

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра “Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент”

“Допущено до захисту”
Зав. кафедри ЕТС та ЕМ
канд. техн. наук., професор
_____Петро ПЛЄШКОВ
“___” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ

ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему

«Удосконалення використання альтернативних видів палива в печах хлібопекарських і кондитерських підприємств»

Виконав здобувач вищої освіти
2 курсу магістратури, групи ЕНМ-22М
ОПП «Енергетичний менеджмент»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____Віталій ФІЛІПОВ
«___» _____ 2023 р.

Керівник роботи
канд. техн. наук, професор
_____Анатолій ОРЛОВИЧ

«___» _____ 2023 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Енергетичний менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Плешков П.Г.

« » 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Філіпов Віталій Вікторович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) Удосконалення використання альтернативних видів палива в печах хлібопекарських і кондитерських підприємств

Improving the use of alternative fuels in bakery and confectionery ovens

2. Керівник роботи (проекту) Орлович Анатолій Юхимович, канд. техн. наук., професор

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту) Метою даного дослідження є зниження рівнів споживання електричної енергії для технологічних потреб печей, а також удосконалення і підвищення енергоефективності хлібопекарських та кондитерських печей при використанні альтернативних видів палив. Слід вирішити наступні задачі: проаналізувати основні види палива для використання в теплотехнологічних печах, розглянути типи пелетних пальників, обрати пальники для печей хлібопекарського та кондитерського виробництва. Розглянути питання удосконалення пелетних печей шляхом тепло утилізації тепла. Провести розрахунок теплоутилізаційного пристрою та показати технологічну схему утилізації тепла димових газів.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н, доц. Савеленко І.В.</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
<i>1</i>	<i>Вступ</i>	<i>7.10.23</i>	
<i>2</i>	<i>Огляд традиційних та альтернативних палив для теплотехнологічних потреб печей. Проблеми їх виробу в умовах сьогодення</i>	<i>16.10.23</i>	
<i>3</i>	<i>Теоретичні дослідження використання пелетних пальників в печах хлібопекарського та кондитерського виробництва</i>	<i>7.11.23</i>	
<i>4</i>	<i>Удосконалення системи утилізації тепла вихідних димових газів для печей хлібопекарських і кондитерських підприємств</i>	<i>15.11.23</i>	
<i>5</i>	<i>Охорона праці та безпека життєдіяльності</i>	<i>20.11.23</i>	
<i>6</i>	<i>Висновки</i>	<i>23.11.23</i>	
<i>7</i>	<i>Оформлення пояснювальної записки КР</i>	<i>29.11.23</i>	
<i>8</i>	<i>Оформлення презентаційної частини КР</i>	<i>4.12.2023</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2023 р.

Підпис керівника _____

Анатолій ОРЛОВИЧ

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2023 р.

Підпис здобувача _____

Віталій ФІЛПОВ

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 95 с.; 27 рис.; 5 табл.; 16 джерела

Філіпов В. Удосконалення використання альтернативних видів палива в печах хлібопекарських і кондитерських підприємств. – Рукопис.

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – ОПП «Енергетичний менеджмент». – Центральноукраїнський національний технічний університет. – м. Кропивницький, 2023 р.

Метою даного дослідження є зниження рівнів споживання електричної енергії для технологічних потреб печей, а також удосконалення і підвищення енергоефективності хлібопекарських та кондитерських печей при використанні альтернативних видів палив.

Для досягнення поставленої мети було вирішено наступні завдання: проаналізувати основні види палива для використання в теплотехнологічних печах, розглянути типи пелетних пальників, обрати пальники для печей хлібопекарського та кондитерського виробництва. Розглянути питання удосконалення пелетних печей шляхом теплоутилізації тепла. Провести розрахунок теплоутилізаційного пристрою та показати технологічну схему утилізації тепла димових газів. В роботі показано технологічну схему утилізації тепла димових газів за рахунок використання теплообмінника контактного типу.

Проведений розрахунок економічної ефективності при заміщенні газового палива на пелетне в хлібопекарних печах на прикладі кондитерського цеху оснащеним конверційними ротаційними печами.

Ключові слова: ротаційна піч, пальник, пелети, утилізація тепла, контактний теплоутилізатор

THE SUMMARY

Filipov V. Improving the use of alternative types of fuel in the ovens of bakery and confectionery enterprises.

Specialty 141 – "Electric power, electrical engineering and electromechanics".
– "Electrical power consumption systems". – Central Ukrainian National Technical University. – Kropyvnytskyi, 2023

The purpose of this study is to reduce the levels of electrical energy consumption for the technological needs of ovens, as well as to improve and increase the energy efficiency of bakery and confectionery ovens when using alternative fuels.

To achieve the goal, the following tasks were solved: to analyze the main types of fuel for use in thermal technology furnaces, to consider the types of pellet burners, to choose burners for bakery and confectionery ovens. Consider the issue of improving pellet stoves by heat recovery. Calculate the heat utilization device and show the technological diagram of flue gas heat utilization. The work shows the technological scheme of heat utilization of flue gases due to the use of a contact type heat exchanger.

The calculation of the economic efficiency when replacing gas fuel with pellets in bakery ovens was carried out on the example of a confectionery shop equipped with conversion rotary ovens.

Keywords: rotary kiln, burner, pellets, heat recovery, contact heat recovery unit

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТРАДИЦІЙНИХ ТА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ ДЛЯ ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОТРЕБ ПЕЧЕЙ. ПРОБЛЕМИ ЇХ ВИРОБУ В УМОВАХ СЬОГОДЕННЯ.....	12
1.1 Розгляд та аналіз проблем використання електричної енергії для технологічних потреб печей.....	12
1.2 Розгляд та аналіз проблем використання альтернативних палив для технологічних потреб печей	14
1.3 Приклади застосування пелетних пальників у хлібопекарському виробництві Висновки до розділу 1.....	23
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ПЕЛЕТНИХ ПАЛЬНИКІВ В ПЕЧЕАХ ХЛІБОПЕКАРСЬКОГО ТА КОНДИТЕРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА.....	24
2.1 Типи пелетних пальників для печей хлібопекарського та кондитерського виробництва	24
2.2 Порівняння пелетних пальників різних виробників	29
2.3 Пелетний пальник «IMPEX-BURNER » для печей хлібопекарського виробництва.....	36
2.4 Керування роботою пальника «IMPEX-BURNER ».....	38
2.5 Теплоутилізаційне обладнання димових газів хлібопекарних печей	42
Висновки до розділу 2	55
РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛА ВІДХІДНИХ ДИМОВИХ ГАЗІВ ДЛЯ ПЕЧЕЙ ХЛІБОПЕКАРСЬКИХ І КОНДИТЕРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	56
3.1 Розрахунок контактного теплоутилізатора	56
3.2 Розробка технологічної схеми утилізації тепла димових газів	75

3.3 Розрахунок економічної ефективності при заміщенні газового палива на пелетне в хлібопекарних печах	77
Висновки до розділу 3	81
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	82
4.1. Загальні вимоги безпеки	82
4.2. Огороджуючі заходи безпеки	85
4.3. Умови безпечної експлуатації устаткування.....	87
4.4. Технічні заходи з охорони праці під час роботи з пічним обладнанням	89
Висновки до розділу 4	90
ВИСНОВКИ	91
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	93

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

РП – ротаційна піч

ВТЗ – випікаємої тістової заготовки

САК – система автоматичного керування

ККД – коефіцієнта корисної дії

t''_r – температура димових газів

$q_{пк}$ – кількість теплоти, кДж/кг

W_H – кількість води, яка подається в апарат, кг/с

Вступ

Плануючи сьогодні успішне виробництво чи реконструюється вже існуючого слід враховувати всі оточуючі фактори. Умови змінюються дуже динамічно. Якщо мова велась станом на червень 2022 рік, то ми говорили: що з початком війни на ринку електричної енергії має місце зменшення споживання електроенергії. По очевидним причинам: повна зупинка підприємств на прилеглих до кордону з окупантом або взагалі знищення підприємств, знищення висоток і будинків тощо. До того ж, велика шкода українській енергетичній системі була завдана окупантами, які свідомо руйнують її ракетними та гарматними обстрілами. Незважаючи на наполегливу роботу ремонтних бригад ще багато населених пунктів і, відповідно, споживачів залишаються без електропостачання [1].

Слід зазначити стан енергетики на сьогодні. Наразі виробництво електричної енергії в Україні є достатнім. Однак станом на сьогодні для забезпечення споживачів електроенергією у вечірні години в енергосистемі використовуються всі наявні резерви. Ця ситуація виникає внаслідок проведення планового ремонту атомних станцій, які оновлюються і потребують перезавантаження палива після інтенсивної експлуатації під час опалювального минулорічного сезону [2]. Також на ремонт виведено кілька енергоблоків теплових електростанцій, що стали об'єктами масованих ракетних і дронівих атак російських сил протягом 6 місяців осінньо-зимового періоду. Це значно зменшило доступні потужності та резерви в енергосистемі, зокрема у вечірні години. В [2] зазначено, що Україна не здійснює імпорт електроенергії, а експорт відбувається лише в Польщу та Молдову в нічні часи та денні часи при надлишок потужностей в системі і знижене споживання.

Останнім часом в енергосистемі зафіксований недостатній обсяг електроенергії. Це обумовлено збільшенням споживання внаслідок зниження навколишніх температур, що призводить до додаткового навантаження на

електростанції. Відновлені блоки після обстрілів не здатні нести таке саме навантаження, що і до їхнього пошкодження. Диспетчерський центр "Укренерго" активно розглядає всі можливості компенсації цього енергетичного дефіциту і закликаємо українців ощадливо споживати електроенергію протягом доби. Не вмикайте одночасно потужні електропристрої, вимикайте світло в порожніх приміщеннях, перенесіть прання на нічні години [3].

Та далі мову маємо вести для підприємств, які вже є на Україні, і знаходити перспективи на майбутнє і розвиток, на місце для інвестицій. Зокрема, урахувуючи європейську перспективу України та необхідність зміцнення енергетичної безпеки через перехід до нових енергетичних технологій. Якщо ми прагнемо до декарбонізації, важливо чітко визначити спільну мету з Євросоюзом "Кліматично нейтральний континент 2050". І до того ж, щодо довгострокової перспективи енергетичного сектору, наразі Міністерство енергетики України розробляє план на 2050 рік. Теоретично можна розглядати різні варіанти майбутнього енергетичного міксу. З метою подальшого спрямування України на шлях декарбонізації, збереження клімату та зміцнення енергобезпеки, важливо чітко визначити напрямки рішень все сьогодні. В полі таких тенденцій, слід зберегти підприємництво в роботі і розглядати різні варіанти енергонезалежності, екологічності і розумного енергоживлення.

Мета та завдання дослідження Метою даного дослідження є зниження рівнів споживання електричної енергії для технологічних потреб печей, а також удосконалення і підвищення енергоефективності хлібопекарських та кондитерських печей при використанні альтернативних видів палив.

Для досягнення поставленої мети було вирішено наступні завдання: проаналізувати основні види палива для використання в теплотехнологічних печах, розглянути типи пелетних пальників, обрати пальники для печей хлібопекарського та кондитерського виробництва. Розглянути питання

удосконалення пелетних печей шляхом теплоутилізації. Провести розрахунок теплоутилізаційного пристрою та показати технологічну схему утилізації тепла димових газів.

Об'єктом дослідження є процес екологічної і безперервної роботи хлібопекарської печі.

Предмет дослідження – удосконалення використання альтернативних видів палив в хлібопекарських і кондитерських печах.

Методи дослідження. Дослідження базуються на основних принципах тепломасообміну, основах електротехніки, математичного моделювання, теорії автоматичного керування. Перевірка розроблених теоретичних концепцій була проведена на виробництві, де була виявлена їх практична ефективність.

Основні наукові результати роботи:

1. Визначено шляхи підвищення енергоефективності печей шляхом утилізації тепла відхідних газів з використанням теплоутилізаційного обладнання димових газів хлібопекарських печей і з подальшим використанням тепла для потреб на підприємстві.

2. Обґрунтовано доцільність удосконалення та підвищення енергоефективності хлібопекарських та кондитерських печей при використанні альтернативних видів палив.

Основні практичні результати: показано приклади використання пелетних пальників хлібопекарського обладнання. Показано технологічну схему утилізації тепла димових газів при використанні теплообмінника контактного типу.

Загальна характеристика наукової роботи. Кваліфікаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Повний обсяг роботи складає 95 сторінок. Основна частина викладена на 80 сторінках друкованого тексту, містить 27 рисунків та 5 таблиць. Список використаних джерел містить 16 джерел та висновки на 2 сторінках.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ТРАДИЦІЙНИХ ТА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ ДЛЯ ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОТРЕБ ПЕЧЕЙ. ПРОБЛЕМИ ЇХ ВИРОБУ В УМОВАХ СЬОГОДЕННЯ

1.1 Розгляд та аналіз проблем використання електричної енергії для технологічних потреб печей

Для оцінки ефективності використання електроенергії при випіканні хлібопродуктів необхідно розглянути процес обігріву пічної камери та встановлені вимоги при її конструюванні. Сучасні пічні камери мають відповідати наступним вимогам:

- 1) забезпечувати найбільшу інтенсивність передачі тепла від джерела енергії до виробу;
- 2) ефективно використовувати тепло і різних методи регенерації тепла, при цьому мати найменші теплові втрати;
- 3) забезпечувати максимальний вихід якісної продукції,
- 4) мати просту і міцну конструкцію;
- 5) забезпечувати стабільну роботу;
- 6) мають бути механізовані і автоматизовані.

Електричний нагрів є дуже зручним для нагрівання в широкому температурному діапазоні. Електричні нагрівачі легко регулюються, створюють сприятливі санітарно-гігієнічні умови, але є відносно вартісними. Хлібопекарські печі відносяться до печей опору, де енергія перетворюється за допомогою жаростійких провідників з високим питомим електричним опором.

Електрична енергія надходить до робочого простору електричних печей і перетворюється в теплову енергію за допомогою спеціальних пристроїв. Їх конструкція і режим роботи визначаються способом перетворення, таким як електронагрів. У хлібопекарських та кондитерських печах температура всередині камери підтримується за допомогою трубчастих електронагрівачів

(ТЕНів), де електрична енергія перетворюється в теплову через протікання струму. В результаті взаємодії електронів, іонів і атомів, нагрівачі виділяють тепло. Вбудовані вентилятори забезпечують рівномірний розподіл гарячого повітря (конвекцію) по всій пічній камері. В процесі випікання у піч завантажується стелажний візок, який обертатиметься протягом усього процесу (робить ротацію), що сприяє досягненню високої якості випічки [4].

Нагрівальні елементи працюють під впливом атмосфери печі і високої температури, що призводить до швидкого зносу. Ефективність та тривалість роботи печей опору залежать від якості нагрівальних елементів. Для забезпечення правильного перетворення електричної енергії в теплову та тривалої стійкої роботи нагрівальні елементи повинні мати наступні характеристики [5]:

- 1) мати великий питомий електричний опір, що дозволяє мати достатній поперечний переріз елементів при обмеженій їх довжині;
- 2) мати низький електричний температурний коефіцієнт;
- 3) мати постійні електричні властивості у часі;
- 4) мати високу жаростійкість і стійкість до окислення;
- 5) мати достатню механічну міцність при високих температурах;
- 6) мати постійні лінійні розміри.
- 7) з гарною обробкою матеріалу.

До недоліків можна віднести високу вартість установки і вартість отриманої теплової енергії. Також великим недоліком є постійне підвищення цін на електричну енергію. Сучасні умови і постійно зростаючий дефіцит електричної енергії є суттєвим недоліком. Електричні печі не можуть забезпечити стабільну роботу за причин зазначених вище. Враховуючи все вище, з'являється необхідність шукати альтернативу в застосуванні того виду палива, який буде значно зручнішим, безпечнішим, альтернативним, економічним і відповідати всім технічним параметрам.

1.2 Розгляд та аналіз проблем використання альтернативних палив для технологічних потреб печей

В роботі пропонується приділити увагу біологічному виду палива – паливні гранули (пелети).

Пелети представляють собою циліндричні спресовані частинки, виготовлені з щепи від лісозаготівель та деревообробки, а також відходів сільського господарства (наприклад, соломи, лушпиння, кукурудзи), торфу та деревного вугілля. Однією з речовин, яка об'єднує ці компоненти, є лігнін, що пластифікується в процесі грануляції за високої температури. Утворення пелет відбувається під тиском приблизно 300 атмосфер без використання будь-яких добавок або клею. Розміри пелет зазвичай коливаються від 10 до 30 мм в довжину і від 6 до 10 мм в діаметрі. Важливою перевагою гранул є їхня висока і стабільна насипна щільність, правильна форма і малі розміри, що сприяє автоматизації процесів завантаження-розвантаження та спалювання цього виду палива [9].

Паливні гранули є екологічно чистим видом палива. При спалюванні пелет у атмосферу виділяється стільки ж вуглекислого газу, скільки формується при природному розкладанні деревини [9].

Хімічні властивості готових гранул визначаються вихідною сировиною. У процесі пресування не допускається використання інших матеріалів, таких як клей і пластмаси. Ще однією характеристикою паливних гранул є кількість виділеної теплової енергії.

Пелети використовуються для спалювання в пелетних котлах та печах, за допомогою встановленого спеціальний пелетний пальник. На першому етапі згоряння пелет відбувається випарювання води, адже вони містять лише 6-10% вологи, що значно менше порівняно із звичайними сухими дровами, які можуть містити до 30% вологи. Низький вміст вологи в пелетах сприяє високому

коефіцієнту корисного використання енергії (ККД) при їх згорянні, і цей етап випарювання води відбувається швидко.

Другий етап згоряння пелет - етап газифікації або піролізу, який включає згоряння піролізного газу. До 80% теплової енергії, вивільненої під час спалювання пелет, стає доступним завдяки згоранню піролізного газу. Цей процес настає при температурі 270-300°C.

Третій етап згоряння полягає в згорянні деревного вугілля, яке залишається після газифікації пелет. Деревне вугілля містить лише близько 20% теплової енергії, проте є важливим забезпечити достатню кількість кисню в камері згоряння для повного його згорання. Забезпечення потрібної кількості кисню на всіх трьох етапах згоряння є ключовим для успішного горіння пелет. Недостатня кількість може призвести до неповного згорання, а надмірна кількість може призвести до викиду важливого піролізного газу в димову трубу, знижуючи ККД згоряння пелет.

До ключових переваг даного типу палива можна віднести:

- паливні гранули представляють екологічно чисте паливо з вмістом золи, що не перевищує 3%. При їхньому спалюванні в атмосферу викидається стільки CO₂, скільки рослина поглинула під час свого зростання;

- гранули менше схильні до самозаймання, оскільки вони не містятьпилу і спор, які можуть викликати алергічні реакції у людей;

- гранули відрізняються від звичайної деревини високою сухістю (8-12% вологи, порівняно з 30-50% у дровах) і більшою щільністю, що приблизно в півтора рази більше. Це забезпечує високу тепловіддачу порівняно з тріскою або дровами. При згоранні тонни гранул вивільнюється приблизно 5000 кВт•год тепла, що в півтора рази більше, ніж у звичайних дровах;

- низький вміст вологи є перевагою гранул як палива, але водночас це є викликом у процесі їх виробництва. Сушіння може бути однією з основних статей витрат при виготовленні паливних матеріалів з відходів деревообробки. Крім того, залежно від виробництва, збірки, сортування і очищення сировини

можуть також призводити до додаткових витрат. Сушіння слід ретельно планувати для зменшення ризиків, пов'язаних з якістю готової продукції, її вартістю та пожежонебезпекою виробництва;

- однією з ключових переваг гранул є їх висока і постійна насипна щільність, що дозволяє легко транспортувати цей сипкий продукт на великі відстані. Завдяки правильній формі, невеликому розміру і однорідній консистенції продукту, гранули можна пересипати через спеціальні рукави, автоматизуючи процеси завантаження-розвантаження і спалювання цього виду палива.

Недоліками є необхідність утримання складського запасу, а також можливість розпилювання токсинів або радіоактивних речовин у атмосферу при спалюванні гранул, якщо місце зростання сировини містить такі забруднення. Для повного розуміння ефективності використання паливних гранул (пелет) важливо провести порівняльний аналіз із іншими типами палива в табл.1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльна таблиця пелет з іншими видами палива.

Вид палива	Теплота згорання (МДж/кг)	Калорійність, ккал	% зола	% сірка
Камяне вугілля	15-25	4500-5200	10-35	1-3
Буре вугілля	14-22	4000-4300	10-35	1-3
дрова	10	2000	2	0
Пелети торф'яні	18	4500-4800	6	0,7
Пелети деревні	18,4	4800-5000	2,5	0,1
торфобрикети	14,9	3200	23	1-3
Природний газ	35-38	9850-13000 Ккал/м ³	0	0

З табл. 1.1 можна визначити, що теплова енергія, яка виділяється при згорянні паливних гранул, наближено еквівалентна теплові, яке виділяється при

згорянні кам'яного та бурого вугілля, але вдвічі менше, ніж у випадку природного газу.

Отже, паливні гранули мають більш перевагами, ніж інші види палива, і у сучасних умовах вони є найбільш економічно обґрунтованими.

1.3. Приклади застосування пелетних пальників у хлібопекарському виробництві

Розглянемо приклад успішного використання пелетних пальників є у печах ротаційних конвекційних хлібопекарських фірми «Імпексмаш» ІМПЕХ ROTOR [5]. Пристрій призначено для приготування широкого асортименту хліба, хлібобулочних та борошняних кондитерських виробів як на великих виробничих підприємствах хлібопекарської промисловості, так і в невеликих пекарнях. Випікання хлібних та кондитерських виробів відбувається у внутрішніх формах для хліба або на листах, які завантажуються на стелажний візок, візок везеться в пекарню камеру та розміщується на платформі. Піч може обслуговувати одна особа. Зовнішній вигляд та технічні характеристики печі показаний на рис. 1.2.



Продуктивність, шт./за одну випічку:	
- Батон 0,5 кг	128
- штучні вироби 0,15 кг	360
- відсадне печиво 0,020 кг	2376
Номинальна електрична потужність, кВт.:	2,5
Теплова потужність, кВт	50
Номинальна напруга, В:	380 (3-х фазне)
Рід струму, Гц	Змінний, 50
Тип пелет:	
Діаметр	6...8мм
Довжина	4..5 діаметра
Теплотворна здатність	≥4.7кВт/год на
Зольність	кг
Вологість	<1% менше 10%
Діапазон встановлення температури в пекарній камері, °C	50-300
Час розігріву печі до температури 220 ° C, хв	45
Габаритні розміри печі у зібраному вигляді/транспортному на піддоні, мм, не більше:	
ширина	1420/1470
глибина	2320/2050
висота	2600/2400
Вага, кг	1350

Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд печі пелетної ротаційної конвекційної.

Покажемо підключення комунікацій на рис. 1.3. Слід здійснити подачу холодної води до п рекомендованою трубою діаметром 1/2" і при тиску не менше 1,0 атмосфери. Підключіть відведення залишкової води трубою діаметром 3/4" до системи каналізації, оскільки температура пари на виході може перевищувати 100°C; це слід враховувати при виборі матеріалу для комунікацій. Слід підключати відведення паровипуску трубою діаметром 200 мм до системи вентиляції. Треба звернути увагу, у трубі паровипуску повинно бути природне зниження тиску від 2 до 5 мм водяного стовпа і для цього необхідно підняти трубу вище найвищою точки даху не менше 0,5 м і передбачити систему видалення конденсату з труби. Виконують монтаж пальника відповідно до інструкції. Збирають та приєднують димар (трубопровід не включений до комплекту поставки), враховуючи що висота димаря має складати не менше 5 метрів від рівня робочого пальника.

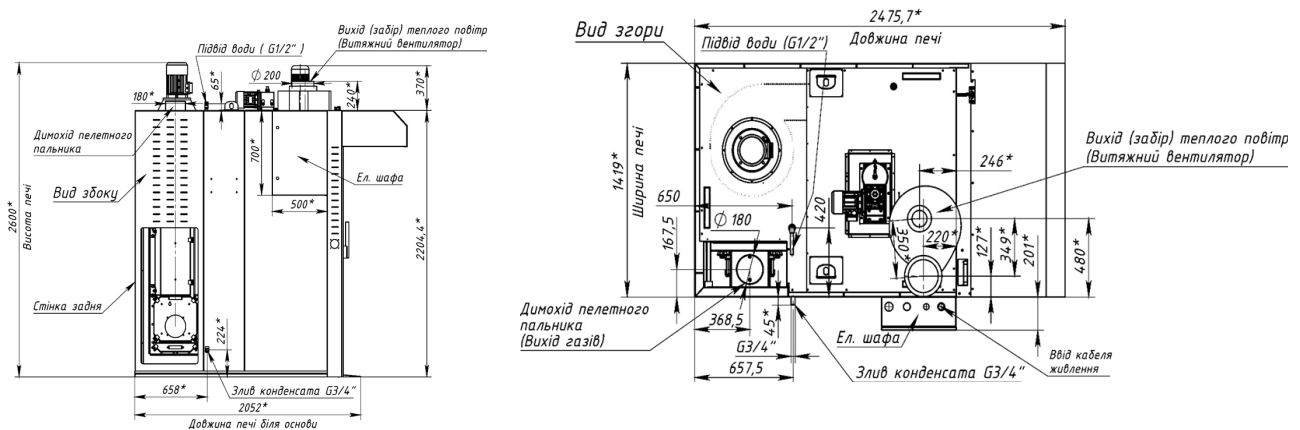


Рисунок 1.3 – Габарити розміри пелетної печі IMPEX ROTOR з підключення її до зовнішніх комунікацій .

Піч необхідно підключити до електричного живлення. Для цього встановлюють захисний автомат електропостачання за робочою напругою печі. Враховують, що для використання печі в жарких і вологих приміщеннях

щільність струму повинна бути збільшена на третину. При встановленні диференційного вимикача, його чутливість повинна дорівнювати 30 мА.

Розглянемо контрольну панель (рис. 1.4) і порядок роботи печі. Робота печі починається з натискання клавiши On/Off на панелі, при щільно зачинених дверцятах. На зараз піч перебуває в режимі "Стоп", і всі приводи вимкнені. Додаються пелети в бункер в достатній кількості. Вмикається пальник відповідно до інструкцій на пальнику. Обирають програму випічки натисканням клавiши «PROG», за використанням клавiші «більше» /«менше», обирають необхідну програму випічки. За 10 секунд вмикається циркуляційний вентилятор і піч переходить в режим «Прогрівання». Піч прогрівається до заданої температури.

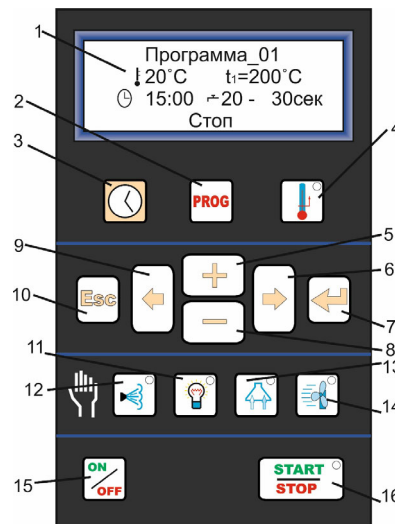


Рисунок 1.4 – Контрольна панель пелетної печі IMPEX ROTOR:

1 – LCD дисплей з даними; 2 – клавiша вибору програми; 3 – клавiша швидкого виклику параметрів поточної програми; 4 – клавiша швидкого виклику температурних параметрів програми; 5 – клавiша збільшення параметра; 6 – клавiша переходу на наступний параметр; 7 – клавiша підтвердження змін параметра; 8 – клавiша зменшення параметра; 9 – клавiша повернення до попереднього параметра; 10 – клавiша виходу з меню (без збереження змін); 11 – клавiша увімкнення підсвічування камери; 12 – клавiша ручної подачі пари; 13 – клавiша ручного включення вентилятора витяжки; 14 – клавiша примусового увімкнення циркуляційного вентилятора; 15 – клавiша вимкнення/увімкнення печі; 16 – клавiша запуску/зупинки циклу випічки.

При досягненні заданої температури – прозвучить короткий сигнал і з'являється повідомлення «Піч прогріта» і готова до циклу випічки. При досягненні температури перед випікання, вимикається циркуляційний вентилятор. Піч переходить в режим стоп. Слід трохи потримати дверці напіввідкритими, тільки потім повністю відкрити і завантажити візок з тістовими заготівками для випікання. Слід пам'ятати, що чим більше відчинені дверця, тим більше падіння температури відбудеться. Отже, процес випікання буде в подальшому довший. Натисканням «START/STOP» піч перейде в режим випікання. Корегувати температуру в режимі випікання можна в даній печі. Ця корекція впливає тільки на поточний цикл випікання. Смикання світла в печі та вентилятору паро видалення сигналізує про завершення процесу випікання. Пару видаляють з камери печі шляхом відкривання заслонки. Звуковий сигнал повідомляє про завершення випічки, у разі подовження часу випічки, можна скорегувати клавішею «Час». Так само, можна і призупинити випічку клавішею «START/STOP». При завершенні випічки візок зупиняється у положенні завантаження-розвантаження і можна відкривати двері печі.

Зазначимо, що піч потребує регулярного огляду для підтримки її робочого стану та забезпечення успішного функціонування. Залежно від інтенсивності експлуатації печі та виду пелет слід виконувати очищення топки печі від золи, очищення середніх димохідних каналів та пелетного пальника, виконувати очищення електричних елементів від пилу та робити візуальну перевірку стану електроустаткування, перевіряти та очищувати від сажі верхній димохідний канал топки та димохідної труби. Силу схемі підключення печі покажемо на рис. 1.5. та схем у контролена на рис. 1.6.

Зазначимо, в печі Imprex Rotor передбачено можливість реверсу обертання візка, а її платформа має підсилену конструкцію. Тому в даній печі можна випікати важкий хліба у формах також.

Система ефективної циркуляції повітря з вентилятором створює в пекарній камері рівномірний потік повітря з оптимальною швидкістю. Це дозволяє отримувати продукти з рівномірною пропіченою структурою та однорідним кольором, не потребуючи регулювання жалюзі. Рециркуляційний вентилятор спеціально адаптований для високих температур.

Ротаційна піч має подвійну теплоізоляцію, що забезпечує додаткову ефективність печі. Такі печі можуть працювати у цілодобовому режимі.

Регулярний огляд та технічна підтримка є необхідними для ефективної роботи будь-якої печі. Для досягнення цього необхідно дотримуватися конкретних інструкцій. Всі процедури перевірки та обслуговування печі повинні виконуватися тільки в тих випадках, коли вона є непрогрітою та повністю відключеною від електроживлення.

Для огляду внутрішніх деталей печі рекомендується звертатися до виробника або продавця обладнання. У випадку, коли електрична система печі не працює належним чином, важливо переконатися, що огляд виконується кваліфікованим спеціалістом-електриком.

Не рідше одного разу на кожні 24 години роботи (залежно від інтенсивності використання печі та типу використовуваних пелет) рекомендується видаляти золу з топки печі.

Очищення середніх димохідних каналів та пелетного пальника слід проводити не рідше одного разу на кожні 72 години, дотримуючись інструкцій, наведених для пальника. Щотижня рекомендується проводити очищення від пилу електричних елементів, візуально перевіряти стан електрообладнання і очищати верхній димохідний канал топки від сажу. Один раз на місяць рекомендується перевіряти затягування клемних з'єднань та стан вимикачів, контакторів, кінцевих вимикачів.

Рекомендується проводити очищення системи парогенерації від накипу один раз на місяць. У разі необхідності регулювання витрати води рекомендується використовувати регулятор тиску або вентиль перед клапаном.

Висновки до розділу 1

1. В роботі проведений детальний огляд та аналіз проблем використання електричної енергії для технологічних потреб печей. Зазначені переваги і недоліки використання електричної енергії в печах для випікання. Питання подальшого використання даного типу енергії погіршуються у зв'язку з тотальним дефіцитом електричної енергії в мережі і вимагає пошуку альтернативних шляхів вирішення питання стабільної роботи підприємств.

2. В роботі пропонується приділити увагу біологічному виду палива , а саме паливним гранулам. Показані переваги і недоліки, проведено економічне обґрунтування використання цього виду палива для печей хлібопекарського виробництва.

3. Наведений приклад успішного використання пелетних пальників є у печах ротаційних конвекційних хлібопекарських фірми ВТЦ «Імпексмаш» IMPEX ROTOR. Детально показані умови роботи такої печі.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ПЕЛЕТНИХ ПАЛЬНИКІВ В ПЕЧЕАХ ХЛІБОПЕКАРСЬКОГО ТА КОНДИТЕРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

2.1. Типи пелетних пальників для печей хлібопекарського та кондитерського виробництва

Пелетний пальник це пристрій призначений для отримання теплової енергії шляхом спалювання гранульованого палива типу пелет.

Розглянемо пелетні пальники, які можуть встановлюватись в печах хлібопекарського виробництва. Зазначимо, що встановлення пелетного пальника, не суттєву впливає на зміну конструкції печі в цілому. Але такі печі матимуть ряд переваг: повна автоматизація печі, нема необхідності постійно досипати паливо і його контролювати. Відзначається високий ККД таких печей. Мають плавну зміну потужності. Економічні. Зупинка печі у разі необхідності чи аварії на підприємстві є її перевагою.

Пелетний пальник має ряд функцій: подача палива в зону горіння, подача повітря в зону горіння, їх перемішування в зоні горіння та забезпечення безпечної і безперервної роботи .

Подача пелет в зону горіння може бути здійснена різними методами, проте основна вимога - збереження стабільної подачі визначеної кількості палива протягом одиниці часу. Наприклад, якщо пальник налаштований на спалювання 20 г/хв пелет, то ця вимога повинна бути дотримана від моменту запуску до завершення роботи. Зауважимо, що чим менший розмір "порції", тим складніше виконати цю вимогу. Можливість налаштування обертання шнека існує, однак багато виробників установлюють сталий режим обертання або незначні варіації. Вони можуть змінювати обсяг подачі, включаючи періоди роботи і зупинки шнека, наприклад, 5 секунд обертання чи 20 секунд зупинки і так далі [6].

Основним є визначення необхідної кількості подачі пелет і їх вчасна подача. Нехватка пелет може призвести до виникнення зворотного вогню, коли фронт вогню рухається уздовж бункера в зворотному напрямку. І навпаки, надмірне постачання пелет може спричинити їх викид з пальника і подальше спалювання у зольному ящику.

Ще однією умовою якісної роботи печі на пелетах є раціональне постачання повітря в область горіння. Це завдання може бути вирішено будь-яким пристроєм для подачі повітря. Однак найбільшою складністю є розподіл повітря відповідним чином у зоні горіння, оскільки другорядне повітря є не менш важливим для ефективного спалювання пелет.

Пелетний пальник оснащений декількома контурами (зонами) безпеки. Також, повинен мати зручну схему управління, можливість швидкого монтажу/демонтажу (система кріплення, герметичне з'єднання), високу ремонтпридатність та виправдану ціну. Важливу роль відіграє і форма пальника, яка впливає на змішування пелет і повітря під час горіння. На ринку з'являється безліч різних модифікацій пелетних пальників, які важко віднести до одного чи іншого типу. Найчастіше, конструктори використовують складні геометричні форми з тими ж цілями - забезпечення оптимальної подачі кисню до пелет для ефективного згоряння палива.

Відомі і знайшли використання три основні категорії пелетних пальників: факельні, об'ємного горіння та камінні. При виборі пальника важливо розуміти їхні схеми та розуміти переваги і недоліки кожного. Камінні пальники - працюють на принципі горіння в чаші з подачею повітря знизу та падінням пелет зверху. Такі пальники не використовуються для промислових потреб в печах хлібопекарського виробництва.

Розглянемо детально пальники об'ємного горіння. Пальник має форму чаші з прорізами з боків, через які вентилятор подає повітря для горіння. Усі процеси, пов'язані зі спалюванням палива, регулюються обігрівачем контролера. Схема пальника об'ємного типу показана на рис. 2.1. Блок управління 1. За його допомогою відбуваються безпосереднє керування

пальником. Допоміжний механізм 2 виконує важливу функцію налаштування того самого співвідношення - первинного-вторинного повітря. Пальник швидко монтується за допомогою регулюючого фланцю швидкого приєднання 3. В такому типі пальників шлакування пелет виплючене [6].

Це досягається завдяки хропового приводу обертання ворошителя «корони» 4 та ножів ворошителя палива 6. Зйомний розпилювач вторинного повітря 5. Його можна легко прочищати. Зовнішній шнек подає паливо в пальник, який приєднується через гофрорукав на патрубок 7. Під кришкою 8 знаходиться шлюз, вентилятор наддуву, фоторедуктор привода шнека і шлюзу, привод ворошителя та електроніка.

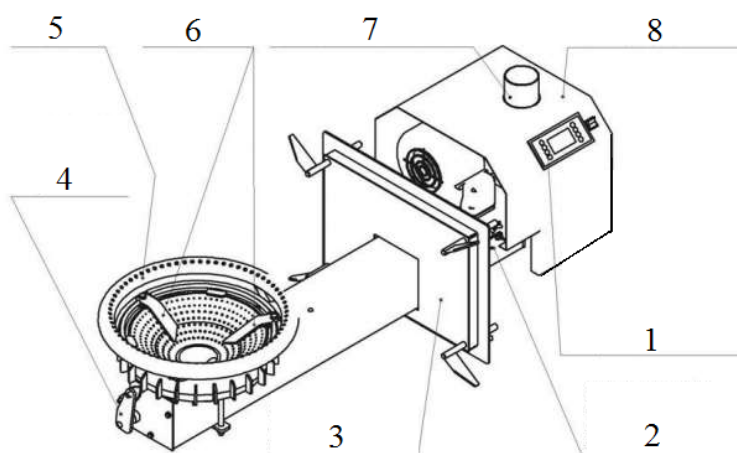


Рисунок 2.1 – Принципова схема пальника об'ємного горіння.

Пелети для спалювання постачаються в нижню частину "чаші" за допомогою шнекового конвеєра (рис. 2.2). Самі ж пелети через дозуючий пристрій подаються в шнек із бункера способом вільного падіння.

Всі пелети, які подаються до камери згоряння, мають бути високої якості. Збільшення кута нахилу шнека цього пальника може спричинити утворення шлаку та зупинку подачі пелет.

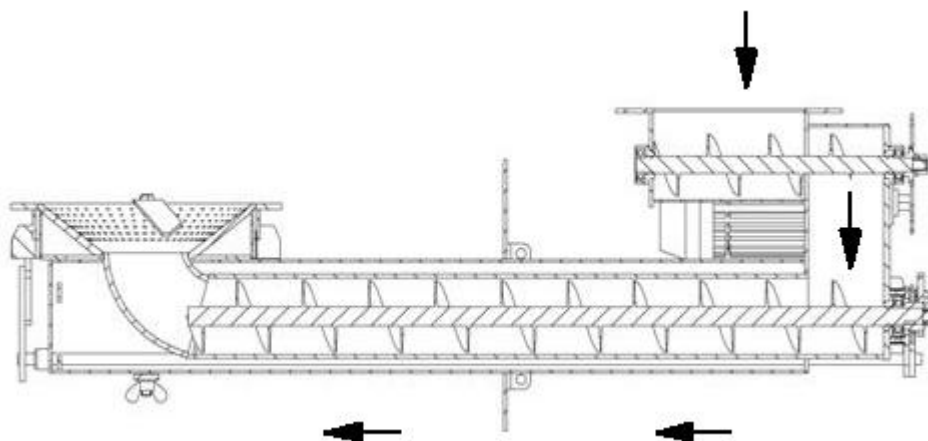


Рисунок 2.2 – Схема пальника об'ємного горіння з нанесенням напрямку руху подачі пелет.

Однією з основних недоліків пальників об'ємного горіння є їхні великі розміри та складна конструкція порівняно з факельними пальниками. Зі збільшенням довжини шнека зростає кількість деревного пилу, що утворюється і не є корисним для роботи пальника. Також, через таку конструкцію, існує ризик виникнення зворотного полум'я.

Основною перевагою використання пальників об'ємного горіння є їх більша потужність та ККД в порівнянні з іншими видами пальників.

Розглянемо інший тип пальника. Пальник факельного типу функціонує інакше. Шнековий конвеєр подає гранули на спеціальний приймальний майданчик. Крізь пелети вентилятор направляє повітря. Під час роботи виникає потужний стійкий факел з горизонтальним напрямом (рис.2.3) [7].

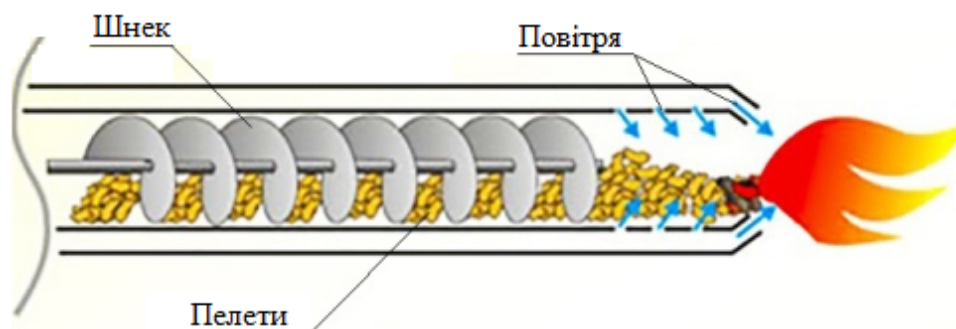


Рисунок 2.3 – Пальник факельного типу з пелетами.

В конструкції є плата керування, що контролює електричний розпал та підтримує полум'я, також є фотодатчик та елемент розжарювання (рис. 2.4). У верхній частині корпусу розташований патрубок для постачання палива. Процес запалювання пальників цього типу відбувається наступним чином: за командою контролера шнек подає невелику кількість пелет до камери і призупиняється. Вводиться елемент розжарювання, і водночас з ним працює вентилятор, ініціюючи вогник палива. Фотодатчик реєструє появу стійкого полум'я і повідомляє про це блок управління. Останній вимикає елемент розжарювання. Далі розпочинається звичайний режим роботи. Шнековий конвеєр відновлює постачання, а вентилятор подає необхідну кількість повітря.

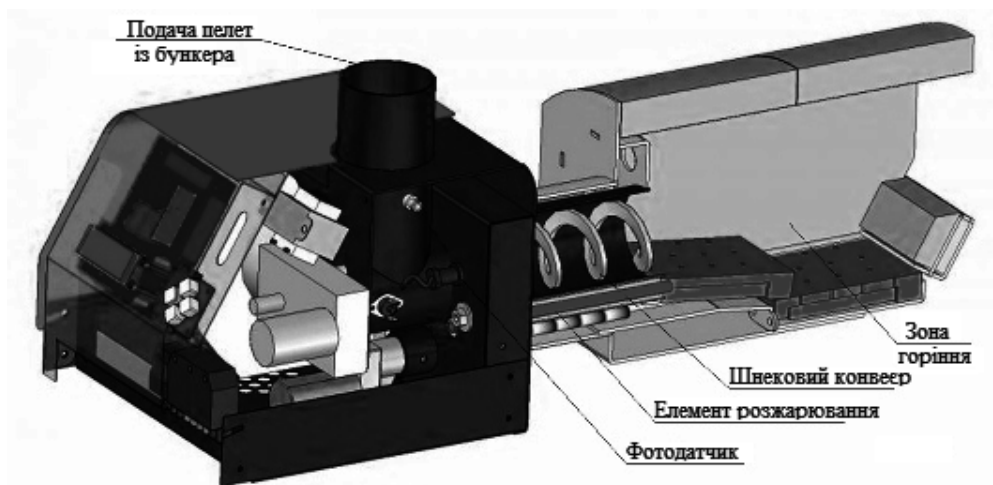


Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд пальника факельного типу.

Пелетний пальник факельного типу є гальною альтернативою газовому пальнику. Цей пальник автоматично регулює подачу палива та повітря відповідно до потреб у теплі. У порівнянні з ретортними пальниками, факельні пальники надають максимально комфортні умови, подібні до газових пальників. Факельні пальники відрізняються компактними розмірами, їх можна встановлювати в будь-яку піч. Вони є простими та надійними у використанні, можуть працюючи з пелетами різної якості і без подальшого утворення шлаку.

Середня температура, яку може досягти факельний пелетний пальник, коливається близько 1200° . Це сприяє швидкому процесу згоряння сировини в топці і має ряд переваг: повне згорання і максимальне виділення тепла

відбудеться і при згорання відсирілих пелет, забезпечується швидкий прогрів теплоносія і пелети встигають підсушитись.

При виборі типу пальника слід також враховувати конструкцію печі. При установці пальника теплообмінний апарат печі розташовуватиметься позаду нього, захищений від можливих пошкоджень жаростійкою стінкою. У разі використання факельного пальника, його факел буде спрямований безпосередньо на стінку теплообмінника, що призведе до швидкого прогріву по всій його поверхні. При роботі ретортного пальника вогонь буде направлений вгору, і значна кількість тепла буде розсіюватися, що спричинить більш повільний процес нагріву.

При виборі пальника для випікання кондитерських виробів слід враховувати, щоб печі мали високу маневреність. Тому для подальшого використання приймаємо пальник факельного типу.

2.2 Порівняння пелетних пальників різних виробників

Обираючи пелетний пальник слід керуватись наспутними показниками такими як: потужність пальника, безпека, сучасність, простота, ціна.

Останніми роками на ринку з'явилося багато виробників пелетних пальників, і ціна на них формувалась з врахуванням якості, продуктивності, технічними характеристиками та залежно від країни виробника. На ринку успішно зарекомендували себе пальники естонського виробництва Pelltech та вітчизняного виробника RCE. Найчастіше RCE-50 використовую для заміни рідкопаливних та газових пальників. Покажимо складові частини і конструкцію пальника на рис. 2.5.

Пальник RCE 50 складається з окремих компонентів, утворюючи єдиний модульний багатофункціональний пристрій. Камера згорання 2 виготовлена із жароміцної сталі марки 12X18H10T та розрахована на тривалий термін служби. Геометричні розміри і розташування отворів на колоснику 1 сприяють утриманню стабільного полум'я пальника. Трубчаста конструкція камери

підвищує ефективність згоряння, що призводить до більш чистого горіння, порівняно з пальниками із відкритим палаючим шаром.

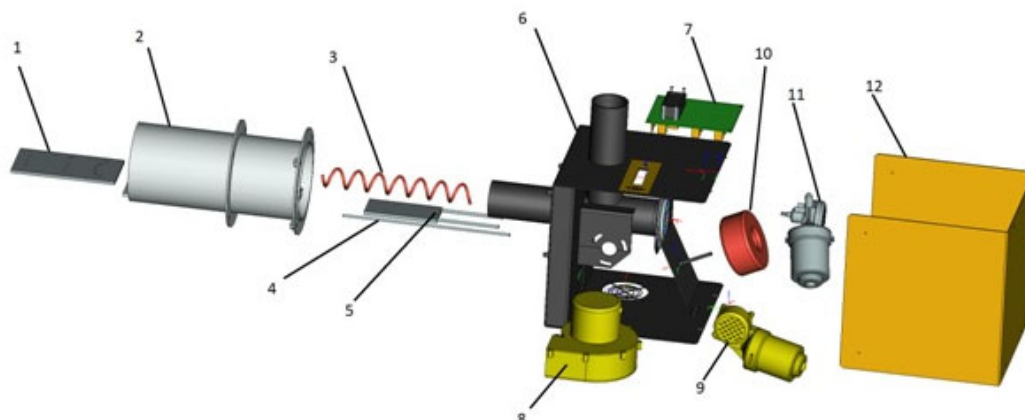


Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд та конструкція пальника RCE-50.

Система розпалу складається із електричного нагрівального елементу 5 (ТЕН) та вентилятора наддуву 8. Внутрішній шнек 3, що закріплений на двигуні внутрішнього шнека, виводить пелети у зону горіння та розташований у корпусі 6 пальника. Для механічного чищення 4 використовується привід, знаходячись на двигуні 9 для чистки пальника, який прикріплений до перехідної пластини. Крім того, у корпусі 6 пальника розташований вентилятор 8 наддуву, який живиться від трансформатора 10. Контролер управління 7 з РК-дисплеєм розташований під верхньою панеллю корпусу 6 пальника. Інтелектуальний контролер управління відповідає за повний контроль процесу горіння та підтримання заданої потужності. Кришка корпусу 12 захищає елементи пальника від пошкоджень і зовнішніх впливів [7].

Використання корпусу з жароміцної сталі дозволяє подовжити термін служби пальника, а присутність шамотних деталей у топці сприяє більш повному згоранню пелет та досягненню ККД до 91%. Параметри вибору, режими роботи, а також увімкнення та вимкнення пальника можна легко налаштовувати з панелі управління. Наявність полум'я контролюється за допомогою пірометричного датчика.

При вмиканні живлення пальник автоматично переходить у режим діагностики, під час якого на екрані контролера відображається версія поточного програмного забезпечення, і сам пальник перебуває в режимі очікування. Під час запуску пальника з бункера за допомогою шнека, в приймальну камеру пальника подається визначена порція палива за одиницю часу. Внутрішній шнек переміщує гранулу в камеру згоряння, і за допомогою фена (розпалюючого елемента) проводиться розпал палива. Після цього пальник автоматично переходить у робочий режим.

Пірометричний датчик пальника відслідковує ефективність горіння. Регулятор обертів повітря налаштовує співвідношення між паливом та повітрям. Якщо протягом встановленого періоду датчик вогню не реєструє вогню, розпочинається другий цикл завантаження та розпалювання. Після трьох спроб безрезультатного розпалювання пальник переходить у режим помилки.

Датчик температури регулює температуру теплоносія в зазначеному діапазоні. Якщо значення виходять за межі встановленого діапазону, пальник активує аварійний режим, сигналізуючи звуковим сигналом і виводячи відповідне повідомлення на РК-дисплеї.

Для удосконалення процесу горіння пелетних пальників передбачено можливість налаштування параметрів. При цьому пальники виготовляються з заводськими налаштуваннями, які вже програмовані. Габаритні розміри пальника LIBERATOR RCE-50 представлені на рис. 2.5.

Пальники Pelltech PV-50 забезпечують високоякісне горіння. Застосування розжарюваної топки, виготовленої з вогнетривкої кераміки, гарантує повне спалювання, високу ефективність і низький рівень викидів димових газів. Принцип роботи пальника Pelltech PV-50 практично той же, що й у RCE-50, відрізняючись лише наявністю більшої кількості датчиків

Перед кожним запуском пальника проводиться автоматичний тестовий цикл. Протягом тестування вентилятор ввімкнено на максимальну потужність. У випадку, якщо обертання вентилятора не досягає 30 обертів в секунду, на

дисплеї виводиться повідомлення "помилка вентилятора". Зарядка акумулятора вимикається, а вмикається джерело живлення. Під час тестування роботи живильника, необхідно забезпечити один повний оберт протягом 8 секунд. В іншому випадку система повідомить про "помилку живильника".

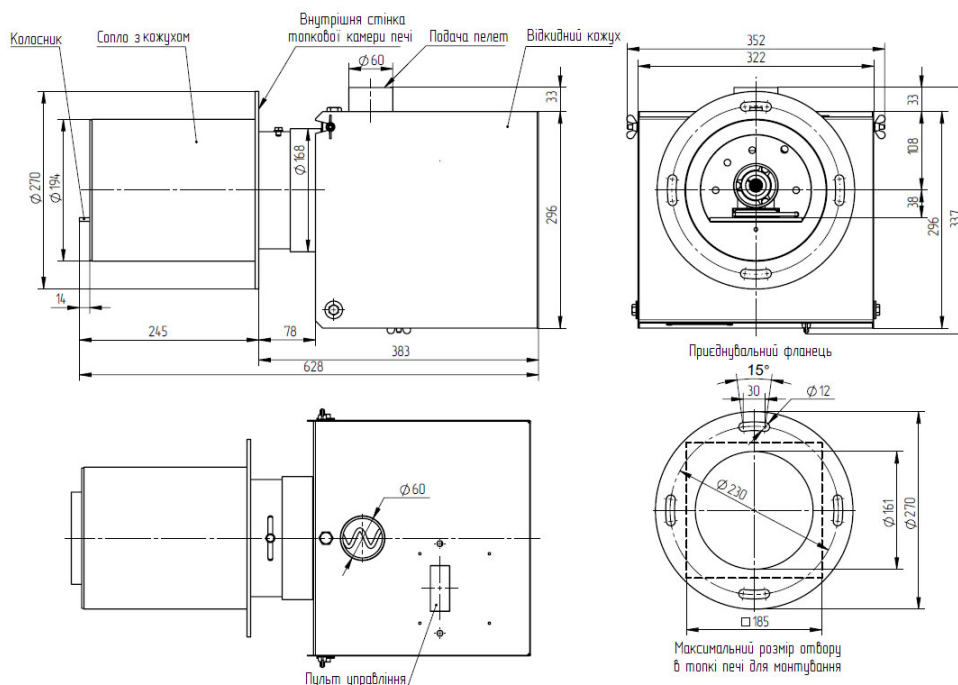


Рисунок 2.6 – Габаритні розміри пальника типу LIBERATOR RCE-50

Перед початком кожного робочого циклу решітка пальника піддається процедурі очищення. У цьому випадку нижня решітка зміщується під верхньою решіткою, що спричиняє видалення золи при її пересуванні у вихідне положення. У випадку, якщо решітка застрягає, вона повертається у вихідне положення, і процедура повторюється знову.

Під час завантаження внутрішній живильник постачає необхідну кількість палива в камеру згоряння, замірюючи обсяг за кількістю обертів. Коректне завантаження палива відбувається після 223 половиною обертів живильника. Функціонування внутрішнього живильника контролюється датчиком рівня палива. Живильник запускається лише після того, як датчик визначає наявність палива в пальнику протягом більше 1 секунди. Живильник припиняє роботу після 1,5 обертів без палива в пальнику.

Робота зовнішнього шнека відповідає за підтримання рівномірної кількості палива в трубі живильника протягом усього циклу завантаження, залежно від роботи датчика. Шнек запускається, коли датчик перестає розпізнавати наявність палива в пальнику протягом більше 1 секунди, і зупиняється, коли датчик починає розпізнавати наявність палива протягом більше 5 секунд. Максимальний час завантаження обмежується 5 хвилинами в нормальних робочих умовах. Після завершення циклу завантаження проводиться попередній розігрів запальника.

Після режиму "займання" настає режиму з повним займанням всіх пелет. Під час роботи в цьому режимі додаткове паливо не завантажується. Вентилятор працює з тією ж самою швидкістю, що і під час займання.

Під час горіння періодично додається паливо, і вентилятор підтримує постійну швидкість. Режим горіння триває до того моменту, коли термостат печі не відключається [8].

Операції зовнішнього шнека відповідають за підтримання сталого рівня палива в трубі живильника протягом усього періоду горіння. Робота шнека підконтрольна датчику рівня палива, і вона виконується наступним чином: шнек активується після того, як датчик рівня виявить відсутність палива в пальнику, і внутрішній живильник виконає два з половиною оберти. Зупинка шнека відбувається, якщо датчик виявляє наявність палива в пальнику протягом більше ніж 1 секунду.

Кількість пелет в вертикальній трубі постачання відслідковується за допомогою датчика рівня палива. Наявність палива визначається при перериванні оптичного зв'язку між сенсорними елементами. Система керування пальником сигналізуватиме про несправність в контролі рівня палива у таких випадках: затримка завантаження палива (відсутність сигналу протягом певного періоду часу); затримка вивантаження палива (наявність сигналу протягом певного періоду часу перевищує встановлений ліміт).

Пальник має 6 заздалегідь встановлених рівнів вихідної потужності. Для кожного рівня програма управління обчислює необхідну кількість палива,

враховуючи теплотворну здатність палива і внутрішню продуктивність живильника пальника. У більшості випадків нормальна продуктивність живильника становить 78 г на оберт. Розрахункова кількість палива розділяється на періодичні цикли його подачі. Кожен цикл живильник виконує наполовину оберту. Якщо розрахунковий цикл доходить до найкоротшого (менше 11 секунд), то довжина циклу подвоюється, і паливо подається при повному оберті живильника.

Для кожного рівня потужності встановлюється конкретна швидкість обертання вентилятора. Електронна система управління пальником автоматично вибирає рівень вихідної потужності, який знаходиться між запрограмованими мінімальною і максимальною потужностями. Після більше ніж 30 хвилин горіння рівень потужності пальника піднімається при наступному запуску. У випадку, якщо час горіння менший за 15 хвилин, рівень потужності пальника знижується при наступному запуску.

Введення режиму "підтримки полум'я" має на меті скорочення кількості циклів запалювання. Пальник переходить у режим "підтримання полум'я", якщо час між двома запусками становить менше 10 хвилин протягом двох таких циклів. Якщо режим "підтримка полум'я" триває більше однієї години, автоматичний режим вимикається, і пальник переходить у режим "завершення горіння". У режимі "підтримка полум'я" нова порція палива постачається кожні 127 секунд.

У режимі "завершення горіння" відбувається повне спалювання усіх залишків палива у камері згоряння. Також здійснюється спалювання трубки живильника, при цьому припиняється подача палива з зовнішнього шнека. Внутрішній живильник і вентилятор продовжують роботу у відповідності з попереднім режимом ("підтримка полум'я" або "горіння"). Коли внутрішній живильник виконує 15 циклічних обертів, він переходить у безперервний режим, виконуючи до 32,5 обертів.

Після відключення постачальника робота у цьому режимі триває, доки полум'я не перестане розпізнаватися, плюс одна хвилина. Конструкція пальника Pelltech PV-50 представлена на рис. 2.7. та габаритні розміри на рис. 2.8.

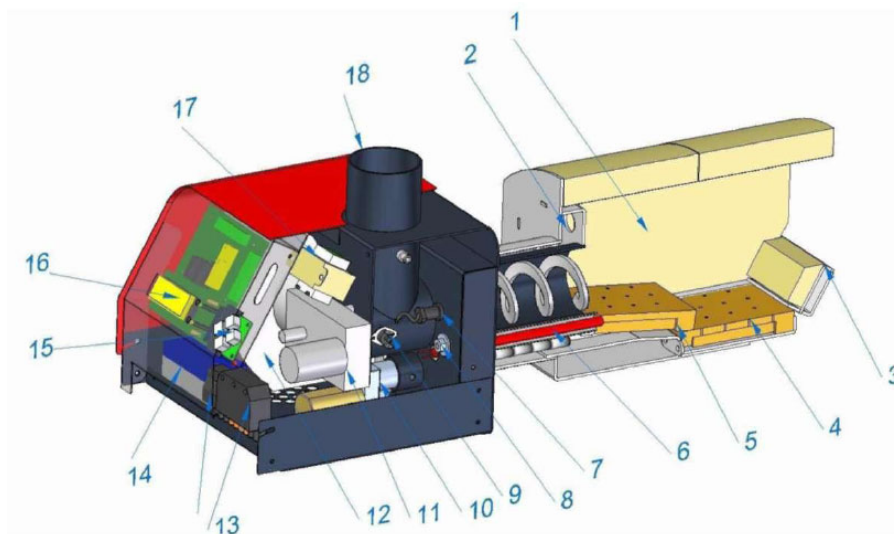


Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд пальника типу Pelltech PV-50:

Основні вузли: 1 – керамічна камера згорання; 2 – отвори вторинного повітря; 3 – отвори третинного повітря; 4 – рухома колосникова решітка; 5 – решітка; 6 – запальник; 7 – датчик полум'я подаючого шнеку; 8 – гайка пальника; 9 – термореле запобіжне; 10 – привід решітки; 11 – привід; подаючого шнека; 12 – вентилятор; 13 – затвори; 14 – акумулятор; 15 – клавіатура; 16 – дисплей; 17 – мережевий трансформатор; 18 – датчик рівня палива; 19 – патрубок відведення палива.

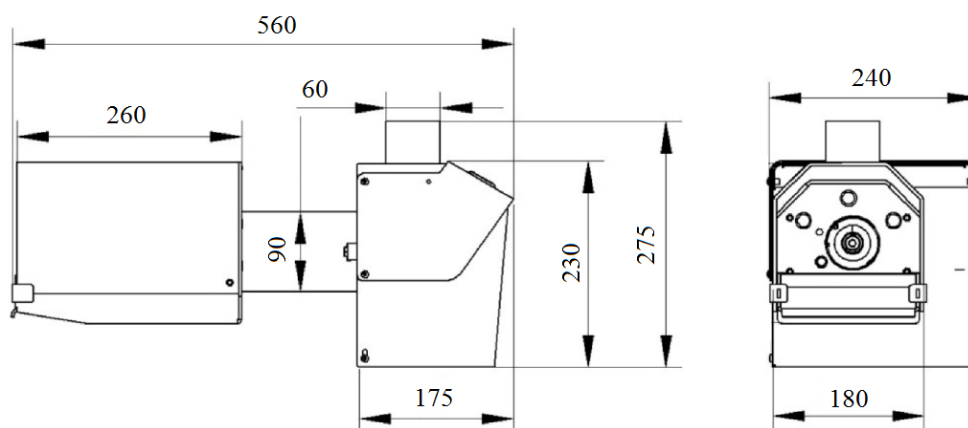


Рисунок 2.8 – Габаритні розміри пальника типу Pelltech PV-50.

Технічні характеристики пальників LIBERATOR RCE-50 та Pelltech PV-50 мало чим відрізняються. Якість та надійність вітчизняного пальника не поступається європейському, суттєва різниця у ціні. Отже, приймати до встановлення пелетний пальник LIBERATOR RCE-50 є економічно виправдано.

2.3 Пелетний пальник «IMPEX-BURNER» для печей хлібопекарського виробництва

В роботі окрему увагу приділемо розгляду пелетного пальника, який призначений для застосування в ротаційних печах хлібопекарського та кондитерського виробництв. Для таких пальників є ряд рекомендацій до характеристик палива (табл. 2.1). Теплова енергія виділяється в вигляді факела полум'я, що виходить з камери згоряння пальника в топочний простір. Пальник має автоматичне очищення з рухомим колосником. Колосник знижує ймовірність утворення нагару при використанні низькоякісних пелет і, тим самим, продовжує термін безвідмовної роботи пальника. Конструкція пелетного пальника та зовнішнього шнека наведено на рис. 2.5 та рис. 2.6 відповідно [9].

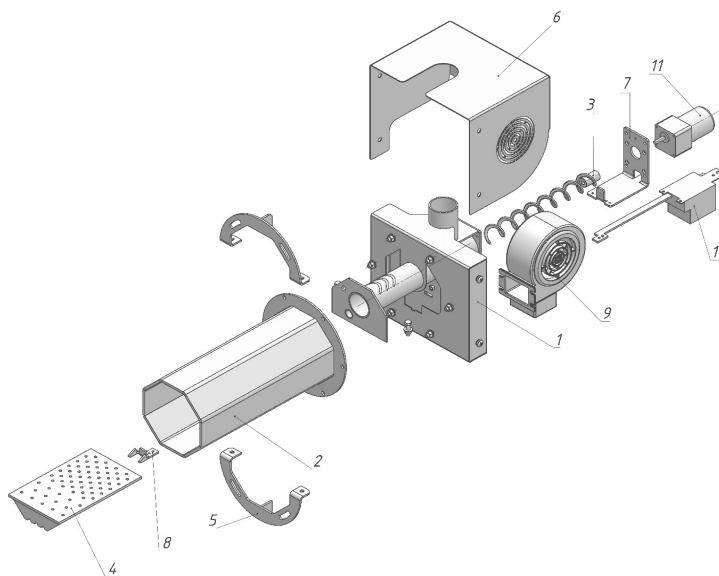


Рисунок 2.5 – Конструкція пальника:

1 – корпус; 2 – камера згоряння; 3 – внутрішній шнек; 4 – колосник; 5 – фланець приєднувальний; 6 – кришка; 7-кронштейн моторредуктора; 8-кронштейн колосника; 9 – вентилятор; 10 - привід очищення колосника; 11 - моторедуктор.

Таблиця 2.1 – Рекомендації щодо характеристик палива

Найменування характеристик	значення	примітка
Діаметр пелет, мм	Від 6 до 8	Якщо діаметр не відповідає зазначеним розмірам, забивається шнек, процес нестабільного горіння, забивається пальник
Довжина пелет, мм	Від 5 до 40	При меншій довжині – буде видувати з камери горіння, різко падає ККД пальника. Якщо більша довжина – застрягання в трубах і не буде горіння.
Насипна щільність кг/м ³ не менше	600	При меншій – пелета буде легка і буде видуватись з камери згорання
Вміст пилу з розмірами частинок менше 3 мм, не більше %	1	Якщо менше, пелета видувається з камери згорання, різко падає ККП пальника
Вміст вологи, не більше %	10	Більша вологість призведе до задимлення камери згорання, поганого розпалювання, накопичення піролізних газів, що може призвести до вибуху
Зміст золи, не більше %	1	Великий відсоток зольності призводить до зменшення об'єму камери згорання, і як результат значного зниження ККД пальника
Теплотворна здатність, кВт год/кг	4,5- 10	Якщо нижче, різко знижується ККД пальника, якщо вище – передчасне зношування колосника і камери згорання
Температура плавлення золи, °С	1350	Якщо нижче, порушується процес горіння, внаслідок забивання отворів колосника
Об'єм 1 тони палива, м ³	Від 1,5-1,6	Якщо більше, значить пелета легка і видуватиметься з камери згорання
Сировинна основа	Лушпиння сояшника, дерево хвойних і листяних порід, кукурузник качан, солома, очерет	
Витрати пелет	Для отримання 1 кВт теплової енергіїдесь необхідно 0,22 кг пелет залежно від якості пелет	

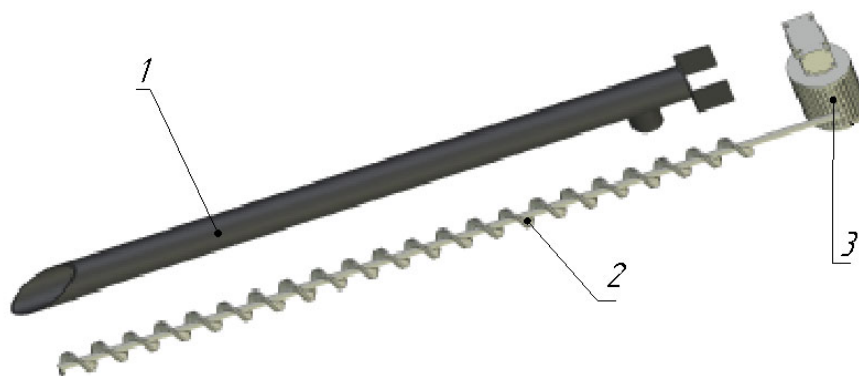


Рисунок 2.6 – Конструкція шнека:

1 – корпус шнека; 2 – шнек гвинтовий; 3 – електричний привід.

Використання пелетного пальника та гранул як палива дозволяє автоматизувати операції ротаційних печей і мінімізувати людські трудовитрати. Для автоматичного режиму роботи пальника використовується паливо у вигляді гранул. Налаштування пелетного пальника здійснюється шляхом регулювання швидкості подачі пелет в область горіння та кількості повітря, що надходить в камеру згоряння. Правильна конфігурація пелетного пальника забезпечує максимальну ефективність використання палива.

При запуску пальника гранули із бункера через шнековий транспортер (рис. 2.6) поступово подаються в пелетоприймач пальника. Із пелетоприймача гранули, за допомогою внутрішнього шнека, надходять в камеру згоряння. Одночасно з завантаженням гранул контролер блоку управління активує ТЕН та нагнітаючий вентилятор. Через ТЕН вентилятор плавно постачає повітря, яке нагрівається і запалює гранули пелет. Після виявлення датчиком полум'я відкритого вогню в зоні горіння, контролер переводить пальник у режим горіння. Поступове підвищення потужності дозволяє плавно збільшувати кількість подачі палива та повітря в камеру згоряння пальника.

Датчик полум'я визначає освітленість в камері згоряння від 1 до 200 одиниць. В залежності від інтенсивності світіння в камері, контролер вирішує алгоритм роботи для вентилятора та шнека подачі палива.

Через датчик температури корпусу контролер автоматично вимикає пальник у разі зворотної тяги та, отже, перегріву пальника.

2.4 Керування роботою пальника «IMPEX-BURNER »

Зовнішній вигляд пульта керування показаний на рис. 2.7, та розглянемо деякі параметри керування пальника:

На зовнішній вікні пульта зазначаються наступні режими: поточний режим роботи (*СТОП, ПРОДУВКА, ЗАВАНТАЖЕННЯ, ПОДПАЛГ, НАГРІВ, ФІТИЛЬ, ДОПАЛЮВАННЯ, ЧИСТКА*);

- $P_{\max}$: максимальна потужність пальника;
- P_{ϕ} : фактична поточна потужність пальника;
- ВН.УПР: зовнішнє керування увімкнене або вимкнене;
- P_{vnt} : поточна потужність вентилятора наддуву;
- ФД: усереднений рівень полум'я в умовних одиницях.

Також на пульті керування є світлодіодна індикація:

- 1 – вентилятор наддуву;
- 2 – вертикальний шнек подачі пелет із бункера в пальник;
- 3 – горизонтальний шнек подачі пелет у зону горіння;
- 4 – ТЕН розпалу;
- 5 – чистка колосника;
- 6 – зовнішній димосос;

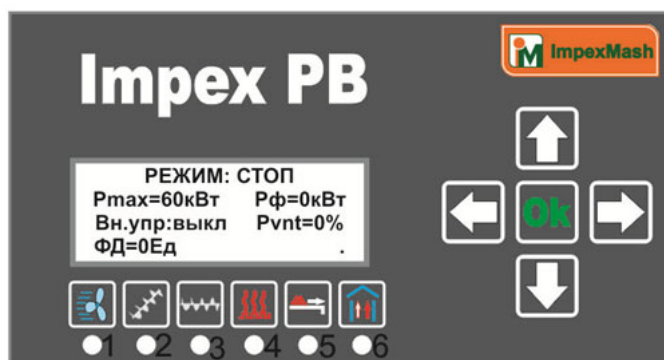


Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд пульта керування

Алгоритм роботи пальника складається з кількох режимів роботи. Назва поточного режиму роботи відображається на екрані контролера в основному режимі індикації.

СТОП: У цьому режимі пальник знаходиться у призупиненому стані. Якщо під час режиму СТОП фотодатчик пальника зафіксує полум'я в пальнику, контролер увімкне режим ДОПАЛЮВАННЯ.

ПРОДУВАННЯ: вмикається вентилятор наддуву на повну потужність і відбувається продування камери згоряння протягом заданого часу.

ЗАВАНТАЖЕННЯ: відбувається завантаження заданої кількості порцій пелет у зону підпалу .

ПІДПАЛЮВАННЯ: вмикається ТЕН підпалювання та вентилятор наддуву на невеликій швидкості (параметр «потужність вентилятора при підпалюванні»). Пальник очікує появи полум'я заданого рівня, що реєструється фотодатчиком. Якщо полум'я не з'являється за час, заданий у сервісному меню як час для підпалювання («час на підпалювання»), відбувається повторне завантаження і наступна спроба розпалювання. Кількість спроб дорівнює 3.

НАГРІВ: нормальна робота пальника, в процесі якого відбувається періодичне підсипання пелет та пальник виявляє достатній рівень полум'я. У режимі нагрівання контролер плавно піднімає потужність до встановленого значення. Періодично включається рух колосника для очищення від золи. Період очищення та час ходу колосника визначається в сервісному меню.

ФІТІЛЬ: режим підтримки мінімальної потужності пальника.

ДОПАЛЕННЯ: режим допалювання пелет всередині пальника, при цьому підсипання не проводиться, вентилятор вмикається на повну потужність, вмикається очищення колосника.

ЧИЩЕННЯ: режим очищення колосника після закінчення роботи, колосник при цьому робить максимальний хід (близько 360 с. в один бік).

Для неперервної ефективної роботи печі важливо забезпечувати своєчасне подання необхідної кількості пелет до пальника. Автоматизоване вирішення цього завдання, з мінімальним залученням ручних ресурсів,

можливе за наступним пристроєм. Контейнер для палива, будь-якої об'ємної ємності, може бути створений з негорючого матеріалу, такого як сталевий лист, і повинен розташовуватися на відповідній відстані від пальника. У нижній частині бункера повинен бути відкритий отвір для труби 1 спірального транспортера гранул (шнека). Кут нахилу транспортера не повинен перевищувати 45° відносно підлоги. У верхній частині бункера слід встановити захисну решітку або кришу для уникнення потрапляння предметів, що можуть пошкодити обертові деталі. Важливо уникати працювання усередині бункера під час роботи транспортера гранул, оскільки це може призвести до травмувань. Перед запуском пальника необхідно повністю наповнити бункер гранулами. Не рекомендується заповнювати контейнер вологими або роздрібненими гранулами, оскільки це може призвести до несправностей пальника чи забруднення транспортера. Конструкція транспортера представлена на рис.2.8.

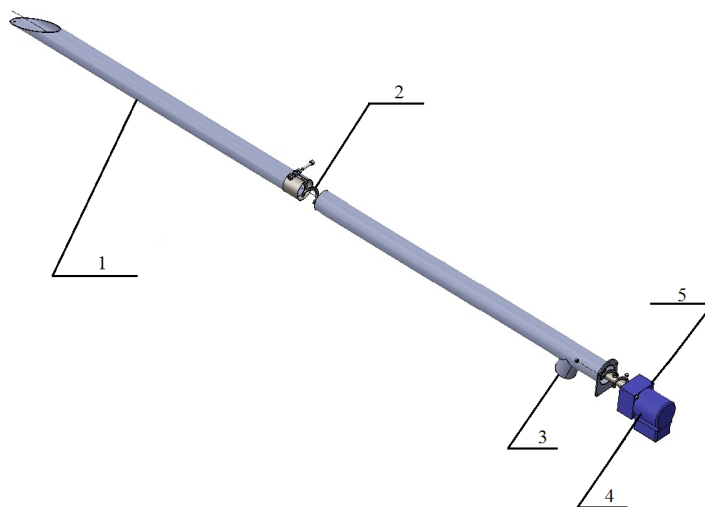


Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд і конструкція транспортеру автоматичної подачі пелет.

Транспортер гранул встановлює зв'язок між контейнером для палива та пальником. Його конструкція, діаметром 60 мм і довжиною 2 м, виготовлена з оцинкованої або нержавіючої сталі. Усередині транспортера розташована сталеві спіраль, яка з'єднана з електродвигуном 4 змінного струму напругою

230 В та редуктором 5. Електродвигун повинен бути підключений до розетки, розташованої на кінці кабелю, який входить до пульта управління пальником. Нижня частина транспортера вводиться внизу контейнера гранул, а верхня частина з'єднується з пальником за допомогою ПВХ труби.

Подача палива автоматизована і циклічно керується пультом управління. Відстань від осі пальника до транспортера становить не менше 30 см. У випадку перегріву чи зворотного полум'я поліуретанова труба розташована на шляху транспортера розтає, призводячи до припинення подачі гранул у пальник та гасіння полум'я. Це вирішення запобігає поширенню вогню в транспортері та забезпечує протипожежний захист в цеху. Схема монтажу автоматичної системи подачі палива представлена на рис.2.9.

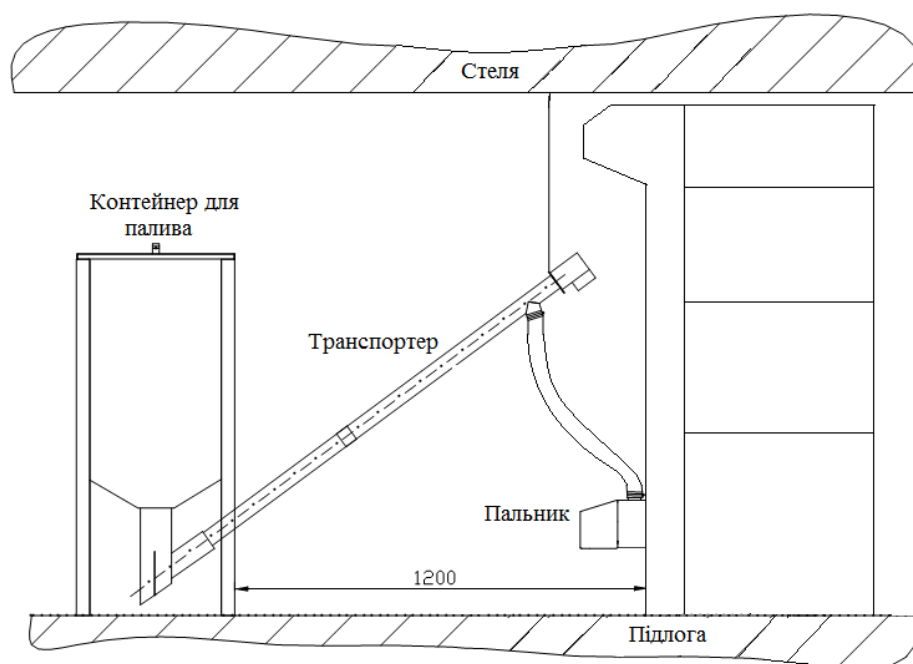


Рисунок 2.9 – Система автоматичної подачі палива.

Ця система автоматичної подачі палива дозволяє оптимізувати режим згорання пелет при високій безпеці, надійності та економічності.

2.5 Теплоутилізаційне обладнання димових газів хлібопекарних печей

При виведенні димових газів печей у атмосферу велика кількість тепла втрачається. Це не тільки призводить до негативного впливу на навколишнє середовище, але й призводить до економічних витрат. Так, для кожних 1000 Ккал тепла витрачається 0,23 кг гранульованого палива. З димових газів, що виходять з робочого простору печей, забирається більше тепла, коли температура відпрацьованих газів вища. Збільшити енергоефективність печей можливо шляхом утилізації тепла відхідних димових газів.

Утилізація тепла димових газів може відбуватися за двома шляхами: поверненням утилізованої теплоти назад в піч або використання теплоти на інші потреби підприємства. У даному випадку розглядається другий варіант, де зібране тепло може використовуватися для отримання гарячої води, водяного пару, обігріву приміщень. Отже, основними завданнями при утилізації тепла відхідних димових газів є: вибір типу обладнання для утилізації; проведення розрахунків його параметрів за обраною методикою; розробка технологічної схеми.

Одним з ключових критеріїв вибору обладнання для теплоутилізації є передбачувана ефективність та вплив його режимних параметрів на основний робочий процес. Важливо враховувати надійне визначення змін умов експлуатації та підвищення стійкості основного обладнання. Поліпшення енергоекологічних показників всього виробництва є також суттєвим аспектом при впровадженні додаткового обладнання.

Як опцію для використання тепла можна розглядати теплообмінні апарати. Це пристрої, в яких відбувається теплообмін між двома теплоносіями з різними температурами. За принципом дії теплообмінники можуть бути рекуператорами або регенераторами. У рекуператорах теплоносії рухаються в окремих камерах, відокремлених стінкою. Більшість теплообмінників належать до цього типу і мають різні конструкції. У регенеративних теплообмінниках гарячий і холодний теплоносії контактують з однією поверхнею по черзі,

накопичуючи тепло в стінці при контакті з гарячим теплоносієм і віддаючи його при контакті з холодним. Класифікація теплообмінних апаратів може враховувати такі характеристики: за принципом дії (поверхневі і змішувальні); за призначенням (холодильники, підігрівачі, конденсатори, випаровувачі); за напрямком руху теплоносіїв: прямоточні, противоточні, перехресного току.

При розробці та створенні теплообмінних апаратів намагаються врахувати численні, і найчастіше, протилежні вимоги, які пред'являються до теплообмінників. Основні з цих вимог включають: дотримання умов перебігу технологічного процесу; досягнення якнайвищого коефіцієнта теплопередачі; мінімальний гідравлічний опір пристрою; стійкість теплообмінних поверхонь до корозії; забезпечення доступності поверхні теплопередачі для очищення; технологічність конструкції з точки зору виробництва; раціональне використання матеріалів. Вибір конкретного типу теплообмінника має велике значення, оскільки від його конструкції залежать ключові параметри, такі як площа поверхні теплообміну та обсяг відведеного тепла.

У поверхневих теплообмінниках теплоносії розділені стінкою, через яку відбувається передача тепла. У випадку, коли поверхня теплообміну у таких апаратах формується трубами, їх називають трубчастими. В іншому варіанті поверхнею теплообміну є стінка апарата або металеві пласкі листи, і такі теплообмінники називаються пластинчастими.

Кожухотрубні теплообмінники

Основними складовими елементами кожухотрубчастих теплообмінників є трубчасті пучки 3, трубні решітки 2, корпус (кожух) 1, кришки 4, патрубки та перегородки в кришках 5 та в міжтрубному просторі 6. У кожухотрубних теплообмінниках один середовищний потік 1 рухається всередині труб (в трубному просторі), тоді як інший потік 2 рухається в міжтрубному просторі, забезпечуючи теплообмін між ними. У даному випадку в якості середовища 1 використовується вода, а середовищем 2 є відпрацьовані димові гази печі. Наведемо схему кожухотрубного теплообмінника на рис. 2.10.

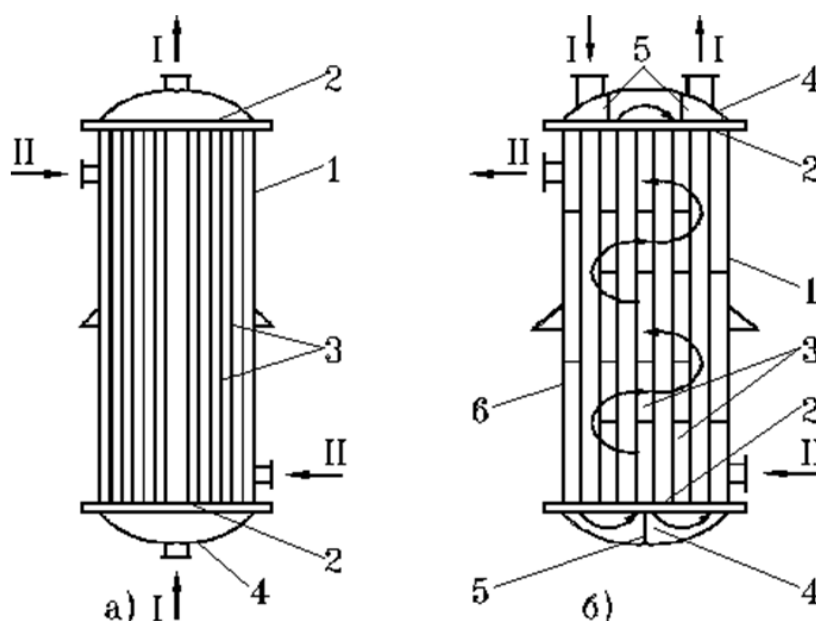


Рисунок 2.10 – Схема кожухотрубних теплообмінників:
а) одноходових; б) багатходових.

Частіше обидва середовища направляють один проти одного. При цьому нагріваюче середовище рухається віднизу до гори, а теплонесуче середовище – у протилежному напрямку. Такий напрямок руху кожного середовища відповідає напрямку, в якому вони рухаються під впливом зміни їх щільності при нагріванні і охолодженні. Трубоподібний корпус кожухотрубного теплообмінника представляє собою трубу, що складається з одного або кількох зварених сталевих листів. Виділення різниці в конструкції кожухів переважно пов'язане із методом їхнього з'єднання з трубопровідною решіткою та кришками. Товщина стінки кожуха визначається тиском робочого середовища та діаметром кожуха, але зазвичай встановлюється не менше 4 мм.

Враховують розміщення труб. Труби в решітках зазвичай розміщують рівномірно вздовж периметра правильних шестикутників, а саме, по вершинах рівносторонніх трикутників (рис. 2.11,а). Рідше застосовується - у концентричних кільцях (рис. 2.11,б). У випадках, коли потрібно забезпечити легший доступ для очищення зовнішньої поверхні труб, можна використовувати розміщення їх вздовж периметра прямокутників (рис. 2.11,в).

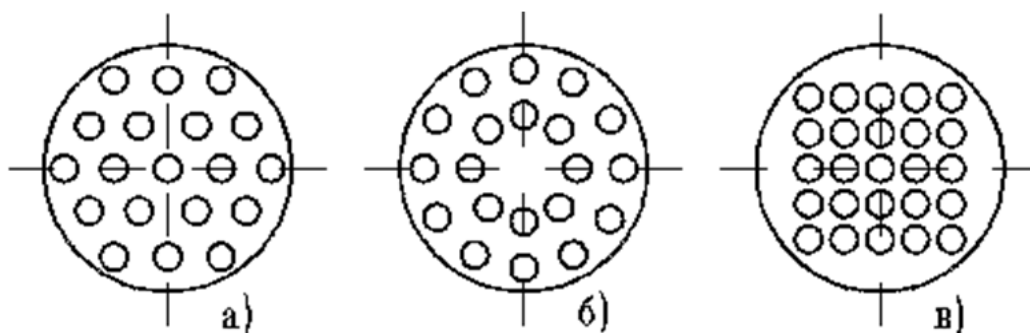


Рисунок 2.11 – Схема варіантів розміщення труб в теплообміннику:

- а) по периметрах правильних шестикутників; б) по концентричних колах;
в) по периметрах прямокутників (коридорне розташування).

Труби у решітках фіксують переважно методом розвальцювання чим і досягається міцне з'єднання для подальшої роботи апарату під тиском (рис 2.12, а). В трубних решітках встановлюються отвори з кільцевими канавками, які під час розвальцювання заповнюються металом (рис 2.12, б). Крім того, для кріплення труб використовується метод зварювання (рис. 2.12, в) у випадку жорсткого з'єднання труб із трубною решіткою. Ще для об'єднання мідних і латунних труб часто використовується метод паяння (рис.2.12, г). Зрідка застосовується метод з'єднання труб з решітками за допомогою сальників (рис.2.12, д), це дозволяє забезпечувати вільний поздовжній рух труб і можливість їх швидкої заміни. Цей метод також дозволяє значно зменшити температурну деформацію труб. Всі варіанти кріплення труб в трубних решітках наведено на рисунку 2.12.

За умови низької витрати теплоносія, що надходить в трубний простір, в кришках встановлюють перегородки. Цей захід призводить до того, що теплоносій прокладає шлях спочатку через один відсік труб, а потім через інший. Такий підхід призводить до збільшення швидкості теплоносія і підвищення ефективності теплообміну.

Кожухотрубні теплообмінники можуть мати вертикальне, горизонтальне або нахиле положення, що залежить від технологічного процесу або для забезпечення зручності монтажу. У випадку використання цього теплообмінника для утилізації відпрацьованих димових газів печей, перевагу

можна віддати вертикальній конструкції, для чого обов'язково встановлюються опори під теплообмінник.

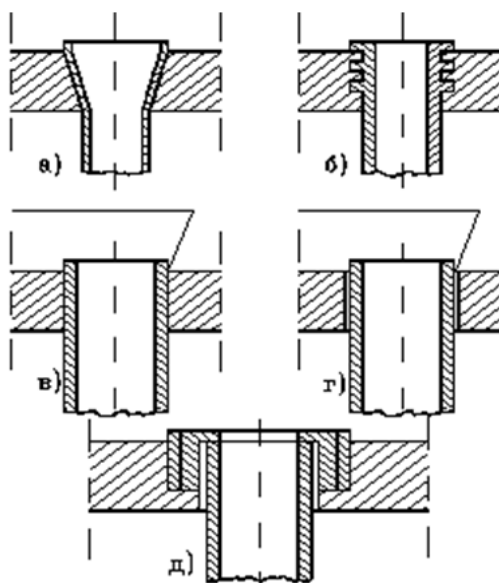


Рисунок 2.12 – Варіанти кріплення труб в трубних решітках:

- а) розвальцюванням; б) розвальцюванням з канавками; в) зварюванням; г) пайкою; д) сальниковими пристроями.

До ключових переваг кожухотрубних теплообмінників можна віднести: простота виготовлення та ремонту; легкість обслуговування (легко піддаються механічному очищенню, не вимагають спеціального обладнання та висококваліфікованого персоналу); наявність теплоакумуючих властивостей. Однак такі теплообмінники мають і недоліки: низький коефіцієнт теплопередачі і високі масогабаритні характеристики; значні втрати при низьких швидкостях теплоносія; висока вартість через значний вміст металу; необхідність заглушки системи.

Розглянемо пластинчастий теплообмінник

Пластинчасті теплообмінники – це пристрої, у яких теплообмінна поверхня формується серією тонких гофрованих металевих пластин. Вони можуть бути виготовлені у вигляді розбірних або нерозбірних апаратів.

Конструкція такого апарата включає в себе теплообмінні пластини, розділені прокладками, які стискаються між нерухомою площею 1 та рухомою 2 за допомогою стяжного гвинта 7. Каркас апарата складається з вертикальної стійки 3 та горизонтальних штанг 4 і 5. Рухома площа прикріплена до верхньої горизонтальної штанги 4 за допомогою гвинта 6. Теплоносії вводяться і виводяться через штуцера 9 на нерухомій площі. Збірний вигляд теплообмінника показано на рис. 2.13.

Теплообмінна поверхня розбірних пластинчастих теплообмінників легко піддається очищенню, а їх монтаж та демонтаж виконуються швидко. Пластинчасті апарати виготовляються з поверхнею теплообміну до 800 м^2 . Допустимі температури теплоносіїв у таких апаратах коливаються від 30° до 180° C , а тиск може становити до 1.6 МПа. Зазначений робочий діапазон має більш обмежені межі порівняно з кожухотрубними теплообмінниками, це обумовлено властивостями прокладкових матеріалів які використовуваних для ущільнення пластин.

Розглянемо принцип роботи пластинчатого теплообмінника. Пластини встановлюються так, що вони можуть обертатися на 180° відносно одна одної. Зазвичай, в один пакет компонують чотири такі елементи, що утворюють два колекторних контури для відведення та подачі теплоносія (рис. 2.14). Важливо враховувати, що два крайні елементи не беруть участь у тепловому процесі.

У випадку одноходової схеми використання теплообмінник розподіляє теплоносій на паралельні потоки, проходячи через всі канали і зливаючись в вивідний порт. Багатоходова схема представляє собою більш складний варіант. Теплообмінник проходить через однакову кількість каналів, що досягається додаванням додаткових пластин з глухими портами. Обслуговування такої системи є більш складним.

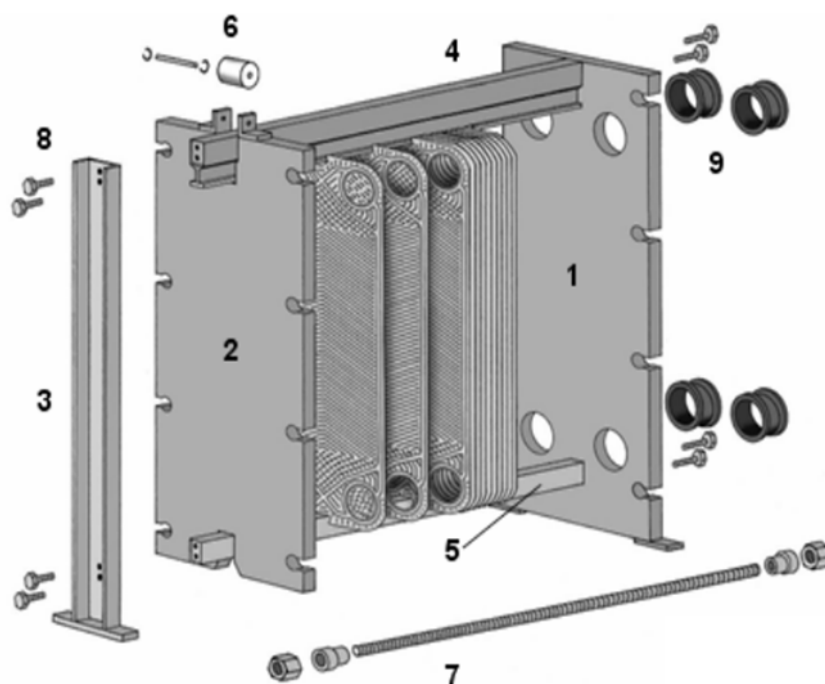


Рисунок 2.13 – Пристрій розбірний пластинчастого теплообмінника: 1 - нерухома плита, 2 - рухома плита, 3 - вертикальна стійка, 4 - верхня горизонтальна штанга, 5 - нижня горизонтальна штанга, 6 – кріпильний гвинт, 7 - стяжний гвинт, 8 - болт, 9 – штуцер.

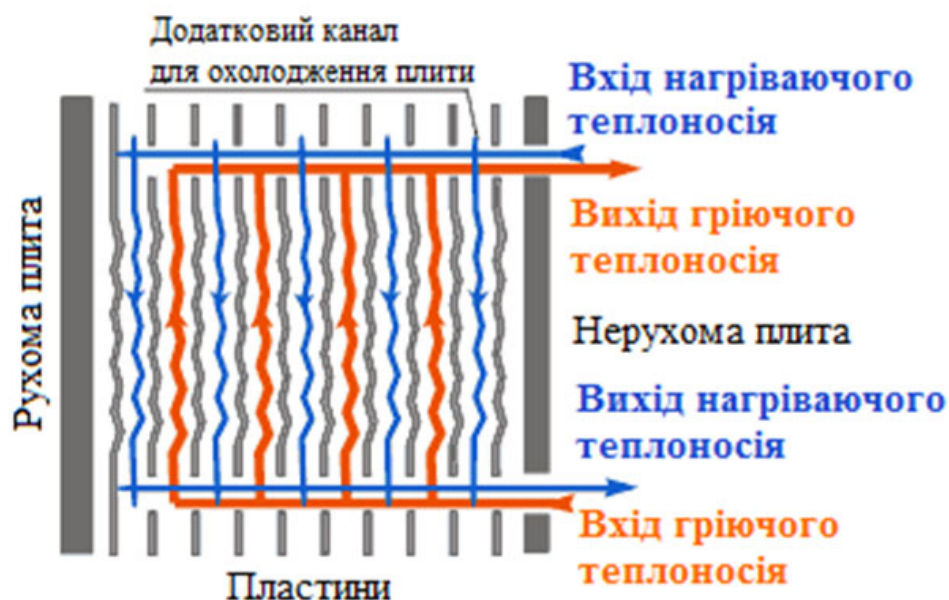


Рисунок 2.14 – Принцип роботи пластинчастого теплообмінника.

Головною перевагою використання пластинчатого теплообмінника як утилізатора відходів димових газів є його компактність. Коефіцієнт тепловіддачі у цих теплообмінників вищий, ніж у кожухотрубних. Регулювання теплової потужності легко міняється шляхом додавання додаткових пластин.

Розглянемо недоліки такого типу теплообмінника: незначна теплова інерційність; висока вартість комплектуючих (висока вартість прокладок, які періодично потребують заміни); вимагає періодичної промивки спеціальними речовинами для видалення відкладень; має вищий гідравлічний опір, що вимагає більш потужних насосів, ущільнення теплообмінника можуть стиратися, тріскати або втрачати свою еластичність; зниження характеристик від жорсткості води.

В технологічних процесах та системах тепlopостачання широко використовують теплообмінні апарати з перемішуванням теплоносіїв, де зазвичай тепло- і масообмінні процеси відбуваються на межі розподілу фаз без використання теплопередаючої поверхні. Цей метод передачі тепла між середовищами реалізується при змішуванні однорідних середовищ, таких як водяна пара і вода, або середовищ, які пізніше можуть бути відокремлені одне від одного, такі як газ і рідина. Також цей метод може бути застосований у випадках, коли одне з робочих середовищ може містити певну кількість домішок, таких як механічні забруднення, і при цьому зберігається можливість ефективної теплопередачі.

Важливо враховувати, що при контакті рідини з нагрітим газом її кінцева температура повинна залишатися нижче температури кипіння при даному тиску. Граничні температури для нагрівання або охолодження рідини також обмежуються параметрами технологічного процесу, встановленими характеристиками теплоносіїв та конструкцією самого апарату. Змішувальні теплообмінні пристрої виявляються дуже зручними для використання як підігрівачі води для систем гарячого водопостачання та інших технологічних споживачів. В таких випадках теплосередовищем можуть бути продукти згоряння палива або інші нагріті гази.

Контактні теплоутилізатори

Особливу увагу приділемо контактним теплоутилізаторам з насадковим скрубінгом. Ці колони заповнені деталями різної форми, мають круглий або прямокутний поперечний переріз. Зрошувальна рідина розпилюється за допомогою механічних форсунок розпилу під тиском 0,3-0,4 МПа. При цьому струмені розпилювання охоплюють весь поперечний переріз скрубера. Зазвичай газовий потік направлений проти течії крапель, віднизу догори. У скруберах з встановленим обладнанням для зменшення виносу рідкої фази, швидкість газу в перерахунку на повний поперечний переріз апарату може досягати 7-12 м/с. Питома витрата води в скрубері при охолодженні газу становить 3-10 кг/м³ і залежить від температури та початкової вологості газу. Для створення і збільшення поверхні контакту зрошувальної води і відхідних газів на опорні колосникові решітки насипають або укладають у певному порядку насадки, або інші види, типи яких показані на рис. 2.15.

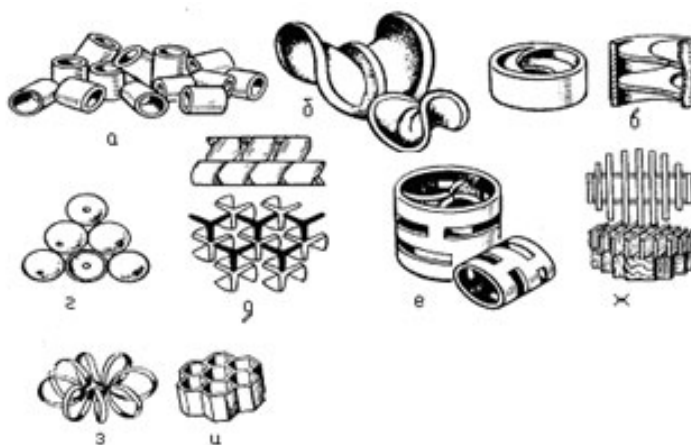


Рисунок 2.15 – Типи насадок для контактних тепло утилізаторів:

а - кільцева керамічна; б - сідла Берля; в - кільця з перегородками; г - кулі;
д - пропелерна насадка; е - кільця Палле; ж - хордові насадки; з - спіраль; і -
керамічні блоки

Так, насадки призначені для управління рухом і створення турбулентності потоків рідини та газу. У насадковому пристрої можливі різні режими руху, залежно від швидкості рідини та газу. Газорідинні теплообмінні апарати працюють у режимі неперервного руху рідини по поверхні насадки та неперервного газового потоку. Чим більша поверхня насадки на одиницю об'єму, тим ефективніше вона працює як апарат для тепло- та масообміну. Основними вимогами до насадки є забезпечення максимальної поверхні контакту між фазами, зниження перепаду тиску в шарі та рівномірний розподіл потоків газу і рідини вздовж перетину апарату. Схема насадкового скрубера показана на рис. 2.16.

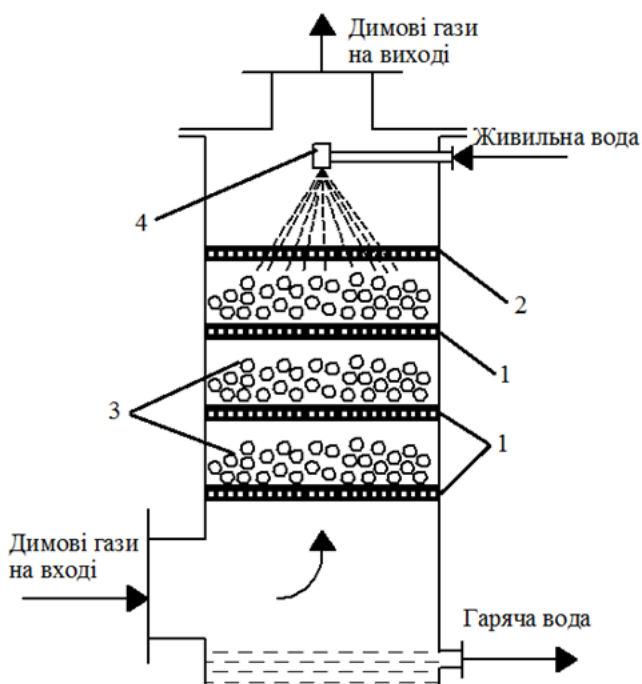


Рисунок 2.16 – Схема насадкового скрубера:

1- опорні решітки; 2-обмежувальна решітка; 3 - насадка; 4-розподільник рідини.

Холодна вода подається водорозподільником в скрубер і стікає вниз. Відбувається теплообмін з відходячими газами, які рухаються протилежно. Гаряча вода виводиться через спеціальний випускний отвір. Зазначимо основні переваги контактних теплоутилізаторів в порівнянні з поверхневими: високий

ККД однієї сходинки завдяки розвиненій поверхні масообміну і високим значенням коефіцієнтів масової передачі за рахунок невеликої товщини рідинної плівки та прикордонного шару з боку газу при великих швидкостях газового потоку; збільшення інтенсивності абсорбції в 4-6 разів за рахунок газового потоку і ще більше за рахунок рідинного потоку; можливість працювати з забрудненими рідинами і газами; простота конструкції; низький гідравлічний опір.

Один з головних недоліків - вирівнювання концентрацій в поздовжньому напрямку і зменшення за рахунок цього середньої рушійної сили процесу масо передачі. Недолік цей усувають встановленням град, що підвищують рівномірність руху газу в обсязі апарату.

Оптимальним рішенням для ефективної утилізації тепла від димових газів печей є використання теплообмінника контактного типу. У порівнянні з кожухотрубними та пластинчастими теплообмінниками, насадковий скруббер відрізняється простою конструкцією та компактними розмірами. Коефіцієнт теплопередачі в цьому випадку значно вищий, завдяки ефективному тепломасообміну між рідиною та газом. Насадки, що використовуються в процесі експлуатації, можуть утворювати шлаки, проте обслуговування апарату є простим, завдяки його розбірній конструкції.

Висновки до розділу 2

1. В роботі розглянуті основні типи пелетних пальників, з розглядом їх конструктивних і функціональних особливостей. При виборі пальника для випікання кондитерських виробів слід враховувати, щоб печі мали високу маневреність. Тому для подальшого використання в кондитерських печах приймається пальник факельного типу.

2. Детально порівняно пальники факельного типу вітчизняного виробництва і європейського. Зазначено, що якість і надійність вітчизняного пальника не поступається європейському, суттєва різниця у ціні. Отже,

приймати до встановлення пелетні пальники вітчизняного виробництва є економічно виправдано.

3. Окрему увагу виділено пелетному пальнику «IMPEX-BURNER» для печей хлібопекарського виробництва потужністю 10 кВт - 70 кВт.

4. З розділі розглядаються теплоутилізаційне обладнання димових газів хлібопекарських печей. При виведенні димових газів печей у атмосферу велика кількість тепла втрачається. Це не тільки призводить до негативного впливу на навколишнє середовище, але й призводить до економічних витрат. Зазначено, що збільшити енергоефективність печей можливо шляхом утилізації тепла відхідних димових газів

5. Знайдено оптимальне рішення для ефективної утилізації тепла від димових газів печей за рахунок використання теплообмінника контактного типу. У порівнянні з кожухотрубними та пластинчастими теплообмінниками, насадковий скруббер відрізняється простою конструкцією та компактними розмірами. Коефіцієнт теплопередачі в цьому випадку значно вищий, завдяки ефективному тепломасообміну між рідиною та газом. Насадки, що використовуються в процесі експлуатації, можуть утворювати шлаки, проте обслуговування апарату є простим, завдяки його розбірній конструкції.

РОЗДІЛ 3

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛА ВИХІДНИХ ДИМОВИХ ГАЗІВ ДЛЯ ПЕЧЕЙ ХЛІБОПЕКАРСЬКИХ І КОНДИТЕРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ

При виборі теплоутилізатора димових газів необхідно провести його тепловий, конструктивний та гідравлічний розрахунок. При цьому потрібно визначити поверхню теплообміну для передачі заданої кількості тепла, провести вибір типорозміру теплоутилізатора та провести аналіз впливу розміру насадки на споживану потужність для продувки відхідних газів через контактний теплоутилізатор.

3.1 Розрахунок контактного теплоутилізатора

Тепловий розрахунок

При розрахунку контактних теплоутилізаторів головною метою є визначення об'єму насадки, тобто її геометричної поверхні. Ця поверхня забезпечує нагрівання води до зазначених параметрів. Зазначемо вихідні дані:

- температура димових газів на вході приймаємо із характеристик печі,

$$t'_r = 270^{\circ}C;$$

- температура димових газів на виході, $t''_r = 40^{\circ}C$;

- температура води на вході, $t'_w = 5^{\circ}C$;

- теоретичні об'єми повітря, водяної пари, азоту, трьохатомних газів приймаємо відповідно: $V_{H_2O}^0 = 2,24 \text{ м}^3/\text{м}^3$; $V_{N_2}^0 = 9,03 \text{ м}^3/\text{м}^3$; $V_{RO_2} = 1,31 \text{ м}^3/\text{м}^3$;

$V_B^0 = 11,13 \text{ м}^3/\text{м}^3$ – теоретичний об'єм повітря; $V_r^0 = 12,58 \text{ м}^3/\text{м}^3$ – теоретичний об'єм газів;

- коефіцієнт надлишку повітря приймаємо згідно з рекомендаціями:

$$\alpha_{yx} = 1,3;$$

- розрахунковий ККД печі (з характеристик печі): $\eta_k = 92,1 \%$;

Розраховуємо витрату палива за наступним виразом:

$$B = \frac{q_{п.к.} \cdot m_t}{Q_i^r (\eta - q_2)}, \quad (3.1)$$

де $q_{пк}$ – кількість теплоти, яка передається в пічну камеру для випічки 1 кг печива, кДж/кг;

$$\begin{aligned} q_{пк} &= q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7 = \\ &= 320 + 1657 + 14520 + 22,08 + 217 + 4 + 29939,8 = 46679,92 \text{ кДж/кг} \end{aligned} \quad (3.2)$$

де q_1 - теоретична витрата теплоти при випічці 1 кг продукції, кДж/кг;

q_2 - витрата теплоти на випаровування води та перегрів пари, кДж/кг;

q_3 - витрата теплоти на нагрівання вентиляційного повітря, кДж/кг;

q_4 - витрата теплоти на нагрівання транспортних пристроїв, кДж/кг;

q_5 - втрата теплоти в навколишнє середовище зовнішніми поверхнями стінок пічної камери, кДж/кг;

q_6 - втрати теплоти через нижню стінку (фундамент пекарної камери), кДж/кг;

q_7 - втрати теплоти випромінюванням через посадочні і розвантажувальні отвори, кДж/кг:

За технічних характеристик печі m_t продуктивність, 375 кг/год; нижча теплота згорання палива Q_i^r $Q_i^r = 36800$, кДж/кг;

Визначимо втрати теплоти з відхідними газами в частках від теплоти згорання палива q_T за виразом (3.3), кДж/кг, при цьому враховуємо втрати тепла з відхідними газами $Q_{в.г.}$ і коефіцієнт надлишку повітря за межами печі α_{yx} і втрата тепла від механічної неповноти згорання палива, q_m (враховуємо $q_m = 0$):

$$q_T = Q_{в.г.} / q_{пк} \quad (3.3)$$

$$Q_{в.г.} = (H_{yx} - H_{x.в.} \cdot \alpha_{yx})(100 - q_m) / 100, \quad (3.4)$$

Зазначимо, H_{yx} та $H_{хв}$ – відповідно ентальпії продуктів згорання і

холодного повітря, кДж/кг ($H_{yx}=250$ кДж/кг, $H_{xb}=45$ кДж/кг, за табличними даними [11]; α_{yx} – коефіцієнт надлишку повітря.

Отже:

$$Q_{b,\Gamma}=(250-45 \cdot 1,3)(100-0)/100=196 \text{ кДж/кг}$$

$$q_{\Gamma}=196/46679,92=0,0041 \text{ кДж/кг}$$

$$B=\frac{46679,92 \cdot 375}{36800 \cdot (0,92 - 0,0058) \cdot 0,85 \cdot 3600}=0,169 \text{ м}^3/\text{с}$$

Тоді питомий об'єм димових газів визначається за виразом:

$$V_{\Gamma} = V_{\Gamma}^0 + (\alpha_{yx} - 1) \cdot V_B^0, \quad (3.5)$$

$$V_{\Gamma} = 12,58 + (1,3 - 1) \cdot 11,13 = 15,919 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Визначаємо компонентні долі димових газів:

$$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}^0}{V_{\Gamma}} = \frac{2,24}{15,919} = 0,141,$$

$$r_{N_2} = \frac{V_{N_2}^0}{V_{\Gamma}} = \frac{9,03}{15,919} = 0,567,$$

$$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_{\Gamma}} = \frac{1,31}{15,919} = 0,08,$$

$$r_B = \frac{(\alpha_{yx} - 1)V_B^0}{V_{\Gamma}} = \frac{(1,3 - 1) \cdot 11,13}{15,919} = 0,21$$

Визначаємо початковий значення вологовмісту димових газів за виразом:

$$d_H^B = \frac{r_{H_2O} \cdot \mu_{H_2O}}{\sum r_i \mu_i} = \frac{r_{H_2O} \cdot \mu_{H_2O}}{r_{H_2O} \cdot \mu_{H_2O} + r_{RO_2} \cdot \mu_{CO_2} + r_{N_2} \cdot \mu_{N_2} + r_B \cdot \mu_B}, \quad (3.6)$$

де r_i – об'ємна доля компонента;

μ_i – молекулярна маса компонента, тобто $\mu_{H_2O} = 18$ г/моль; $\mu_{RO_2} = 44$ г/моль, $\mu_{N_2} = 28$ г/моль, $\mu_B = 29$ г/моль). Враховуючі дані маємо:

$$d_H^B = \frac{0,141 \cdot 18}{0,141 \cdot 18 + 0,08 \cdot 44 + 0,567 \cdot 28 + 0,21 \cdot 29} = 0,091 \text{ кг/кг.}$$

Тепловий розрахунок контактного теплового утилізатора проводиться на 1 кг сухого газу, тому необхідно визначити початкове значення вологовмісту сухих газів, кг/кг с.г.

$$d_H = \frac{r_{H_2O} \cdot \mu_{H_2O}}{r_{RO_2} \cdot \mu_{RO_2} + r_{N_2} \cdot \mu_{N_2} + r_B \cdot \mu_B} = \frac{r_{H_2O} \cdot \mu_{H_2O}}{\mu_{с.г.}}, \quad (3.7)$$

де $\mu_{с.г.}$ – молекулярна маса сухих газів.

$$d_H = \frac{0,141 \cdot 18}{0,08 \cdot 44 + 0,567 \cdot 28 + 0,21 \cdot 29} = 0,1 \text{ кг/кг с.г.}$$

Врахуємо на виході теплоутилізатора при температурі t_G'' газ є насиченим і кінцевий вологовміст димових газів визначається на (3.8), кг/кг с.г.:

$$d_K = \frac{R_{с.г.}}{R_{II}} \cdot \frac{P_{МАКС}}{P - P_{МАКС}}, \quad (3.8)$$

де $R_{с.г.} = \frac{8314}{\mu_{с.г.}}$ – газова стала сухого газу,

$$R_{с.г.} = \frac{8314}{25,486} = 326,22 ;$$

$R_{II} = \frac{8314}{\mu_{II}}$ – газова стала водяного пару (молекулярна маса пару $\mu_{II} = 18$),

$$R_{II} = \frac{8314}{18} = 461,89 ;$$

P – тиск вологого пару в апараті, МПа, приймається $P = 0,1$ МПа;

$P_{МАКС}$ – тиск насиченого пару при $t_G'' = 40^\circ C$, МПа ($P_{МАКС} = 0,0076$ МПа);

$$d_K = \frac{326,22}{461,89} \cdot \frac{0,0076}{0,1 - 0,0076} = 0,058 \text{ кг/кг с.г.}$$

Визначимо тиск водяного пару в апараті за виразом:

$$P_{H_2O} = P_{МАКС} = P \cdot r_{H_2O} = 0,1 \cdot 0,141 = 0,0141 \text{ МПа} \quad (3.9)$$

За тиском водяного пару розрхковуємо значення температури мокрого термометра t_M : $t_M = 52,2^\circ\text{C}$ при $P_{H_2O} = 0,0141 \text{ МПа}$

Визначаємо вологовміст димових газів d_M , кг/кг с.г. при t_M за формулою:

$$d_M = \frac{R_{C.F.}}{R_{II}} \cdot \frac{P_{H_2O}}{P - P_{H_2O}} = \frac{326,22}{461,89} \cdot \frac{0,0141}{0,1 - 0,0141} = 0,116 \text{ кг/кг с.г.}$$

Уточнюємо температуру мокрого термометра за методикою описаною в [12]. У цьому випадку тепло в газі буде дорівнювати сумі тепла, що є внесеним газом в апарат, і тепла парів при випаровуванні рідини. Тепловий баланс тоді записується наступним виразом:

$$G(C_{CF} \cdot t_M + d_M \cdot i_M) = G(C_{CF} \cdot t'_G + d_H \cdot i_1) + G(d_M - d_H) t_M, \quad (3.10)$$

де C_{CF} – теплоємність сухих газів, обумовлена середньою температурою димових газів в апараті. Наступні значення визначимо з літератури [62, 63, 64]:

$$t'_G = 155^\circ\text{C}, \quad C_{CF} = 1,068 \text{ кДж/(кг}^\circ\text{C)};$$

$$i_M - \text{ентальпія пару при } t_M = 52,2^\circ\text{C}: i_M = 2595 \text{ кДж/кг};$$

$$i_1 - \text{ентальпія водяного пару при } t'_G = 270^\circ\text{C}: i_1 = 2989 \text{ кДж/кг}.$$

Перевіримо баланс:

$$(1,068 \cdot 52,2 + 0,116 \cdot 2595) = (1,068 \cdot 270 + 0,10 \cdot 2989) + (0,116 - 0,10) \cdot 52,2$$

$$356,77 = 588,095$$

$$\Delta = \frac{588,095 - 356,77}{588,095} \cdot 100\% = 39,3\% .$$

Похибка балансу перевищує 1%, слід задаватись іншим значенням температури мокрого термометра; t_M слід збільшувати: приймаємо $t_M = 64^\circ\text{C}$, тоді $P_{H_2O} = 0,022 \text{ МПа}$.

Вологовміст димових газів d_M , кг/кг с.г. визначимо за виразом:

$$d_M = \frac{R_{с.г.}}{R_{п.}} \cdot \frac{P_{H_2O}}{P - P_{H_2O}} \quad (3.11)$$

Отже:

$$d_M = \frac{326,22}{461,89} \cdot \frac{0,022}{0,1 - 0,022} = 0,199 \text{ кг/кг с.г.}$$

Ентальпію пару i_M знаходимо при $t_M = 64^\circ C$, $i_M = 2615$ кДж/кг. Ентальпія водяного пару при $t'_Г = 270^\circ C$ буде $i_1 = 2989$ кДж/кг [12].

Знову перевіряємо баланс:

$$\begin{aligned} (1,068 \cdot 64 + 0,199 \cdot 2610) &= (1,068 \cdot 270 + 0,10 \cdot 2989) + (0,199 - 0,10) 64 \\ 588,737 &= 593,596 \\ \Delta &= \frac{593,596 - 588,737}{593,596} \cdot 100\% = 0,84\% . \end{aligned}$$

Отримуємо похибку балансу, що не перевищує 1%.

Дійсний середній об'єм димових газів визначимо:

$$V = V_G \cdot B \cdot \left(\frac{t_G + 273}{273} \right), \quad (3.12)$$

де t_G – середня температура димових газів в апараті,

$$t_G = \frac{t'_Г + t''_Г}{2} = \frac{270 + 40}{2} = 155^\circ C ;$$

B – витрата палива, $B = 0,169 \text{ м}^3/\text{с}$;

V_G – питомий об'єм димових газів: $V_G = 15,919 \text{ м}^3/\text{м}^3$;

$$V = 15,919 \cdot 0,169 \cdot \left(\frac{155 + 273}{273} \right) = 4,218 \text{ м}^3/\text{с}$$

Розраховуємо масову витрату димових газів:

$$G_r = V \cdot \rho, \quad (3.13)$$

де ρ – щільність димових газів при $t_r = 155^\circ \text{C}$:

$$\rho = \frac{\sum r_i \mu_i}{22,4} \cdot \frac{273}{t_r + 273}, \quad (3.14)$$

де $\sum r_i \mu_i$ – сума добутоків об'ємних часток і молекулярних мас компонентів, $\sum r_i \mu_i = 28,024$ г/моль;

$$\rho = \frac{28,024}{22,4} \cdot \frac{273}{155 + 273} = 0,798 \text{ кг/м}^3$$

$$G_r = 4,218 \cdot 0,798 = 3,365 \text{ кг/с}$$

Щоб не відбувалась конденсації водяної пари необхідно здійснювати підсушку вихідних газів з теплоутилізаторів шляхом перепуску (байпасування) 10÷15% і більше обсягу та з подальшим їх змішуванням за теплоутилізатором.

Масова втрата газів через КТУ з урахуванням байпасування визначаємо з теплового балансу:

$$G_{\text{КР}} = \frac{G_r (C'_r t'_r - C_{r, \text{УХ}} \cdot t_{r, \text{УХ}})}{C'_r t'_r - C''_r t''_r}, \quad (3.15)$$

де $t_{\text{УХ}}$ – температура газів в димовій труби,

$$t_{\text{УХ}} = t_M + 10^\circ \text{C} = 64 + 10 = 74^\circ \text{C};$$

$C_{r, \text{УХ}}$ – теплоємність димових газів визначається за температурою $t_{\text{УХ}}$:

$$C_{r, \text{УХ}} = 1,05916 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}) [3];$$

$$C'_r - \text{теплоємність газів при } t'_r = 270^\circ \text{C}: C'_r = 1,152 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}) [3].;$$

$$C''_r - \text{теплоємність газів при } t''_r = 40^\circ \text{C}: C''_r = 1,0524 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}) [3].;$$

$$G_{CKP} = \frac{3,365 \cdot (1,152 \cdot 270 - 1,05916 \cdot 74)}{1,152 \cdot 270 - 1,0524 \cdot 40} = 3,911 \text{ кг/с}$$

Витрата газів через теплоутилізатор з урахуванням байпасування:

$$V_{CKP} = \frac{G_{CKP}}{\rho} \quad (3.15)$$

$$V_{CKP} = \frac{2,911}{0,798} = 3,648 \text{ м}^3/\text{с}$$

Початкове значення температури води, що виходить з теплоутилізатора:

$$t''_{ж} = t_M - 5^\circ\text{C} = 64 - 5 = 59^\circ\text{C}$$

Розраховуємо секундну витрату води, що подається в КТУ:

$$W_H = \frac{G_{CKP} \left[C_{CG} (t'_Г - t''_Г) + d_H (i_1 - t''_{ж} \cdot C'_{ж}) - d_K (i_2 - t''_{ж} \cdot C''_{ж}) \right]}{t''_{ж} \cdot C''_{ж} - t'_{ж} \cdot C'_{ж}}, \quad (3.16)$$

де C_{CG} – теплоємність сухих газів при $t'_Г = 270^\circ\text{C}$: $C_{CG} = 1,152 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;

i_1 – ентальпія водяного пару при $t'_Г = 270^\circ\text{C}$: $i_1 = 2989 \text{ кДж/кг}$ [3];

i_2 – ентальпія водяного пару при $t'_Г = 40^\circ\text{C}$: $i_2 = 2573,93 \text{ кДж} / \text{кг}$ [3];

$C'_{ж}$ – теплоємність води при $t'_{ж} = 5^\circ\text{C}$: $C'_{ж} = 4,202 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ [3];

$C''_{ж}$ – теплоємність води при $t''_{ж} = 59^\circ\text{C}$: $C''_{ж} = 4,1745 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ [3];

$$W_H = \frac{2,911 \cdot [1,152 \cdot (270 - 40) + 0,10 \cdot (2989 - 5 \cdot 4,202) - 0,058 \cdot (2573,93 - 59 \cdot 4,1745)]}{59 \cdot 4,1745 - 5 \cdot 4,202} = 4,514 \text{ кг/с}$$

За значенням W_H уточнюємо температуру виходячої води теплоутилізатора:

$$t''_{ж} = t_M \left(1 - 0,1 \frac{W_H}{G} \right)$$

$$t''_{ж} = 64 \cdot \left(1 - 0,1 \frac{4,514}{3,911}\right) = 56,613^{\circ}\text{C} \quad (3.17)$$

Розбіжність попередньо заданого і розрахованого значень складатиме $t''_{ж}$:

$$\Delta = \frac{t''_{ж_1} - t''_{ж_2}}{t''_{ж_1}} \cdot 100\%, \quad (3.18)$$

де $t''_{ж_1}$ – температура води на вході теплоутилізатора $t''_{ж_1} = 59^{\circ}\text{C}$;

$t''_{ж_2}$ – температура води на виході з теплоутилізатора $t''_{ж_2} = 56,613^{\circ}\text{C}$

$$\Delta = \frac{59 - 56,613}{59} \cdot 100\% = 4,046\%$$

Так як $\Delta = 4,046\% < 5\%$, отже $\Rightarrow t''_{ж_2} = 56,613^{\circ}\text{C}$

Визначаємо кількість утилізованої теплоти (теплопродуктивність КТУ):

$$Q = W_H \cdot (t''_{ж} - t'_{ж}) \cdot C''_{ж} + G \cdot (d_H - d_K) \cdot C''_{ж} \cdot t''_{ж}, \quad (3.19)$$

де W_H – щосекундна витрата води, яка подається в КТУ, $W_H = 4,514$ кг/с;

$C''_{ж}$ – теплоємність води при $t''_{ж} = 56,613^{\circ}\text{C}$: $C'_{ж} = 4,189$ кДж / (кг · °C) [3];

d_H – початковий вологовміст димових газів, $d_H = 0,10$ кг/кг с.г.;

d_K – кінцевий вологовміст димових газів, $d_K = 0,058$ кг/кг с.г.

$$Q = 4,514 \cdot (56,613 - 5) \cdot 4,189 + 3,911 \cdot (0,10 - 0,058) \cdot 4,189 \cdot 56,613 = 1015 \text{ кВт}$$

Розраховуємо кількість нагрітої води на виході з теплоутилізатора:

$$W_K = W_H + (d_H - d_K) \cdot G_{CKP} \quad (3.20)$$

$$W_K = 4,514 + (0,10 - 0,058) \cdot 3,911 = 4,678 \text{ кг/с.}$$

Конструктивний розрахунок

При конструктивному розрахунку вирішуються наступні задачі: визначається типорозмір теплоутилизатора, кількість апаратів, визначається висота засипки насадки в КТУ. Розрахунок конструктивних характеристик теплоутилизатора проводиться для всіх розмірів кільцевого керамічного типу насадки. Обираємо КТУ з діаметром 0,7 м.

Розраховуємо кількість встановлюваних апаратів:

$$n = \frac{4V_{CKP}}{\pi \cdot D^2 \cdot w_{PEK}}, \quad (3.21)$$

де D – діаметр певного обраного типу теплоутилизатора, м;

w_{PEK} – рекомендована швидкість газів у довільному перерізі скрубера

($w_{PEK} = 10$ м/с);

$$n = \frac{4 \cdot 3,648}{3,14 \cdot 0,7^2 \cdot 10} = 0,948, \text{ тобто } n = 1 \text{ шт}$$

Дійсна швидкість газів у довільному перерізі теплоутилизатора:

$$w_0 = \frac{4V_{CKP}}{\pi \cdot D^2 \cdot n} \quad (3.22)$$

$$w_0 = \frac{4 \cdot 3,648}{3,14 \cdot 0,7^2 \cdot 1} = 9,484 \text{ м/с}$$

Визначимо середню різницю температур між теплоносіями:

$$\Delta t_{CP} = \frac{(t'_Г - t''_Ж) - (t''_Г - t'_Ж)}{\ln \left(\frac{t'_Г - t''_Ж}{t''_Г - t'_Ж} \right)} \quad (3.23)$$

$$\Delta t_{CP} = \frac{(270 - 56,613) - (40 - 5)}{\ln\left(\frac{270 - 56,613}{40 - 5}\right)} = 98,679^{\circ}C$$

Наступний розрахунок проводиться для чотирьох типорозмірів насадок.

Щільність зрошення визначається:

$$u = \frac{3600 \cdot W_H \cdot w_0}{V_{CKP} \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot v}, \quad (3.24)$$

де $\rho_{\text{ж}}$ – щільність води при $t_{\text{ж}}$ (табличне значення $\rho_{\text{ж}} = 996,47 \text{ кг/м}^3$)

$$t_{\text{ж}} = \frac{t'_{\text{ж}} + t''_{\text{ж}}}{2} = \frac{5 + 56,613}{2} = 30,806^{\circ}C,$$

v - вільний об'єм насадки за наступними типорозмірами 1) 15x15x2; 2) 25x25x3; 3) 35x35x4; 4) 50x50x5 відповідно: $v_1 = 0,7 \text{ м}^3/\text{м}^3$; $v_2 = 0,74 \text{ м}^3/\text{м}^3$; $v_3 = 0,78 \text{ м}^3/\text{м}^3$; $v_4 = 0,785 \text{ м}^3/\text{м}^3$ [3].

$$u_1 = \frac{3600 \cdot 4,514 \cdot 9,48}{3,648 \cdot 996,47 \cdot 0,7} = 60,54 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{ч})$$

$$u_2 = \frac{3600 \cdot 4,514 \cdot 9,48}{3,648 \cdot 996,47 \cdot 0,74} = 57,27 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{ч})$$

$$u_3 = \frac{3600 \cdot 4,514 \cdot 9,48}{3,648 \cdot 996,47 \cdot 0,78} = 54,33 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{ч})$$

$$u_4 = \frac{3600 \cdot 4,514 \cdot 9,48}{3,648 \cdot 996,47 \cdot 0,785} = 53,99 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{ч})$$

Поверхневий коефіцієнт теплообміну буде наступний:

$$K_F = 1,15 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\lambda_{CG} \cdot (\omega_0 \cdot \rho_{CG})^{0,8} \cdot u^{0,7}}{f^{0,5} \cdot v^{0,3} \left(\frac{\mu_{CG}}{g} \right)^{0,8} \cdot \gamma_{\text{ж}}^{0,7}}, \quad (3.25)$$

де λ_{CG} – коефіцієнт теплопровідності сухого газу при

$$t_{\Gamma} = \frac{t'_{\Gamma} + t''_{\Gamma}}{2} = \frac{40 + 270}{2} = 155^{\circ}\text{C},$$

$$\lambda_{\text{CT}} = 3,64 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C});$$

$$\rho_{\text{CT}} - \text{щільність сухих газів при } t_{\Gamma} = 155^{\circ}\text{C}: \rho_{\text{CT}} = 0,815 \text{ кг}/\text{м}^3;$$

$$\mu_{\text{CT}} - \text{динамічна в'язкість газу при } t_{\Gamma} = 155^{\circ}\text{C}: \mu_{\text{CT}} = 24,5 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\gamma_{\text{Ж}} - \text{кінематична в'язкість рідини при}$$

$$t_{\text{Ж}} = \frac{t'_{\text{Ж}} + t''_{\text{Ж}}}{2} = \frac{5 + 56,613}{2} = 30,806^{\circ}\text{C},$$

$$\gamma_{\text{Ж}} = 0,8019 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

f – питома поверхня насадки в одиниці об'єму відповідно дорівнює:

$$f_1 = 330 \text{ м}^2/\text{м}^3; f_2 = 200 \text{ м}^2/\text{м}^3; f_3 = 140 \text{ м}^2/\text{м}^3; f_4 = 90 \text{ м}^2/\text{м}^3.$$

$$K_{F_1} = 1,15 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{3,64 \cdot 10^{-2} \cdot (9,484 \cdot 0,815)^{0,8} \cdot 60,54^{0,7}}{330^{0,5} \cdot 0,7^{0,3} \left(\frac{24,5 \cdot 10^{-6}}{9,81} \right)^{0,8} \cdot (0,8019 \cdot 10^{-6})^{0,7}} \cdot 1,16 = 151,544 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$$

$$K_{F_2} = 1,15 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{3,64 \cdot 10^{-2} \cdot (9,484 + 0,815)^{0,8} \cdot 57,27^{0,7}}{200^{0,5} \cdot 0,74^{0,3} \left(\frac{24,5 \cdot 10^{-6}}{9,81} \right)^{0,8} \cdot (0,8019 \cdot 10^{-6})^{0,7}} \cdot 1,16 = 184,145 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$$

$$K_{F_3} = 1,15 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{3,64 \cdot 10^{-2} \cdot (9,484 \cdot 0,815)^{0,8} \cdot 54,33^{0,7}}{140^{0,5} \cdot 0,78^{0,3} \left(\frac{24,5 \cdot 10^{-6}}{9,81} \right)^{0,8} \cdot (0,8019 \cdot 10^{-6})^{0,7}} \cdot 1,16 = 208,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$$

$$K_{F_4} = 1,15 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{3,64 \cdot 10^{-2} \cdot (9,484 \cdot 0,815)^{0,8} \cdot 53,99^{0,7}}{90^{0,5} \cdot 0,785^{0,3} \left(\frac{24,5 \cdot 10^{-6}}{9,81} \right)^{0,8} \cdot (0,8019 \cdot 10^{-6})^{0,7}} \cdot 1,16 = 258,78 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$$

Розрахункова поверхня насадки визначається за виразом наступним відповідно:

$$F_H = \frac{Q}{K_F \cdot \Delta t_{\text{CP}}} \quad (3.26)$$

$$F_{H_1} = \frac{1015000}{151,544 \cdot 98,679} = 67,87 \text{ м}^2$$

$$F_{H_2} = \frac{1015000}{184,145 \cdot 98,679} = 55,857 \text{ м}^2$$

$$F_{H_3} = \frac{1015000}{208,8 \cdot 98,679} = 49,26 \text{ м}^2$$

$$F_{H_4} = \frac{1015000}{258,78 \cdot 98,679} = 39,748 \text{ м}^2$$

Розраховуємо об'єм насадки за наступним виразом, відповідно:

$$V_H = \frac{F_H}{f} \quad (3.27)$$

$$V_{H_1} = \frac{67,87}{330} = 0,206 \text{ м}^3$$

$$V_{H_2} = \frac{55,857}{200} = 0,279 \text{ м}^3$$

$$V_{H_3} = \frac{49,26}{140} = 0,35 \text{ м}^3$$

$$V_{H_4} = \frac{39,748}{90} = 0,44 \text{ м}^3$$

Визначаємо повну висоту насадки та питому теплову напругу:

$$H = \frac{V_H}{S}, \quad (3.28)$$

де S – площа перерізу апарату, що визначається за формулою:

$$S = \frac{W_H}{\rho_{\text{ж}} \cdot u \cdot n}, \quad (3.29)$$

де W_H – кількість води, яка подається в апарат, $W_H = 4,514 \text{ кг/с}$;

$\rho_{\text{ж}}$ – щільність води при $t_{\text{ж}} = 30,806^\circ\text{C}$, $\rho_{\text{ж}} = 995,7 \text{ кг/м}^3$;

Тому відповідно:

$$S_1 = \frac{W_H}{\rho_{\text{ж}} \cdot u_1} = \frac{4,514}{995,7 \cdot \frac{60,54}{3600}} = 0,27 \text{ м}^2$$

$$S_2 = \frac{W_H}{\rho_{ж} \cdot u_2} = \frac{4,514}{995,7 \cdot \frac{57,27}{3600}} = 0,285 \text{ м}^2$$

$$S_3 = \frac{W_H}{\rho_{ж} \cdot u_4} = \frac{4,514}{995,7 \cdot \frac{54,33}{3600}} = 0,3 \text{ м}^2$$

$$S_4 = \frac{W_H}{\rho_{ж} \cdot u_4} = \frac{4,514}{995,7 \cdot \frac{53,99}{3600}} = 0,302 \text{ м}^2$$

Висота насадки визначиться, відповідно:

$$H_1 = \frac{V_{H_1}}{S_1} = \frac{0,206}{0,27} = 0,76 \text{ м}$$

$$H_2 = \frac{V_{H_2}}{S_2} = \frac{0,279}{0,285} = 0,98 \text{ м}$$

$$H_3 = \frac{V_{H_3}}{S_3} = \frac{0,35}{0,3} = 1,17 \text{ м}$$

$$H_4 = \frac{V_{H_4}}{S_4} = \frac{0,44}{0,302} = 1,46 \text{ м.}$$

Питома теплова напруга відповідно:

$$q_V = \frac{Q}{V_H} = \frac{K_F \cdot F_H \cdot \Delta t_{CP}}{V_H}, \quad (3.30)$$

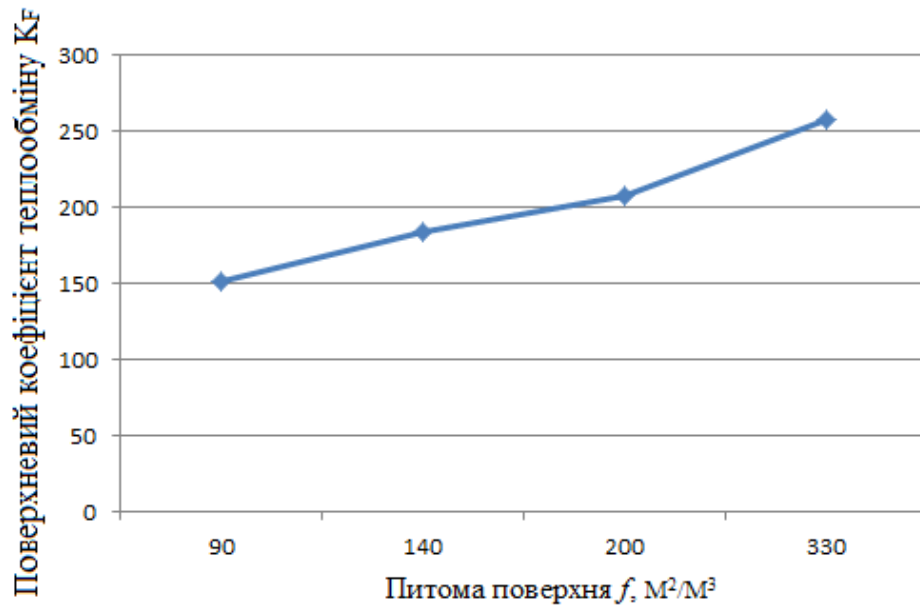
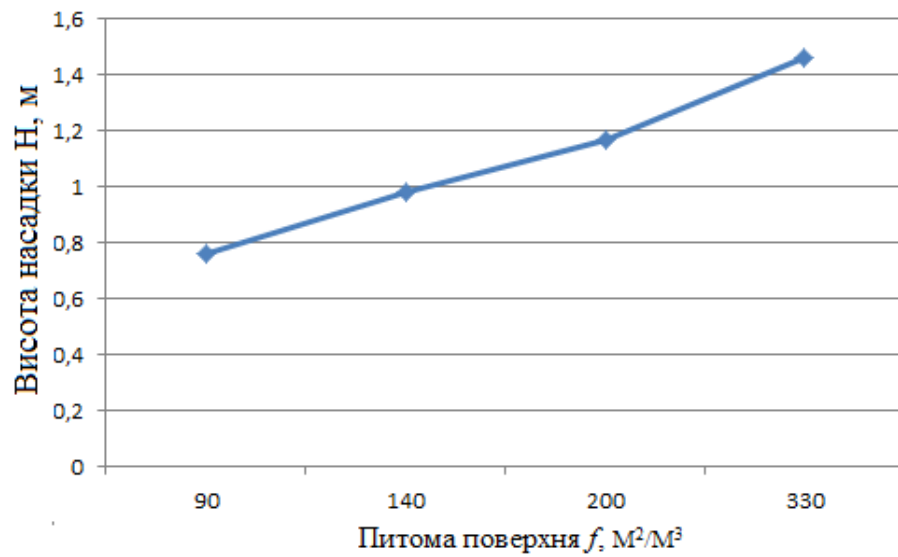
$$q_{V_1} = \frac{1015 \cdot 10^3}{0,206} = 4927,18 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2$$

$$q_{V_2} = \frac{1015 \cdot 10^3}{0,279} = 3637,9 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2$$

$$q_{V_3} = \frac{1015 \cdot 10^3}{0,35} = 2900 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2$$

$$q_{V_4} = \frac{1015 \cdot 10^3}{0,44} = 2307 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2$$

За отриманими даними будуюмо графічні залежності поверхневого коефіцієнта теплообміну і повної висоти насадки КТУ від питомої поверхні насадки $K_F = f(f)$ и $H = f(f)$, рис. 3.1 та рис.3.2 відповідно.

Рисунок 3.1 – Графік залежності $K_F=f(f)$.Рисунок 3.2 – Графік залежності $H=f(f)$.

Гідравлічний розрахунок

При гідравлічному розрахунку визначаємо потужності, що витрачається на перекачування газу через скруббер. Продування газу через КТУ пов'язане з додатковою витратою енергії. Для визначення потужності, що витрачається на

перекачування газу, потрібно розрахувати опір тракту, який залежить від типу насадки і гідравлічного режиму роботи апарату.

Для визначення опору сухої насадки рекомендується наступна формула:

$$\Delta P_{\text{сух}} = \lambda \cdot \frac{H}{d_{\text{э}}} \cdot \frac{\omega_{\Gamma}^2 \cdot \rho}{2}, \quad (3.31)$$

де λ – коефіцієнт опору при проходженні газу через шар насадки;

H – висота шару насадки, м;

$d_{\text{э}}$ – еквівалентний діаметр, м;

ω_{Γ} – швидкість газу у вільному перерізі насадки (дійсна), м / с;

ρ – щільність газу при $t_{\Gamma} = 155^{\circ}\text{C}$, $\rho = 0,815 \text{ кг/м}^3$.

Дійсна швидкість газу визначається за формулою:

$$\omega_{\Gamma} = \frac{\omega}{\nu} \quad (3.32)$$

де ω – швидкість газів (з конструктивного розрахунку);

ν – вільний об'єм, $\text{м}^3/\text{м}^3$. Отже, відповідно:

$$\omega_{\Gamma_1} = \frac{9,484}{0,7} = 13,55 \text{ м/с}$$

$$\omega_{\Gamma_2} = \frac{9,484}{0,74} = 12,82 \text{ м/с}$$

$$\omega_{\Gamma_3} = \frac{9,484}{0,78} = 12,16 \text{ м/с}$$

$$\omega_{\Gamma_4} = \frac{9,484}{0,785} = 12,08 \text{ м/с}$$

Для неупорядкованої насадки з кілець (навалом) коефіцієнт опору можна визначити за наступним виразом [2]:

$$\text{при } Re < 40 \quad \lambda = \frac{140}{Re}$$

$$\text{при } Re > 40 \quad \lambda = \frac{16}{Re^{0,2}},$$

$$Re = \frac{\omega_r \cdot d_3 \cdot \rho}{\mu_r}, \quad (3.33)$$

де μ_r – динамічна в'язкість газу при $t_r = 155^\circ C$, $\mu_r = 24,5 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$, отже

$$Re_1 = \frac{13,55 \cdot 0,0085 \cdot 0,815}{24,5 \cdot 10^{-6}} = 3831$$

$$Re_2 = \frac{12,82 \cdot 0,015 \cdot 0,815}{24,5 \cdot 10^{-6}} = 6397$$

$$Re_3 = \frac{12,16 \cdot 0,022 \cdot 0,815}{24,5 \cdot 10^{-6}} = 8899$$

$$Re_4 = \frac{12,08 \cdot 0,035 \cdot 0,815}{24,5 \cdot 10^{-6}} = 14060$$

Так як $Re > 40$, то відповідно $\lambda = \frac{16}{Re^{0,2}}$

$$\lambda_1 = \frac{16}{3831^{0,2}} = 3,072$$

$$\lambda_2 = \frac{16}{6397^{0,2}} = 2,773$$

$$\lambda_3 = \frac{16}{8899^{0,2}} = 2,596$$

$$\lambda_4 = \frac{16}{14060^{0,2}} = 2,369 \Rightarrow$$

$$\Delta P_{cyl_1} = 3,072 \cdot \frac{0,76}{0,0085} \cdot \frac{13,55^2 \cdot 0,815}{2} = 20550 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{cyl_2} = 2,773 \cdot \frac{0,98}{0,015} \cdot \frac{12,82^2 \cdot 0,815}{2} = 12130 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{cyl_3} = 2,596 \cdot \frac{1,17}{0,022} \cdot \frac{12,16^2 \cdot 0,815}{2} = 8319 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{\text{сух}4} = 2,369 \cdot \frac{1,46}{0,035} \cdot \frac{12,08^2 \cdot 0,815}{2} = 5876 \text{ Па}$$

Опір змоченої насадки завжди буде більшим за опір сухої, внаслідок зменшення прохідного перерізу рідинної плівки:

$$\Delta P_{\text{см}} = \psi \cdot \Delta P_{\text{сух}}, \quad (3.34)$$

де ψ – коефіцієнт.

При зрошенні водою - коефіцієнт може бути знайдений за формулою:

$$\psi = 1,2 + 0,04 \cdot u, \quad (3.35)$$

де u – щільність зрошення, $\text{м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$ (з конструктивного розрахунку).

$$\psi_1 = 1,2 + 0,04 \cdot 60,54 = 3,622$$

$$\psi_2 = 1,2 + 0,04 \cdot 57,27 = 3,491$$

$$\psi_3 = 1,2 + 0,04 \cdot 54,33 = 3,373$$

$$\psi_4 = 1,2 + 0,04 \cdot 53,99 = 3,36 \Rightarrow$$

$$\Delta P_{\text{см}_1} = 3,622 \cdot 20550 = 74432,1 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{\text{см}_2} = 3,491 \cdot 12130 = 42345,83 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{\text{см}_3} = 3,373 \cdot 8319 = 28059,987 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{\text{см}_4} = 3,36 \cdot 5876 = 19743,36 \text{ Па}$$

Потужність, необхідна для продування газу через КТУ визначається:

$$N = \frac{V_{\text{СКР}} \cdot \Delta P_{\text{см}}}{\eta_H \cdot 10^3}, \quad (3.36)$$

де $V_{\text{СКР}}$ – об'ємна витрата димових газів через КТУ, $V_{\text{СКР}} = 3,648 \text{ м}^3/\text{с}$;

η_H – ККД нагнітача, приймаємо $\eta_H = 0,75$. отже відповідно:

$$N_1 = \frac{3,648 \cdot 74432,1}{0,75 \cdot 10^3} = 362,038 \text{ Вт}$$

$$N_2 = \frac{3,648 \cdot 42345,83}{0,75 \cdot 10^3} = 205,97 \text{ Вт}$$

$$N_3 = \frac{3,648 \cdot 28059,987}{0,75 \cdot 10^3} = 136,484 \text{ Вт}$$

$$N_4 = \frac{3,648 \cdot 19743,36}{0,75 \cdot 10^3} = 96,032 \text{ Вт}$$

За отриманими значеннями будуюмо графічну залежність $N=f(f)$ рис. 3.3.

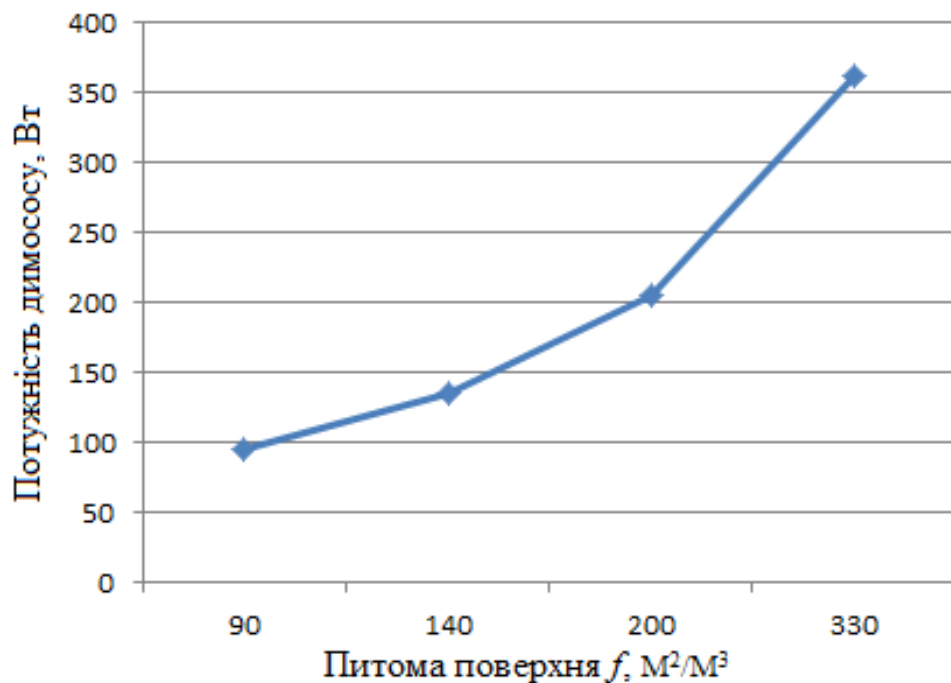


Рисунок 3.3 – Графік залежності $N=f(f)$.

В результаті проведених розрахунків визначено кількість утилізованого тепла (теплопродуктивність КТУ) $Q=1015$ кВт, температуру води, яка виходить з теплоутилізатора $t''_{ж}=56,613^{\circ}\text{C}$ та кількість виходячої води з теплоутилізатора $W_K=4,678$ кг/с.

Розрахунки поверхні та висоти засипки насадок виявили велике значення компактності теплоутилізатора, найбільш доцільним варіантом є насадка з висотою засипки $H=0.76$ м (при потужності нагнітача $N=360$ Вт).

Також були розраховані поверхні, та висота засипки для чотирьох типорозмірів насадок. При встановленні теплоутилізатора в димохід печі велике значення має його компактність. Тож найбільш доцільним буде перший варіант насадки з висотою засипки.

3.2. Розробка технологічної схеми утилізації тепла димових газів

Відібране тепло з допомогою контактного теплоутилізатора доцільно використовувати для гарячого водопостачання адміністративних, виробничих та побутових помешкань підприємства. Покажемо технологічну схему і оберемо необхідне додаткове обладнання для накопичення гарячої води та підвищення ефективності процесу утилізації тепла димових газів встановлюємо бак-акумулятор. Бак призначений для накопичення теплової енергії та її розподілення споживачам. Схема теплоакумулятора зображена на рис 3.4.

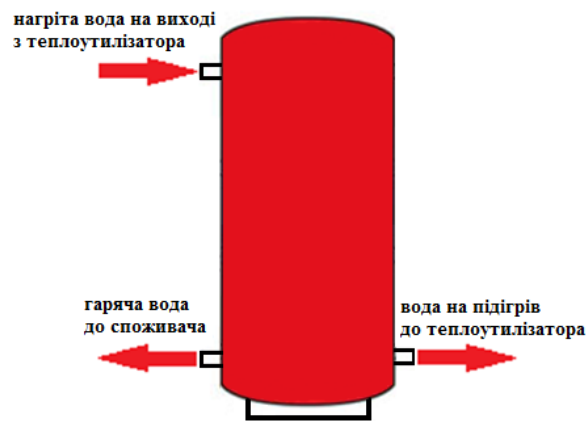


Рисунок 3.4 – Схематичне зображення теплового акумулятора.

Кількість накопиченого тепла в тепловому акумуляторі можна розрахувати за наступною формулою:

$$Q = mcT, \quad (3.37)$$

де m – маса води баку (тому обираємо бак об'ємом 2000 м^3);
 c – питома теплоємність теплоносія, для води $4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;
 T – температура гарячої води, що надходить в бак.

$$Q = 2000 \cdot 4200 \cdot 56 = 470400, \text{кДж}$$

Кількість накопиченого тепла буде складати:

$$Q = 470400 / 3600 = 130.6, \text{кВт}$$

Нагріта вода проходить процес фільтрації на виході з теплоутилізатора. Встановлюється фільтр очистки F78TS. Чужорідні частинки, зібрані всередині колби фільтра, можуть бути легко видалені в ручному режимі. Водопостачання при цьому не переривається. Технологічну схему утилізації тепла димових газів наведемо на рис.3.5.

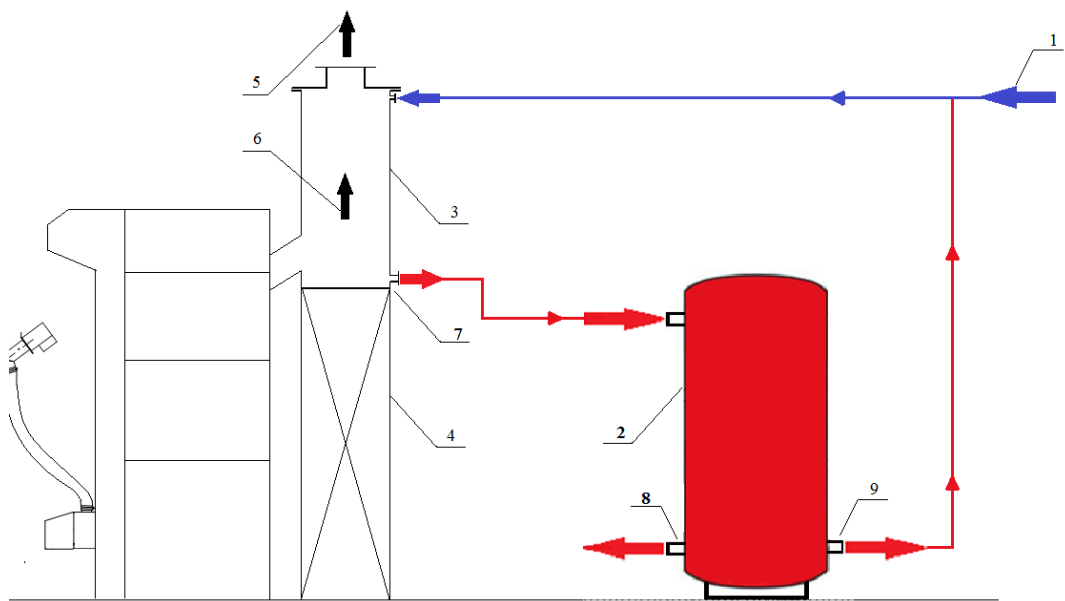


Рисунок 3.5 – Технологічна схема утилізації тепла димових газів.

Утилізація тепла димових газів для потреб гарячого водопостачання здійснюється наступним чином. Живильна вода 1 з $t=5^{\circ}\text{C}$ подається в теплоутилізатор 3. КТУ під'єднаний до димоходу печі та встановлений на опорі 4. Після потрапляння холодної води до теплоутилізатора відбувається її

тепломасообмін з димовими газами 6 ($t=270^0$ C). Димові газы охолоджуються до температури на виході 5 $t=40^0$ C. Вода при цьому нагрівається та на виході 7 проходить через фільтр тонкої очистки і потрапляє з $t=56^0$ C до баку-акумулятору 2. Бак поступово заповнюється гарячою водою. Всередині нього вмонтований датчик температури. При падінні температури води до 40^0 C - вода з баку відводиться через штуцер 9, змішуючись з потоком живильної води 1, на повторний підігрів. Відвід гарячої води споживачам відбувається через штуцер 8. При повному заповненні баку водою з $t>40^0$ C процес утилізації тепла димових газів перестає відбуватись. Вказана технологічна схема утилізації тепла дає змогу використовувати вторинне тепло відхідних газів на власні потреби.

3.3. Розрахунок економічної ефективності при заміщенні газового палива на пелетне в хлібопекарних печах

Для розрахунку економічної ефективності при заміщенні газового палива на пелетне в хлібопекарних печах розглянемо на прикладі кондитерського цеху оснащенням конверційними ротаційними печами. Розрахунок буде проводитись для однієї печі.

Виконаємо розрахунок річної ефективності використання пелетного пальника в порівнянні з газовим за наступною методикою:

- річна економія при використанні пристрою:

$$E = B_{\text{г}} - B_{\text{п}} \quad (3.38)$$

- річна економічна ефективність:

$$E_p = (B_{\text{г}} - B_{\text{п}}) - E_{\text{п}} \cdot K \quad (3.39)$$

- період окупності:

$$T_{ок} = \frac{K}{E_p} \quad (3.40)$$

де B_o - експлуатаційні річні витрати базового обладнання;

B_n - експлуатаційні річні витрати нового обладнання;

E_n - нормативний коефіцієнт (приймаємо 0,25);

K – додаткові капіталовкладення.

Додаткові капіталовкладення знаходимо за виразом:

$$K = B_1 + B_2 + B_3 + B_4 + B_5 - \Pi_1, \quad (3.41)$$

де B_1 – вартість пальника, грн;

B_2 – вартість налагоджувальних робіт, грн;

B_3 – вартість реконструкції печі, грн;

B_4 – витрата на купівлю бункера, шнека

B_5 – витрати на облаштування складського приміщення, грн;

Π_1 – ліквідаційна вартість, грн:

$$\Pi_1 = B_{n.з.} \cdot k_3, \quad (3.42)$$

де $B_{п.г.}$ – вартість газового пальника;

k_3 – коефіцієнт зносу обладнання (в даному випадку $k_3 = 0,5$).

$$K = 36350 + 2700 + 2300 + 12500 + 3000 - 16000 = 40850, \text{ грн}$$

Витрати в процесі експлуатації обладнання:

- річна вартість палива. При розрахунку варіанту з пелетним пальником необхідно враховувати ціну палива та вартість його доставки. Оплата за годину роботи печі на газу складає 40,5 грн, на пелетах 15,37 грн.

При розрахунку річної витрати палива приймаємо п'ятиденний робочий тиждень (250 робочих днів) та восьмигодинний робочий день;

- витрати на ремонт та утримання обладнання. Даний пункт включає в себе дві статті: зарплата за ремонт та утримання обладнання працівникам та витрати на заміну зношених деталей пальника (приймаємо 1000грн/рік). При використанні газового пальника час на ремонт та утримання T_p буде складати 30 год. При використанні пелетного $T_p=80$ год. Це пов'язано з тим, що повної автоматизації подачі палива не досягнуто, а також періодично необхідно видаляти золу з пелетного пальника. Річну зарплату працівника можна розрахувати за формулою:

$$Z = Z_{осн} + Z_{дод} + Z_{с.в.} \quad (3.43)$$

де $Z_{осн}$ – основна заробітна плата працівника. Можна розрахувати за формулою:

$$Z_{осн} = T_c \cdot T_p; \quad (3.44)$$

T_c – погодинна ставка (приймаємо її 18 грн/год);

$Z_{дод}$ – додаткова заробітна плата складає 20% від основної.

$Z_{с.в.}$ – відрахування в соціальні фонди, складають 38,5%.

- Витрати на амортизацію:

$$A = (a_z \cdot B_n) / 100; \quad (3.45)$$

де a_z - річна норма амортизації, визначається, як:

$$a_z = (1 / T_n) 100; \quad (3.46)$$

де T_n – нормативний срок служби приладу (для обох пальників він складає 12 років); V_n – вартість пальника (газового – 32000 грн, пелетного – 36350 грн). Розрахунок експлуатаційних витрат зведений в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунок експлуатаційних витрат.

Назва витрати	Базовий варіант пальника	Новий варіант пальника
Річна вартість витрати палива, грн	81000	30740
Витрати на ремонт та утримання обладнання, грн:		
- зарплата працівникам;	898	2393
- відрахування на заміну зношених деталей	1000	1000
Витрати на амортизацію, грн	2566	3017
Сума експлуатаційних річних витрат	85464	37150

Річна економія від застосування пелетного пальника складе:

$$E = 85464 - 37150 = 48314, \text{грн}$$

Річна економічна ефективність при цьому буде:

$$E_p = (85464 - 37150) - 0,25 \cdot 40850 = 38101,5, \text{грн}$$

Можна розрахувати час окупності приладу:

$$T_{ок} = \frac{40850}{48314} = 0,84, \text{років}$$

Проведені розрахунки показали, що при даному часу окупності приладу, захід з переобладнання печей буде доцільним. Розрахунки були проведені для однієї печі.

Висновки до розділу 3

1. В результаті проведених розрахунків визначено кількість утилізованого тепла (теплопродуктивність КТУ) $Q=1015$ кВт, температуру води, яка виходить з теплоутилізатора $t_{ж}''=56,613^{\circ}\text{C}$ та кількість виходячої води з теплоутилізатора $W_K=4,678$ кг/с.

2. Виконано розрахунки поверхні та висоти засипки насадок виявили велике значення компактності теплоутилізатора, найбільш доцільним варіантом є насадка з висотою засипки $H=0.76$ м (при потужності нагнітача $N=360$ Вт).

3. Розраховані поверхні та висота засипки для чотирьох типорозмірів насадок. При встановленні теплоутилізатора в димохід печі велике значення має його компактність. Тож найбільш доцільним буде перший варіант насадки з висотою засипки.

4. Показано технологічну схему утилізації тепла димових газів. Розраховано кількість накопиченого тепла в тепловому акумуляторі, що складає 130 кВт. Зазначено, що нагріта вода проходить процес фільтрації на виході з теплоутилізатора. Встановлюється фільтр очистки F78TS. Чужорідні частинки, зібрані всередині колби фільтра, можуть бути легко видалені в ручному режимі. Водопостачання при цьому не переривається.

5. Проведений розрахунок економічної ефективності при заміщенні газового палива на пелетне в хлібопекарних печах розглянемо на прикладі кондитерського цеху оснащеним конверційними ротаційними печами. Розрахунок проводився для однієї печі. Річна економія від застосування пелетного пального склала 48314 грн, а термін окупності складатиме менше року. Тому захід з переобладнання печей є доцільним.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Основна мета цієї роботи полягає у підвищенні продуктивності хлібопекарських печей шляхом переходу з газового пальника на паливо, отримане з твердої біомаси у вигляді пелет, а також в розробці системи використання тепла відхідних димових газів. З погляду безпеки праці, така реконструкція не призведе до погіршення умов для обслуговуючого персоналу.

Потенційно небезпечні фактори при експлуатації хлібопекарських печей включають: ризик ураження електричним струмом внаслідок наявності напруги на неструмовідних частинах печі, де може виникнути пошкодження ізоляції (зокрема на металевому корпусі печі та додатковому обладнанні); можливість опіків під час випікання продукції через теплове випромінювання з поверхні обладнання; підвищена температура повітря в робочій зоні; збільшена пожежна небезпека; присутність шкідливих токсичних газів.

Ця робота не лише спрямований на покращення технічних параметрів, а й враховує аспекти безпеки праці, забезпечуючи безпеку персоналу, який працює з хлібопекарським обладнанням.

4.1 Загальні вимоги безпеки

Вимоги безпеки до конструкції виробничого обладнання зазначені в ДСТ "Виробниче устаткування. Загальні вимоги безпеки". Елементи машинної конструкції повинні бути таким чином спроектовані, щоб уникнути наявності гострих кутів, різких країв та інших елементів, які можуть становити потенційну небезпеку під час обслуговування. Конструкція повинна враховувати відсутність можливості випадкового контакту з гарячими або переохолодженими частинами. Усі компоненти конструкції, включаючи ті, що служать для подачі і відведення комунікацій, мають уникати можливості ненавмисного пошкодження, яке може створити

ризик під час обслуговування. Системи постачання стиснутого повітря, пари та води повинні відповідати чинним вимогам та стандартам безпеки.

Видалення тепла, вологості і пилу з виробничих приміщень повинно дотримуватися встановлених граничних рівнів концентрацій, які призначені для робочих зон. Для досягнення цієї мети передбачено використання вбудованих пристроїв для видалення вибухо- та пожежонебезпечних речовин з їхніх джерел утворення. У виробничих приміщеннях передбачено системи вентиляції, кондиціювання повітря та аспірації обладнання.

Машинні вузли та деталі повинні бути виготовлені із матеріалів, які є безпечними та нешкідливими. Зазвичай нові матеріали проходять санітарно-гігієнічні та пожежонебезпечні перевірки. Робочі місця повинні бути безпечними та комфортними для виконання обслуговування машин. Усі машинні вузли, які потребують змащення, обладнані автоматичними мастильними пристроями або маслянками з резервуарами достатнього об'єму, що дозволяє їх заповнювати під час зупинки машин.

У разі необхідності передбачається забезпечення локального освітлення окремих виробничих площадок. Для забезпечення візуального контролю технологічного процесу встановлюють освітлювальні прилади для насвічування робочих зон машин, враховуючи категорію вибухонебезпеки приміщення. При цьому слід уникати випадкового дотику до струмоведучих частин освітлювачів.

Машинна конструкція повинна враховувати заходи захисту від ураження електричним струмом, включаючи ситуації помилкових дій обслуговуючого персоналу. Також необхідно уникати накопичення небезпечних кількостей статичної електрики. З цією метою всі машини, апарати, участки самохідних труб та інші пристрої, що можуть генерувати статичний заряд, мають бути обладнані надійною системою заземлення. Конструкція обладнання також повинна передбачати наявність сигналізаційних систем, автоматичної зупинки та відключення від джерела енергії у разі несправностей, аварій та небезпечних режимів роботи.

Дизайн устаткування повинен гарантувати, що рівні шуму та вібрацій залишаються в межах допустимих норм. Якщо обладнання при роботі генерує шум та вібрації, які перевищують встановлені стандарти, воно повинно бути обладнане звуковими системами та встановлене на віброізолюючих підставках.

Рухомі частини обладнання є потенційним джерелом небезпеки, тому вони обгороджуються. У випадку експлуатації устаткування без обгородження, передбачається встановлення попереджувальної сигналізації для запуску машин та засобів зупинки та відключення від джерела енергії. У разі наявності транспортних машин значної довжини, засоби зупинки розташовують не рідше, ніж кожні 10 метрів. Промислове обладнання, при обслуговуванні якого передбачено переміщення людей, повинне мати безпечні та зручні проходи і засоби для проведення робіт, такі як сходи, постаменти та робочі площадки.

Основні вимоги до органів керування устаткуванням включають:

- Забезпечення безпечної та зручної форми, розмірів і поверхні для роботи.
- Місцезнаходження (доступ) не повинно ускладнювати виконання окремих операцій.
- Зусилля, необхідні для активації органів керування, мають бути в межах прийнятних параметрів, уникаючи надто великих (непосильних) або занадто малих (випадкових доторкань, які можуть спричинити активацію машини).
- Конструкція повинна унеможливлювати випадковий пуск чи зупинку устаткування.
- Органи керування для однотипного устаткування повинні бути стандартизовані за конструкцією та розташуванням; пускові пристрої, незалежно від наявності Дистанційно автоматичного управління (ДАУ),

мають бути діючими і знаходитися поруч з робочим місцем для можливості швидкого відключення у випадку аварій і надзвичайних ситуацій.

- Система керування устаткуванням має забезпечувати блокування послідовності технологічних операцій і аварійне вимикання (повне, часткове або місцеве).

- Органи аварійного вимикання (кнопки, важелі, рубильники) повинні мати червоний колір; біля пускових пристроїв мають бути розміщені чіткі написи, що вказують на їхнє призначення.

4.2 Огороджуючі заходи безпеки

Необхідно встановлювати засоби обгородження небезпечних зон пристроїв для запобігання виробничого травматизму під час обслуговування устаткування. Ці засоби представляють собою простори, в яких постійно або періодично присутні небезпечні фактори, що створюють можливість травматизму. Наприклад, до небезпечних зон відносяться ремінні, зубчасті, ланцюгові та інші передачі; зони подачі і дроблення вальцевих млинів; простір між ланцюгами формувальних машин для карамелі; рухомі пальці тягальних машин; робочі органи упаковочних та інших машин.

Для захисту від впливу небезпечних факторів застосовують такі основні засоби захисту: огорожувальні, запобіжні, сигналізаційні пристрої та системи дистанційного керування.

Огорожувальні пристрої обов'язково використовуються для обмеження доступу до рухомих частин машин (таких як шківи, ремені, ланцюги, шестерні, муфти, виступаючі кінці валів тощо) відповідно до вимог безпеки. Також обгороджують відкриті струмоведучі частини електроустаткування, області розкиду часток, зони з високою температурою та тиском, вибухонебезпечні зони, люки, прорізи та високі робочі площадки.

Запобіжні пристрої призначені для уникнення аварій та поломок в окремих вузлах устаткування, транспортних комунікаціях і пов'язані з цим

ризиком травматизму. У випадку порушення встановлених параметрів, запобіжні пристрої автоматично виключають відповідне устаткування.

Сигналізаційні пристрої призначені для повідомлення обслуговуючого персоналу про функціонування устаткування або відхилення від встановлених режимів, що може призвести до виникнення небезпечних ситуацій. У виробничих умовах застосовується система оперативної та попереджувальної сигналізації, яка включає світлові, звукові, символічні та комбіновані методи оповіщення. Ця сигналізація вказує на досягнення критичних значень температури, тиску, наявності або відсутності продукту, води, повітря та інших параметрів. Попереджувальна сигналізація також включає покажчики, такі як "Не включати – ремонт!", "Працюють люди!", "Обережно, отрута!" та інші.

Дистанційне керування сприяє поліпшенню робочих умов та зменшенню впливу на організм людини від вібрації, шуму та інших негативних факторів. Запровадження високо механізованого та автоматизованого виробничого процесу, який керується дистанційно з пульта, надає можливість скоротити час перебування обслуговуючого персоналу безпосередньо в виробничих приміщеннях.

Положення устаткування у виробничому приміщенні повинно відповідати таким принципам, щоб його монтаж, ремонт та обслуговування забезпечували безпеку та зручність, а також сприяли підтримці необхідного санітарного стану у виробничих приміщеннях. Правила безпеки праці та санітарії виробництва визначають конкретні вимоги до проходів і відступів при встановленні устаткування. Припустимі розміри проходів і відступів представляють собою мінімальні відстані між об'єктами, з яких хоча б один становить потенційну небезпеку травмування, якщо зменшити відстань між ними. При розташуванні стаціонарного устаткування у виробничих приміщеннях слід враховувати наявність поперечних і продовжних проходів, які прямо пов'язані з виходами на сходові клітки у суміжні приміщення. Розриви між групами машин повинні мати ширину не менше 1 м, а між

окремими машинами - ширину не менше 0,8 м (за винятком окремих випадків, що окремо визначаються).

Заборонено групове розташування машин, які вимагають доступу обслуговуючого персоналу з усіх боків. Устаткування, яке не має з одного боку доступу для обслуговування, може бути встановлене на відстані не менше 0,25 м від стіни.

4.3 Умови безпечної експлуатації устаткування

Умови безпечної експлуатації устаткування передбачають можливість обслуговування лише тих осіб, які орієнтовані у принципах його роботи та конструкції, ознайомлені з правилами експлуатації та обслуговування, пройшли відповідний інструктаж та медичний огляд.

Існує декілька типів інструктажу:

Вступний інструктаж: його метою є ознайомлення кожного працівника з характером виробництва, потенційними джерелами небезпеки, правилами внутрішнього розпорядку та основними санітарно-гігієнічними вимогами.

Інструктаж на робочому місці: цей вид інструктажу включає детальну інформацію про будову та експлуатацію обслуговуваних машин, організацію робочого місця та безпечні методи обслуговування.

Періодичний (повторний) інструктаж: проводиться щодакілька місяців, незалежно від кваліфікації та стажу роботи, і має на меті повторне нагадування про безпечні методи роботи.

Позачерговий інструктаж: зазвичай проводиться при змінах у технології чи процесі, встановленні нового устаткування, порушенні правил та інструкцій з безпеки праці або при настанні нещасних випадків чи професійних захворювань.

Організація робочого місця повинна гарантувати високий рівень виробничої, технологічної та трудової дисципліни у всіх сферах виробництва. Устаткування повинно бути в належному стані, а його

параметри мають відповідати технічним вимогам. Обертіві вузли машин, такі як вали, ротори та інші, повинні бути відбалансовані як у зборі, так і окремими деталями. Робочі органи повинні бути належно відрегульовані та функціонувати належним чином. Виключається можливість виникнення неприпустимого шуму, стуку, вібрації чи заїдання робочих органів, а також перевантаження машин, яке може викликати завалення, перегрів та аварії приводних механізмів.

Заборонено запускати та експлуатувати машини, у яких є дефекти або відсутні огороження, блокувальні, запобіжні та сигнальні пристрої. Під час функціонування машин також заборонено знімати або надягати привідні ремені, регулювати натяг тягових та робочих органів (таких як лопатки бичів, шнеки, щітки, валики тощо), проводити дрібний ремонт, змащення, підтяжку болтів і т.д. Ці операції можна виконувати лише після повної зупинки устаткування.

Заходи з організації санітарно-гігієнічних умов на виробництві:

- Забезпечено дотримання нормативів освітленості для приміщень і робочих місць у денний і нічний час.
- Проведено належну настройку системи опалення, враховуючи функціональне призначення будівель та споруд і враховано економічні аспекти.
- У виробничих приміщеннях встановлено систему вентиляції, а в адміністративних приміщеннях забезпечено кондиціювання повітря.

Заходи щодо забезпечення безпеки персоналу та профілактики професійних захворювань [13]:

Можливі нещасні випадки, спричинені впливом одного чи декількох шкідливих факторів у виробничому середовищі. Додатково, такі випадки можуть статися через особистий внесок працівника, такий як працювання у нетверезому стані чи неправильне ставлення до виконання обов'язків.

Серед причин нещасних випадків важливо враховувати [13]:

- Технічні аспекти, спричинені переважно конструктивними недоліками в інженерних рішеннях, які стосуються безпеки виробничого устаткування, а також технологічні процеси, дефекти обладнання, приладів, інструментів і пристосувань.

- Організаційні чинники, пов'язані з недостатнім наглядом за виконанням робіт, неефективною організацією праці, низьким рівнем корпоративної культури та обізнаністю працівників щодо безпеки праці.

- Психофізіологічні аспекти, такі як недостатня концентрація на робочому місці, втрата самоконтролю працівниками та невідповідність ергономічним вимогам під час організації робочого простору.

Однією з ключових ініціатив у протидії виробничому травматизму є ведення належного обліку та розслідування нещасних випадків, професійних захворювань і аварій, зокрема в електроустановках, які стали результатом порушення правил безпечної експлуатації електроустановок, виробничих інструкцій та інструкцій з техніки безпеки.

З метою запобігання професійним захворюванням, слід проводити регулярні та попередні медичні обстеження працівників, які працюють з шкідливими речовинами. Також слід впроваджувати диспансерний нагляд, забезпечувати санітарне лікування, вживати дієтичне харчування і надавати спеціальні відпустки для цільових категорій робочого персоналу.

4.4 Технічні заходи з охорони праці під час роботи з пічним обладнанням

Один із заходів для забезпечення безпеки під час роботи печей - це встановлення захисного заземлення. Захисне заземлення представляє собою навмисне електричне з'єднання землі чи її еквіваленту з металевими неструмоведучими частинами, які можуть опинитися під напругою через замикання на корпус та інші чинники (індуктивний вплив сусідніх струмоведучих частин, винесення потенціалу і т.п.). Еквівалентом землі може бути вода річки чи моря, кам'яне вугілля в корінному заляганні і т. д. Мета

захисного заземлення полягає в усуненні небезпеки ураження струмом у випадку доторкання до корпусу електроустановки та інших неструмоведучих металевих частин, що опинилися під напругою через замикання на корпус і інші причини.

Для захисту від теплового випромінювання використовують колективні та індивідуальні засоби захисту. Основні методи включають теплоізоляцію поверхонь джерел тепловипромінювання, екранування джерел або робочих місць, повітряне охолодження робочих місць, радіаційне охолодження, розпилення води для утворення водяних завіс, загальнообмінну вентиляцію та кондиціонування. Засоби захисту від теплового випромінювання повинні гарантувати, що теплове опромінення на робочих місцях не перевищує $0,35 \text{ кВт/м}^2$, а температура поверхні обладнання не перевищує 35°C при температурі всередині джерела тепла до 100°C і 45°C при температурі всередині джерела тепла понад 100°C [14].

Зменшення температури випромінюючої поверхні та зниження викидів тепла, включаючи інфрачервоний спектр, досягається завдяки теплоізоляції гарячих поверхонь. Використання матеріалів з низькою теплопровідністю є ключовим для забезпечення ефективної теплоізоляції. Способи теплоізоляції можуть включати мастичні, обгорткові, засипні, виготовлені з штучних матеріалів та комбіновані конструкції [15]. У випадку печей для хлібопекарні застосовується обгортковий метод теплоізоляції.

Щоб уникнути можливості виникнення пожежі під час експлуатації печей, слід дотримуватись таких заходів:

- Утримуйтеся від ручного запалювання палива, оскільки ця операція проводиться автоматично.
- Почищайте димоводи та димові труби печей принаймні один раз на сезон.
- Переконайтеся, що навколо печей відсутні непотрібні предмети та сміття під час їх роботи.

- Подача палива з бункеру до пелетного пальника повинна відбуватися за допомогою гофрованої трубки, яка, у випадку зворотного вогню в пальнику, автоматично перегоряє, забезпечуючи переривання шляху до бункеру з пелетами.

- Засувки димоводів слід закривати лише після вимкнення печі, щоб запобігти отруєнню чадним газом.

Висновки по розділу 4

1. В розділі розглянуті загальні вимоги безпеки. Зазначено, що робочі місця повинні бути безпечними та комфортними для виконання обслуговування машин.

2. Приділено питання огорожувальних заходів на виробництві. Необхідно встановлювати засоби огороження небезпечних зон пристроїв для запобігання виробничого травматизму під час обслуговування устаткування.

3. Розписані умови безпечної експлуатації устаткування, що передбачаються для працюючих на підприємстві осіб. Зазначені типи інструктажів з «Охорони праці» і терміни їх проведення.

4. Приділено увагу питанню технічних заходів з охорони праці під час роботи з пічним обладнанням. Відзначено в роботі, що один із заходів для забезпечення безпеки під час роботи печей - це встановлення захисного заземлення

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі ставиться задача розглянути шляхи удосконалення використання альтернативних палив в печах хлібопекарських та кондитерських підприємств.

Для досягнення поставленої мети було вирішено наступні завдання: проаналізувати основні види палива для використання в теплотехнологічних печах, розглянути типи пелетних пальників, обрати пальники для печей хлібопекарського та кондитерського виробництва. Розглянути питання удосконалення пелетних печей шляхом тепло утилізації тепла. Провести розрахунок теплоутилізаційного пристрою та показати технологічну схему утилізації тепла димових газів.

Отримані наступні результати:

1. В роботі проведений детальний огляд та аналіз проблем використання електричної енергії для технологічних потреб печей.
2. В роботі розглянуті основні типи пелетних пальників, з розглядом їх конструктивних і функціональних особливостей.
3. Детально порівняно пальники факельного типу вітчизняного виробництва і європейського.
4. Окрему увагу приділено пелетному пальнику «IMPEX-BURNER» для печей хлібопекарського виробництва потужністю 10 кВт - 70 кВт.
5. З роботи розглядаються теплоутилізаційне обладнання димових газів хлібопекарських печей.
6. Знайдено оптимальне рішення для ефективної утилізації тепла від димових газів печей за рахунок використання теплообмінника контактного типу.
7. Розраховані поверхні та висота засипки для чотирьох типорозмірів насадок.
8. В роботі розглянуті загальні вимоги безпеки при виконанні обслуговування машин.

9. Приділено питання огорожувальних заходам на виробництві. Розписані умови безпечної експлуатації устаткування, що передбачаються для працюючих на підприємстві осіб. Зазначені типи інструктажів з «Охорони праці» і терміни їх проведення.

10. Приділено увагу питанню технічних заходів з охорони праці під час роботи з пічним обладнанням.

Основні наукові результати роботи:

1. В результаті проведених розрахунків визначено кількість утилізованого тепла (теплопродуктивність КТУ), температуру води, яка виходить з теплоутилізатора та кількість виходячої води з теплоутилізатора.

2. Показано технологічну схему утилізації тепла димових газів. Розраховано кількість накопиченого тепла в тепловому акумуляторі.

3. Виконано розрахунки поверхні та висоти засипки насадок.

4. Проведений розрахунок економічної ефективності при заміщенні газового палива на пелетне в хлібопекарних печах на прикладі кондитерського цеху оснащеним конверційними ротаційними печами.

5. Наведений приклад успішного використання пелетних пальників є у печах ротаційних конвекційних хлібопекарських фірми ВТЦ «Імпексмаш» IMPEX ROTOR.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. В. Омельченко Стан ринків електричної енергії та газу України в умовах російської агресії (на 14 квітня 2022р.). Режим доступу: <https://razumkov.org.ua/statti/>
2. Укрінформ. 22 листопада 2023, 18:34 <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3710393-virobnictva-elektroenergii-dostatno-dla-pokritta-spozivanna-ukrenergo.html>
3. Стан в енергосистемі України. 23 листопада 2023 р. <https://kiroe.com.ua/news/stan-v-energosissemi-ukraini>
4. Ротаційні печи Режим доступу: <http://www.torgmash.com/rotacionnye-pechi/>
5. Класифікація електротехнологічних установок Режим доступу: <http://electricalschool.info/main/electrotehnolog/530-klassifikacija.html>
6. Твердопаливні котли. Режим доступу: http://bioresource.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=92:2010-09-12-14-46-57&catid=35:2010-10-13-13-32-44
7. Влаштування пелетних пальників.
Режим доступу: <http://pellet-burners.com.ua/poleznaya-informaciya>
8. Шнеки для подачі палива.
Режим доступу: <http://partner-td.com.ua/peletnoe-otoplenie/shneki/>
9. Ротаційна піч з пелетним пальником Імпексамаш. Режим доступу: <https://impexmash.com/product/rotation-oven-impex-rotor-on-wooden-pellet>
10. Ротаційна піч Impex Rotor (на пелетах) українського виробництва ВТЦ «Імпексамаш». Режим доступу: <https://impexmash.com/product/rotation-oven-impex-rotor-on-wooden-pellets/>
11. Семенов С.А., Літецька Е.В. Енергозбереження в теплоенергетиці и теплотехнологіях. Основи теорії та проектування контактних теплоутилізаторів: Навчально-методичний посібник/С.А.Семенов, Е.В.Літецька. – 2-е изд., виправл. і перероб, 2006. – 62 с.

12. Ф. Р. Габітов Термовологі та низькотемпературні теплотехнологічні процеси і установки. - 70 с.

13. Ривкин С.Л., Александров А.А. Термодинамічні властивості води та водяної пари: Довідник. Рек. держ.служби стандартних довідникових даних – 2-ге вид., перероб. і доп. – М.,1984, 80 с.

14. Основні технічні та організаційні заходи щодо профілактики виробничого травматизму та професійної захворюваності Режим доступу: http://pidruchniki.com/12281128/bzhd/osnovni_tehnichni_organizatsiyni_zahodi_s_chodo_profilaktiki_virobnichogo_travmatizmu_profesiynoyi_zahvoryuv

15. Осокін В.В. Селезньова Ю.А., Охорона праці: питання і відповіді (у сфері торгівлі, виробництва харчової продукції, митної справи, підприємницької і економічної діяльності): Навч. посіб. – 2-ге вид. – Донецьк: ДонДУЕТ, 2004. – 139с.

16. Основи безпечної експлуатації електроустановок : підручн. / С. В. Панченко, О. І. Акімов, М. М. Бабаєв та ін. – Харків : УкрДУЗТ, 2021. – 149 с.