящих газов на ділянці термічної обробки машинобудівного підприємства»**

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ .....	9
1.1 Загальні відомості про об'єкт енергетичного обстеження .....	9
1.2 Опис технологічного виробництва та дійсного стану будівлі.....	10
1.3 Обстеження енергетичних систем і системи водопостачання об'єкта.....	12
1.3.1 Система опалення.....	12
1.3.2 Система холодного і гарячого водопостачання .....	14
1.3.3 Система вентиляції.....	14
1.3.4 Система електропостачання.....	14
1.3.5 Система обліку ресурсів .....	16
1.3.6 Система газопостачання .....	16
1.3.7 Існуючі тарифи на енергоносії та воду. ....	17
1.4 Аналіз споживання енергоносіїв. ....	18
1.5 Висновок до розділу.....	22
2. ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ ОБСТЕЖЕННЯ.....	23
2.1. Програма і методика інструментального обстеження печі. ....	24
2.2. Підготовка до візуального і термографічного обстеження димових труб... 25	25
2.3. Обробка матеріалів тепловізійної зйомки. ....	25
2.4 Висновок до розділу.....	34
3 ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ .....	35
3.1. Створення тривимірної моделі .....	35
3.2 Побудова розрахункової сітки .....	35
3.3. Проведення комп'ютерного розрахунку.....	40

					6.144.01 ВР.00ПЗ			
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата				
Розроб.	Гонтар				Рекуперація теплоти вихідних газів на ділянці термічної обробки машинобудівного підприємства	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Хованский					5	91	
Н. контр.	Хованский					<b>СумДУ, ЕМ-71</b>		
Затв.								

3.4 Висновок до розділу.....	41
4. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ .....	42
4.1. Загальний аналіз результатів розрахунків .....	42
4.2. Аналіз результатів розрахунків при різних температурах робочого процесу промислової печі. ....	45
4.3. Висновок до розділу.....	52
5. РЕКУПЕРАТОРИ ДЛЯ ПРОМИСЛОВИХ ПЕЧЕЙ. ....	53
5.1. Характеристика рекуператорів промислових печей.....	53
5.2. Характеристика рекуператорів для промислових печей .....	59
5.3. Техніко-економічне обґрунтування і підбір рекуператора.....	69
5.5. Висновок до розділу.....	77
ВИСНОВОК.....	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	79
ДОДАТОК А.....	81
ДОДАТОК Б .....	89
ДОДАТОК В .....	93

					6.144.01 ВР.00ПЗ	Аркуш
						6
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Машинобудівна галузь є однією з провідних галузей промисловості. Її частка у структурі промисловості України становить близько 7,3%. У динаміці 2015-2020 років найбільшою ця частка була у 2016 році, коли вона складала 10,32%, найменшою – у 2018 році (6,1%).

Машинобудівні підприємства виробляють не лише споживчі товари, а й продукцію, спрямовану на виробництво товарів і послуг підприємствами інших галузей. Україна має великі можливості для розвитку продукції сільськогосподарського машинобудування та забезпечення підприємств харчової та переробної промисловості сучасними машинами й обладнанням.

У 2015–2019 роках відбулося зростання виробництва електричного устаткування, автотранспортних засобів, електронної та оптичної продукції. Також існують проблеми, пов'язані з низьким рівнем енергоефективності обладнання та використання виробничих потужностей, зносом основних фондів.

Все це призводить до суттєвого погіршення рівня енергоефективності підприємств галузі і зниження рентабельності виробництва. Як наслідок, кількість великих та середніх машинобудівних підприємств України зменшується.

Так, у 2020 році в порівнянні з 2018 роком кількість великих підприємств зменшилась на 52 % (з 52 до 25 компаній), а середніх - на 20 % (з 921 до 757). Натомість кількість малих підприємств зросла на 4,7 % (з 5765 до 5941). Підвищення конкурентоспроможності підприємств галузі потребує їх енергетичної модернізації: впровадження нових технологій та реалізації заходів з енергоефективності [1].

Враховуючи викладене вище метою роботи є підвищення ефективності роботи промислової печі, промислового підприємства Сумський завод насосного та енергетичного машинобудування «Насосенергомаш», на основі аналізу її теплових режимів.

					6.144.01 ВР.00ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Для досягнення даної мети були поставлені та вирішені наступні задачі:

- здійснити аналіз споживання ПЕР на дослідженому промислового підприємства.
- розробити математичну та числову модель теплового стану промислової печі.
- провести моделювання процесів аеродинаміці та теплообміну в промисловій печі для аналізу її теплового стану.
- запропонувати рекуператор тепловій енергії для промислових печей.

Об'єктом дослідження є промислова піч машинобудівного підприємства «Насосенергомаш».

Предметом досліджень термодинамічні параметри теплового стану промислової печі.

					6.144.01 ВР.00ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		



# 1 ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ

## 1.1 Загальні відомості про об'єкт енергетичного обстеження

Об'єктом енергетичного обстеження є Сумський завод насосного та енергетичного машинобудування "Насосенергомаш", що розташована за адресою: пл. Привокзальна 1, м. Суми, Сумської області, головна будівля вказана на рис. 1.1.

Технічну експлуатацію інженерних комунікацій будівлі здійснює технічний персонал підприємства.

Технічні характеристики будівлі такі:

- Рік побудови 1949р.;
- Опалювальна площа 2556 м<sup>2</sup>;
- Площа забудови 720 м<sup>2</sup>;
- Опалювальний об'єм будівлі 8946 м<sup>3</sup>;



Рисунок 1.1 – АО "Сумский завод "Насосэнергомаш"

На підприємстві працює 2254 працівників на сьогоднішній день директор підприємства є Ковтун Олександр Миколайович.

					6.144.01 ВР.00ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

У «Сумського заводу насосного та енергетичного машинобудування «Насосенергомаш». встановлений п'ятиденний робочий тиждень.

Режим роботи підприємства перша зміна з 7<sup>30</sup> години до 16<sup>30</sup> години, друга зміна з 16<sup>30</sup> години до 01<sup>00</sup>[3].

## 1.2 Опис технологічного виробництва та дійсного стану будівлі.

Основним видом діяльності підприємства є підготовчі, або "гарячі" цехи (ливарні, ковальсько-штампувальні, термічні) і "холодні" (механічні, механоскладальні).

Технологічні процеси в таких цехах характеризуються присутністю в повітрі робочої зони оксиду вуглецю, оксидів азоту, пилу, пара масел, ціаністого водню тощо. Термічна обробка призначена для надання металу певних фізико-хімічних властивостей - твердості, в'язкості, пружності, електропровідності і тощо.

Нагрівання заготовок виконують в газових печах, що працюють на газоподібному, рідкому або твердому паливі, і в електропечах. Для рівномірності нагріву вироби можна поміщати в спеціальні ванни з розплавленим свинцем, солями хлориду барію, селітри. Цементация здійснюється нагріванням в деревному вугіллі з домішкою вуглекислої соди або в ваннах з ціаністими сполуками; азотування - в струмені аміаку при температурі близько 500 ° С. Досить поширеною є термообробка металу струмами високої частоти шляхом застосування індукційного нагріву в високочастотному електромагнітному полі. Найпоширенішим засобом термічної обробки є занурення виробів після нагрівання в гартівні ванни з мінеральними маслами.

Цех №3 розміщений у типовому 2-поверховому приміщенні, що має 5 блоків, з'єднаних переходами. Зовнішні стіни цеху №3 цегляні. Фасад будівлі викладені лицювальною плиткою. На внутрішню сторону стіни нанесена штукатурка. Утеплення огорожі конструкції відсутня.

					6.144.01 ВР.00ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Стіни будівлі мають локальні руйнування облицювальної плитки. Коефіцієнт теплопровідності основного конструктивного матеріалу стіни – 0,87 Вт/м-град.

Цех налічує 76 вікон. Старі дерев'яні вікна частково замінені на пластикові з двокамерним склопакетом. Переважна більшість світлопрозорих прорізів знаходиться в задовільному стані. Коефіцієнти термічного опору для кожного типу світлопрозорих огорожувальних конструкцій наведено в табл. 1.1.

Підлога будівлі представляє собою залізобетонну плиту вкриту лінолеумом або плиткою, в залежності від призначення приміщення. Між поверхнею ґрунту та плитою є повітряний прошарок[2].

Будівля не має горища, як такого. Перекриття верхнього поверху являє собою залізобетонну плиту, зовнішня поверхня якої покрита шаром руберойду.

Будівля має 4 входів (у постійному використанні знаходиться 3). Переважна більшість вхідних дверей є металеві конструкції, також у будівлі встановлені дерев'яні двері.

У таблиці 1.1 приведена більш детальна технічна характеристика будівельних конструкцій[2].

					6.144.01 ВР.00ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Параметри зовнішніх огорожувальних конструкцій будівлі.

№ п/п	Найменування конструктивного елементу	Матеріал шару	Товщина шару, $\delta_i$ , м	Тепло-провідність $\lambda_i$ , $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	$R_{\Sigma np}$ , $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$
1	Стіни	Цегла силікатна	0,50	0,87	0,78
		Штукатурка	0,03	0,93	
		Плитка лицевальна	0,01	0,89	
2	Суміщене покриття	Залізобетонна плита	0,22	2,04	0,65
		Рубероїд	0,025	0,07	
3	Вікна	Пластикові	–	–	0,51
		Дерев'яні	–	–	0,40
4	Підлога	Залізобетонна плита	0,22	2,04	0,46
		Розчин цементно-піщаний	0,05	0,76	
		Лінолеум	0,005	0,29	
		Плитка	0,01	0,89	
5	Вхідні двері	Дерев'яні	–	–	0,60
		Металеві	–	–	0,69

### 1.3 Обстеження енергетичних систем і системи водопостачання об'єкта.

#### 1.3.1 Система опалення.

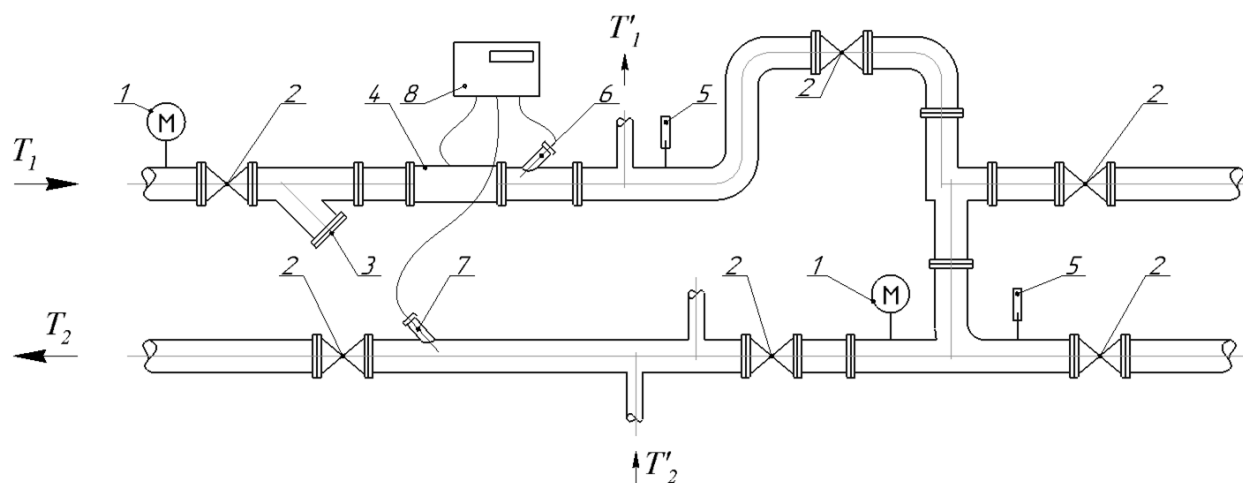
Теплова енергія на підприємство постачається з мереж ПАТ «Сумитеплоенерго» через два ввідні трубопроводи з вул. Троїцька та з вул. Привокзальна діаметрами  $\varnothing 100\text{мм}$ , та  $\varnothing 250\text{мм}$  відповідно. Облік здійснюється за допомогою лічильників теплової енергії та води СВТУ-10М.

					6.144.01 ВР.00ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Періодично один раз в 2 роки лічильники піддаються метрологічній перевірці, облік теплової енергії здійснюється лише в центральному тепловому пункті (ЦТП). В обстежуваній будівлі облік не ведеться.

Для опалення АБК цеха №3 використовується централізоване теплопостачання від центрального теплового пункту підприємства до обстежуваного об'єкта за допомогою трубопроводів  $\varnothing 100$  мм. Система опалення однотрубна, з верхнім розподілом теплоносія.

Відпуск теплоти до будівлі здійснюється за температурним графіком 95/70 °С. Розрахунковий перепад температур у системі опалення будівлі 95/70 °С. Температура на подавальному трубопроводі – 58 °С, температура у зворотному трубопроводі – 48 °С. На рис.1.2 представлено схема теплового пункту.



1 - манометр; 2 - засувки; 3 - фільтр; 4 - водомір; 5 - термометр; 6 - датчик температури на вході у систему теплопостачання; 7 - датчик температури на виході з системи теплопостачання; 8 - лічильник теплоти; лінії  $T'_1$  та  $T'_2$  – відповідно падаючий та зворотній трубопроводи на бойлер.

\* Зовнішній діаметр трубопроводу, на якому встановлений лічильник теплоти  $d=89$ мм.

Рисунок 1.2 – Схема теплового пункту

						6.144.01 ВР.00ПЗ	Аркуш
							13
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата			

### 1.3.2 Система холодного і гарячого водопостачання

Питна вода постачається з мереж КП «Міськводоканал» через два ввідні трубопроводи Ø150 мм, з вул. Троїцька та з Привокзальної пл., відповідно.

Періодично один раз в 2 роки лічильник піддається метрологічній перевірці. Основними споживачами питної води є побутові приміщення виробничих цехів, санвузли, їдальня.

На підприємстві влаштована система водопостачання, очистка та зберігання води відбувається в очисних спорудах розташованих під землею.

Гаряче водопостачання здійснюється від газового котла (побутові приміщення). Для потреб інженерно-технічного персоналу в туалетах встановлені електроводонагрівачи.

Тиск в зовнішній мережі в точці підключення складає 0,15 - 0,3 МПа., що забезпечує розрахунковий тиск на ввіді в будівлю. Водопровідна мережа запроектована з чавунних водопровідних труб  $d = 100$  мм. Глибина залягання водопровідної мережі 1,8 м.

Каналізація: підключення будівлі підприємства відбувається до існуючої дворової мережі  $D = 150$  мм., з подальшим перекладанням її на  $D = 200$  мм. до вуличного каналізаційного колектора  $D = 200$  мм. Стоки від будівлі поступають в мережу  $d = 150$  мм., а звідси самопливом в існуючу мережу.

### 1.3.3 Система вентиляції

АПК цеху №3 обладнано природною системою вентиляції (окрім побутових приміщень, 1-й та 2-й поверхи). В побутових приміщеннях функціонують системи механічної припливно-витяжної вентиляції.

### 1.3.4 Система електропостачання

Освітлення цеха виконують лампи розжарення, люмінесцентні компактні, світлодіодні та енергозберігаючі лампи. Цех налічує 1116 електролампочок.

					6.144.01 ВР.00ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Кількість ламп кожного виду і їх потужності наведені у табл. 1.3. Кількісне співвідношення ламп освітлення кожного виду наведено на рис. 1.3.

Зовнішнє освітлення території виконується світильниками типу СПКН з лампами 3×40, управління централізоване.

До основного електроспоживаючого обладнання системи технічного електрообладнання належать: електричні печі, холодильники, комп'ютери, оргтехніка, жарова шафа.

Таблиця 1.3 – Характеристика ламп внутрішнього освітлення.

№ з/п	Найменування	Потужність, Вт	Кількість, шт.
1	Лампи розжарювання	60	164
		75	124
		100	301
		36	125
2	Лампи люмінесцентні трубчасті	36	137
3	Лампи світлодіодні	4	60
		7	75
		18	30
4	Лампи енергозберігаючі	60	100

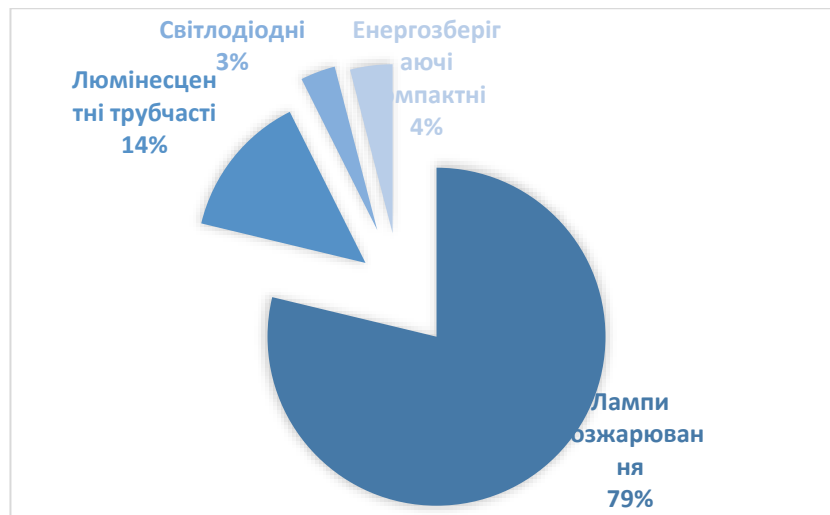


Рисунок 1.3 – Відсоткове співвідношення різних типів ламп освітлення у цеху № 3.

До недоліків можна віднести неефективне використання приладів освітлення та їх забрудненість.

### 1.3.5 Система обліку ресурсів

Облік теплової енергії, яку отримують із системи централізованого тепlopостачання, здійснюється тепловим лічильником СВТУ-10М, який встановлено на трубопроводах теплового вводу в будівлю. Зняття показників лічильника виконується щоденно.

### 1.3.6 Система газопостачання

Природний газ постачається з мереж ПАТ «Сумигаз». На території підприємства розташований газорозподільний пункт (ГРП), через який газ подається до газоспоживаюче обладнання. Облік здійснюється за допомогою лічильника природного газу Курс–0,1 G-250. Періодично один раз в 2 роки лічильник піддається метрологічній перевірці. В обстежуваній будівлі природний газ не використовується.

					6.144.01 ВР.00ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		



### 1.3.7 Існуючі тарифи на енергоносії та воду.

В таблиці 1.4 наведені порівняння тарифів з 2018 по 2020.

Таблиця 1.4 Тарифи на енергоносії

№ п/п	Найменування енергогосіїв	Середній тариф 2018 рік, (з ПДВ)	Середній тариф 2019 рік, (з ПДВ)	Середній тариф 2020 рік, (з ПДВ)	±% по відношенню за звітний період 2018-2019	±% по відношенню за звітний період 2019-2020
1	Електрична енергія, грн/кВт·год	2,32	2,75	2,55	+18,5 %	+8,1%
2	Водопостачання та водовідведення, грн/м <sup>3</sup>	14,55	17,5	24,24	+20,3 %	+19,9%
3	Природний газ, грн/тис.м <sup>3</sup>	10 495	7 069	6,05	-48,5 %	+7,4%
4	Кисень, грн/м <sup>3</sup>	10,6	14,68	17,1	+38,5 %	-15,4%
5	Теплова енергія, грн/Гкал	1783	1400	1400	-27,4 %	0%

#### 1.4 Аналіз споживання енергоносіїв.

Споживання енергоресурсів за 2018 – 2020 роки наведена у табл. 1.5.  
Витрати підприємства енергоресурсів наведені в додатку Б.

1. Електроенергія - збільшення споживання електричної енергії на + 0,9% в 2019 році в порівнянні з 2018, пов'язано зі зростанням виробництва.
2. Питна вода - зменшення споживання питної води на -4,5% в 2019 році в порівнянні з 2018, пов'язано з впровадженням заходів щодо раціонального використання питної води (оперативний ремонт запірної арматури, відключення подачі води в неробочий час).
3. Природний газ - зменшення споживання природного газу на -18,7% в 2019 році в порівнянні з 2018, пов'язано з впровадженням заходів щодо раціонального використання природного газу, а також з підвищенням середньомісячної температури в опалювальний період;
4. Кисень - збільшення споживання кисню в 2019 році на +9,9% в порівнянні з 2018, пов'язано з підвищенням навантаження на заготівельну ділянку цеху №3.
5. Теплова енергія - зменшення споживання теплової енергії на -10,9% в 2019 році в порівнянні з 2018, пов'язано з підвищенням середньомісячної температури в опалювальний період і оперативним регулюванням подачі теплоносія на підприємство в залежності від температури навколишнього середовища.
6. Електроенергія – споживання електроенергії залишилось на рівні показників 2019 року.
7. Питна вода - зменшення споживання питної води на -5,3% в 2020 році в порівнянні з 2019, пов'язано з виведенням з роботи поршневого компресору (після проведення кап.ремонту та запуску в роботу гвинтових компресорів) та проведенню оперативного ремонту запірної арматури та мереж.

					6.144.01 ВР.00ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

8. Природний газ - зменшення споживання природного газу на -3,2% в 2020 році в порівнянні з 2019, пов'язано з впровадженням заходів щодо раціонального використання природного газу, а також з підвищенням середньомісячної температури в опалювальний період;
9. Кисень - збільшення споживання кисню в 2020 році на +12,9% в порівнянні з 2019, пов'язано з підвищенням навантаження на заготівельну ділянку цеху №3.
10. Теплова енергія - зменшення споживання теплової енергії на -10,8% в 2020 році в порівнянні з 2019, пов'язано з підвищенням середньомісячної температури в опалювальний період і оперативним регулюванням подачі теплоносія на підприємство в залежності від температури навколишнього середовища.

					6.144.01 ВР.00ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 1.5 Аналіз та обсяг споживання.

Вид енергоресурсів		Факт за 12 м.	Факт за 12 м.	
		2018	2019	
Випуск товарної продукції, млн.грн.		1 202,729	1 280,469	6,5
Електроенергія	Факт споживання, кВт*год	20 804 065	20 989 48	
	Тариф, за 1 кВт*год, грн. з ПДВ			
	Сума фактичного споживання, грн. з ПДВ	48 312 275	53 131 721	10,0
	% + або - по відношенню до попереднього періоду		0,9	
	Питомий вміст			
	% + або - по відношенню до попереднього періоду			
Газ	Факт споживання, м3	112 057	107 025	
	Тариф, за 1 м3, грн. з ПДВ			
	Сума фактичного споживання, грн. з ПДВ	1 633 544	1 884 557	15,4
	% + або- по відношенню до попереднього періоду		-4,5	
	Питомий вміст			
	% + або - по відношенню до попереднього періоду			
Газ	Факт споживання, м3	956 679	778 191	

Продовження таб.1.5

1	2	3	4	5
	Тариф, за 1 м3, грн. з ПДВ			
	Сума фактичного споживання, грн. з ПДВ	9 992 396	6 027 660	-39,7
	% + або - по відношенню до попереднього періоду		-18,7	
	Питомий вміст			
	% + або - по відношенню до попереднього періоду			
Кисень	Факт споживання, м3	89 143	97 931	
	Тариф, за 1 м3, грн. з ПДВ			
	Сума фактичного споживання, грн. з ПДВ	939 104	1 435 570	52,9
	% + або - по відношенню до попереднього періоду		9,9	
	Питомий вміст			
Тепло	Факт споживання, Гкал	15 524	11 895	
	Тариф, за 1 гКал, грн. з ПДВ			
	Сума фактичного споживання, грн. з ПДВ	28 393 366	17 054 926	-39,9
	% + або - по відношенню до попереднього періоду		-23,4	
	Питомий вміст			

Продовження таб. 1.5

1	2	3	4	5
	% + або - по відношенню до попереднього періоду			
Сума фактичного споживання за період, грн. з ПДВ		89 270 685	79 534 435	
	% + або - по відношенню до попереднього періоду		-10,9	
	Питомий вміст %	7,42	6,21	
	% + або - по відношенню до попереднього періоду		-16,3	

1.5 Висновок до розділу.

З розділу загальний опис об'єкта енергетичного обстеження, було з'ясовано основним видом діяльності підприємства є підготовчі, або "гарячі" цехи (ливарні, ковальсько-штампувальні, термічні) і "холодні" (механічні, механоскладальні).

Для опалення АБК цеха №3 використовується централізоване теплопостачання від центрального теплового пункту підприємства до обстежуваного об'єкта за допомогою трубопроводів Ø 100 мм.

Система опалення однотрубна, з верхнім розподілом теплоносія, тепла енергія постачається з мереж ПАТ «Сумитеплоенерго».

Питна вода постачається з мереж КП «Міськводоканал» через два ввідні трубопроводи Ø150 мм, з вул. Троїцька та з Привокзальної пл., відповідно.

Природний газ постачається з мереж ПАТ «Сумигаз». На території підприємства розташований газорозподільний пункт (ГРП), через який газ подається до газоспоживаюче обладнання.

## 2. ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ ОБСТЕЖЕННЯ

Під час проведення аудиту АО "Сумский завод "Насосэнергомаш" використовувався такий прилад як тепловізор Fluke Ti25.

Тепловізійне обстеження було проведено 21.04.2021 з 10<sup>00</sup> до 14<sup>00</sup> годин. Тепловізор (інфрачервона камера) – це оптико-електронний вимірювальний прилад, що працює в інфрачервоній області електромагнітного спектру, "переводить" у видиму область спектру власне теплове випромінювання людей або техніки. Чутливий елемент тепловізора - матриця детекторів, що сприймає інфрачервоні сигнали і перетворює їх на електричні імпульси, які після підсилення перетворюються у відеосигнал. Зображення тепловізора представлено на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Тепловізор Fluke Ti25 виробництва США

Тепловізор використовується, як прилад для безконтактного виміру температури об'єктів і температурних полів. Сфери застосування тепловізора: енергетика, машинобудування, будівництво, нафтова і хімічна промисловість, транспорт тощо. Технічні характеристики тепловізор представлені в таблиці 2.1.

					6.144.01 ВР.00ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 Технічні характеристики тепловізора Fluke Ti25

Параметр	Значення
Діапазон температурних вимірів	від -20°C до +350°C
Похибка	±2°C або 2%
Фотокамера	640 × 480
Кольорові палітри	Сіра, синьо - червона, жовта, та кольору гарячого металу
Пам'ять для зберігання термограм	Карта пам'яті 2 ГБ (до 3000 термограм)
Фокусування	Ручне, мінімальна відстань 15 см
Умови експлуатації: – температура навколишнього середовища – відносна вологість	-10 +50°C 10-90% без конденсації
Умови зберігання: – діапазон навколишніх температур – відносна вологість	-20 +50 °C 10-90% без конденсації
Габаритні розміри	267×127×152 мм
Вага (разом з батареями)	1,2 кг

## 2.1. Програма і методика інструментального обстеження печі.

Дана програма визначає обсяг і порядок проведення вимірювань температурних полів при проведенні тепловізійного обстеження печі.

Тепловізійний метод заснований на візуалізації теплового (інфрачервоного) випромінювання нагрітого об'єкту за допомогою спеціальної оптики.

					6.144.01 ВР.00ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		



З точки зору застосування тепловізійного методу, дефекти огорожуючих конструкцій димових труб, які працюють в змінному температурному режимі і часто в агресивних середовищах, можна умовно розділити на дві групи: дефекти, пов'язані з порушенням цілісності огорожуючих конструкцій (тріщини, руйнування бетону, корозія футеровки тощо); дефекти, пов'язані зі зміною теплопровідності і опору газопроникнення матеріалів (пористість бетону, утворення порожнин, зміна вологості тощо).

Обидві групи дефектів проявляються у вигляді температурних аномалій на зовнішній поверхні ствола труби. Розмір і величина температурних аномалій залежать від розмірів і виду дефектів конструкції і використаних матеріалів, а також від цілого ряду кліматичних параметрів.

## 2.2. Підготовка до візуального і термографічного обстеження димових труб.

Визначення найзручніших точок зйомки і огляду печі.

Перед виконанням роботи необхідно провести ознайомлення з технічною документацією (паспортом) печі.

Вивчаються попередні обстеження печі і відомості про проведені ремонти.

## 2.3. Обробка матеріалів тепловізійної зйомки.

Тепловізійна зйомка здійснюється тепловізором (переважно 8-12  $\mu\text{m}$ ) з роздільною здатністю не менше 0,1  $^{\circ}\text{C}$ .

Обробка результатів термографії здійснюється, за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення для визначення реального температурного поля по всій поверхні труби і виявлення аномальних температурних зон.

					6.144.01 ВР.00ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Друк термограм виконується на кольоровому принтері в кольорі, або в сірих півтонах, де кожному кольору або відтінку відповідає своя температура.

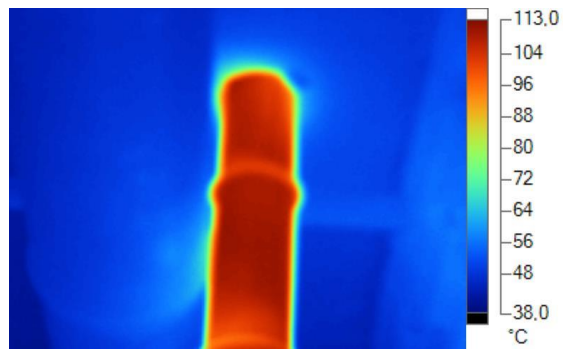
Окремі термограми вмонтовуються між собою так, щоб одержати загальну термограму по висоті труби .

Тепловізійний аналіз дійсного стану печі, місць втрат тепла наведено на рисунках 2.3. Під час тепловізійного обстеження було зроблено 30 термограми. Детальний аналіз термограм дав можливість виявити місця найбільших втрат тепла.

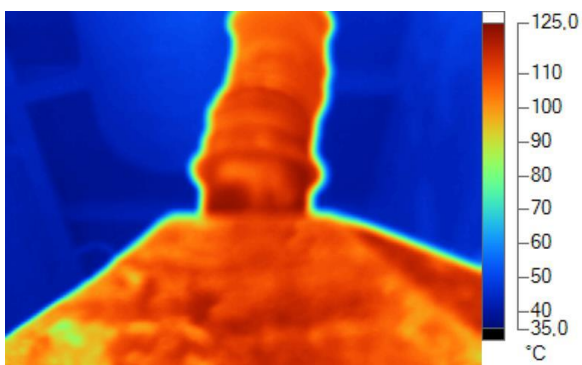
					6.144.01 ВР.00ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		



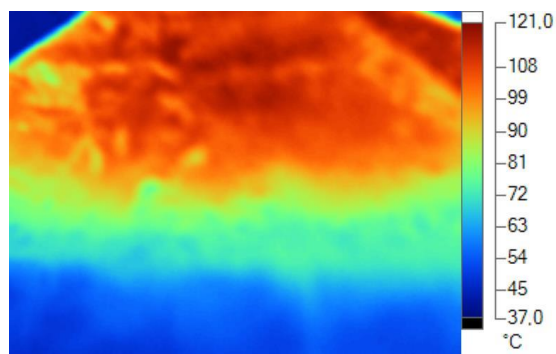
а



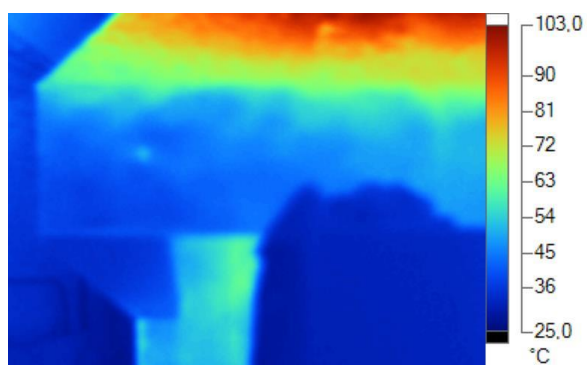
б



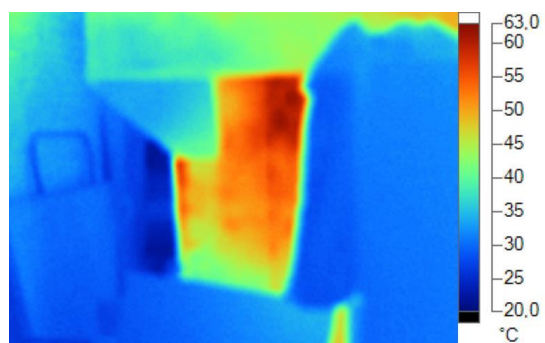
в



г



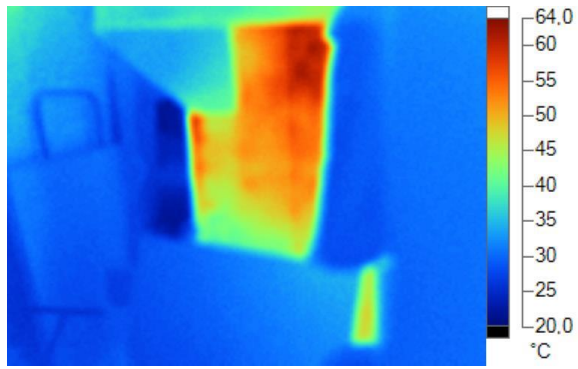
д



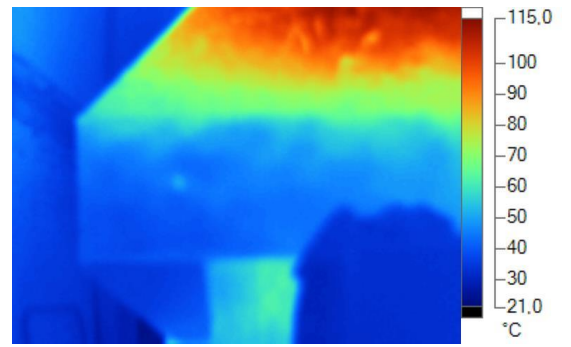
е

Рисунок 2.2 –Термограма промислової печі

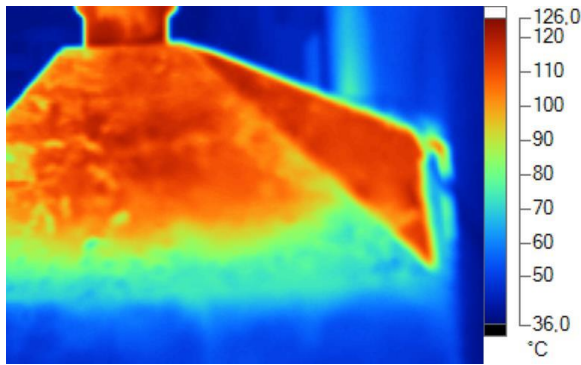
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата



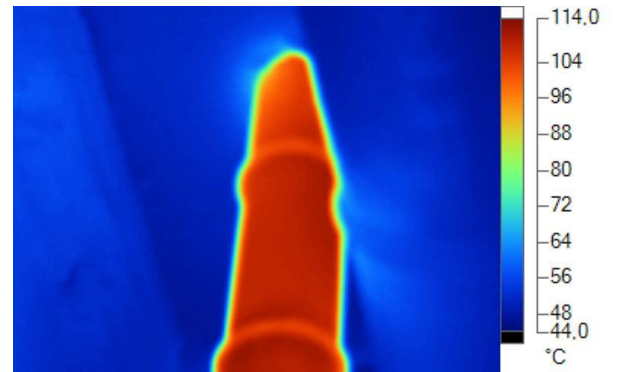
а



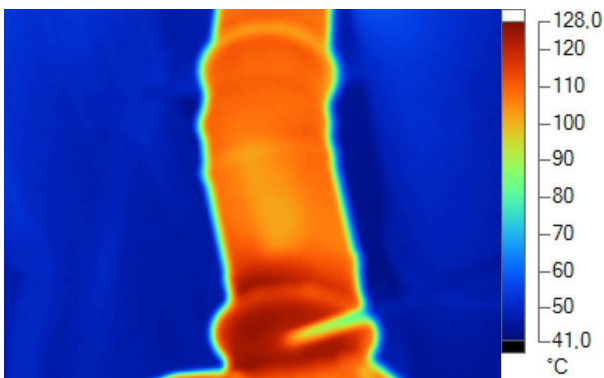
б



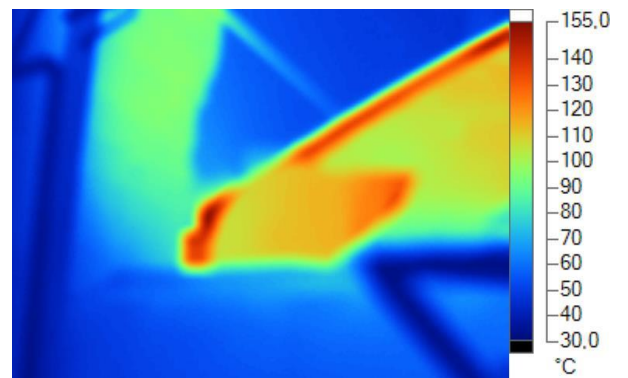
в



г



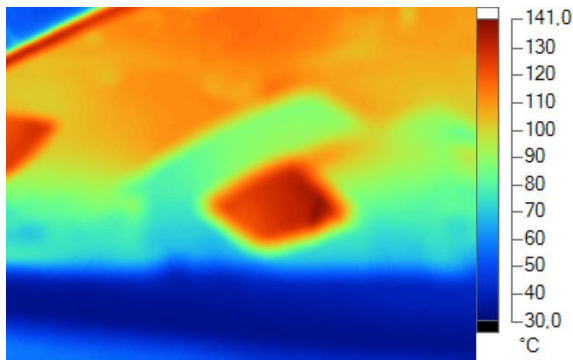
д



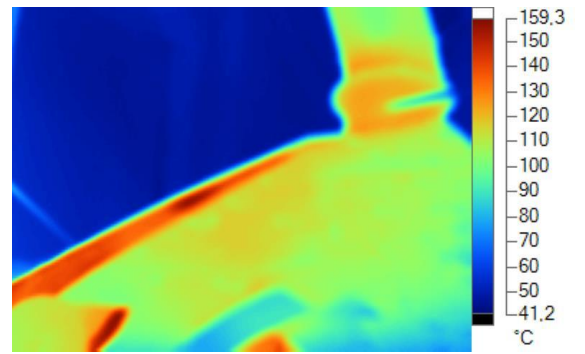
е

Рисунок 2.3 – Термограма промислової печі.

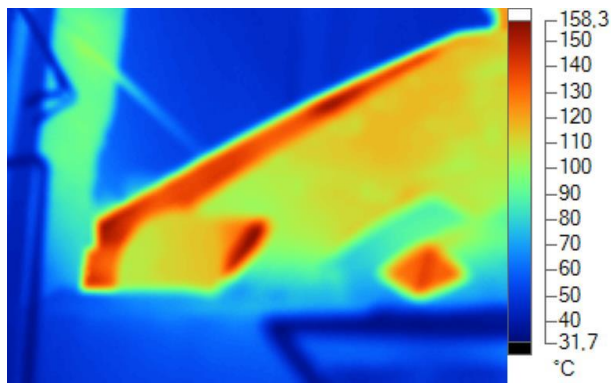
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата



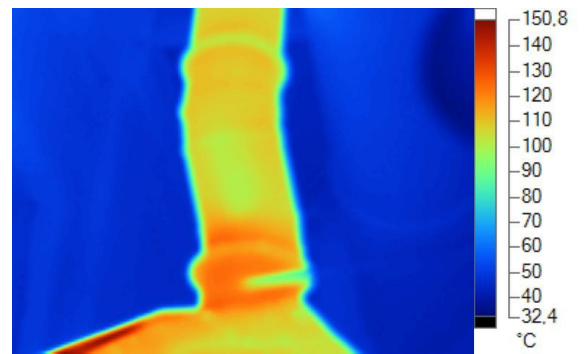
а



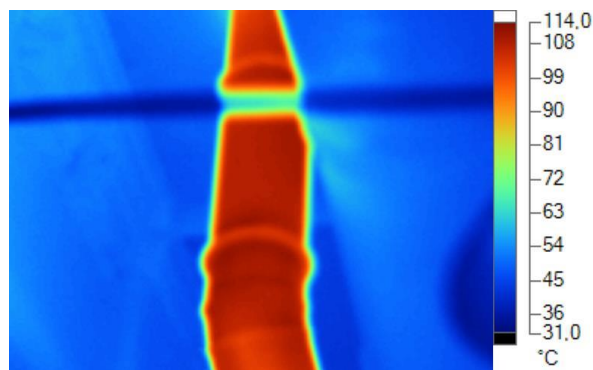
б



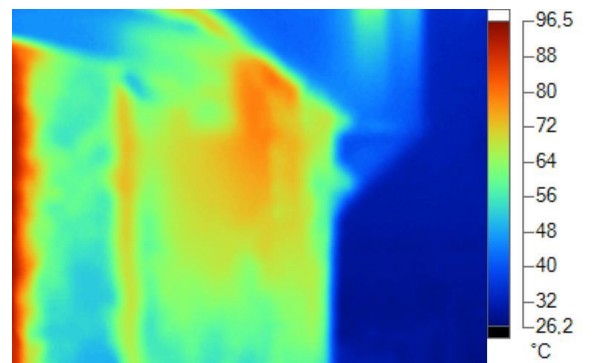
в



г



д

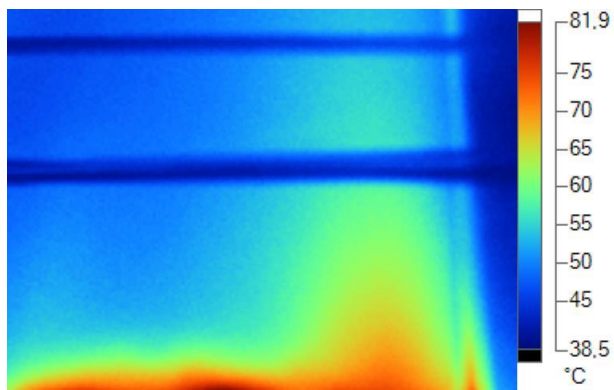


е

Рисунок 2.4 – Термограма промислової печі.

					6.144.01 ВР.00ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

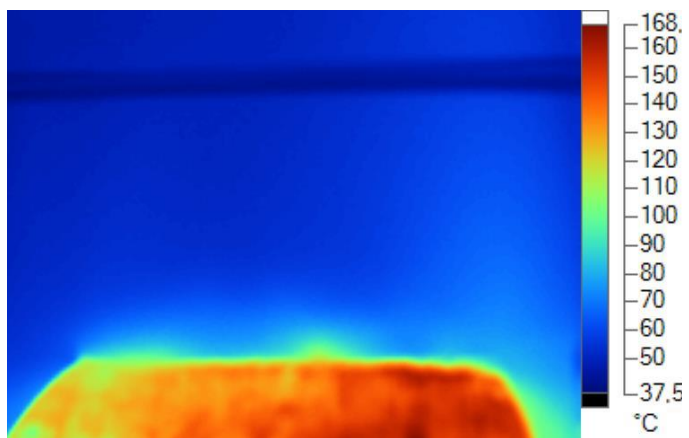




а



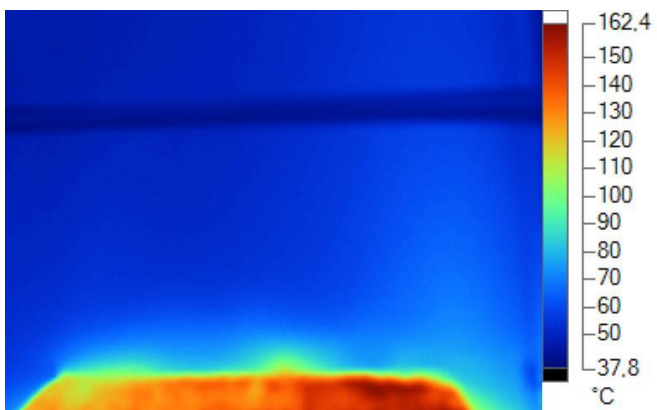
б



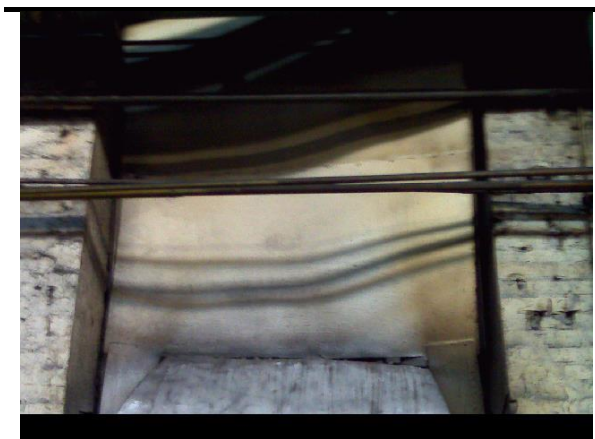
в



г



д



е

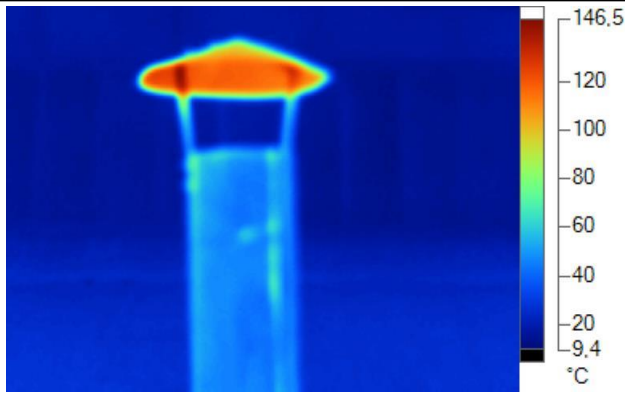
Рисунок 2.5 – Термограма промислової печі

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

6.144.01 ВР.00ПЗ

Аркуш

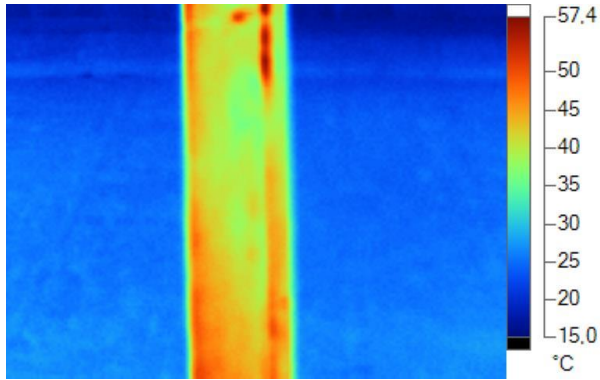
30



а



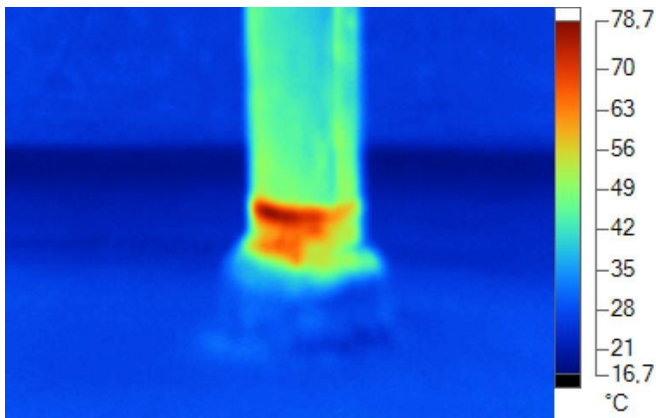
б



в



г



д



е

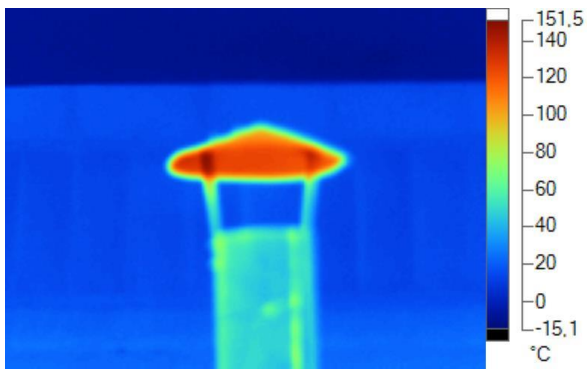
Рисунок 2.6 –Термограма димової труби.

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

6.144.01 ВР.00ПЗ

Аркуш

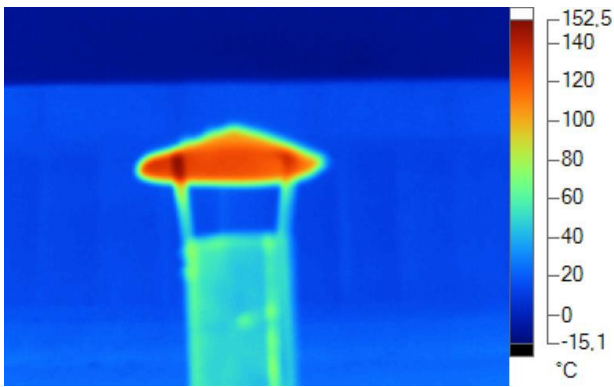
31



а



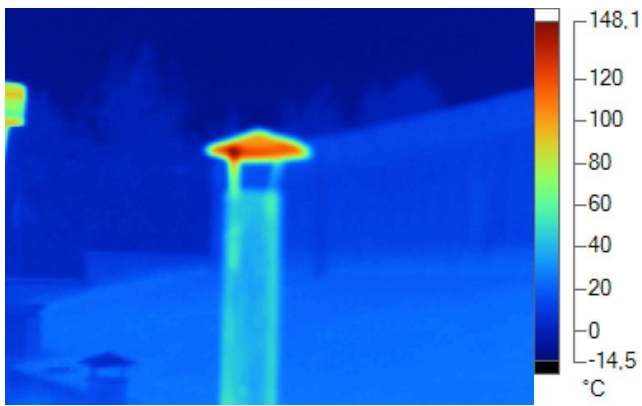
б



в



г



д

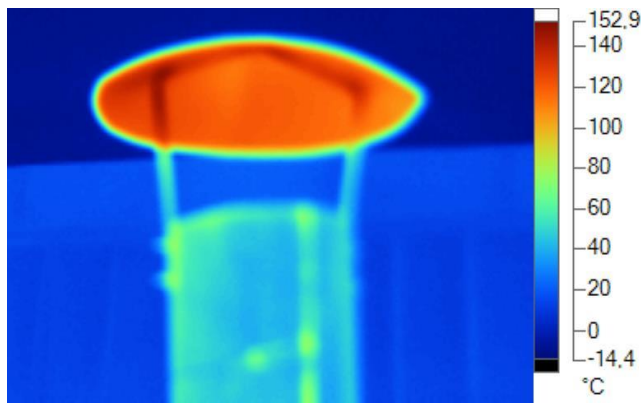


е

Рисунок 2.7 – Термограма димової труби.

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

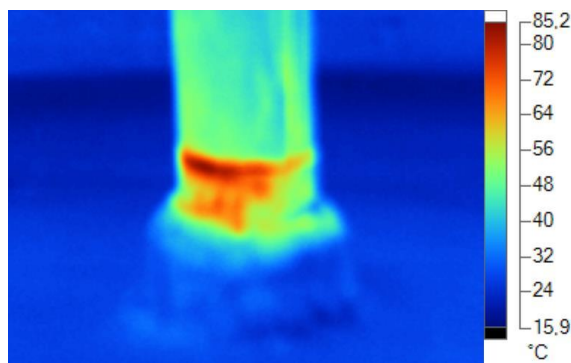




а



б



в



г

Рисунок 2.7 – Термограма димової труби.

З даних термограм видно що втрати тепла відбуваються через отвори, особливо у верхній зоні печі.

Проаналізувавши термограму можна дійти до висновку, що втрати тепла відбуваються через не тільки через отвори, але й через саму піч.

З даних термограм видно що втрати тепла відбуваються через стіни, а саме там де знаходяться опалювальні прилади. Втрати тепла відбуваються в нижній частині печі там, де є вхід газової мережі.

З даних термограм 2.4 видно що втрати тепла відбуваються через отвори. Це є наслідком значної втрати та нерегульованістю системи тепlopостачання. З термограм. 2.1б видно що частина тепловтрат приходить на порушення конструкції труби вихідних газів.

					6.144.01 ВР.00ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

## 2.4 Висновок до розділу

Проведена теплозаційне обстеження встановлено:

- великі витрати через отвори печі;
- втрати через труби вихідних газів;
- виявлені дефекти конструкцій печі та димовій труби.

					6.144.01 ВР.00ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

## 3 ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ

### 3.1. Створення тривимірної моделі

Для проведення чисельного експерименту моделі теплового стану печі була створена тривимірна модель приміщення за допомогою програмного продукту SolidWorks (рис. 3.1).

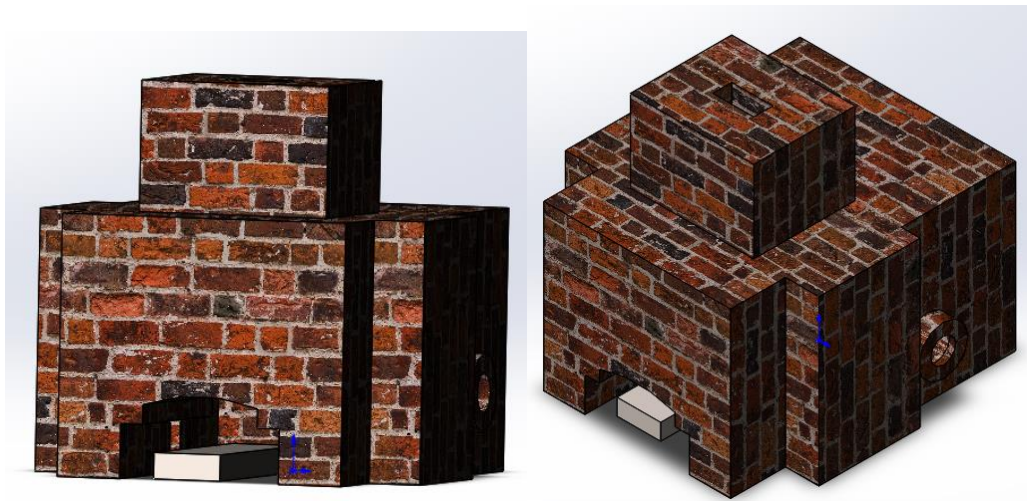


Рисунок 3.1 – Тривимірна модель печі

При створенні тривимірної моделі приміщення структуру печі намагалися наблизити до реальних умов. Було спроектоване піч з габаритними розмірами (6 × 8 × 6м). При створенні тривимірної моделі приймалися деякі спрощення (ідеалізація моделі), виключалися ті елементи, які не суттєво впливають на результати експерименту, які важко передбачити або реалізувати, саме не враховувався вплив дрібних об'єктів.

### 3.2 Побудова розрахункової сітки

Побудова розрахункової сітки являється невід'ємною частиною процесу комп'ютерного інженерного моделювання (створення чисельної моделі). Якість розрахункової сітки впливає на точність отриманих результатів, збіжність процесів,

					6.144.01 ВР.00ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

об'єм необхідних ресурсів, які будуть затрачені комп'ютером (об'єм оперативної пам'яті) та час необхідний для вирішення задачі [4].

Після створення тривимірної моделі розрахункової області будувалася розрахункова сітка. Для побудови розрахункової сітки використовувався генератор сіток ANSYS AUTODYN, у який була імпортована раніше створена геометрія тривимірної моделі розрахункової області з SolidWorks (рис. 3.2).

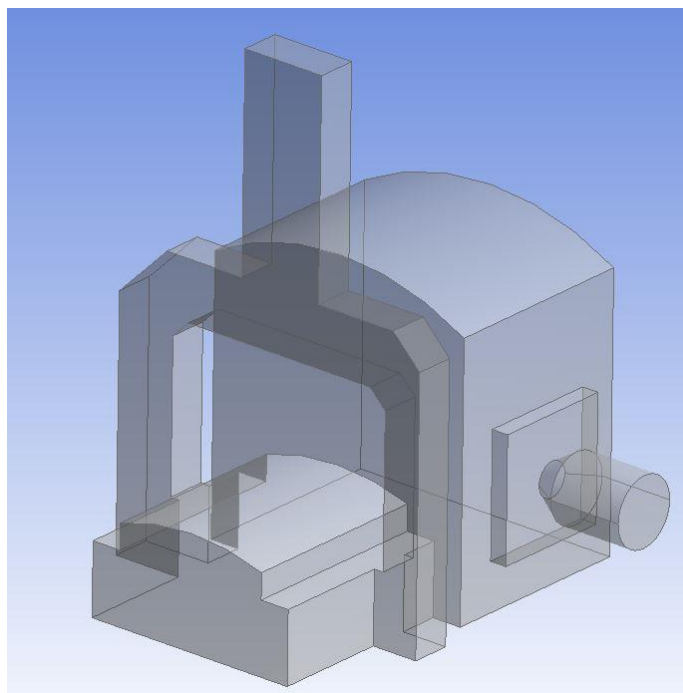


Рисунок 3.2 – Геометрія розрахункової області.

Оскільки геометрія розрахункової області є достатньо складною то вона розбивалась на блоки.

Для більш коректного описання пристіночної течії поблизу твердих стінок (місце контакту повітря з твердою поверхнею) проводилося згущення комірок, при чому чим ближче до стінки тим комірки більш дрібніші, а чим ближче до внутрішньої зони розрахункової області тим вони крупніші. Крім того для підвищення якості сітки виконаний плавний перехід від комірок малого розміру до великого (рис. 3.3) [4].

					6.144.01 ВР.00ПЗ	Аркуш
						36
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

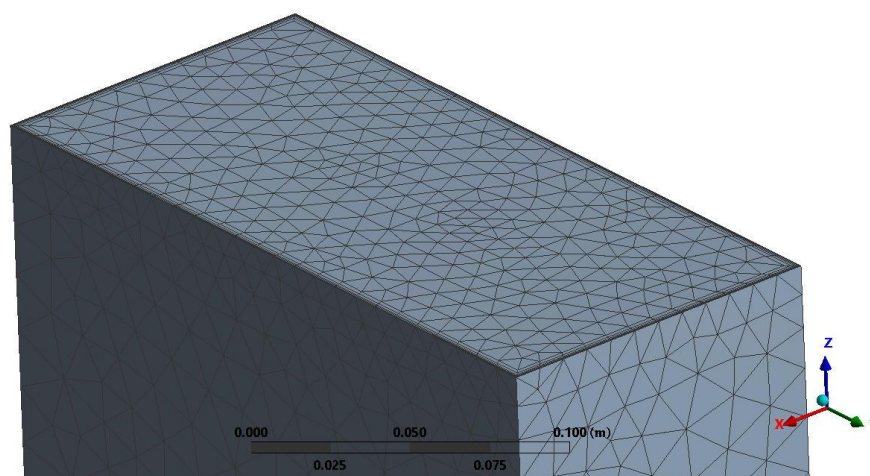


Рисунок 3.3 – Вигляд розрахункової сітки поблизу твердих стінок

Якість побудованої розрахункової сітки була перевірена засобами візуалізації на наявність візуальних помилок в прообразі розрахункової сітки (наявність занадто вузьких витягнутих комірок, вироджених та скошених комірок), при цьому помилки не виявлені, а це означає, що побудована сітка достатньої якості. Для більш детальної перевірки використовувався пакет опцій ANSYS AUTODYN. Були побудовані параметри якості за допомогою яких можна виявити неявні помилки в прообразі розрахункової сітки. Для оцінки якості використовувалися наступні критерії: determinant (детермінант), angle (кут між гранями комірок), aspect ratio (коефіцієнт пропорційності), параметр детермінант (determinant) характеризує співвідношення сторін стінок гексаедра (рис. 3.4) [5].

Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	2.7163e-003
<input type="checkbox"/> Max	1.
<input type="checkbox"/> Average	0.46018
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0.40052

Рисунок 3.4 – Параметри якості (детермінант)

Відношення довжини сторін стінок гексаедра повинно бути не меншим за 0,3 [4]. У нашому випадку мінімальне значення такого відношення складає 0,45, що унеможливило появу видовжених комірок, які впливають на якість розрахунку. Тобто дані параметри показує, що якість сітки є задовільною.

Перевіряємо кут між гранями комірок (рис. 3.5) [5].

Mesh Metric	Maximum Corner Angle
<input type="checkbox"/> Min	60. °
<input type="checkbox"/> Max	158.73 °
<input type="checkbox"/> Average	83.583 °
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	16.852 °

Рисунок 3.5 – Параметри якості (кут між гранями комірок)

Для отримання задовільної якості розрахункової сітки параметр angle (кут між гранями комірок) повинен бути не меншим за 9° [4]. Аналіз даної діаграми показує, що найменший кут між гранями комірок складає 60°, що стверджувати про відсутність скошених комірок [4].

Витягнутість контрольних об'ємів гексаедрів визначається за допомогою критерію якості aspect ratio (коефіцієнт пропорційності) (рис. 3.6).

Mesh Metric	Aspect Ratio
<input type="checkbox"/> Min	1.1581
<input type="checkbox"/> Max	606.95
<input type="checkbox"/> Average	44.249
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	72.103

Рисунок 3.6 – Діаграма якості (коефіцієнт пропорційності)

Коефіцієнт пропорційності – це максимальне значення відношення площ граней комірок (відношення довжини елемента до його товщини), показує як витягнутий контрольний об'єм, згідно рекомендацій його значення має бути не меншим за 1. Дана діаграма задовольняє умови якості [5].



Вигляд розрахункової сітки в продукті ANSYS AUTODYN представлений на (рис. 3.7).

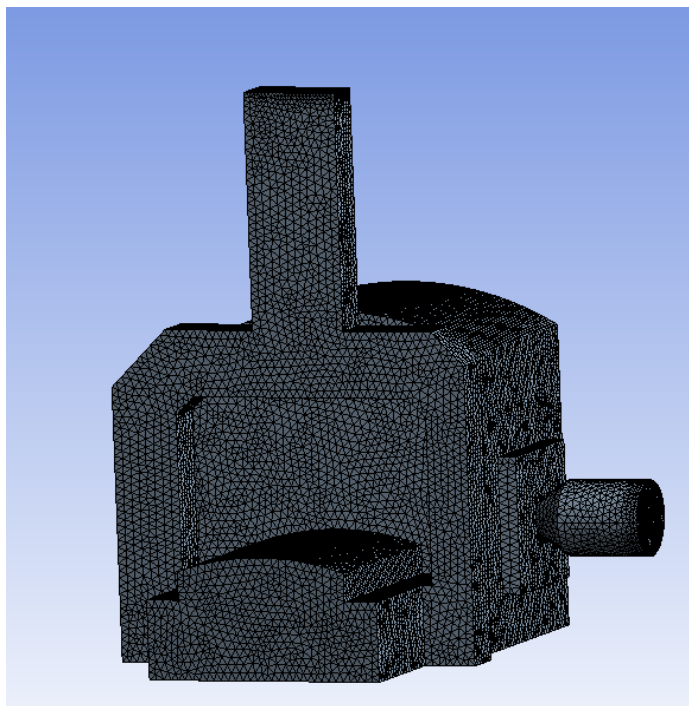


Рисунок 3.7 – Вигляд розрахункової сітки

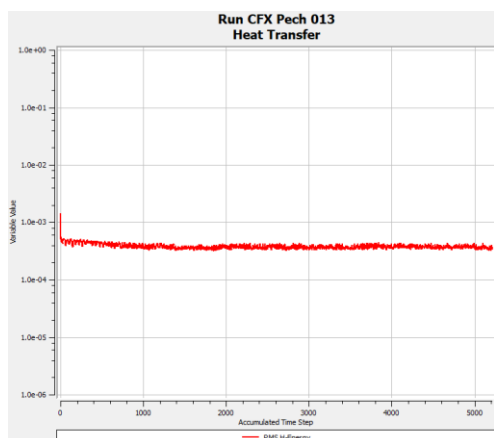
Основні параметри отриманої розрахункової сітки:

- кількість елементів – 504408 шт;
- кількість вузлів – 173792 шт.

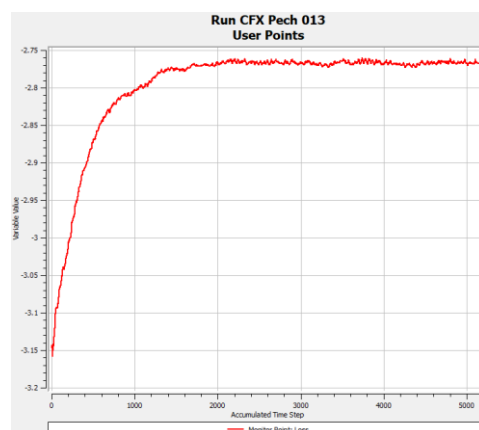
					6.144.01 ВР.00ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

### 3.3. Проведення комп'ютерного розрахунку

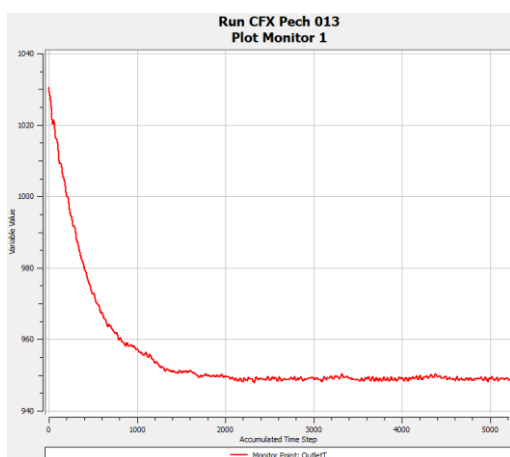
Після задання вихідних даних до задачі з моделювання теплового стану проводиться процес розрахунку, який потребує великих затрат комп'ютерного часу. Для проведення розрахунків використовувалась комп'ютерна програма CFX-Solver Manager 13.0. Дана програма представляє собою ітеративний обчислювач, який вирішує задані в розрахунковій моделі рівняння методом поступових наближень. Спочатку була вирішена дана задача в стаціонарній постановці. Контроль за вирішенням заданих рівнянь проводився візуально (рис. 3.8).



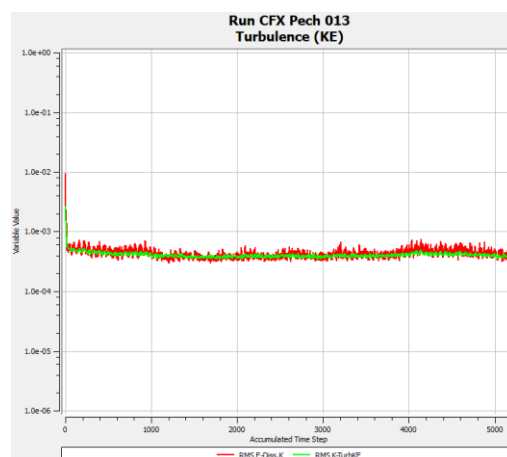
а) теплопередача



б) аеродинамічні втрати



в) температура



г) турбулентність

Рисунок 3.8 – Контроль за вирішенням рівнянь.



Було задане значення критерію точності вирішення рівнянь  $1.0e-04$  ( $10^{-4}$ ) по середньоквадратичному відхиленню (RMS), що є достатнім для інженерних розрахунків. Після вирішення задачі в стаціонарній постановці результати стаціонарного розрахунку були прийняті як початкові наближення нестационарної задачі для отримання більш точних даних та пришвидшення процесу обчислення [5].

### 3.4 Висновок до розділу.

Було побудовано 3D модель за допомогою програми SolidWorks. Розроблено розрахункову модель, що дозволяє отримати інформацію про розподіл температури, швидкості руху повітря, наявність вихроутворень та зон застою в процесі прогрівання приміщення

Для побудови розрахункової сітки використовувався генератор сіток ANSYS AUTODYN, у який була імпортована раніше створена геометрія тривимірної моделі розрахункової області з SolidWorks.

Якість побудованої розрахункової сітки була перевірена засобами візуалізації на наявність візуальних помилок в прообразі розрахункової сітки (наявність занадто вузьких витягнутих комірок, вироджених та скошених комірок), при цьому помилки не виявлені, а це означає, що побудована сітка достатньої якості. Здійснена перевірка розрахунку сітки на детермінант параметр якості, коефіцієнта пропорційності, куту між ними. Встановлено що побудована сітка відповідає параметрам.

					6.144.01 ВР.00ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

## 4. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ

### 4.1. Загальний аналіз результатів розрахунків

В результаті чисельного дослідження математичної моделі теплового стану печі були отримані основні параметри в розрахунковій області при виході на стаціонарний режим процесу складної тепловіддачі (тобто за досягнення максимальної і стабільної у часі температури повітря). Основні гідромеханічні та теплофізичні параметри були осереднені по об'єму розрахункової області. В табл.4.1 наведені основні геометричні, гідромеханічні, теплофізичні та оптичні параметри розрахункової області при досягненні стаціонарного режиму (теплової рівноваги).

Таблиця 4.1 – Основні геометричні, гідромеханічні та теплофізичні параметри розрахункової області

Назва параметру	Розмірність	Чисельне значення
Ширина печі	м	2,13
Висота печі	м	2,45
Довжина печі	м	2,09
Густина	$\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$	1.2840
Динамічна в'язкість	$\frac{\text{КГ}}{\text{М} \cdot \text{С}}$	$1.7250 \cdot 10^5$
Швидкість	$\frac{\text{М}}{\text{С}}$	$4,0071 \cdot 10^{-1}$

Продовження таблиці 4.1

1	2	3
Коефіцієнт теплового розширення	$K^{-1}$	$3,66 \cdot 10^{-3}$
Коефіцієнт теплопровідності повітря	$\frac{Вт}{м \cdot К}$	$2,48 \cdot 10^4$
Питома теплоємність повітря ( $p = const$ )	$\frac{Дж}{кг \cdot К}$	$1.003 \cdot 10^3$
Число Рейнольдса ( $Re$ )	-	$2,428 \cdot 10^{-2}$
Число Прандтля ( $Pr$ )	-	$7,131 \cdot 10^{-1}$
Число Грасгофа ( $Gr$ )	-	
Число Релея ( $Ra$ )	-	$7,141 \cdot 10$
Абсолютний коефіцієнт розсіювання	$м^{-1}$	
Адвективний час	с	$2,086 \cdot 10$
Середньо об'ємна температура	$^{\circ}C$	$8,62 \cdot 10^2$

Для оцінки більш повної картини процесів, які відбуваються в печі при різних типах опалення, окрім параметрів осереднених по об'єму розрахункової області наведемо максимальні та мінімальні значення основних розрахункових параметрів в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Максимальні та мінімальні значення параметрів розрахункової області

Назва параметру	Розмір- ність	Піч	
		min	max
Статична ентропія	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$1,09 \cdot 10^3$	$1,82 \cdot 10^3$
Швидкість U (координата X)	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	-7,85	7,93
Швидкість V (координата Y)	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	-1,131	1,132
Швидкість W (координата Z)	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	-7,24	1,149
Тиск	ат	1,01	1,01
Турбулентна кінетична енергія	-	$1,50 \cdot 10^{-4}$	$1,43 \cdot 10^{-1}$
Турбулентна в'язкість	Па · с	$1,17 \cdot 10^{-5}$	$3,26 \cdot 10^{-2}$
Статична ентальпія	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$5,41 \cdot 10^5$	$1,41 \cdot 10^6$

Отримані значення швидкостей по трьом просторовим координатам дозволяють охарактеризувати особливості руху повітря в печі. Значення швидкостей руху повітря по координатам X та Z (по ширині та довжині приміщення) змінюються в незначному діапазоні. Значення швидкостей по координаті Y (по висоті печі) мають значні коливання. Така різниця швидкостей обумовлена тим, що різниця температур поверхонь тепловіддачі та повітря значно більша. Тобто більша різниця температур (температурний напір) інтенсифікує процес вільної термогравітаційної конвекції, виникає більша різниця густини повітря в різних точках і нагріте повітря швидше піднімається вгору (вздовж координати Y).

## 4.2. Аналіз результатів розрахунків при різних температурах робочого процесу промислової печі.

Проведемо візуалізацію розподілу температури по об'єму печі (стан теплової рівноваги) при 800°C та 1000 °C рис. 4.1 та рис. 4.2.

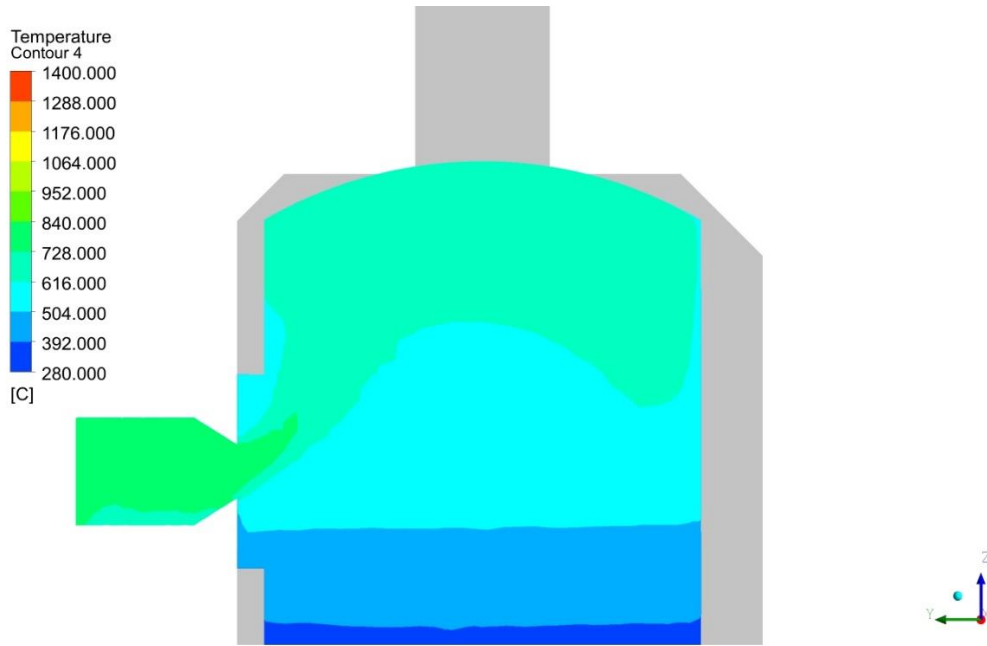


Рисунок 4.1 – Розподіл температури по об'єму печі при подачі в 800°C.

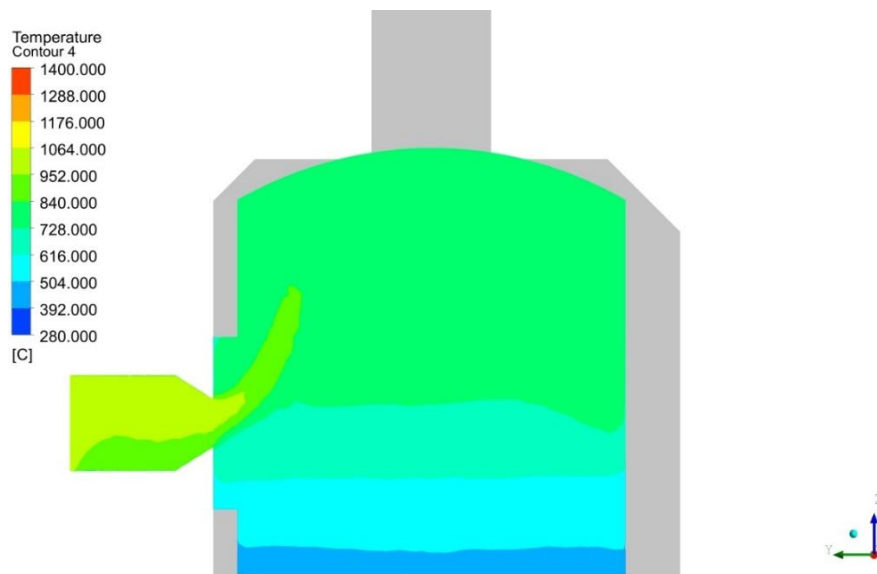


Рисунок 4.2 – Розподіл температури по об'єму печі при подачі в 1000°C.

					Аркуш
					45
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	

З даних рисунків помітно два важливі фактори. По-перше температура повітря зростає по висоті. Цей фактор пов'язаний із явищем термогравітаційної конвекції та впливом поверхні. По-друге температура повітря в приміщенні нижча зі сторони нижньої частин печі. Це пов'язано з тим, що нагріте поверхнею тепловіддачі повітря піднімаючись вгору треться по поверхню стіни. Проведемо візуалізацію розподілу температури по об'єму печі (стан теплової рівноваги) при 1200°C та 1400 °C рис. 4.3 та рис. 4.4.

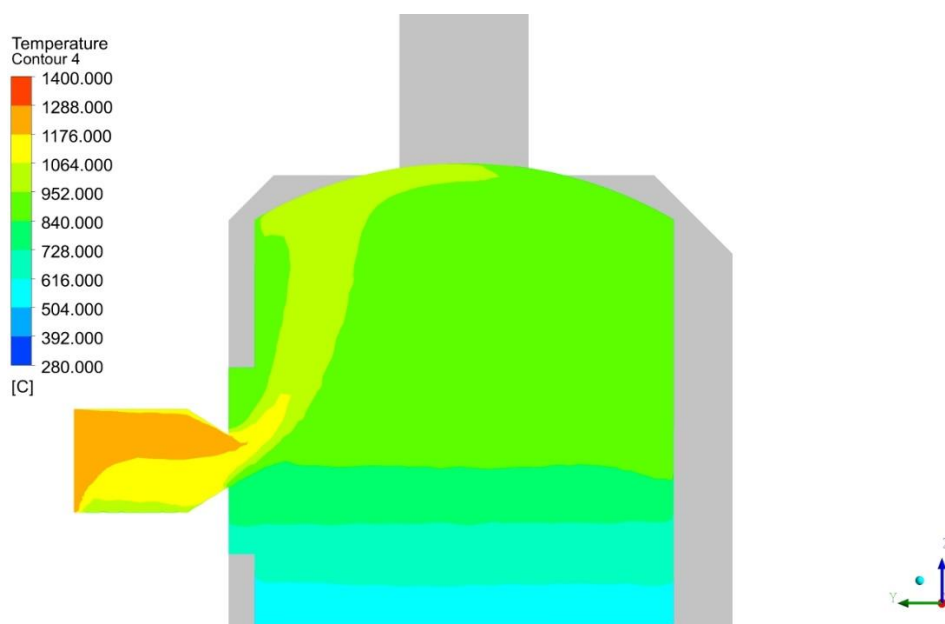


Рисунок 4.3 – Розподіл температури по об'єму печі при подачі в 1200°C.

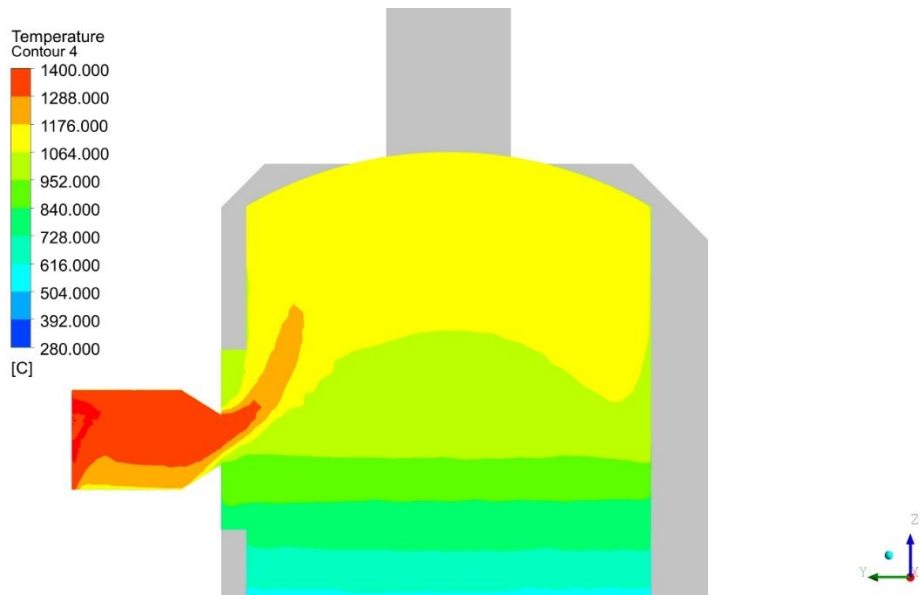


Рисунок 4.4 – Розподіл температури по об’єму печі при подачі в 1400°C.

Розподіл температури в об’ємі печі тісно пов’язаний із характером руху повітря, його швидкістю, зонами вихроутворення та застою.

Тому наведемо візуалізацію швидкості руху повітря в об’ємі печі в стаціонарному режимі рис. 4.5, 4,6, 4,7 та 4,8. Так як різниця температур поверхні тепловіддачі в печі значна то процес термогравітаційної конвекції є інтенсивним.

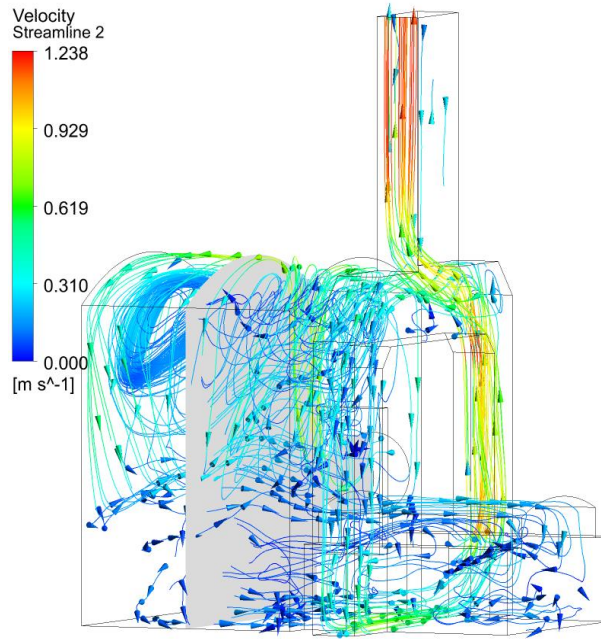


Рисунок 4.5 – Швидкість руху повітря в об'ємі печі при подачі 800°C.

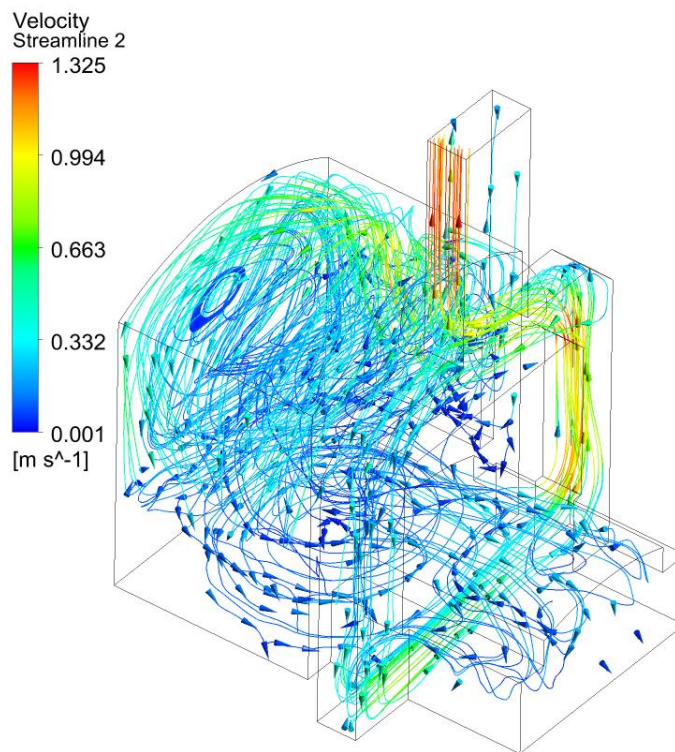


Рисунок 4.6 – Швидкість руху повітря в об'ємі печі при подачі 1000°C.



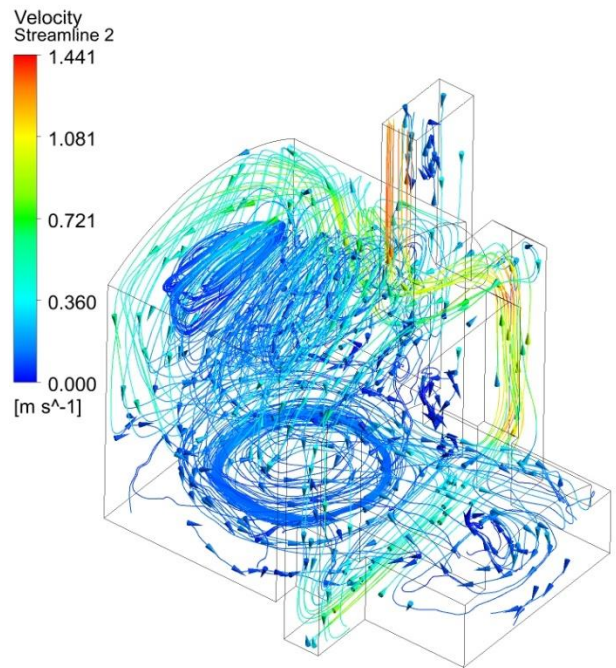


Рисунок 4.7 – Швидкість руху повітря в об'ємі печі при подачі 1200°C.

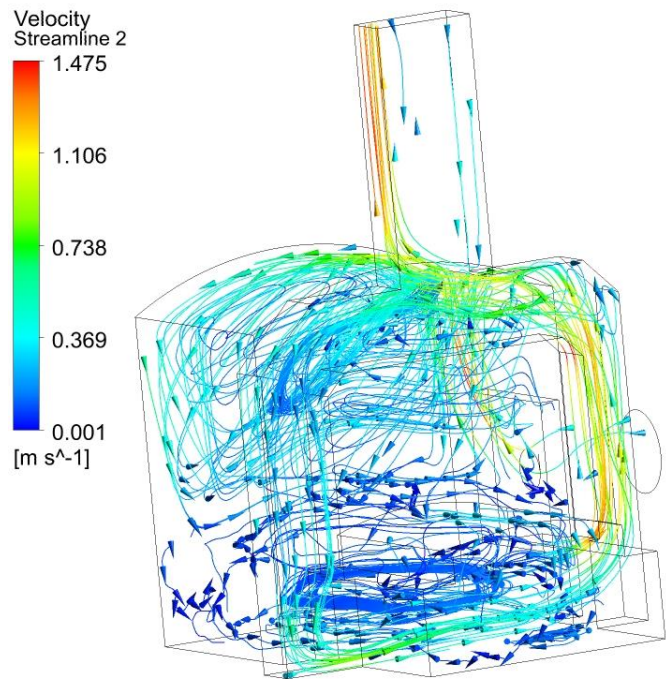


Рисунок 4.8 – Швидкість руху повітря в об'ємі печі при подачі 1400°C.

На рисунках можна побачити, що швидкість повітря при різних температурах таких як на рис 4.9 та 4.10 майже однакова.

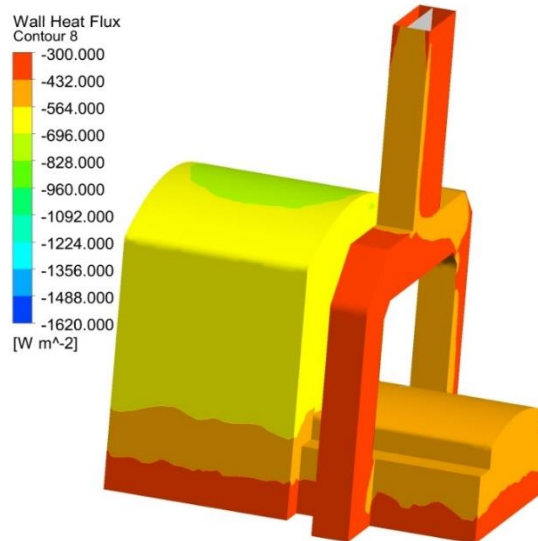


Рисунок 4.9 – Розподіл температури по стінкам при температурі 800°C.

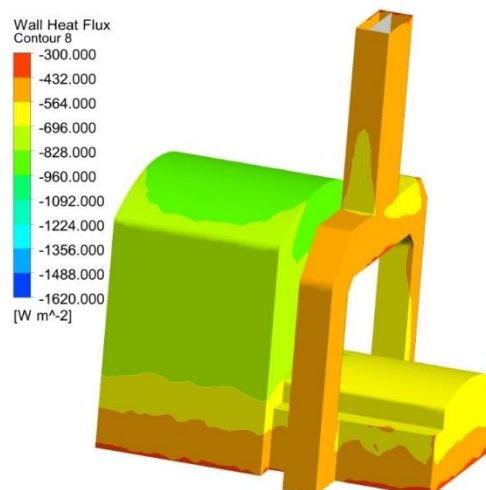


Рисунок 4.10 – Розподіл температури по стінкам при температурі 1000°C.

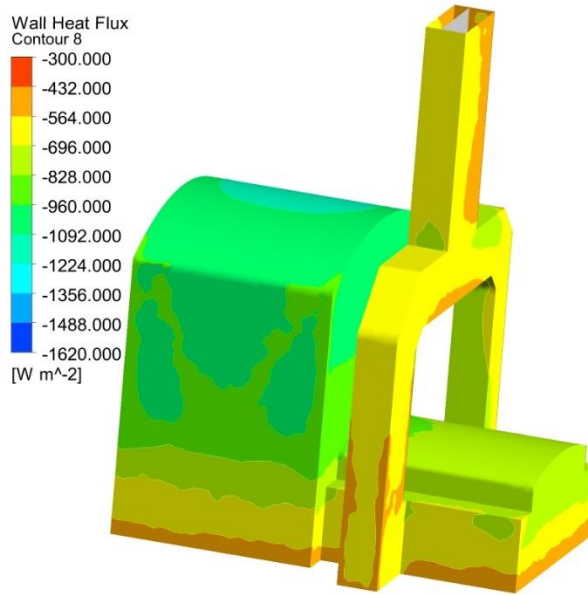


Рисунок 4.11 – Розподіл температури по стінкам при температурі 1200°C.

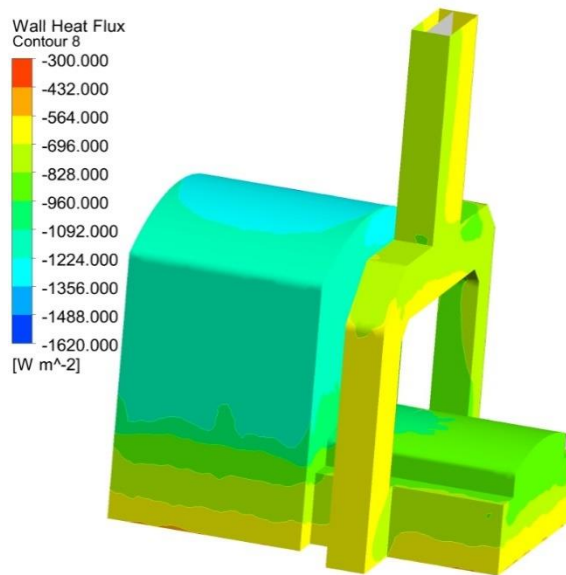


Рисунок 4.12 – Розподіл температури по стінкам при температурі 1400°C.

Візуалізація розподілу температури по стінам печі підтверджує те, що розподіл є нерівномірним. По висоті печі можна виділити декілька температурних зон, які в процесі прогрівання дещо змінюють свої розміри.

#### 4.3. Висновок до розділу

Був проведений розрахунок при різних температурах в робочому процесі промислової печі, а саме при температурах вхідних газів 1400 °С, 1200°С, 1000°С та 800°С.

Проаналізовано розподіл температурних полів та полів швидкостей руху повітря в залежності від заданої температури.

Також отримані результати та подальші дослідження нестационарних процесів прогрівання печі можуть бути в майбутньому використані при розробці систем автоматичного регулювання систем опалення.

						Аркуш
						52
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

## 5. РЕКУПЕРАТОРИ ДЛЯ ПРОМИСЛОВИХ ПЕЧЕЙ.

### 5.1. Характеристика рекуператорів промислових печей

Одним з найбільших споживачів палива в країні є виплавні печі промислових підприємств. Вони, як правило, мають низький тепловий ККД, що не перевищує 20-30% через великі втрати тепла з відходами продуктів горіння, які досягають 50-60% від кількості тепла, що виробляється в печі. Ефективним способом підвищення доцільності теплової технології обладнання є використання тепла продуктів згорання відходів в енерготехнальних цілях - вторинних енергоресурсів [9].

Промислові печі - це агрегати, які використовують ті високотемпературні продукти, що спалюють органічне опалення. У теплових печах температура нагріву металу становить 800-1000 °С (без урахуванням відпускних печей), а температура димових газів в робочому просторі не перевищує 850-1100 °С . У нагрівальних печах кінцева температура нагріву металу перед прокаткою, куванням до штампуванням коливається від 1100 до 1250 °С, а димових газів в робочому просторі печей від 1200 до 1450 °С. Температура димових газів з печей камерного типу наближається до кінцевої температури нагріву металу. У печах, де нагрівається метал рухається назустріч охолоджують димових газам, температура димових газів трохи нижче наведеної і становить для термічних прохідних печей приблизно 500-700 ° С і для нагрівальних методичних печей близько 700-1100 °С. Техніко-економічні показники печей вказані в таблиці 5.1 [6].

						Аркуш
						53
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1 Техніко-економічні показники печей

Показників	Печі безперервної дії		Періодичні печі	
	термічні	нагріванні	термічні	нагріванні
Температура нагрівання, °С	650-1000	1000-1300	650-1000	1000-1300
Перепад температур по об'єму заготовок, S	15	30	20	5
Тепловтрати на одиницю продукції, МДж/кг	1,26-1,64	1,55-1,68	1,42-3,54	2,26-4,44
Теплоєфективність печі, %	36-47	44,5-48,1	16,3-40,5	19,5-38

Таблиця 5.2 Максимальні втрати тепла в теплових балансах основних металургійних процесів.

Металургійний процес	Максимальні втрати тепла, %
Сталеливарна промисловість	
Агломерація:	
- з повітряним охолодженням агломерату	32,0
- з вихідними газами агломашин	12,2
Мартенівський процес:	
- з продуктами горіння	48,5
- з охолоджуючою водою	8,4
Процес виплавки електросталей:	
- з газами електропечі	17-25
Конвертерний процес:	
- з конвертерними газами	50
Нагрів металу (методична піч):	
- з продуктами горіння	37,7
- з охолоджуючою водою	17,2
Нагрівні колодці:	
- з продуктами горіння	40-50
Коксування.	
- з коксом при вивантаженні	37,2
- з продуктами згоряння палива	21,2

Продовження таблиці 5.2.

Кольорова металургія	
Агломерація свинцевих концентратів:	
- з газами, що відходять	40,0
- Випал концентрату в печах киплячого шару:	
- з газами, що відходять	31,5
- з охолоджуючим агентом	36,1
Плавлення мідних концентратів в печі:	
- зі шлаком	29,1
- з газами, що відходять	36,1
- втрати в навколишньому середовищу	17,2
Металургійний процес	Максимальні втрати тепла, %
Киснево-факельна плавка мідних концентратів:	
- зі шлаком	18,9
- з газами, що відходять	28,3
- втрати в навколишньому середовищу	16,1
Плавлення мідних концентратів у печах Ванюкова:	
- зі шлаком	17,1
- з газами, що відходять	26,3
- втрати в навколишньому середовищу	18,2



Продовження таблиці 5.2.

Плавання мідних концентратів в шахтних печах аутогенного виплавки:	
- зі шлаком	29,5
- з газами, що відходять	34,4
- втрати в навколишньому середовищу	17,0
Конвертування мідного штейну:	
- зі шлаком	31,5
- з газами, що відходять	35,4
- втрати в навколишньому середовищу	12,6
Опалення в палаючих печах:	
- з газами, що відходять	56,7
- втрати в навколишньому середовищу	20,8
Отримання алюмінію з електролізом:	
- з готовим продуктом	44,1
- втрати в навколишньому середовищу	42,2
Отримання електролізу цинку:	
- з готовим продуктом	61,5
- з охолоджуючим агентом	30,1
Плаваючі мідних концентратів в рудно-термічних електропечах:	
- зі шлаком	40,5
- з газами, що відходять	6,1
- з охолоджуючим агентом	12,4

Основне технологічне призначення нагрівальних печей - нагрів металу для його подальшої обробки тиском. Для нормальної роботи печі з температурою нагріву 1150-1250 °С різниця між кінцевою температурою металевого нагріву і температурою в робочому просторі печі становить 100-150 °С, а в швидкісних печах опалення навіть 250-300 °С . Температуру в робочій печі, що дорівнює 1400-1500 °С, можна отримати, спалюючи природний газ тільки в тому випадку, якщо повітря нагрівається, яке використовується на стані верби, до 300-400 °С [8].

Перевагою штовхаючих печей є те, що штовхання є найпростішим і найдешевшим способом транспортування металу через піч. Недоліком цього способу є те, що при переміщенні заготовки натирають один проти одного і на стручку, що погіршує якість поверхні металу. За рахунок зворотно-форвардного руху рухомих балок заготовки переміщуються в кінець випуску і там витягують з печі механізм видачі шматка. Водяні ролети використовуються, щоб уникнути всмоктування холодного повітря і продуктів згоряння в тріщинах між пішохідними балками.

Основними недоліками печей з степовими-12мм балками є висока вартість будівництва і складність експлуатації, пов'язана з використанням складних механізмів стручка [9].

Ефективність рекуператорів металу можна підвищити, активізувавши в них процеси теплообміну. Однак завдання підвищення теплової ефективності рекуператора не може розглядатися ізольовано від поліпшення інших техніко-економічних показників, таких як компактність і технологія виготовлення, енергетичні витрати на рух повітря і продуктів згоряння, витрата термостійкої сталі, необхідність установки додаткового обладнання на піч [9].

						Аркуш
						58
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

## 5.2 Характеристика рекуператорів для промислових печей.

Рекуператор - теплообмінний апарат, що слугує для передачі теплоти від одного газу до іншого через металеву чи керамічну стінку при стаціонарному, безупинному тепловому режимі. Основними вимогами, які висуваються до рекуперативних пристроїв є: забезпечення максимального ступеня утилізації теплоти високотемпературних димових газів, компактність конструкції, інтенсивність теплопередачі, низький гідравлічний опір, достатня герметичність.

Основними недоліками теплообмінних апаратів рекуперативного типу є: низька вогнестійкість металічних теплообмінників та низька газощільність керамічних рекуператорів, а також втрати теплоти через нещільності між двома сторонами теплоносіїв. Матеріали з яких виготовляються металеві рекуператори: сірий чавун, вуглецева сталь, жароміцний чавун та сталь, які стійкі до значних діапазонів температур. Металеві рекуператори компактніші за керамічні та мають кращу герметичність, граничною температурою є 1000°C. Порівняльні характеристики різних типів рекуператорів вказані в таблиці 5.3.

Рекуператори для промислових печей класифікуються за способом передачі тепла поверхні (конвективної, і за видом матеріалів (металевих і керамічних), з яких готується теплообмінник [8].

Таблиця 5.3 Порівняльні характеристики різних типів рекуператорів

Тип рекуператора	Середнє співвідношення теплообміну, Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)
Керамічні	2,3-9,7
Карборунд, з поворотами	17,4-29

Продовження таб.5.3

Металевий, при великій швидкості руху повітря	11,6-19,8
1	2
Металевий, при високій швидкості руху повітря	19,8-31,4
Металевий з турбулізаторами, при великій швидкості руху повітря	40-58

Коефіцієнт теплообміну в рекуператорах металу в 6-8 разів вище, ніж в керамічному, тобто всі інші рівні, поверхня нагріву керамічного рекуператора в 6-8 разів більша за металеву. З урахуванням великої товщини стінок елементів керамічного рекуператора отримують, що обсяг керамічного рекуператора приблизно в 10-12 разів більше металевого.

Для обігріву і термічних печей для нагрівання повітря і газу використовуються металеві річки, а температура обмежується нагріванням, виходячи з довговічності металу, з якого готується відновлення.

Перевагою металевих рекуператорів є відсутність обов'язкового пристрою кнурів, так як їх добре розміщують на печах або близько печей, а іноді і в печах. Їх характеризує велика герметичність. Це дає можливість застосовувати в металевих рекуператорах підігривається вентиляторний або компресорний повітря (або газ) під великим тиском, подавати газоповітряну суміш в печі з більш високою швидкістю, забезпечувати більшу кратність циркуляції продуктів згоряння в робочому просторі печей і, як наслідок, більшу рівномірність температур в ньому [9].

Вони дозволяють використовувати тепло відхідних з печей газів з порівняно низькими температурами (приблизно 500-600 ° С), що значно

розширює сферу їх застосування в порівнянні з керамічними рекуператором і регенераторами.

До недоліків металевих рекуператорів відноситься невелика стійкість при високих температурах, менший термін служби в порівнянні з керамічними і більш низький температурний межа підігріву повітря. У рекуператорах з нелегованого металу повітря і газ підігривають 300-350°С , в рекуператорах з жароміцних сплавів до 600-800 ° С. Температура нагріву обмежується граничними умовами стійкості стали і кераміки до руйнування [6].

Матеріали, з яких виготовляються керамічні рекуператори: шамот або карборунду. Граничними температурами для ефективного застосування керамічних рекуператорів є 1300 ° С – 1400 °С. На вибір матеріалу рекуператору, окрім температури, впливають й інші фактори, що пов'язані з особливостями конструкції та експлуатації; компактність; газощільність. У металевих рекуператорів є вищим коефіцієнт теплопередачі у порівнянні з керамічними, завдяки малому тепловому опору стінок, що дозволяє передавати ту саму кількість теплоти повітря з меншою нагрівальною поверхнею, тому установки металевих рекуператорів є більш компактними.

Рекуперативні теплообмінники з керамічною стінкою мають більші габарити, характеризуються низькою газощільністю, що призводить значних втрат повітря, що надходить в рекуператори. У зв'язку з вище зазначеними особливостями експлуатації керамічних теплообмінників широкого застосування вони не знайшли, лише у випадках необхідності згідно технологічних регламентів високотемпературного нагрівання повітря. Основними типами рекуперативних апаратів є: кожухотрубні теплообмінники, теплообмінники типу «труба в трубі», спіральні (змійовикові) теплообмінники, пластинчасті теплообмінники. При експлуатації рекуперативних кожухотрубних теплообмінних апаратів

						Аркуш
						61
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

можливе використання будь-яких комбінацій теплоносіїв: рідина-рідина, газ рідина, газ-газ.

Загальним для всіх кожухотрубних теплообмінних апаратів є наявність значного числа труб (трубного пучка) і загального кожуха (корпусу), що охоплює трубний пучок. Перевагами кожухотрубного теплообмінника є резистентність до гідрударів в системі, можливість роботи з забрудненими середовищами, зносостійкість. Недоліками даного типу теплообмінних апаратів є відносно низький коефіцієнт теплопередачі і, як наслідок, великі габарити і площа, а також висока ціна через зростання показника металоємності. В основі теплообмінників типу «труба в трубі» є дві співвісно розташовані труби, в кільцевому проміжку яких рухаються теплоносії [10].

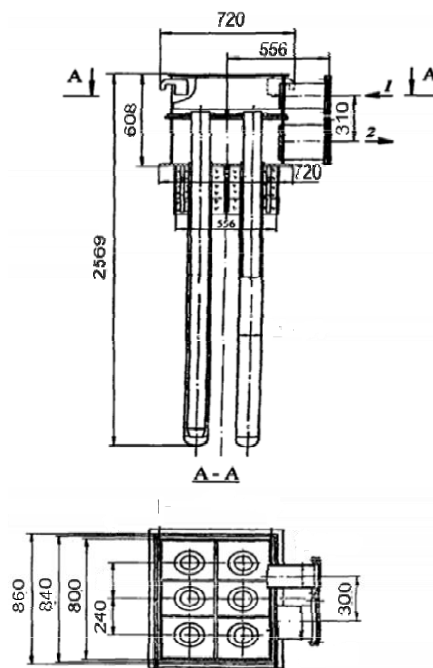


Рисунок 5.1 – Блок металевого рекуператора типу «Труба в трубі» з шести труб: 1 подача повітря; 2 повітряні стоки

					Аркуш
					62
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	

Кожухотрубні рекуператори (рисунок 5.2), призначені для нагріву повітря при температурі продуктів згоряння нижче  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ . У рекуператорі продукти згоряння проходять через пучок труб, а повітря рухається в міжтрубному просторі. Труби розташовані в три ряди по концентричних колах, укріплені в трубних дошках і укладені в циліндричний кожух. Повітря надходить у верхній колектор, обтікає труби і відводиться через нижній колектор. По ходу повітря встановлені перегородки, завдяки яким створюється протитечійний хід повітря.

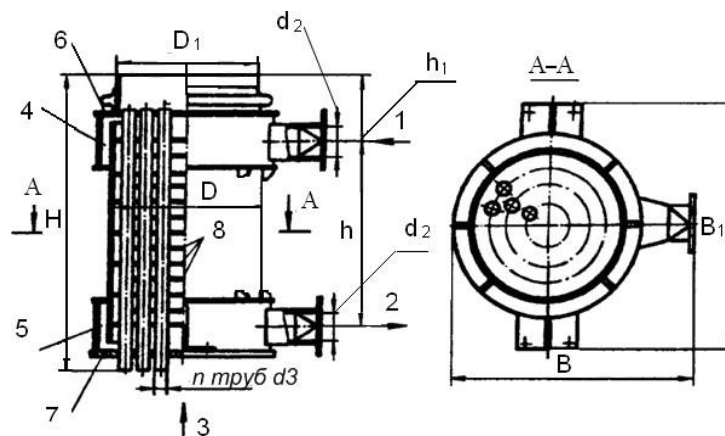


Рисунок 5.2 – Кожухотрубний рекуператор: 1 - підведення холодного повітря; 2 - відведення гарячого повітря; 3 - підводи продуктів згоряння; 4 - колектор холодного повітря; 5 - колектор гарячого повітря; 6 - верхня трубна дошка; 7 - нижня трубна дошка; 8 - перегородки

Недоліки висока металоємність, низька компактність, складність механічного очищення кільцевого зазору між трубами. Спиральні (змійовикові) теплообмінники складаються з плоских або кручених змійовиків, занурених в ємність з рідиною, що нагрівається. Такі теплообмінники широко застосовуються в різних галузях промисловості, в тому числі в схемах утилізації вторинних енергоресурсів.

Нагрівання може здійснюватися за рахунок конденсації пари в трубах, або гарячою водою.

					Аркуш
					63
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	

Основна перевага таких теплообмінників є: простота конструкції, недоліки – низька інтенсивність теплообміну, для підвищення якої вдаються до установки різних змішувальних пристроїв в ємності з рідиною, що нагрівається.

У пластинчастих теплообмінниках поверхня теплообміну утворюється пакетом пластин, кожна з яких, по периметру забезпечена ущільнювачами. Теплоносії рухаються в проміжках, утворених сусідніми пластинами. З метою інтенсифікації теплообміну і збільшення площі поверхні, пластини виконуються гофрованими.

Комбінація теплоносіїв може бути різноманітною: рідина-рідина, газ-рідина, газ-газ. Недоліком є недостатня герметичність і обмежений перепад тисків між теплоносіями. В основі роботи регенераторних теплообмінників є передавання за допомогою регенеративної насадки, яка складається з вогнетривкої цегли, у вигляді решітки, теплоти від гарячих відхідних газів до повітря чи газу, що нагрівається [9].

Тепловий режим регенераторів – періодичний, нестаціонарний, що є головною відмінністю від рекуперативного обладнання. Регенераторні теплообмінники працюють за наступним принципом: високотемпературні гази надходять до холодного регенератора, проходячи через нього, поступово нагрівають вогнетривку решітку, після цього подача гарячого повітря до регенераторної установки тимчасово призупиняється через розпечену решітку подається холодне повітря [8].

Температура повітря, що виходить з регенератора в початковий період є достатньо високою, а потім в міру охолодження вогнетривкої решітки поступово знижується. Значним недоліком регенеративного методу є неможливість підтримання постійної температури підігріву повітря, велика габаритність устаткувань. Таким чином, одним з основних критеріїв вибору теплоутилізаційного обладнання для вторинних енергоресурсів є його

						Аркуш
						64
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		



передбачувана ефективність, а також характер впливу режимних параметрів на основний робочий процес [7].

Рекуператор найбільш вразливий при циклічній роботі печі, планові та аварійні зупинки печі, зміни теплового навантаження призводять до різких коливань температури димових газів. Нерівномірне теплове навантаження, як за часом, так і по перетину димоходу можуть знизити термін служби рекуператора. При конструюванні рекуператорної установки вживають усіх заходів для того, щоб перед входом в рекуператор вирівняти температуру димових газів і повітря. Для цього при конструюванні рекуператорів слід керуватися по можливості тими ж правилами, якими керуються при установці в трубопроводах і каналах контрольно-вимірювальних приборів, т.д. Рекуператор слід встановлювати можливо далі від будь-яких місцевих опорів колін, поворотів, місць з різкою зміною перетину і, особливо від запірних органів засувки, дроселів, шиберів [14].

Якщо на шляху димових газів в більшості випадків можна влаштувати пряму ділянку в місці установки рекуператора, то на шляху руху повітря наявність колін, дифузорів і конфузорів в безпосередній близькості від входу повітря в елементи рекуператора майже у всіх випадках є неминучим. Необхідним є пристрій напрямних перегородок, лопаток і інших подібних конструкцій в повітряних рекуператорних коробах, колінах, перед ними тощо [14].

Практика показала, що установка напрямних перегородок дуже ефективна і сприяє усуненню газових мішків, вирівнюванню потоку і значного підвищення коефіцієнта нерівномірності [15].

						Аркуш
						65
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

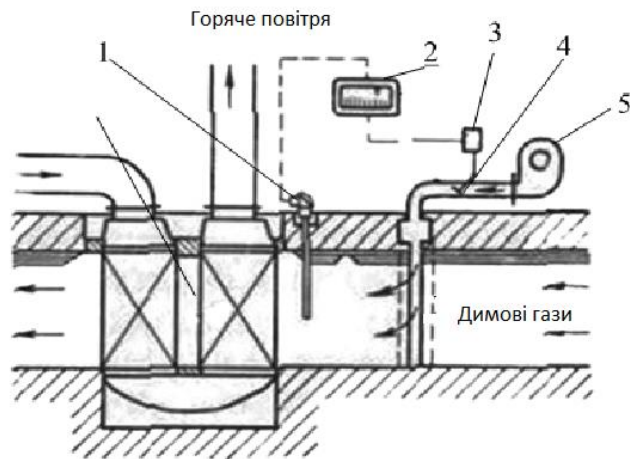


Рисунок 5.3 – Схема автоматичного регулювання розведення гарячих димових газів холодним вентиляторним повітрям:

1 - термоелектричний перетворювач; 2 - регулятор температури; 3 - мотор; 4 - дросельний клапан; 5 - вентилятор; 6 - двоходовий рекуператор

У печах, де бувають відносно рідкісні і нетривалі підвищення температури димових газів перед рекуператором, передбачають додаткове включення пристрою у вентилятор з тим, щоб останній працював тільки в разі потреби. У описану вище схему вводять сигнальний гудок або дзвінок, які сповіщають персонал, що обслуговує піч і рекуператор, про неприпустимо великих перепадах температури димових газів і ненормальною роботі схеми автоматичного розведення повітрям. Коли метал нагрівається в відновлювальній атмосфері і в димових газах є горючі складові (оксид вуглероду і ін.) Повітря, що подається для розведення, сприятиме спалювання горючих в димових газах і підвищення температури суміші. Тому підведення розбавляють повітря необхідно передбачати в зонах, досить віддалених одна від одної, з тим, щоб в одній зоні догорали горючі складові димових газів, а в іншій зоні знижувалася температура, необхідна для безпечної роботи рекуператора [14].

Рекуператор необов'язково вибирати на основі аналізу характеристик теплоносія (максимальна температура димових газів і повітря, коефіцієнт

					Аркуш
					66
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	

теплопередачі, температурні коливання, запиленість, хімія - склад тощо) і порівняння переваг і недоліків індивідуальних рекуператорів і економічності їх використання в цих специфічних умовах експлуатації печі.

Порівняльні рекомендації по вибору типу металевого рекуператора полягають в наступному. Рекуператор необхідно вибирати на основі аналізу характеристик теплоносія (максимальна температура димових газів і повітря, коефіцієнт теплопередачі, коливання температури, запиленість, хімічний склад і тощо).

У додатку Г наведені основні показники роботи металевих рекуператорів, складені за проектним і літературними даними. Великий інтерес представляють дані про термін служби (інтервал між капітальними ремонтами або заміною) рекуператорів різних типів. У цьому питанні є великі розбіжності і протиріччя. Це цілком зрозуміло, тому що термін служби рекуператорів залежить у великій мірі від якості обслуговування рекуператорів. Найменша маса металу, яка припадає на одиницю поверхні нагрівання (без урахування терміну служби рекуператора), характерна для рекуператорів з двусторонне- голчастих труб, сталевих гладкотрубний конвективних і радіаційних рекуператорів, а найбільша для термоблоків.

Чавунні голчасті рекуператори мають високу тепловою ефективністю і компактністю; їх елементи мають меншу, ніж у інших металевих рекуператорів газощільність внаслідок значного числа фланцевих з'єднань. Зі збільшенням габаритів голчастого рекуператора і з ростом числа фланцевих з'єднань газощільність зменшується. Застосування голчастих рекуператорів обмежується їх розміром або тепловою потужністю печі.

Збільшення температури димових газів в двосторонньо-гольчастих рекуператорі збільшує загальний коефіцієнт теплопередачі в результаті великого коефіцієнта теплопередачі конвекцією і щодо малого (внаслідок малих наведених діаметрів каналу) коефіцієнта теплопередачі випромінюванням. Рекуператори з гладких сталевих труб виконують досить

						Аркуш
						67
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

газощільних незалежно від їх розміру. Для великих рекуператорів потрібно застосовувати різні пристосування для компенсації розширення труб [7].

Вони мають порівняно тонкими теплопровідними стінками, вони швидко розігріваються, і тому в період розігріву на них менше відкладається сажистого вуглецю, ніж голчастих рекуператорах. Однак трубчасті рекуператори з вуглецевої сталі менш теплостійкі, ніж голчасті з сірого чавуну і більш великі. Теплостійкість всіх типів конвективних рекуператорів у них набагато нижче, вони мають порівняно тонкими теплопровідними стінками, вони швидко розігріваються, і тому в період розігріву на них менше відкладається сажистого вуглецю, ніж на термоблока і голчастих рекуператорах [15].

Радіаційні рекуператори досить теплоефективні, значно більш жаростійкі, ніж всі типи в конвективних рекуператорах і засміченні вони набагато нижче, ніж у конвективних рекуператорів, завдяки наявності відповідних вертикальних стінок димових каналів. Недостатком радіаційні регенератори з одномоторним нагріванням - громіздкість. За габаритами вони займають об'єм більше конвективного, з такою ж тепловою силою. Радіаційні рекуператори з двопалубні опаленням більше, ніж компактні. У разі установки рекуператора тільки з метою економії паливо є обов'язковою умовою, що рекуператор є самоокупним, а витрати на будівництво та експлуатацію рекуператора будуть покриватися за вартістю зекономленого палива [15].

У додатку В наведені приблизні рекомендації для рекуператора, встановлений з метою економії палива. Теплові печі (камерні і прохідні) мають температуру димових газів близько 600-800 °С, тобто температура перед рекуператором може бути не більше 550-700 °С. Для печей в даній категорії найкраще використовувати чавунові голки рекуперації, а також регенератори з гладких сталевих труб.

						Аркуш
						68
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Приблизні інтервали між очищенням рекуператора на печах з мінімальним запиленням і оптимальними елементами розсіювання по відношенню до димових газів наведені в таблиці 5.5

Таблиця 5.5 Часовий інтервал між чищенням рекуператора.

Рекуператор	Інтервал нагріву	
	чистий газ	Нафта або пиловий газ
Ігольчасті:		
3 труб типу 17.5	4 місяці.	15 днів
Тип 28 труб	6 місяців.	1 місяць.
3 труб з гладкою верхньою	6 місяців.	3 місяці.
У 2020 році в Україні було		
3 термічної печі	1 місяць.	15 днів
3 плити опалення	6 місяців.	1 місяць.
У 2020 році в Україні було		
3 гладких сталевих труб	6 місяців.	3 місяці.
Радіації	12 місяців.	6 місяців.

Зазвичай використовується механічна чистка з подальшим обдувом компресора повітрям або парою. Якщо пил на трубах рекуператорів пухкий, досить продути димову поверхню стисненим повітрям для очищення [14].

### 5.3. Техніко-економічне обґрунтування і підбір рекуператора.

Рекуперація теплоти, дозволяє економити до 30-40% споживаної енергії. В результаті, при тій же витраті палива кількість теплоти, одержуваної в процесі горіння, збільшується на 10-15%.

При рекуперації теплоти відхідних димових газів для зовнішніх споживачів економія палива в заміщаються котельні може бути розрахована також наступним чином [9].

$$v_{\Gamma} = v \cdot s,$$

де  $v$  – швидкість газу 0,2 м\с,

$s$  – площа вхідного сопла.

$$s = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 0,1^2}{4} = 0,00785 \text{ м}^2$$

$$v_{\Gamma} = 0,2 \cdot 0,00785 = 0,00157 \cdot 3600 = 5,65 \text{ м}^3 \text{ \год,}$$

$$\Delta Q = V_{\Gamma}^0 \cdot c_{\Gamma} \cdot t_{\Gamma} - c_{\Gamma} \cdot t_{y\Gamma},$$

де  $c_{\Gamma}$  - теплоємність газу, 1,4 МДж/м<sup>3</sup>·°С,

$t_{\Gamma}$  – температура газу в робочому просторі печі, 1400°С,

$t_{y\Gamma}$  – температура відхідних газів, 280°С.

$$\Delta Q = 5,65 \cdot (1,4 \cdot 1400 - 1,4 \cdot 280) = 8859,2 \text{ МДж/год} = 2460,8 \text{ кВт.}$$

Економію палива  $\Delta B$ , м<sup>3</sup> / ч розрахуємо за формулою:

$$\Delta B = \frac{\Delta Q}{Q_{\text{H}}^P \cdot \eta_{ky}},$$

де  $Q_{\text{H}}^P$  - нижча теплота згоряння палива, 33,73 МДж\м<sup>3</sup>

$\eta_{ky}$  – КПД котельної установки 0,9

$$\Delta B = \frac{2460,8}{33,73 \cdot 0,9} = 81,06 \text{ тис. м}^3 \text{ \рік}$$

$$P_{\text{річ}} = \Delta B \cdot \text{Ц} = 81,8 \cdot 06 = 648480 \text{ грн}$$

Економія в рік становить 648480 грн.

					Аркуш
					70
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	

Таким чином, утилізація теплоти дозволяє значно економити паливо і є одним із шляхів зниження вартості нагріву металу в промислових печах. Доцільно прагнути до максимально можливої, економічно виправданою мірою утилізації.

Однак утилізація не може бути повною, так як збільшення поверхні нагрівання раціонально тільки до певних меж, після яких воно вже призводить до дуже незначного виграшу в економії теплоти.

Рекуператор встановлюється на шляху газів, що відходять, наприклад, з печі в димову трубу, а повітря в піч подається через суміжні порожнини рекуператора і нагрівається газами, що проходять уздовж нагрітих стінок.

Залежно від матеріалу, з якого зроблені елементи рекуператора, останні поділяють на металеві та керамічні [9].

Металеві рекуператори виготовляють з сірого чавуну, вуглецевої сталі, а також з жароміцних чавунів і сталей, добре протистояють дії високих температур. Металеві рекуператори значно компактніше керамічних, мають велику герметичність, проте мають зовсім невелику стійкість при високих температурах (від 600 ° С).

Елементи керамічних рекуператорів виготовляються з шамоту, карборунд і карбошамота. Цінною властивістю керамічних рекуператорів є можливість роботи в виробничих умовах при підігріві повітря понад 500-700°С. Істотним недоліком керамічних рекуператорів є низька газощільність, що тягне за собою зниження температури димових газів.

Рекуператори розрізняють за схемою відносного руху теплоносіїв - проти точні, прямоточні і з перехресним рухом середовищ [9].

Одним з основних критеріїв вибору тепло утилізаційного обладнання є його передбачувана ефективність, а також характер впливу його режимних параметрів на основний робочий процес. Вирішальне значення має при цьому досить достовірно оцінити зміни умов експлуатації і підвищення

						Аркуш
						71
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

стійкості основного обладнання, поліпшення енергоекологічних показників виробництва в цілому при встановленні додаткового обладнання.

В даний час представлений широкий діапазон вибору теплообмінників, рекуператорів тощо. Існуючі сьогодні конструкції рекуператорів мають досить серйозні недоліки, які часто визначають відсутність цих пристроїв в технологічних процесах. Перш за все, це:

- незадовільні малогабаритні показники;
- висока вартість і великий термін окупності;
- складність або неможливість ремонту;
- низька термопластичність (тобто схильність до появи термічних напружень, викривлення і руйнування);
- високе аеродинамічний опір;
- схильність до зашлаковіння (заростання робочих зазорів продуктами горіння).

Велика частина цих недоліків пов'язана з розмірами теплопередаючих поверхонь: чим більше відношення площі цих поверхонь до обсягу і масі теплообмінника, тим ефективніше пристрій. У традиційних рекуператорів в силу різних причин цей показник недостатньо високий [9].

Завдання створення ефективних і недорогих теплообмінних апаратів, зокрема рекуператорів, актуальна в даний час в усьому світі. Одним із шляхів її вирішення є підвищення інтенсивності теплообміну пристроїв, в основному, за рахунок розвитку їх теплопередаючих поверхонь.

Так, наприклад, для збільшення поверхонь теплообміну трубчастих теплообмінників широко використовують спірально обрешені труби. Але навіть при обрешена трубчасті рекуператори мають недостатньо високу ефективність, значні габарити, вага, вартість.

Одним з виробників трубчастих теплообмінників є українська фірма ЗАТ «Кераммаш» [10]. Продукція, що ними трубчасті рекуператори герметичні, застосовуються для підігріву повітря.

						Аркуш
						72
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		



Труби для рекуператорів виготовляють з різних марок сталей в залежності від температури продуктів згоряння і необхідної температури підігріву повітря. При цьому можливий підігрів повітря до  $1400^{\circ}\text{C}$  і використання продуктів згоряння при температурі димових газів перед рекуператором до  $900^{\circ}\text{C}$ . У трубчастих петлевому рекуператорі можливо відповідне температурі подовження кожної труби окремо. Схема і характеристики рекуператора представлені на рис. 5.1.

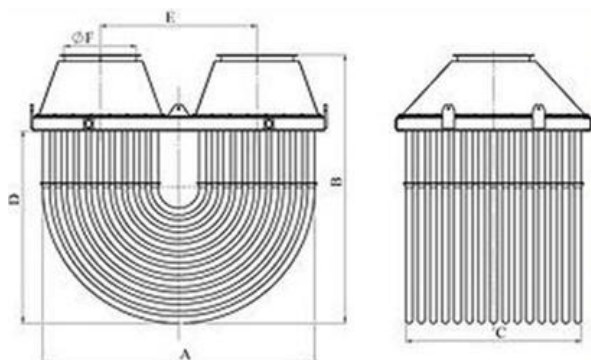


Рис.5.1 Схема трубчастого теплообмінника

Для рекуперації теплоти відхідних димових газів печей термічної обробки металевих виробів за доцільне застосування пластинчастих теплообмінників. У цих конструкціях необхідна поверхня теплообміну забезпечується за рахунок великої кількості тонкошарових плоских листів, при цьому або пристрій повинен мати великий обсяг, або зазори між пластинами повинні бути дуже малими [10].

Іншим обмеженням застосування пластинчастих теплообмінників є їх значне аеродинамічний опір, яке є наслідком прагнення збільшити поверхні тепловіддачі за рахунок малих зазорів між великою кількістю пластин.

Наявність значних аеродинамічних опорів виключає можливість теплообміну великих обсягів газів (якщо тільки не допускається вельми значні габарити пристроїв, що можливо далеко не завжди). Продавлювання через пристрої з великими опорами значних об'ємів газів за допомогою

					Аркуш
					73
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	

потужних вентиляторів призводить до «хляпанню» пластин і руйнування пристроїв.

Індуктивна високочастотна приварка ребер забезпечує стабільність якості зварного з'єднання на всій довжині шва, процес не вимагає захисної атмосфери, присадок, попередньої зачистки зварювальних поверхонь. Завдяки особливостям способу зварення шов мало відрізняється від основного металу, так само міцний, пластичний, допускає вигини і місцеву деформацію, не схильний до корозії (в тому числі межкристаллитної).

Розроблений процес дозволяє виготовляти панелі з корозійно-стійких, в тому числі з жароміцних сталей і сплавів з робочою температурою до 1100-1250°C, а це в свою чергу дозволяє виготовляти високотемпературні рекуператори [10].

Оребрені пластинчасті рекуператори забезпечують утилізацію теплоти з продуктивністю по газу від 200 до 200 000 м<sup>3</sup> на годину, для теплоносія з температурою від 200 до 1400°C.



Рис. 5.2. Рекуператор ОПТ 1000-8/400-6.

Рекуператори типу ОПТ мають цілу низку істотних переваг в порівнянні з традиційно застосовуваними пристроями:

- низькі масогабаритні показники (в 2-10 разів менше, ніж у традиційних аналогів);
- простота обслуговування, транспортування, монтажу і ремонту;

					Аркуш
					74
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	

- низькі аеродинамічні опору;
- низька інерційність;
- висока термопластичність;
- можливість очищення і самоочищення газо-повітряних трактів від продуктів згоряння;
- швидка окупність;
- наявність внутрішньої компенсації термічних розширень, завдяки чому їх часто можна використовувати без компенсаторів.

Технічні характеристики рекуператорів ГУРТ в залежності від вимог замовника можуть змінюватися для оптимізації конструкції в широких межах в залежності від:

- швидкості газових середовищ (що нагріває і нагрівається);
- кроку орєбрення і висоти ребер базового елемента рекуператора (орєбренной панелі);
- напрямку руху газових середовищ;
- кількості ходів повітряного тракту; компонування модулів.

Таким чином, в даний час є досить широкий спектр утилізаційного обладнання для рекуперації теплоти високотемпературних газів. Вибір технології та обладнання для їх рекуперації повинен визначатися в залежності від конкретних умов виробництва і цілей рекуперації [10].

Вартість рекуператора ОПТ 1000-8/400-6 становить 295 000 грн це з рахуванням ПДВ [11].

Капітальні витрати на впровадження рекуператора:

$$K = C_p + C_{\text{монтажу}},$$

де,  $C_p$  – ціна самого рекуператора,

$C_{\text{монтажу}}$  – ціна монтажу.

$$K = 295000 + 59000 = 354000 \text{ грн,}$$

						Аркуш
						75
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 5.6 Розрахунку економічного ефекту.

Грошові потоки	Роки						
	1	2	3	4	5	6	7
Витрати, тис. грн.	354	0	0	0	0	0	0
Дисконтовані витрати, тис. грн	290,16	0	0	0	0	0	0
Грошові надходження, тис.грн	648,48	648,48	648,48	648,48	648,48	648,48	648,48
Дисконтні грошові надходження, тис.грн.	531,54	435,68	357,12	292,72	239,937	196,66	161,20
Накопичені дисконтовані витрати, тис. грн.	-50,9	480,64	916,33	1273,4	1566,18	1806,1	2002,7
Накопичені дисконтовані грошові надходження, тис. грн.	531,54	435,68	357,12	292,72	239,937	196,66	161,20
Різниця між накопиченими дисконтованими витратами і накопиченими дисконтованими надходженнями, тис. грн.	480,64	916,33	1273,4	1566,7	1806,1	2002,7	2163,9

$$NPV = 10209770 - 354000 = 9855770$$

Результат розрахунку  $NPV$  є орієнтовним критерієм прийняття рішення щодо інвестування енергоощадного проекту.

У даному випадку  $NPV > 0$  дисконтовані результати перевищують дисконтовані витрати. Проект є ефективним (прибутковим). В абсолютних величинах проект окупається менше ніж за рік

Розрахуємо індекс доходності  $PI$ :

$$PI = \frac{10209770}{354000} = 28,8$$

Оскільки  $PI > 1$ , дисконтовані результати перевищують дисконтовані витрати. Проект є ефективним(прибутковим). Із великою вірогідністю проект може бути реалізовано.

Дисконтований термін окупності розраховуємо відповідно до формули

$$PP = 1 + \frac{531540 - 354000}{480640} = 0,6 \text{ рік}$$

### 5.5. Висновок до розділу

Таким чином, застосування в холодну пору року каналних установок з рекуперацією тепла замість традиційних з використанням електричних повітрянагрівачів дозволяє зменшити витрати електроенергії при одному і тому ж кількості повітря, що подається більш ніж в 20 разів і тим самим дозволяє знизити витрати.

Крім цього, застосування установок з рекуперацією дозволяє зменшити фінансові витрати споживача на енергоносії на опалення приміщень в холодну пору року і на їх кондиціонування в теплу пору приблизно на 50 [10].

						Аркуш
						77
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

## ВИСНОВОК

Головним результатом бакалаврської роботи – вирішення технічної задачі створення ефективних процесів і вдосконалення конструкцій пічного обладнання, які дають змогу визначати раціональні технічні рішення та підвищити якість готової продукції за мінімальних матеріальних ресурсів.

З розділу загальний опис об'єкта енергетичного обстеження, було з'ясовано основним видом діяльності підприємства є підготовчі, або "гарячі" цехи (ливарні, ковальсько-штампувальні, термічні) і "холодні" (механічні, механоскладальні).

Було побудовано 3D модель за допомогою програми SolidWorks. Розроблено розрахункову модель, що дозволяє отримати інформацію про розподіл температури, швидкості руху повітря, наявність вихроутворень та зон застою в процесі прогрівання приміщення

Для побудови розрахункової сітки використовувався генератор сіток ANSYS AUTODYN, у який була імпортована раніше створена геометрія тривимірної моделі розрахункової області з SolidWorks. Проаналізовано розподіл температурних полів та полів швидкостей руху повітря в залежності від заданої температури.

Також отримані результати та подальші дослідження нестационарних процесів прогрівання печі можуть бути в майбутньому використані при розробці систем автоматичного регулювання систем опалення.

Таким чином, застосування в холодну пору року каналних установок з рекуперацією тепла замість традиційних з використанням електричних повітрянагрівачів дозволяє зменшити витрати електроенергії при одному і тому ж кількості повітря, що подається більш ніж в 20 разів і тим самим дозволяє знизити витрати.

					Аркуш
					78
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 4715:2007. Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту промислових підприємств. Склад і зміст робіт на стадіях розроблення та запровадження. – Чинний від 01.07.07. - К.: Держстандарт України.
2. ДСТУ 4065:2001. Енергозбереження. Енергетичний аудит. Загальні технічні вимоги. – Чинний від 2002.07.01. – К: Держстандарт України. – 2002. –39с.
3. <https://nempump.com/o-gruppe-gms/>.
4. Любимов А.К., Шабарова Л.В. Методы построения расчетных сеток в пакете ANSYS ICEM CFD: Электронное методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2011 – 25 с.
5. ANSYS CFX 12.1 Solver Theory. Release 12.1 [Електронний ресурс], 2009. – 270 с – Режим доступу до ресурсу:  
<http://orange.engr.ucolans.edu/Documentation12.1/121/CFX/xthry.pdf>.
6. Теплотехника металлургического производства: учебное пособие для вузов / В. А. Кривандин [и др.]. М.: МИСиС, 2002.
7. Гусовский В. Л. Современные нагревательные и термические печи: конструкции и технические характеристики: справочник /В. Л. Гусовский, М. Г. Ладыгичев, А. Б. Усачев. М.: Машино-строение, 2001.
8. Теплотехника и теплоэнергетика металлургического производства / С. Н. Гушин [и др.]. М.: Металлургия, 1993.
9. Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент» / Бурокова А.В., Рахманов Ю.А.
10. Металлические трубчатые петлевые рекуператоры. – [Электронный ресурс]. Режим доступа:<http://kerammash.ua/rus/index.htm>.
11. Злотин В.Е., Злотин Д.В., Калинин Н.М. Эффективные рекуператоры тепла нового поколения .–[Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=2428](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2428)
12. ДСТУ Б В.1.1-4-98 «Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість».

						Аркуш
						79
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

13.ДБН В.2.5-56:2014 «Системы протипожежного захисту».

14.Тебеньков Б. П. Рекуператоры для промышленных печей. Б.П. Тебеньков.  
М. Металургия, 1975.

15.Лисиенко В. Г. Сооружение промышленных печей, Том I: Кн.1  
Проектирование плавильных комплексов / В. Г Лисиенко, Я. М. Щелоков, М.  
Г. Ладыгичев. □ М.: Теплотехник, 2006. □ 566 с.

						Аркуш
						80
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		



## ДОДАТОК А

. Основні методи пожежогасіння. Вогнегасні речовини та засоби пожежогасіння.

Засоби гасіння пожеж — комплект обладнання, до якого входять поршневі, струмені та центрифугові водяні насоси, гідромонітори, пристрої для підймання пожежників на певну висоту (висувні драбини тощо), пристрої для використання промислового (наприклад, шахтного, заводського тощо) водопроводу, різного роду вогнегасники, повітряно-пінні стволи (піногенератори), що є на озброєнні пожежно-рятувальних та гірничорятувальних частин і використовуються для гасіння пожеж.

Пожежа припиняється тоді, коли припиняється дія будь-якого компоненту, що приймає участь у процесі горіння [12].

.До основних способів припинення процесу горіння можна віднести наступні методи:

- припинення надходження окиснювача (кисню) до осередку горіння;
- розбавлення повітря негорючими, інертними газами;
- зниження температури горючої речовини до рівня, нижчого за температуру спалахування;
- ізоляції вогнища пожежі від доступу повітря;
- зменшення концентрації горючих речовин шляхом розбавлення їх негорючими матеріалами;
- інтенсивного гальмування швидкості хімічної реакції (інгібування);
- механічного зриву полум'я сильним струменем води, порошку, газу.

На цих методах і способах базується припинення процесу горіння за допомогою вогнегасних речовин та технічних засобів пожежогасіння.

Добір тих чи інших способів і методів гасіння пожеж, а також добір вогнегасних речовин та їх носіїв визначають у кожному конкретному випадку залежно від масштабу загоряння, особливостей горючих речовин і матеріалів, а також стадії розвитку пожежі [12].

Способи та умови припинення горіння. Вогнегасні речовини .

Пожежа – це неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що завдає матеріальної шкоди. Небезпечні фактори пожежі: відкритий вогонь і іскри, підвищена температура повітря, предметів; токсичні продукти горіння дим; знижена концентрація кисню; обвалення і пошкодження будівель; вибухи [12].

Горіння – це швидко протікаючі хімічне перетворення речовин з виділенням великої кількості тепла, що супроводжується яскравим полум'ям. Вона може бути результатом окислення, тобто з'єднанням горючої речовини з киснем. Оскільки для виникнення та розвитку процесу горіння, який викликає явище пожежі, необхідно одночасне сполучення горючої речовини, окисника, джерела запалювання та безперервного потоку тепла від осередку пожежі до горючого матеріалу, то для припинення горіння досить виключити будь-який з цих елементів. Комплекс заходів, спрямованих на ліквідацію пожежі, що виникла, називається пожежогасінням.

Припинити процес горіння можливо зниженням вмісту горючого компонента, зменшенням концентрації окисника, збільшенням енергії активації процесу в полум'ї за допомогою інгібіторів горіння, зниженням температури.

Існують такі основні способи припинення горіння:

1. Охолодження зони горіння або речовин, що горять, нижче певних температур.
2. Ізоляція вогнища горіння від повітря.
3. Зниження концентрації кисню в повітрі шляхом розбавлення негорючими газами.
4. Хімічне гальмування (інгібування) швидкості реакцій окиснення (горіння) у полум'ї.
5. Механічний зрив полум'я сильним струменем води, порошку чи газу.
6. Створення умов вогнеперешкоди, за яких полум'я поширюється через вузькі канали, переріз яких менше діаметра, що гасить.

Практична реалізація способів припинення горіння може бути досягнута за допомогою вогнегасних речовин та технічних засобів.

До вогнегасних речовин належать речовини, що мають фізико-хімічні властивості, які дозволяють створити умови для припинення горіння. Багато з них

використовуються також для запобігання, обмеження розповсюдження пожежі, захисту людей та матеріальних цінностей. Використовуються такі види вогнегасних речовин:

- вода;
- вода з добавками, які підвищують її вогнегасну здатність; піна;
- газові вогнегасні склади; вогнегасні порошки; комбіновані вогнегасні склади.

Вибір вогнегасної речовини та способу її подавання визначається умовами виникнення та розвитку пожежі.

Кожному способу припинення горіння відповідає конкретний вид вогнегасних засобів, які можна поділити на:

- охолоджувальні (вода, водні розчини, снігоподібна вуглекислота та ін.);
- розбавлювальні (діоксид вуглецю, водяна пара, інертні гази та ін.);
- ізолювальні (хімічна та повітряно-механічна піна, пісок та ін.);
- засоби хімічного гальмування горіння (вогнегасні порошки, брометил, хладон та ін.). [12]

Дамо коротку характеристику основних вогнегасних речовин.

Вода - це найбільш поширений і достатньо ефективний вогнегасний засіб. Вода має високу теплоємність -  $4,19 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$  за нормальних умов та добрі охолоджувальні якості. Під час гасіння пожежі вода, а точніше, певна її кількість випаровується внаслідок контакту з високотемпературним осередком. З 1 л води утворюється близько 1700 л пари. При цьому відбувається розбавлення реагуючих речовин. Внаслідок великих значень теплоти пароутворення (близько 2260 Дж/кг) вода забирає із зони горіння велику кількість тепла, що, у свою чергу, забезпечує помітний охолоджувальний ефект.

Вода має високу термічну стійкість. Розкладення її на водень та кисень відбувається при температурах понад 1700 °С. Тому гасіння водою більшості горючих матеріалів та рідин є безпечним, адже температура їх горіння не перевищує 1300 °С.

Найбільший вогнегасний ефект спостерігається при застосуванні води у дрібнорозпиленому стані. Такою водою можна гасити навіть горючі рідини, оскільки

туманоподібна хмара дрібнорозпиленої води спричиняє ізолювальний ефект. Застосування розчинів змочувачів, які зменшують поверхневий натяг води, дає можливість зменшити її витрати на гасіння деяких матеріалів на 30- 50%.

Вода добре проводить електричний струм. Це треба пам'ятати під час гасіння пожеж в електроустаткуванні, що перебуває під напругою.

Піна - це колоїдна дисперсна система, яка складається з комірок - пузирчиків газу. Стінки пузирчиків утворюються із розчинів поверхневоактивних речовин і стабілізаторів.

Піни розподіляють на хімічні та повітряно-механічні.

Повітряно-механічна піна утворюється за допомогою спеціальних технічних пристроїв - піногенераторів із водних розчинів поверхнево-активних речовин (піноутворювачів).

Піна має досить низьку теплопровідність. Вона здатна перешкоджати випаровуванню горючих речовин, а також проникненню парів, газів, теплового випромінювання. Все це визначає її ізолювальні властивості.

Для найбільшої ефективності гасіння вогню треба застосовувати піни, які мають як ізолювальні, так і охолоджувальні властивості.

Важливими характеристиками піни є її стійкість і кратність. Низько кратними пінами гасять вогонь, головним чином, на поверхнях.

Для гасіння горючих рідин застосовуються піни кратністю до 100. Вони добре затримуються і розтікаються на поверхні, ефективно перешкоджають проникненню крізь них горючих парів, мають охолоджувальну дію.

Для об'ємного гасіння, витіснення диму, ізоляції технологічних установок від впливу теплових потоків використовують високократну піну. При і об'ємному гасінні пожежі не слід подавати водяні струмені на піну, оскільки під їх дією вона руйнується.

Вогнегасні порошки використовують для ліквідації горіння твердих, рідких та газоподібних речовин [12].

Вогнегасний ефект застосування порошоків складається з:

– хімічного гальмування реакції горіння внаслідок дії порошку (кристали введеного у полум'я порошку викликають суміжні реакції, які руйнують радикали, здатні горіти, або перешкоджають їх утворенню);

– утворення на поверхні речовини, що горить, ізолювальної плівки;

– утворення хмари порошку, яка має властивості екрану;

– механічного збивання полум'я твердими частинками порошку;

– виштовхування кисню із зони горіння.

Недоліком порошоків є їх здатність до злежування, що ускладнює їх зберігання, особливо тривале.

Є порошки загального та цільового (спеціального) призначення. Дано загальну характеристику найбільш поширених порошоків.

Порошок ПСБ-3 (на основі бікарбонату натрію) належить до порошоків загального призначення. Використовується для гасіння легкозаймистих і горючих рідин, газів, електроустаткування, двигунів. Порошок ПСБ-3 непридатний для гасіння тліючих матеріалів, а також лужних металів [13].

Вогнегасні порошки П2-АП, П-2АПМ (на основі амофосу) загального призначення мають таку ж сферу застосування, як порошок ПСБ-3, але додатково успішно гасять вуглецеві тліючі матеріали (папір, деревину, вугілля тощо).

Порошок Пірант-А та його модифікації Шрант-АН, Шрант-АК виготовляються на основі фосфорно-амонійних солей. Застосовуються для гасіння тліючих та твердих горючих матеріалів, горючих рідин, газів, електроустановок.

Порошок П-4АП призначений для об'ємного гасіння. Гасить горючі гази, рідини, тліючі матеріали в закритих об'ємах. З метою припинення горіння при об'ємному гасінні необхідно створити протягом декількох секунд по всій зоні горіння таку концентрацію порошку, при якій його загальна поверхня забезпечить необхідну швидкість ліквідації активних центрів реакції горіння. Це досягається подаванням порошку з необхідною інтенсивністю та рівномірним його розподілом по усій зоні горіння.

Порошок К-3О гасить лужні метали, титанову стружку, що горять, на відкритих площах. Необхідною умовою припинення горіння під час гасіння цим порошком є покриття палаючої поверхні шаром вогнегасного порошку певної товщини.

Термін зберігання більшості порошоків не менше 5 років. Температурний діапазон використання від мінус 50 °С до 50 °С.

Діоксид вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) не має кольору та запаху. При підвищенні тиску переходить з газоподібного стану в рідкий.

Механізм припинення горіння діоксидом вуглецю базується на його здатності зменшувати шляхом розбавлення концентрації реагуючих речовин до меж, при яких горіння стає неможливим. Вогнегасний ефект спостерігається, коли концентрація  $\text{CO}_2$  буде не менше 30% по об'єму.

Діоксид вуглецю може подаватися до зони горіння у вигляді снігоподібної маси, здійснюючи охолоджувальну дію, оскільки  $\text{CO}_2$  перебуває у вигляді снігу при температурі мінус 78 °С.

Існує два основних методи гасіння пожеж за допомогою  $\text{CO}_2$ : об'ємний і поверхневий. Об'ємне гасіння здійснюється у замкнутих приміщеннях.

Вихід снігоподібного  $\text{CO}_2$  з балона при температурі навколишнього середовища 20 °С становить не менше 28% (з 1 кг рідкого  $\text{CO}_2$  може утворитися 280 г снігу і близько 500 л газу). При застосуванні систем об'ємного гасіння необхідно враховувати вплив діоксиду вуглецю на організм людини.

Вміст в атмосфері приміщення 10%  $\text{CO}_2$  є небезпечним, а при концентрації 20% швидко настає смерть від паралічу органів дихання [13].

Діоксид вуглецю не гасить тліючі матеріали, бо не має змочувальної здатності.

Галогенові вуглеводні.

Хладон 114В2 - важка безколірна рідина із специфічним запахом і температурою кипіння 47°С. Для гасіння пожежі подається у приміщення у розпиленому стані. Інгібітор вельми ефективно гальмує реакцію горіння. Гасіння полум'я досягається при концентрації близько 2%. Має помірну токсичність. Згідно з вимогами техніки безпеки евакуація людей із захищеного приміщення має бути забезпечена до початку подачі хладону. Особи, що беруть участь у гасінні пожежі,

можуть заходити у такі приміщення тільки у спеціальних засобах захисту органів дихання. Транспортування хладону до місця гасіння пожежі здійснюють по трубах за допомогою стисненого повітря або азоту [13].

Практично усі вогнегасні речовини характеризуються комплексною дією на процес горіння. Наприклад, вода може охолоджувати, ізолювати та розбавляти палаючі речовини; піна ізолює та охолоджує; газові засоби пожежогасіння одночасно діють як інгібітори і розбавляють горючі речовини; порошки гальмують хімічні реакції і ізолюють зону горіння при утворенні стійкої порошкової хмари. Однак припинення горіння досягається одним із застосовуваних способів, в той час як інші тільки сприяють його припиненню. Це визначається співвідношенням властивостей вогнегасної речовини та матеріалу, що горить.

Для кожної вогнегасної речовини існує домінуюча властивість. Для води - це охолодження, для піни - ізоляція осередку горіння, для порошку - гальмування реакції горіння, для діоксиду вуглецю - розбавлення парогазоповітряної суміші та газів з повітрям (киснем), для галогенованих вуглеводнів – інгібування [13].

Залежно від основного процесу, який призводить до припинення горіння, найбільш розповсюдженими способами ліквідації пожеж є:

- охолодження струменями води, розпиленими струменями води, шляхом перемішування матеріалів, що горять;
- розбавлення газової та конденсованої фаз (твердої, рідкої) струменями тонко розпиленої води; горючих рідин - водою, розбавлення негорючими газами або водяною парою;
- ізоляція шаром піни або шаром порошку;
- хімічне гальмування реакції горіння за допомогою вогнегасних порошків чи галогенованих вуглеводнів.

Вибір вогнегасної речовини залежить від характеру пожежі та визначається:

- властивостями і агрегатним станом речовин, що горять;
- параметрами пожежі (площею горіння, інтенсивністю горіння, температурою тощо);
- видом пожежі (у закритих приміщеннях, будівлях, на відкритому просторі);

- умовами тепло- і газообміну на пожежі;
- наявністю та кількістю вогнегасних засобів;
- вогнегасною здатністю щодо гасіння речовин та матеріалів;
- ефективністю способу гасіння пожежі.

При визначенні способів пожежогасіння слід розраховувати на досягнення максимального ефекту при мінімальних витратах вогнегасних речовин [13].



## ДОДАТОК Б

№ п/п	Вид енергоресурсів	Споживання енергоресурсів														±% по відношенню за звітний період
		Січень		Лютий		Березень		Квітень		Травень		Червень		За перше півріччя		
		2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	
1	Випуск товарної продукції, млн.грн.	92	53,8	97,76	89,35	89,8	178,7	79,28	133,2	90,36	140,14	62,03	88	511,2	686	+34,2%
2	Електрична енергія, млн.кВт·год	2,16	2,22	2,11	2,02	2,1	1,92	1,57	1,73	1,38	1,53	1,33	1,44	10,69	10,87	+1,6%
3	Питна вода, тис.м <sup>3</sup>	7,99	7,06	10,5	9,04	8,8	7,71	10,59	9,08	8,92	8,57	9,6	9,53	56,45	50,99	-9,7%
4	Природний газ, тис.м <sup>3</sup>	145,3	133,9	123,7	111,75	169,2	94,27	53,7	62,18	44,87	33,34	35,93	30,86	539,77	466,3	-13,6%
5	Кисень, тис.м <sup>3</sup>	9,85	10,4	8,3	7,8	9	7,59	7,16	7,95	6,66	8,77	7,21	7,24	48,12	49,71	+3,3%
6	Теплова енергія, Гкал	2827	3504	3545	2420	3498	2015	484	30	-	-	-	-	10354	7969	-23%
7	Вартість оплачених енергоресурсів, млн.грн	12,1	12,17	13,2	9,61	13,3	8,44	5,39	4,9	3,8	4,21	3,62	3,94	51,56	43,26	-16,1%
8	Питомий вміст вартості енергоресурсів у випуску тов. прод., %	13,1	22,62	13,7	10,76	14,8	4,72	6,8	3,68	4,23	3,0	5,84	4,48	10,1	6,3	-37,6%

### Продовження додатку Б

№ п/п	Вид енергоресурсів	Споживання енергоресурсів														±% по відношенню за звітний період
		Липень		Серпень		Вересень		Жовтень		Листопад		Грудень		Всього за 12 місяців		
		2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	
1	Випуск товарної продукції, млн.грн.	67,5	64,8	96,4	109,4	110,5	94,9	82,4	81,4	157,6	70,4	177	170,98	1202,7	1280,5	+6,5%
2	Електрична енергія, млн.кВт·год	1,5	1,6	1,46	1,52	1,4	1,5	1,7	1,76	2,06	1,9	1,99	1,84	20,8	20,99	+0,9%
3	Питна вода, тис.м <sup>3</sup>	7,7	9,1	9,3	9,8	9,5	8,8	8,9	9,6	10,1	9,2	10	9,5	112,06	107,03	-4,5%
4	Природний газ, тис.м <sup>3</sup>	31,3	31,5	31,4	30,1	36,3	33,3	62,6	43	98,2	83,8	124,2	90,1	956,7	778,2	-18,7%
5	Кисень, тис.м <sup>3</sup>	7,1	9,8	7,4	7,7	6,8	8,1	6,8	8,45	6,2	6,8	6,8	7,4	89,14	97,93	+9,9%
6	Теплова енергія, Гкал	-	-	-	-	-	-	270	0	2176	1650	2724	2276	15,5	11,9	-23,4%
7	Вартість оплачених енергоресурсів, млн.грн	4,35	5,31	3,95	4,71	3,91	5,07	5,37	5,04	9,52	7,91	10,45	8,24	89,27	79,53	-10,9%
8	Питомий вміст вартості енергоресурсів у випуску тов. прод., %	6,45	8,19	4,1	4,31	3,54	5,34	6,52	6,19	6,04	11,24	5,9	4,82	7,42	6,21	-16,3

Продовження додатку Б

№ п/п	Вид енергоресурсів	Споживання енергоресурсів														±% по відношенню за звітний період
		Січень		Лютий		Березень		Квітень		Травень		Червень		За перше півріччя		
		2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	
1	Випуск товарної продукції, млн.грн.	53,8	63,1	89,35	45,3	178,7	39,6	133,2	66,77	140,14	50,4	88	113,6	686	378,8	-45%
2	Електрична енергія, млн.кВт·год	2,22	1,92	2,02	1,99	1,92	1,89	1,73	1,82	1,53	1,6	1,44	1,59	10,87	10,81	-0,5%
3	Питна вода, тис.м <sup>3</sup>	7,06	7,86	9,04	8,59	7,71	8,1	9,08	8,4	8,57	8,2	9,53	9,5	50,99	50,65	-0,5%
4	Природний газ, тис.м <sup>3</sup>	133,9	105,1	111,75	114,7	94,27	88,0	62,18	58,9	33,34	34,5	30,86	27,3	466,3	428,5	-8,8%
5	Кисень, тис.м <sup>3</sup>	10,4	6,4	7,8	8,6	7,59	8,99	7,95	11,45	8,77	11,5	7,24	11,0	49,71	57,9	+16,4%
6	Теплова енергія, Гкал	3504	2215	2420	2189	2015	1381	30	206	-	-	-	-	7969	5991	-33%
7	Вартість оплачених енергоресурсів, млн.грн	12,17	8,38	9,61	8,04	8,44	6,9	4,9	4,92	4,21	3,84	3,94	3,77	43,26	38,85	-10,2%
8	Питомий вміст вартості енергоресурсів у випуску тов. прод., %	22,62	13,27	10,76	17,76	4,72	17,4	3,68	7,37	3,0	7,62	4,48	3,32	6,3	11,1	+76,2%

Продовження додатку Б

№ п/п	Вид енергоресурсів	Споживання енергоресурсів														±% по відношенню за звітний період
		Липень		Серпень		Вересень		Жовтень		Листопад		Грудень		Всього за 12 місяців		
		2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	
1	Випуск товарної продукції, млн.грн.	64,8	61,8	109,4	68,6	94,9	70,0	81,4	76,63	70,4	92,7	170,98	175,2	1281,1	931,4	-27,3%
2	Електрична енергія, млн.кВт·год	1,6	1,49	1,52	1,42	1,5	1,9	1,76	1,6	1,9	2,07	1,84	2,0	21,0	21,0	0,0%
3	Питна вода, тис.м <sup>3</sup>	9,1	8,5	9,8	8,3	8,8	9,3	9,6	8,6	9,2	7,89	9,5	8,9	107,0	101,33	-5,3%
4	Природний газ, тис.м <sup>3</sup>	31,5	31,5	30,1	27,3	33,3	32,55	43	42,9	83,8	83,7	90,1	106,9	778,2	753,3	-3,2%
5	Кисень, тис.м <sup>3</sup>	9,8	9,17	7,7	7,8	8,1	9,6	8,45	8,0	6,8	8,3	7,4	9,7	97,93	110,6	+12,9%
6	Теплова енергія, Гкал	-	-	-	-	-	-	0	0	1650	1817	2276	2800	11894	10608	-10,8%
7	Вартість оплачених енергоресурсів, млн.грн	6,31	4,9	4,71	4,32	5,07	5,27	5,04	5,6	7,91	7,83	8,24	10,16	79,47	74,0	-6,9%
8	Питомий вміст вартості енергоресурсів у випуску тов. прод., %	9,63	8	4,7	6,35	5,34	7,53	6,19	7,34	11,24	8,44	4,82	5,8	6,2	7,9	+28%

## ДОДАТОК В

### Показники рекуператорів металів

Показників	Конвективні рекуператори				Радіаційні рекуператори	
	двосторонній- голка	Однобокій голка	термоблоки	стала. Залізо.	Прорізи	Трубчастих
Температура нагріву повітря, с	200-300	200-400	200-400	200-500	300-800	300-700
Втрата тиску на повітряному шляху,	0,49-2,84	0,49-2,84	0,49-4,90	0,49-4,9	1,0-5,88	1,0-9,81
Втрата тиску на дорозі, Па.	4,9-19,6	4,9-19,6	4,9-19,6	4,9-19,6	1,0-5,9	0,49-1,96
Співвідношення тепла на дачу, (Вт/м <sup>2</sup> градуси°С)	93-116	23-47	17-23	20-23	23-47	23-58
Металева конструкція рекуператора, кг/м <sup>2</sup>	200-300	150-250	200-300	150-100	150-200	100-150
Витрата палива, спалювання в печі, кг/(м <sup>2</sup> ж)	43	22	13	15	22	25
Середня маса металу конструкції на 1 кг верхньої лівої, кг/год	5,8	9,1	19,1	5,0	8,0	5,0
Термін служби, років	1-3	1-5	3-6	1-4	4-8	3-6