

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Донецький національний університет економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

ДОПУСКАЮ ДО ЗАХИСТУ
Гарант освітньої програми
«Обладнання переробної і харчової
промисловості»
_____ Хорольський В.П.
« ____ » _____ 2024 року

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
на здобуття ступеня вищої освіти «Магістр»
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
за освітньою програмою «Обладнання переробної і харчової промисловості»
на тему: **«ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ ТУНЕЛЬНОЇ ПЕЧІ З**
ВИКОРИСТАННЯМ МЕХАТРОННИХ МОДУЛЕЙ ЖИВЛЕННЯ»

Виконав:
здобувач вищої освіти _____ Трунов Володимир Юрійович _____
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник: _____ професор, д.т.н., професор Хорольський В.П. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у кваліфікаційній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Кривий Ріг
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТОРГІВЛІ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ТУГАН-БАРАНОВСЬКОГО
Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

Форма здобуття вищої освіти денна

Ступінь магістр

Галузь знань Механічна інженерія

Освітня програма Обладнання переробної і харчової промисловості

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Гарант освітньої програми «Обладнання
переробної і харчової промисловості»

Хорольський В.П.
« » 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Трунов Володимир Юрійович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Оптимізація теплових режимів тунельної печі з використанням мехатронних модулів живлення»

Керівник роботи д.т.н., професор Хорольський В.П.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Затверджено: наказом першого проректора ДонНУЕТ імені Михайла Туган-Барановського від «08» травня 2024 р. № 59-с.

2. Строк подання здобувачем ВО роботи «20» листопад 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Техніко-технологічні дані про обладнання Lincoln Foodservice
2. Фахова та методична література
3. Наукові публікації
4. Навчальні підручники, довідники, посібники

4. Зміст пояснювальної записки:

1. Аналітичний аналіз технологічного обладнання при виробництві продуктів харчування
2. Математичне моделювання теплового, технологічного процесу та роботи тунельної печі

3. Робота тунельної печі в умовах обмеження електроенергії
4. Додатки
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
 1. Вихідна стрічка конвеєра тунельної печі Lincoln Foodservice 1305
 2. Схема різниці між однокамерної та двокамерної тунельної печі для піци
 3. Схема сонячного модуля RSM132-8-6605M, TITAN, 660кВт
 4. Панель керування дизельним генератором Hyundai DHY 8500SE-3
 5. Принцип дії методу AIR IMPINGEMENT
 6. Схема поступової стрічки тунельної печі Lincoln Foodservice 1305
 7. Блок схема мехатронної системи автоматизованого контролю і керування виробництва піци
 8. Математична нечітка (fuzzi) модель тунельної печі

6. Дата видачі завдання «10» вересня 2024 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Опрацювання літературних джерел і складання змісту та вступу	До 01.10.2024
2	Написання першого розділу	До 10.10.2024
3	Написання другого розділу	До 25.10.2024
4	Написання третього розділу	До 05.11.2024
5	Подання роботи керівнику на перевірку, усунення недоліків, отримання відгуку	До 15.11.2024
6	Оформлення роботи і подання до захисту	До 17.11.2024

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Трунов В.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Хорольський В.П.

(прізвище та ініціали)

Реферат

Кваліфікаційної роботи "Оптимізація теплових режимів тунельної печі з використанням мехатронних модулів живлення"

Метою кваліфікаційної роботи є розробка та впровадження рішень для оптимізації теплових режимів тунельної печі Lincoln Foodservice 1305 за допомогою мехатронних модулів живлення. Завданням дослідження є забезпечення рівномірності температурного розподілу в пекарній камері, зменшення енерговитрат та підвищення загальної продуктивності печі. Оптимізація теплових режимів дозволить покращити якість кінцевого продукту, зокрема хлібобулочних виробів, а також збільшити ресурс печі та зменшити експлуатаційні витрати.

Об'єктом досліджень є тунельна піч Lincoln Foodservice 1305. Ця модель характеризується високою продуктивністю та можливістю налаштування температурного режиму для різних типів хлібобулочних виробів. Тунельні печі мають автоматизовану систему керування, що включає модулі, які відповідають за стабільність подачі тепла й забезпечують точний контроль за процесом випікання. Завдяки такій системі, піч може працювати на високих навантаженнях без втрати якості випікання.

Предметом дослідження є процеси оптимізації теплового режиму за допомогою мехатронних модулів живлення. Ці модулі відповідають за точне управління подачею енергоживлення в різні зони тунельної печі, що дозволяє створювати ідеальні умови для різних етапів випікання: від зволоження тіста до фінішної фази закріплення структури хлібобулочних виробів. Таким чином, досягнення рівномірного прогріву та утримання необхідної температури є ключовими факторами для досягнення високої якості готових виробів.

Мехатронні модулі є основними елементами керування тепловими процесами в сучасних печах. Вони відповідають за збір інформації про поточний стан температури в різних зонах печі, її аналіз та коригування параметрів подачі тепла. Модулі живлення, які використовуються в Lincoln Foodservice 1305, дозволяють регулювати тепловий потік з високою точністю, забезпечуючи рівномірний прогрів тіста та запобігаючи перегріву.

Сучасні системи керування дозволяють операторам задавати точні параметри для кожної партії виробів, що забезпечує постійний контроль якості продукції. Така автоматизація значно спрощує процес випікання і робить його більш ефективним.

Ключові слова: Тунельна піч, оптимізація теплового режиму, мехатронні модулі, Lincoln Foodservice 1305, промислове випікання, рівномірність нагріву, автоматизація, контроль температури, модулів живлення, енергоживлення.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ	8
1.1 Загальні робочі характеристики тунельних печей	8
1.2 Технологія та принцип дії тунельних печей для виготовлення піци, їх порівняльний аналіз і перспектива використання	10
1.3 Принцип дії нагрівальних елементів тунельних печей для виготовлення піци	15
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДУЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА РОБОТИ ТУНЕЛЬНОЇ ПЕЧІ	17
2.1 Математичне модулювання теплових режимів роботи тунельної печі.	17
2.2 Моделювання технологічного температурного процесу теплообміну в робочій камері тунельної печі	19
2.3 Методи оптимізації теплових режимів тунельної печі з використанням мехатронних модулів живлення	23
РОЗДІЛ 3 РОБОТА ТУНЕЛЬНОЇ ПЕЧІ В УМОВАХ ОБМЕЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	28
3.1 Технологічні ситуації електрозабезпечення роботи тунельної печі	28
3.2 Вибір автономних джерел електрозабезпечення в умовах віялових відключень стаціонарного електрообладнання	31
3.3 Автоматизована система керування тунельною піччю на основі мехатронних модулів живлення	38
ВИСНОВКИ	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	44
ДОДАТКИ	46

<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Зміст	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Трунов В.Ю.</i>					5	1
<i>Перевір.</i>		<i>Хорольський В.П.</i>						
<i>Н.контр.</i>		<i>Омельченко О.В.</i>				ДонНУЕТ		
<i>Затверд.</i>		<i>Хорольський В.П.</i>				Кафедра ЗІДО		

Вступ

Метою кваліфікаційної роботи оптимізація теплових режимів тунельних печей ця тема є надзвичайно важливою для сучасної промисловості, оскільки від ефективності теплових процесів залежить якість продукції, енергетична ефективність та економічність виробництва. Одним із перспективних підходів до вдосконалення роботи таких печей є впровадження мехатронних модулів живлення, які дозволяють здійснювати автоматизоване управління тепловими процесами з високою точністю та гнучкістю. Завдяки інтеграції сучасних мехатронних систем можна значно покращити енергетичну ефективність, зменшити витрати на виробництво та забезпечити стабільність технологічного процесу. Впровадження мехатронних модулів живлення, що поєднують механічні та електронні системи керування, відкриває нові можливості для оптимізації роботи тунельних печей. Використання таких систем дозволяє здійснювати точне налаштування температурних режимів, забезпечуючи рівномірність нагріву продукту по всій довжині печі, зменшуючи теплові втрати та підвищуючи загальну ефективність процесу. Крім того, мехатронні модулі дозволяють здійснювати автоматичний моніторинг і регулювання параметрів печі в реальному часі, що особливо важливо для забезпечення стабільності процесу при зміні умов навколишнього середовища або типу продукції.

Метою кваліфікаційної роботи є оптимізація теплових режимів тунельної печі з використанням мехатронних модулів живлення для підвищення ефективності її роботи, зниження енерговитрат та покращення якості термообробки продукції.

Об'єктом дослідження є тунельна піч Lincoln Foodservice 1305, яка використовується в харчовій промисловості особливо піци для приготування продуктів у режимі безперервного нагрівання. Ця піч широко відома завдяки своїй здатності підтримувати стабільні теплові режими та адаптуватися до різних типів продуктів.

Предметом дослідження є вплив мехатронних модулів живлення на теплові режими печі, їх оптимізація з точки зору енергетичної ефективності, продуктивності та точності підтримання необхідних температурних параметрів. У процесі дослідження буде проаналізовано можливості модернізації печі, налаштування теплових режимів та управління ними через впровадження сучасних мехатронних систем, що забезпечують автоматизацію процесу регулювання.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Трунов В.Ю.			Вступ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архивів</i>
<i>Перевір.</i>		Хорольський В.П.					6	2
<i>Н.конт</i>		Омельченко О.В.			ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО			
<i>Затверд.</i>		Хорольський В.П.						

Особлива увага приділяється вивченню впливу впровадження мехатронних модулів на такі показники, як стабільність температурного поля, швидкість термообробки та економічність процесу. Це дозволить розробити рекомендації щодо подальшого використання таких технологій для вдосконалення теплових процесів у промислових печах, сприяючи підвищенню ефективності підприємств.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						7
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

1.1 Загальні робочі характеристики тунельних печей

Моніторинг функціонування та розвитку обладнання в харчовій промисловості України підтверджує необхідність звернути увагу на появу проблеми в сфері енергозабезпечення основних виробників харчової продукції- піца. Головним об'єктом цього обладнання є тунельні печі. Розглянемо більш детально основні технологічні характеристики сучасного обладнання.

Виробництво хліба та пекарських страв складається з багатьох етапів, кожен з яких важливий для досягнення високоякісного продукту. Але етап випікання є, безперечно, найважливішим, оскільки саме на цьому етапі тісто та інгредієнти перетворюється на готовий виріб – будь то хліб, лаваш або піца. Під час випікання відбуваються основні фізико-хімічні процеси, які надають продукту його кінцеву форму, текстуру, смак і аромат.

За приклад роботи тунельних печей я взяв за приклад печі марки ПХЗС, зокрема модель Г4-ПХЗС-25,(рис. 1.1) являють собою складні агрегати для випікання хлібобулочних виробів на газовому паливі. Вони мають високу економічність та оснащені автоматизованими системами управління тепловими режимами, що дозволяє забезпечувати стабільну якість випікання.

Основною характеристикою цих печей є використання рециркуляції грюючих газів для підтримання оптимальної температури в печі. Піч Г4-ПХЗС-25 (рис. 1.1)має площу поду в 25 м², що дозволяє випікати значні обсяги продукції на сітчастому конвеєрі, який переміщає тістові заготовки через пекарну камеру. Камера захищена шаром теплоізоляції, що забезпечує ефективне збереження тепла. Принцип роботи печі полягає в тому, що через топки газові пальники нагрівають повітря, яке далі розподіляється нагрівальними каналами. У цьому процесі використовуються спеціальні рециркуляційні вентилятори, які допомагають рівномірно розподіляти тепло по всій камері. В зоні парозволоження подається пара для підтримання оптимальної вологості тіста на перших етапах випікання.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Трунов В.Ю.</i>			АНАЛІТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архивів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Хорольський В.П.</i>					8	9
<i>Н.конт</i>		<i>Омельченко О.В.</i>				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>		<i>Хорольський В.П.</i>						

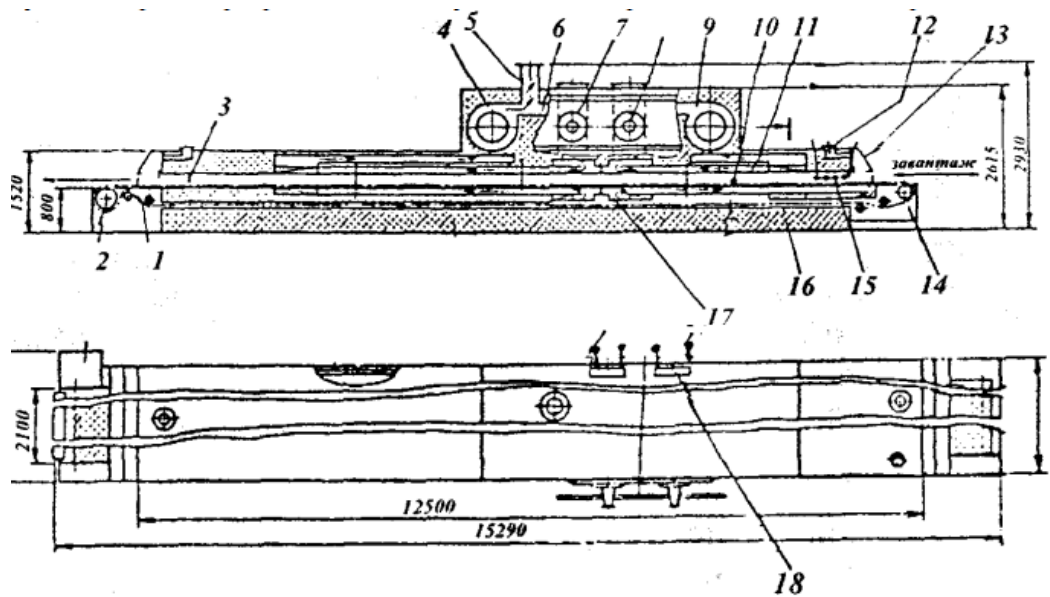


Рисунок 1.1 – Тунельна піч Г4-ПХЗС-25

1 – сітчастий конвеєр; 2 – привідна станція; 3 – пекарна камера; 4, 9 – рециркуляційні вентилятори; 5 – димова труба; 6 – рециркуляційний канал; 7,8 – топки; 10,11 – нагрівальні канали; 12 – витяжка; 13 – зонт; 14 – натяжна станція; 15 – паро зволожувач; 16 – теплоізоляційна забивка; 17 – розподільний короб; 18 – вибухові канали; 19 – шибери.

Автоматика забезпечує безпеку та стабільність роботи печі: система аварійного відключення активується у разі погасання полум'я, зниження тиску газу або розрідження в топці. Окрім цього, піч обладнана спеціальними вибуховими клапанами, які забезпечують додатковий захист у випадку підвищення тиску газів.

В цілому, печі ПХЗС, завдяки їх високій автоматизації та економічності, ідеально підходять для великих промислових виробництв, забезпечуючи постійний процес випікання без втрати якості продукції.

На час випікання у тунельній печі піца набуває своєї традиційної форми, та вигляду. Процес випікання контролюється не лише за часом, але й за температурою, оскільки різні види піци потребують різних режимів. Вегетаріанські начинки наприклад мають свої особливості. Деякі овочі потребують більше часу для приготування. Наприклад, броколі або цвітна капуста можуть займати 10–15 хвилин, щоб досягти потрібної м'якості.

Підбираючи начинки, варто експериментувати відповідно до своїх смакових уподобань. Головне, щоб вони добре пропеклися та були ніжними після випікання.

Якість загальної випічки визначається низкою критеріїв. Важливі аспекти включають рівномірність пропікання, текстуру м'якуша, відсутність сирих зон і гармонійну структуру скоринки. Після випікання продукт аналізується з точки зору розміру, форми, кольору, аромату і, звісно, смаку. Всі ці параметри є показниками того, наскільки добре виконано кожен

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

попередній етап виробництва, а випікання залишається завершальною і найвідповідальнішою частиною процесу.

1.2 Технологія та принцип дії тунельних печей для виготовлення піци, їх порівняльний аналіз і перспектива використання

Візьмемо за приклад для кваліфікаційної роботи тунельну піч для піци моделі 1305(рис. 1.2), вироблена компанією Lincoln Foodservice, вона є професійним кухонним обладнанням, призначеним спеціально для приготування піци. Окрім того, така піч може використовуватись для випікання хліба. Вона широко застосовується в закладах громадського харчування, де піца випікається на місці.

Особливість цієї печі полягає у використанні конвекційного методу теплової обробки, що забезпечує рівномірне пропікання вона використовує метод AIR IMPINGEMENT(рис. 1.3).



Рисунок 1.2 – Lincoln Foodservice 1305

Кількість секцій: 1 секція
Потужність, кВт: 6
Наявність термометра: з термометром
Напруга, В: 380
Тип підключення: електричне
Тип управління: механічне
Габаритні розміри (ДхШхВ), мм: 1397x797x457
Вага, кг: 92,10
Ширина стрічки, мм: 400
Нагрівачі: повітряний удар (airimpingement)
Продуктивність, шт.: 18-24
Температура камери, °С: +90 ... +285
Довжина конвеєра, мм: 1270

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ця піч дозволяє зберігати високі смакові якості продуктів завдяки рівномірному нагріванню, а також проста у використанні, оскільки має електромеханічну систему управління. Конструкція корпусу та робочої камери відповідає найвищим стандартам.

Тунельної печі IMPINGER від компанії LINCOLN FOODSERVICE PRODUCTS використовують інноваційний метод "повітряного удару" (AIR IMPINGEMENT)(рис. 1.3).

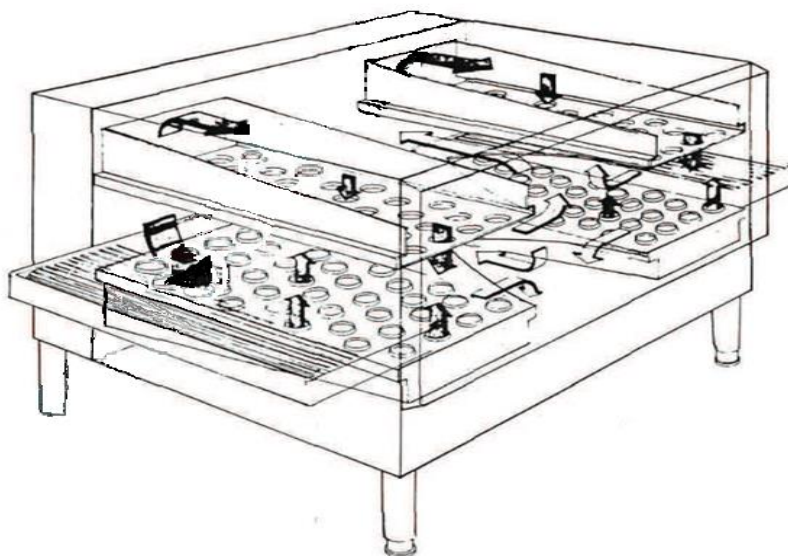


Рисунок 1.3 – Принцип дії методу «AIR IMPINGEMENT» та «JET FINGERS»

Ця технологія значно підвищує якість приготування страв і скорочує час випікання порівняно зі звичайними печами. Потужний потік гарячого повітря спрямовується на продукт, що забезпечує більш ефективне прогрівання. Завдяки цьому методу теплообмін відбувається швидше, а час приготування скорочується в 2-4 рази порівняно з традиційними печами.

У цьому процесі потужний потік гарячого повітря від електричного джерела тепла, який створюється спеціальним вентилятором, спрямовується через вентиляційну камеру в спеціальні повітродувки "JET FINGERS"(рис. 1.3). Ці повітродувки мають багато сфокусованих отворів, які спрямовують гаряче повітря безпосередньо на поверхню продукту. Після удару об продукт гаряче повітря повертається назад до джерела тепла, що сприяє економії енергії.

Переміщення продуктів через камеру печі здійснюється за допомогою конвеєра з регульованою швидкістю. Процес AIR IMPINGEMENT(рис. 1.3) дозволяє при проходженні делікатних продуктів через піч створювати хрустку і золотисту скоринку, оскільки тепловий вплив відбувається за рахунок повітря.

Для порівняння з цією моделлю тунельної печі я обрав піч від компанії MiddlebyMarshall моделі PS570(рис. 1.4).

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Рисунок 1.4 – MiddlebyMarshall моделі PS570

Тип живлення: Газ/Електрика

Розміри (одна секція): 48,25" (висота) x 106" (ширина) x 61,75" (глибина)

Ширина: 106"

Висота: 48,25"

Глибина: 61,75"

Кухонна камера: 32" x 70"

Температура: до 550°F (приблизно 288°C)

Напруга: 208-240V/60Hz/1фаза

Потужність: 17 кВт

MiddlebyMarshall PS-570(рис. 1.4) — це тунельна піч для піци з камерою для приготування завдовжки 70 дюймів (близько 178 см) та стрічкою шириною 32 дюйми (81 см). Вона використовує запатентовану технологію "JetSweep" імпульсменту, яка забезпечує постійну подачу тепла в камеру. У цій моделі передбачено фронтальне завантажувальне вікно з ручкою, що не нагрівається, що дозволяє готувати різні продукти з різним часом випікання рівномірно, незалежно від моменту завантаження. Піч доступна як у газовій, так і в електричній версіях.

Порівнюючи Lincoln Foodservice 1305(рис. 1.2) з MiddlebyMarshall PS570(рис. 1.4), варто звернути увагу на ключові технічні параметри, що суттєво впливають на вибір печі в залежності від вимог закладу.

Lincoln 1305(рис. 1.2) — це компактна електрична піч із конвеєрною стрічкою шириною 400 мм. Вона використовує технологію імпульсменту (рис. 1.3), що дозволяє готувати піцу з рівномірним пропіканням завдяки потужним потокам гарячого повітря. Її потужність становить 6 кВт, що робить її енергоефективною для середнього навантаження. Максимальна температура досягає 285°C, що достатньо для приготування піци та хлібобулочних виробів, але може обмежувати приготування більш специфічних страв, які потребують вищих температур. Управління механічне, що робить її простою в експлуатації, але менш гнучкою для тонкого налаштування приготування страв.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

MiddlebyMarshall PS570(рис. 1.4), в свою чергу, є більш потужною і гнучкою піччю. Вона може працювати як від електричної мережі (17 кВт), так і на газу, що дає більше варіантів у виборі джерела енергії. Її ширша стрічка (813 мм) дозволяє одночасно готувати більшу кількість продуктів, що підвищує продуктивність. Температурний діапазон у PS570(рис. 1.4), значно ширший — до 315°C, що дозволяє використовувати її для різноманітних страв. Крім того, цифрове управління надає більше можливостей для налаштування, спрощує процес готування і забезпечує стабільність приготування в умовах великого потоку клієнтів.

Щодо продуктивності, Middleby PS570(рис. 1.4) дозволяє випікати до 30 піц за годину, тоді як Lincoln 1305(рис. 1.2) пропонує 24 піци за годину, що вказує на менші можливості для великих закладів. Більші габарити PS570 також свідчать про те, що вона краще підходить для просторих кухонь з високим потоком замовлень, тоді як Lincoln 1305 (рис. 1.2) може бути оптимальним вибором для закладів середньої величини або тих, що обмежені у просторі і навіть має сенс вуличний варіант.

Приготування технологією імпінджментного(рис. 1.3) приготування їжі базується на використанні потужних потоків гарячого повітря, які спрямовуються на поверхню продукту на дуже високій швидкості. Цей метод дозволяє значно прискорити процес приготування їжі та покращити її якість. Високошвидкісні повітряні потоки руйнують так званій «прикордонний шар» — тонкий прошарок повітря навколо продукту, який зазвичай затримує тепло. Завдяки цьому продукт отримує тепло більш рівномірно та швидше, що скорочує час приготування та дозволяє досягти рум'яної скоринки.

Печі з технологією імпінджменту(рис. 1.3)використовуються для приготування різних продуктів, особливо м'ясних виробів. Ця технологія особливо ефективна для обсмажування, випікання, сушіння та охолодження продуктів. Однією з перших систем, які почали використовувати в м'ясній промисловості, була система ЕСНО. Завдяки своїй універсальності, імпінджмент можна застосовувати для безлічі процесів у харчовій промисловості.

Одна з головних переваг імпінджментного(рис. 1.3)приготування — це здатність рівномірно і швидко обсмажувати або запікати продукти, зберігаючи при цьому їхню вологу. Швидке нагрівання поліпшує смакові якості продуктів та дозволяє досягти гарної рум'яної скоринки, що складно зробити з іншими методами приготування.

Система імпінджментного (рис. 1.3)приготування включає кілька основних елементів, таких як повітряна камера (пліnum), система вентиляції та механізми нагріву. Гаряче повітря подається вентиляторами, нагрівається та спрямовується на поверхню продукту через спеціальні отвори або форсунки. Печі можуть мати різні конструкції форсунок та потоків повітря, що дозволяє оптимізувати теплопередачу й забезпечити рівномірне приготування продукту.

Цей метод особливо важливий у м'ясній промисловості, де необхідно швидко та рівномірно приготувати продукти, зберігаючи їхні смакові якості

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та структуру. Технологія дозволяє підвищити ефективність виробничого процесу, скоротити час приготування та забезпечити кращі результати в порівнянні з традиційними методами.

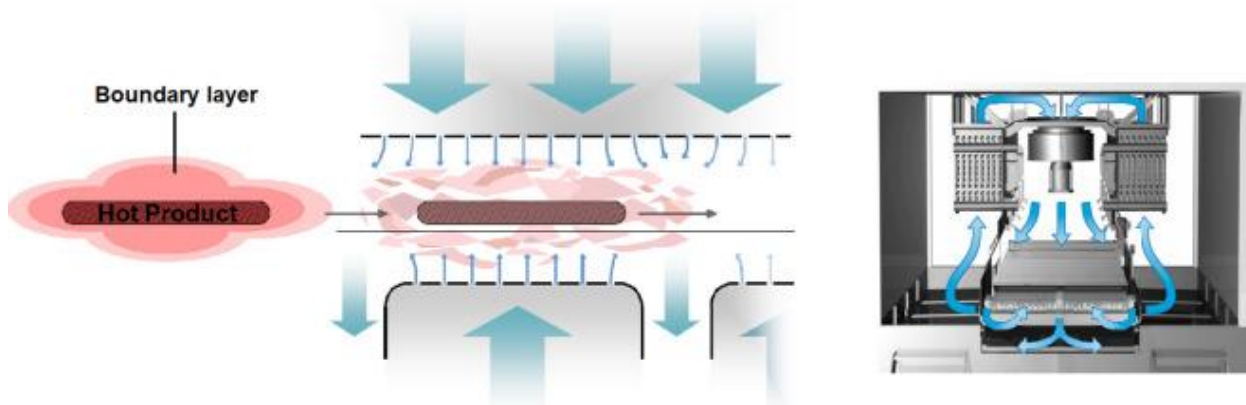


Рисунок 1.5 – Система приготування "JetSweep"

Система приготування "JetSweep"(рис. 1.5) — це технологія, яка використовується в печах для рівномірного розподілу гарячого повітря навколо продукту. Ця система працює за принципом високошвидкісних потоків повітря, які спрямовуються на поверхню продукту з різних боків. Потоки повітря створюють постійний "змах" (sweep) по всій камері приготування, що дозволяє швидко й рівномірно прогрівати їжу, забезпечуючи її рівномірне приготування.

Особливість "JetSweep"(рис. 1.5) у тому, що вона ефективно усуває теплові "мертві зони", де продукт може недопектися. Завдяки цьому технологія дає можливість приготувати їжу з ідеальною скоринкою та рівномірною текстурою. Вона також дозволяє підтримувати постійну температуру у всій камері приготування, що особливо корисно при готуванні таких продуктів, як піца, хліб або м'ясо.

Перевага цієї системи в тому, що вона забезпечує не лише швидке приготування їжі, але й мінімізує потребу в ручному втручанні або перевертанні продуктів, що полегшує процес і підвищує продуктивність кухні.

Рисунки 1.3 та 1.5 більше підходить для випадків, коли необхідне стабільне і рівномірне приготування великого об'єму продуктів, наприклад, піци. Водночас, "AirImpingement" (рис. 1.3)надає перевагу в тому, що скорочує час приготування і підходить для продуктів, де важливо швидко отримати хрустку скоринку або глибоке прогрівання, як у випадку з м'ясом.

Таким чином, вибір між "JetSweep"(рис. 1.5) і "AirImpingement"(рис. 1.3) залежить від потреб конкретного виробництва або ресторану. "JetSweep" краще підходить для рівномірного приготування в умовах конвеєрного виробництва, тоді як "AirImpingement" (рис. 1.3)дозволяє скоротити час приготування та досягти високих температур для швидкої обробки продуктів.

1.3 Принцип дії нагрівальних елементів тунельних печей для виготовлення піци

Електрика та газ є основними джерелами енергії для вироблення тепла в тунельних печах, що використовуються у хлібопекарській промисловості. Для деяких видів продукції одне джерело енергії може бути більш доречним, проте остаточний вибір залежить від багатьох факторів, таких як вартість постачання, наявність існуючої інфраструктури на підприємстві, регулярність та надійність поставок, як у коротко-, так і довгостроковій перспективі.

Тому однозначно визначити, яке джерело енергії краще — електрика чи газ — складно, оскільки газу може просто не бути в приміщенні, а електромережа під час повномасштабної війни часто зникає.

Електричні печі працюють на основі ефекту Джоуля, при якому тепло генерується електричними опорами. Це тепло може вироблятися безпосередньо в камері печі через випромінювання від електричних нагрівачів, або ж створюватись в іншій зоні і переміщуватись потоками повітря за допомогою системи механічної конвекції, що використовує електричні вентилятори.

Газові печі, хоча й генерують тепло за допомогою полум'я від газового пальника, все одно потребують електрику для забезпечення роботи автоматизованих систем та вентиляторів. Полум'я пальника може напряму нагрівати камеру печі або передавати тепло через теплообмінник, що використовує потоки гарячого повітря. Крім того, газові системи можуть працювати з термомасляними системами, де тепло переноситься через рідинне теплоносії, наприклад, гарячу олію, замість повітря.

Цей підхід дозволяє кожній технології мати свої переваги залежно від конкретних умов виробництва та потреб підприємства.

Піч Lincoln 1305 працює від електричного нагрівача від компанії Calrod які, представляють собою трубчасті електричні елементи(рис. 1.6), що забезпечують ефективне і надійне нагрівання. Вони побудовані на основі резистивної спіралі з нікель-хромового сплаву, яка покрита металевою оболонкою. Така конструкція дозволяє нагрівати повітря або тверді матеріали до високих температур, забезпечуючи рівномірний розподіл тепла в тунельній печі.

Ці нагрівальні елементи є універсальними і використовуються в різних промислових додатках завдяки їх довговічності і високій ефективності. Вони можуть бути виготовлені з різних матеріалів, таких як сталь, нержавіюча сталь або інколой, в залежності від умов експлуатації (температури, корозійного середовища). В тунельних печах, таких як Lincoln 1305, вони забезпечують стабільне теплове середовище для рівномірного випікання продукції.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.6 – Приклад дії нагрівача

Серед прикладів нагрівальних елементів подібного типу можна згадати фланцеві нагрівачі, трубчасті елементи з ребрами для кращої теплопередачі, або гнучкі елементи для специфічних застосувань.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

МАТЕМАТИЧНЕ МОДУЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО, ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА РОБОТИ ТУНЕЛЬНОЇ ПЕЧІ

2.1 Математичне модулювання теплових режимів роботи тунельної печі.

Випромінювання є одним із найважливіших методів передачі тепла в процесі випікання, особливо для виробів, таких як піца. Основний механізм тут полягає в передачі теплової енергії через інфрачервоне електромагнітне випромінювання, яке випускають інфрачервоні нагрівачі та гарячі поверхні всередині пекарної камери(рис. 2.1). Це інфрачервоне тепло має унікальну здатність проникати в їжу, нагріваючи її ефективно зсередини і зовні одночасно.

Для піци це особливо важливо, оскільки завдяки інфрачервоному випромінюванню тепло швидко доходить до основи тіста, створюючи хрустку скоринку. Одночасно інфрачервоні хвилі впливають на начинку, особливо на сир і соус, рівномірно прогріваючи та розтоплюючи їх, не пересушуючи поверхню. Наприклад, у сучасних печах для піци з кварцовими або керамічними ТЕНами інфрачервоне випромінювання працює на оптимальних довжинах хвиль (близько 1,3 мкм для короткохвильового випромінювання). Це дозволяє не тільки швидко підрум'янювати тісто, але й забезпечити правильний баланс між хрусткою основою та м'якою начинкою.

Цей тип передачі тепла також важливий для випічки тонких піц, де скоринка повинна бути рівномірно пропеченою за короткий час. Інфрачервоні хвилі проникають в тісто(рис. 2.1), підтримуючи оптимальну вологість, завдяки чому піца не пересихає. Іншим прикладом є випікання неаполітанської піци, де важливий швидкий і високотемпературний вплив, який дає ідеальну текстуру тіста — м'яку всередині та злегка обвуглену зовні.

Таким чином, інфрачервоне випромінювання(рис. 2.1) є ключовим фактором для створення правильної текстури і смаку піци, забезпечуючи рівномірну теплопередачу з мінімальними втратами енергії й часом на приготування.

Теплове випромінювання є процесом передачі енергії у вигляді електромагнітних хвиль, які випромінюються об'єктами з вищою температурою і поглинаються об'єктами з нижчою температурою. Усі об'єкти з температурою вище абсолютного нуля випромінюють енергію, яка

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Трунов В.Ю.			МАТЕМАТИЧНЕ МОДУЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА РОБОТИ ТУНЕЛЬНОЇ ПЕЧІ	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архивів</i>
<i>Перевір.</i>		Хорольський В.П.					17	11
<i>Н.конт</i>		Омельченко О.В.						
<i>Затверд.</i>		Хорольський В.П.						
						ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		

передається через вакуум або інше середовище. Коли ці хвилі досягають іншого об'єкта, частина енергії поглинається, а інша частина віддзеркалюється.

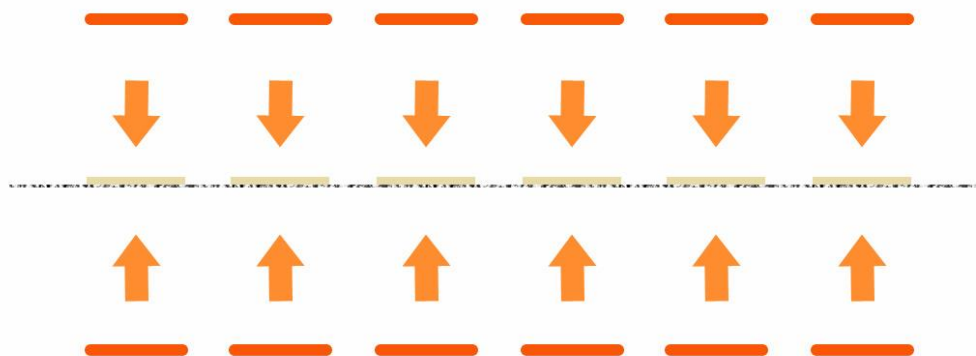


Рисунок 2.1—Схема передачі тепла в інфрачервоній печі

Електромагнітні хвилі поділяються за довжиною на різні типи: від гамма-променів з дуже короткими хвилями до радіохвиль із довгими хвилями. Видиме світло — це частина електромагнітного спектра, що має довжину хвиль від 0,40 до 0,71 мікромметра. Інфрачервоне випромінювання(рис. 2.1)., важливе для випікання, знаходиться між 0,71 мкм і 4 мкм, де ближній інфрачервоний спектр має хвилі від 0,71 до 1,5 мкм, а далекий — від 1,5 до 4 мкм. У печах застосовують різні довжини хвиль залежно від типу продуктів. Наприклад, для випікання бісквіта оптимальна довжина хвилі близько 1,3 мкм (короткохвильовий інфрачервоний спектр), а для випікання тонких виробів, таких як піца або лаваш, застосовуються середньохвильові кварцові ТЕНи з довжиною хвилі 2,2 мкм.

Кількість випромінювання, яке випромінює об'єкт, прямо пропорційна його температурі в четвертому ступені, що виражено в законі Стефана-Больцмана:

$$P = e \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (2.1)$$

Де:

P — випромінювальна здатність,

e — коефіцієнт випромінювання об'єкта,

σ — стала Стефана-Больцмана ($5,67 \times 10^{-8}$ Вт/м²·К⁴),

T — температура в одиницях Кельвіна.

Що вище температура об'єкта, то більше теплового випромінювання він випускає. Невелике підвищення температури спричиняє експоненційне зростання кількості випромінюваного тепла.

Закон Віна показує зв'язок між температурою і максимальною довжиною хвилі випромінювання:

$$\lambda_{\max} = C/T \quad (2.2)$$

Де:

λ_{\max} — максимальна довжина хвилі,

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

C — постійна Віна (2897 мкм·К),

T — температура в одиницях Кельвіна.

Чим вища температура об'єкта, тим коротшою є довжина хвилі, яку він випромінює.

Також важливо враховувати відстань між об'єктом і джерелом випромінювання. За законом зворотних квадратів інтенсивність випромінювання зменшується обернено пропорційно квадрату відстані:

$$I = I_0 / d^2 \quad (2.3)$$

Де:

I — інтенсивність випромінювання на певній відстані,

I_0 — початкова інтенсивність,

d — відстань між джерелом випромінювання і об'єктом.

Це означає, що зближення об'єкта з джерелом випромінювання значно збільшує кількість поглиненого тепла, що є ключовим фактором при розробці інфрачервоних печей, та систем оптимізації теплових режимів тунельної печі з використанням мехатронних модулів живлення.

Враховуючи що інфрачервоне випромінювання з широкою спектральною областю випромінювання між червоною межею видимого світла з довжиною хвилі $\lambda 700\text{nm}$ та мікрохвильовим випромінюванням з довжиною хвилі $\lambda \approx 1\text{мл}$. Цей процес в подальшому будемо називати тепловим випромінюванням який дозволяє з великою точністю побудувати системи автоматичного керування для процесів виробництва піци з різними смаковими характеристиками наприклад: «ню-йоркська» піца з температурними режимами $T = 260 - 290^\circ\text{C}$ час приготування 15-20 хвилин. «Сицилійська піца» з технологічними характеристиками температурного режиму $230-260^\circ\text{C}$ і часом приготування 20-30 хв. і «неаполітанська піца» з температурним режимом $430-485^\circ\text{C}$ і часом приготування 60-90 секунд таким чином звернемо увагу що для трьох названих технологічних ситуацій є значна різниця в температурних режимах тунельних печей і часу приготування тому модулювання складних робочих температур і часу приготування є важливим етапом досліджень в нашій науковій роботі.

2.2 Моделювання технологічного температурного процесу теплообміну в робочій камері тунельної печі

Процеси виготовлення піци зі заданими смаковими характеристиками в робочих камерах тунельних печей залежать від інтенсивності інфрачервоного випромінювання, в загальному випадку носіями такого випромінювання є проміні які поглинаються піцою в наслідок чого променева енергія переходить в теплову ці промені будемо називати тепловими, а таке випромінювання в процесі руху піци на конвеєрі відбувається безперервно при цьому енергія випромінювання поглинається відбивається і головне проходить через піцу таким чином енергія повністю розподіляється в робочій камері тунельної печі, а кількість теплоти яка віддається або отримується

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

визначається різницею променевої енергії яка випромінюється і поглинається піцою

Кількість енергії що випромінюється будемо називати випромінювальною яку позначимо літерою E і яка вимірюється у Вт/м² цей процес з точки зору відбивальної, поглинальної та пропускнуої здатності піци справедливий і для теплових променів виду за цією формулою:

$$A+R+D=1 \quad (2.4)$$

Де:

A — здатність поглинання енергії,

R — здатність відбивання енергії,

D — пропускну здатність енергії.

Враховуючи що піца не є абсолютно прозорим тілом (так як абсолютно чорним або білим) то в реальному технологічному режимі її виробництва необхідно оцінити складну тепловіддачу робочої камери тунельної печі тобто оцінити теплопровідність конвекцію і теплове випромінювання

При складній тепловіддачі загальний тепловий потік Q_{Σ} об'єднує два види теплопередачі: конвекцію (Q_k) та випромінювання ($Q_{пр}$). Конвекція відбувається через рух повітря або іншого газу біля поверхні тіла, що передає тепло, а випромінювання — це енергія, яку тіло випромінює в навколишнє середовище. Таким чином, для повного урахування теплових потоків у процесах теплопередачі розглядають і вплив руху повітря, і випромінювання тепла з поверхні тіла.

$$Q_{\Sigma}=Q_k+Q_{пр} \quad (2.5)$$

Де:

Q_k — тепловий потік за конвекцією, що залежить від коефіцієнта тепловіддачі та температури поверхні й середовища.

$Q_{пр}$ — променевий тепловий потік, обумовлений випромінюванням енергії з поверхні тіла.

При складній тепловіддачі загальний тепловий потік від поверхні до газоподібного середовища через випромінювання можна визначити за допомогою закону Стефана-Больцмана та принципу Кірхгофа. Цей тепловий потік враховує радіаційний вплив тепла, який випромінює поверхня об'єкта в навколишнє середовище.

$$Q_{пр} = \varepsilon C_0 F \left[\left(\frac{T_{ст}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_p}{100} \right)^4 \right] \quad (2.6)$$

Де $Q_{пр}$ — променевий тепловий потік, який випромінюється від об'єкта до навколишнього середовища (у Ватах),

C_0 — стала Стефана-Больцмана, яка становить ≈ 5.67 Вт/(м²·К⁴)

— коефіцієнт випромінювальної здатності поверхні (залежить від матеріалу поверхні, для чорного тіла він дорівнює 1),

F — площа поверхні, що випромінює тепло (у квадратних метрах),

$T_{ст}$ — температура поверхні об'єкта (у Кельвінах),

									Арк.
									20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ				

T_r — температура навколишнього середовища (також у Кельвінах).

Так як теплообмін випромінюванням рахують у разі двох тіл, площа яка набагато більше по серед ними тоді вираз (2.3) застосують приведену міру чорноти системи тіл:

$$\varepsilon_{np} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (2.7)$$

Для розрахунку теплообміну випромінюванням між двома тілами, якщо одне з них знаходиться всередині іншого, величина випромінювальної здатності ε_{np} визначається через співвідношення між фактичним тепловим потоком, що передається між цими тілами, і максимально можливим тепловим потоком, який може бути переданий в умовах, коли обидва тіла поводяться як ідеальні чорні тіла.

Ця величина враховує ефективність випромінювання, і чим ближче до ідеального чорного тіла є матеріал, тим вищою буде його випромінювальна здатність. У системах, де одна форма розташована всередині іншої, важливо також враховувати геометричні фактори та фізичні властивості матеріалів, оскільки вони можуть суттєво вплинути на результати розрахунків теплообміну, величина ε_{np} визначаються як:

$$\varepsilon_{np} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F_1}{F_2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)}, \quad (2.8)$$

Коефіцієнт складної тепловіддачі можна розглядати як суму двох основних компонентів: коефіцієнта конвективної тепловіддачі і коефіцієнта променистої тепловіддачі. Це означає, що загальна тепловіддача в системі визначається не лише тим, як тепло передається через конвекцію (рух повітря або іншого газу), а й через випромінювання, яке виходить від нагрітої поверхні.

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha + \alpha_{np} \quad (2.9)$$

Таким чином, при розрахунках теплових процесів важливо враховувати обидва види тепловіддачі, оскільки вони разом формують загальний ефект теплообміну. Це дозволяє отримати більш точні результати при проектуванні і аналізі теплових систем, а саме: коефіцієнти конвекції та променистої тепловіддачі. Разом з тим важливими дослідженнями є також вплив теплової ізоляції в камері тунельної печі на вихідні показники енергоефективності.

Теплова ізоляція має велику роль у зберіганні тепла у камері тунельної печі виконує важливу роль у збереженні тепла, що дозволяє підтримувати

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

високу температуру всередині. Це необхідно для того, щоб хлібобулочні вироби випікалися якісно. Вона запобігає втратам тепла, які могли б відбуватися в навколишнє середовище.

Крім того, завдяки надійній теплоізоляції зменшуються витрати на енергію, будь то паливо чи електроенергія. Це пов'язано з тим, що печі не потрібно постійно підвищувати температуру для компенсації теплових втрат, що робить процес більш економічним.

Також важливим є той факт, що хороша теплоізоляція забезпечує рівномірний розподіл температури всередині печі. Це сприяє однорідному випіканню виробів, що, в свою чергу, позитивно впливає на їх смак та зовнішній вигляд. Завдяки цьому можна досягти кращих результатів у виробництві хлібобулочних виробів, тощо.

Для зменшення теплових витрат в трубопроводах важливо використовувати ізоляцію циліндричних стінок. Проте може статися так, що навіть після її встановлення бажаного ефекту не досягається. У таких випадках необхідно проводити розрахунок так званого "критичного діаметру ізоляції" ($d_{кр}$). Щоб ізоляція працювала ефективно, критичний діаметр повинен бути меншим за зовнішній діаметр трубопроводу, тобто трубопроводу, який не має ізоляції.

Цікаво, що величина $d_{кр}$ не залежить від самих розмірів трубопроводу. Вона визначається інтенсивністю тепловіддачі від зовнішньої поверхні ізоляції до навколишнього середовища. Це, зокрема, включає коефіцієнт тепловіддачі від стінки до теплоносія, який має нижчу температуру (α_2). Тобто, критичний діаметр ізоляції залежить від умов теплового обміну, а не від фізичних характеристик трубопроводу.

$$d_{кр} = \frac{2\lambda_{is}}{\alpha_2}, \quad (2.10)$$

Щоб ізоляція трубопроводу ефективно зменшувала теплові витрати в навколишнє середовище, потрібно дотримуватися певних умов. По-перше, критичний діаметр ізоляції ($d_{кр}$) повинен бути меншим за зовнішній діаметр трубопроводу без ізоляції. Це означає, що для досягнення бажаного ефекту ізоляція має бути правильно спроектована і встановлена.

По-друге, важливо враховувати інтенсивність тепловіддачі з ізоляції до навколишнього середовища. Чим вищий коефіцієнт тепловіддачі, тим меншою має бути товщина ізоляції для досягнення оптимального результату.

$$\lambda_{is} \leq \frac{\alpha_2 \cdot d_2}{2}, \quad (2.11)$$

Якщо ці умови не виконуються, ефект ізоляції може бути недостатнім, і теплові втрати залишаться на високому рівні тому ми виконуємо цю умову:

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Методи оптимізації теплових режимів тунельної печі з використанням мехатронних модулів живлення

Значній кількості технологічних процесів у харчовій галузі, наприклад процесів випікання хліба, печива, піци, сушіння макаронних виробів тощо, властива проблема не в можливості постійного контролю температурних параметрів в технологічного режиму у випадку зміни програми випікання для різних видів продукції. У цьому випадку контроль проводиться візуально технологічним персоналом або за допомогою мехатронних давачів. При цьому точність автоматичного контролю теплових потоків робочій камері тунельної печі та температури вздовж конвеєра залежить від варіації ряду чинників зовнішнього оточення наприклад електрозабезпечення тунельної печі. Утім забезпечення якості продукції в умовах нестабільних режимів енергопостачання тунельної печі з метою керування нестационарним процесом виготовлення різних видів піц з різним часом приготування вимагає розв'язання деяких важливих проектних завдань, а саме:

Оцінки зав'язків тепло потоків впродовж руху конвеєра і подом печі.

Розробка алгоритму оптимізації теплових потоків у робочій камері тунельної печі в період сталого електропостачання електрики.

Моделювання розподілення температурних потоків в двомірному просторі робочої камери.

Розробка алгоритму розрахунку поля температур в продуктів (піци)

Розробка мехатронних модулів живлення електропостачання тунельної печі в період віялових відключень.

Розробка мехатронної системи ситуаційного керування процесом виробництва різновидів піц заданої якості в умовах адаптивного інтелектуального керування на основі мехатронних моделей живлення.

Структуру алгоритму роботи ІСКТП з прогнозуючою моделлю параметрів Q_{Σ} , Q_k , $Q_{пр}$ теплових потоків у період сталого електропостачання; T_p і T_r – відповідно поверхні піци і конвеєрної металевої стрічки з оцінкою коефіцієнтів складної тепловіддачі тунельної печі α_{Σ} .

На матеріалах одержаних в процесі дослідження експертних оцінок, тепловий баланс для перетину робочої камери тунельної печі можна описати

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рівнянням виду:

$$\int Qde=0 \quad (2.12)$$

Де інтеграл від функції теплових потоків $Q(e)$, який беруть по прямокутній межі L піци в робочій камері тунельної печі. Рішення задачі оптимізації теплових потоків пов'яжемо із системою, яка складається із двох параметрів:

X – координати по довжені конвеєра тунельної печі,
 $\Delta Q(x)$ – прирощення функції теплових потоків.

Межа утворення скоринки має нечіткий характер і контролюється мехатронним пристроєм – технічним зором візуально. Ступінь нечіткості щодо оцінки якості піци і нечіткістю визначеним характером межі готовності піци і нечіткістю процесу візуалізації. У відповідності з цим оцінка X_a , може бути формалізовано не чіткою підмножиною X_a з функцією належності $\mu_{x_a}(x)$, дана функція може бути задана у вигляді дзвоноподібної кривої з максимумом в точці X_a .

Перейдемо до розгляду формалізації якісного опису функції $Q(x)$ теплових потоків, які поглинає піца в робочій камері тунельної печі.

Якісна інформація полягає в тому, що при зміні координати X_a відмежі зони випікання у напрямку завантаження наступної піци, тепловий потік повинен зменшитись. При відключенні електрозабезпечення функція $Q(x)$ теж зміниться, тобто якщо прийняти:

$$X=X_a; \mu_x(X)=\mu_{x_a}=\mu_{x_a}(X); Q(X-\Delta X)=Q(x)+\Delta Q(x_a) \quad (2.13)$$

При цьому необхідно обчислити не чітке відношення, яке характеризує координату X , тобто $\mu_{x_{i+1}}(X)=\mu_{x_i}(X-\Delta x)$. Після цього необхідно обчислити оптимальний тепловий потік необхідний для виробництва піци з параметрами $r_n=e \cdot e$.

$$I=\int Q(e)de \quad (2.14)$$

Нехай піца, яка знаходиться на поверхні конвеєра з координатами $\{x,y\}$ і температурою $T\{x,y\}$. На зв'язок між параметрами визначимо не чітким відношенням R . При нагріванні піци в її верхній частині тіла температура буде вищою ніж у нижній експоненційний характер зміни температури в глибину піци, що важливо при формалізації зв'язків між $T\{x,y\}$ і $Q(e)$.

Звернемо увагу на координату $\{y\}$ – глибину потоку тепла, необхідного для виробництва піци радіусом r_n .

Тоді приріст температури $\Delta T(y)$ функції $T(y)$ визначимо нечіткою множиною ΔT_y у вигляді максимального добутку виду:

$$\Delta T_y + \Delta y = yR \quad (2.15)$$

Де Y - нечітка підмножина універсальної множини Y , яка характеризує координату y ; Δy – крок по координаті y .

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За допомогою функцій ступеню належності вираз(2.16) напишемо у вигляді:

$$\mu_{\Delta \bar{T}y+\Delta y}(u) = \max \{ \min [\mu_y(Y), \mu_{\Delta}(y,u)] \mid u \in U; y \in Y \} \quad (2.16)$$

Де Y – універсальний множинний координат y , а також, U – універсальна множина приросту $\Delta T(x,y)$ функції $T(x,y)$. Цю залежність одержано при фіксованій координаті x , а тому в подальшому координату x будемо не враховувати.

Виходячи із межових умов на поверхні конвеєрної стрічки (на поверхні 50мм. Від верхнього поду печі) величину приросту функції $T(y)$ при $y=0$ можливо прийняти у вигляді одно точкової множини $\Delta T_0 = 1/(K\Delta y)$. Нечітку множину R знайдено формалізацією умовного запропонування.

Якщо u близько до 0, то $\Delta T^1 =$ більше ΔT_0 , тому що $\Delta T^1 u + \Delta y =$ значно більше ніж ΔT_0 .

З метою алгоритмізації розрахунку оптимальної температури випікання піци в тунельній печі дійсні значення прискорення ΔT обчислимо:

$$\Delta T = au + b \quad (2.17)$$

A і b – коефіцієнти, які знаходять із умови

$$\frac{\Delta T}{\Delta y} = \begin{cases} \varphi(x) & \text{коли } y=B \\ K & \text{коли } y=0 \end{cases} \quad (2.18)$$

Яким відповідають наближені рівності $\Delta T_{\max}(x,B) \approx \varphi(x)\Delta y$; $\Delta T_{\min}(x,0) \approx K\Delta y$.

Якщо визначити прирощення $\Delta T(y)$ в піци як функція $T(y)$ по координаті y і u розподіл температур на поверхні стрічки конвеєра, які будемо контролювати мехатронним давачем температури, то будемо знати зміну температури піци по координаті u з відповідності із виробом.

$$\Delta T(y+\Delta y) = T_y + \Delta T(y) \quad (2.19)$$

При цій побудові автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва піци необхідно також оцінити енергозатрати на виробництво піци (E) – час випікання піци з різними характеристиками якості та їх різновидів (G).

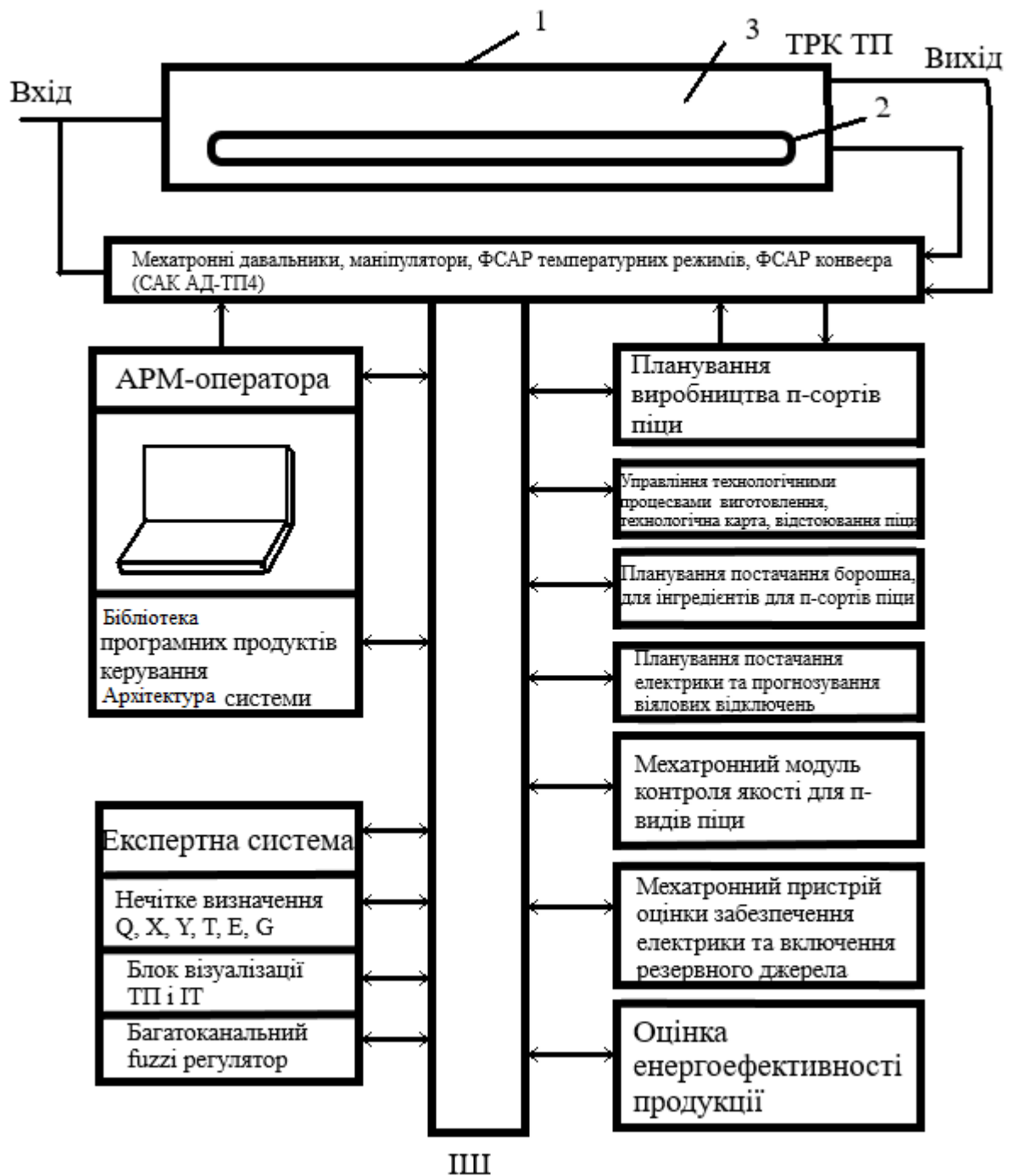


Рисунок – 2.3 Блок схема мехатронної системи автоматизованого контролю і керування виробництва піци

1 – Тунельна піч, 2 – стрічковий конвеєр, 3 – тепла робоча камера тунельної печі, ІІІ – інформаційна шина

Важливим технологічним чинником в системі керування якістю піци є не лише інтенсивність (I) інфрачервоного випромінювання ТЕНів, а й швидкість руху конвеєра \sqrt{k} .

Вибір оптимальної швидкості виконується за допомогою системи автоматичного керування (САК) асинхронного двигуна з тиристорним перетворювачем частоти ТП-4 (СКАД ТА-4) в межах 30-40% від номінальних. В автоматизованій системі керування виробництвом піци

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

головну роль відіграє АРМ (рис. 2.3) оператора з бібліотекою програмних продуктів й алгоритмів керування експертною системою (ЕС) не чіткого моделювання Q, T, E, G та багато каналного fuzzy (рис. 2.2) регулювання за допомогою станції фірми Siemens.

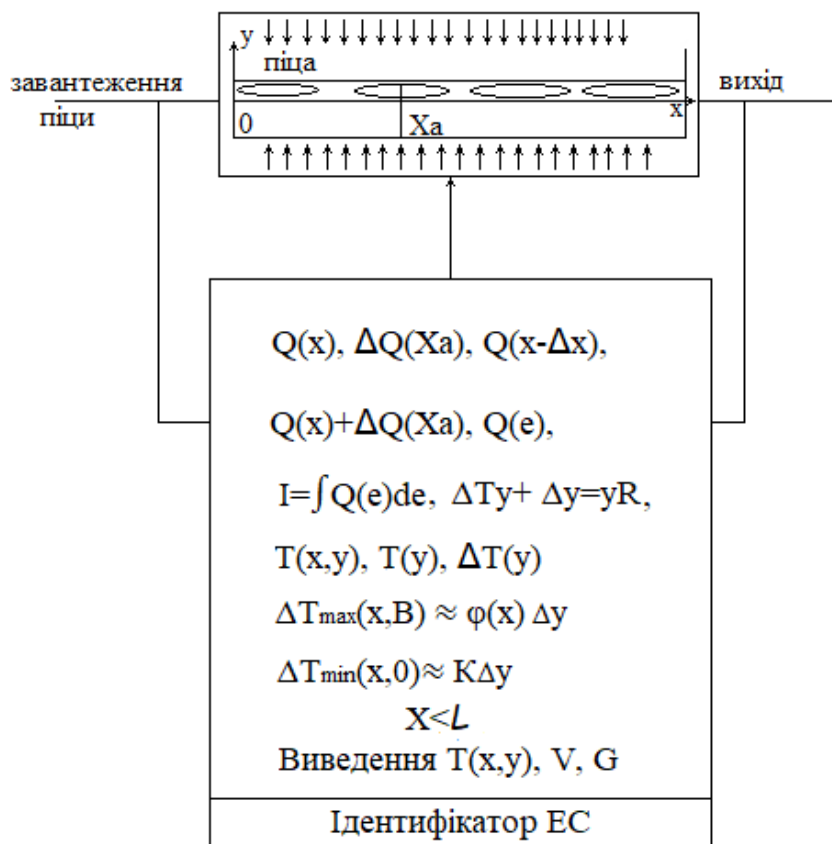


Рисунок 2.2 Математична нечітка (fuzzi) модель тунельної печі

Розроблені модулі теплових процесів і температурних режимів випікання піци дозволяють проєктантам запропонувати: мехатронні давальники систем контролю температурного поля робочої зони випікання піци, давальників механічними маніпуляторами введення/виведення піци, мехатронна системи контролю електропостачання тунельної печі, індикатори положення мехатронних давальників, робочу станцію фірми Siemens з монітором (М), інформаційне табло (ІТ), блок мехатронної системи включення резервного блоку електрозабезпечення. Архітектура такої системи керування запропонована на рис.-2.

В цій системі мехатронні давальники маніпулятори, fuzzy-системи автоматичного регулювання (ФСАР) (рис.2.2) забезпечують оптимальні температурні режими і швидкість руху стрічкового конвеєра, режими роботи маніпуляторів, завантаження/розвантаження піци, контроль її якості та продуктивності, а головне забезпечують планові показники виробництва, п-видів піци та її енергоефективності. Таким чином розглянута ситуаційна система керування виробництвом n-сортів піци в умовах, як сталого енергозабезпечення, так і додаткових джерел електрозабезпечення в умовах віялових відключень.

РОЗДІЛ 3

РОБОТА ТУНЕЛЬНОЇ ПЕЧІ В УМОВАХ ОБМЕЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

3.1 Технологічні ситуації електрозабезпечення роботи тунельної печі

Піч Lincoln Foodservice 1305,(рис. 1.2) яка працює від електромережі, може використовувати різні джерела живлення. Це дозволяє порівняти її ефективність, експлуатаційні витрати та зручність використання в залежності від обраного джерела електроенергії. Найбільш поширеним варіантом є підключення до стандартної електромережі (380 В), що забезпечує стабільне енергопостачання для безперебійної роботи. Електромережа має низку переваг: це постійне та надійне джерело енергії, яке гарантує високу продуктивність і не вимагає додаткових витрат на паливо чи технічне обслуговування. Проте цей варіант може бути залежним від якості інфраструктури та наявності стабільного електропостачання, але на жаль в наш час «блекаутів» і звичайних відключень світла є велика потреба в інших джерелах енергопостачання.

Якщо підключення до електромережі неможливе або потрібно забезпечити автономну роботу, можна використовувати дизельні або бензинові генератори. Дизельний генератор є потужним і надійним рішенням для роботи в місцях без електропостачання. Він забезпечує тривалу роботу, за умови наявності достатнього запасу палива. Однак дизельні генератори мають недоліки, серед яких високі витрати на паливо, необхідність регулярного технічного обслуговування та шум під час роботи. З іншого боку, бензинові генератори є дешевшими в придбанні, але витрати на бензин можуть бути вищими, а їхня тривалість роботи на одній заправці — меншою. Вони також менш ефективні при тривалому використанні й виробляють більше шуму та викидів.

Інноваційним варіантом для живлення печі є використання сонячних панелей з накопичувачем енергії. Це екологічно чисте рішення, яке дозволяє зменшити вплив на навколишнє середовище та скоротити витрати на електроенергію в довгостроковій перспективі. Проте встановлення такої системи потребує значних початкових інвестицій, а ефективність роботи сонячних панелей залежить від погодних умов. Для забезпечення безперервної роботи печі важливо мати потужні акумулятори, що здатні накопичувати енергію для нічної роботи чи в похмуру погоду.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	РОБОТА ТУНЕЛЬНОЇ ПЕЧІ В УМОВАХ ОБМЕЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архивів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Трунов В.Ю.</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Хорольський В.П.</i>					28	14
<i>Н.конт</i>		<i>Омельченко О.В.</i>				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>		<i>Хорольський В.П.</i>						

Вибір джерела живлення на періоди відключень світла для печі Lincoln Foodservice 1305 (рис. 1.2) залежить від кількох факторів, таких як доступність енергопостачання, вимоги до автономності, витрати на експлуатацію та екологічні пріоритети. Електромережа забезпечує найкращі умови для безперебійної роботи, тоді як генератори і сонячні панелі пропонують альтернативні рішення для специфічних умов або потреб тому я обрав для тунельної печі дизельний генератор Hyundai DHY 8500SE-3 він є дуже потужною трифазною електростанцією, яка призначена для резервного або основного енергозабезпечення будівель, виробничих приміщень або великих об'єктів. Основними його характеристиками є надійність, економічність і простота експлуатації, що робить його популярним вибором для використання в різних умовах.



Рисунок 3.1–Hyundai DHY 8500SE-3

Вид палива: Дизель
 Номінальна потужність, кВт: 6,5 кВт
 Максимальна потужність, кВт: 7,2 кВт
 Час безперервної роботи: 8,5 год
 Кількість фаз: Трифазний
 Тип запуску: Електростарт Лічильникмото-годин: Є
 Об'єм паливного бака (л): 15 л
 AVR (автоматичний регулятор напруги): Є
 Вага, кг: 169
 Висота, мм: 790
 Ширина, мм: 960
 Глибина, мм: 560

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Наявність АКБ: Є
Система охолодження: Повітряне
Вид палива: Дизель
Витрата палива, л/год: 1,7 л/год
Тип двигуна: 4-тактний
Двигун: HYUNDAI D 500E
Рівень шуму, дБа: 72 дБа

Hyundai DHY 8500SE-3(рис. 3.1)оснащена блоком аварійного відключення, який забезпечує захист від непередбачуваних та небезпечних ситуацій. Цей блок працює на основі великої червоної кнопки, яка знаходиться на панелі оператора. У разі виникнення будь-якої аварійної ситуації, достатньо натиснути на цю кнопку, щоб система автоматики негайно відключила всі електричні ланцюги генератора. Це призводить до моментального зупинення двигуна HYUNDAI, яким оснащений генератор.

Важливо зазначити, що така екстрена зупинка не пошкоджує внутрішні механізми генератора та його електроніку, що є важливою перевагою для тривалого і безпечного використання обладнання. Після усунення причини аварії або небезпечної ситуації, генератор можна знову запустити без ризику для його функціонування.

В нього є Система автоматизованого запуску генератора дозволяє контролювати процеси його ввімкнення та вимкнення, що особливо важливо для безперебійної роботи при аварійному або резервному електропостачанні. Важливим елементом такої системи є перевірка напруги акумулятора, оскільки саме акумулятор живить електричний стартер генератора. Цей трифазний генератор оснащений 12-вольтовою акумуляторною батареєю і стартером, який дозволяє запускати важкий генератор навіть у холодних умовах, наприклад, взимку.

Коли напруга акумулятора падає нижче допустимого рівня (12 вольт), необхідно провести його підзарядку за допомогою зовнішнього зарядного пристрою. Це важливо для забезпечення стабільної роботи стартера і генератора в цілому. Щоб уникнути повного розрядження акумулятора, рекомендується запускати генератор хоча б раз на тиждень на 30 хвилин. Такий режим роботи підтримує акумулятор у належному стані та запобігає його розрядженню.

Якщо генератор використовується рідка, з метою збереження ресурсу акумулятора його відключають від клем. Це допомагає уникнути самовільного розрядження акумулятора, що може призвести до проблем із запуском генератора в критичний момент. Важливо пам'ятати, що регулярне технічне обслуговування та перевірка напруги акумулятора сприяє надійній роботі всієї системи та запобігає аварійним ситуаціям.

Одна з головних функції Hyundai DHY 8500SE-3(рис. 3.1)є AVR, або автоматичний регулятор напруги, — це пристрій, який забезпечує стабільне живлення електричного обладнання, контролюючи та коригуючи напругу, яка надходить на прилади, що дуже треба для такого обладнання як тунельна піч. У багатьох ситуаціях напруга в мережі може коливатися — зростати або

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

падати через різні фактори, як-от перевантаження, технічні несправності або зовнішні умови. Такі зміни можуть призвести до пошкодження чутливого обладнання або викликати його нестабільну роботу.

AVR працює таким чином, що автоматично виявляє будь-які відхилення від заданого рівня напруги і негайно вносить корекції, повертаючи напругу до безпечних меж. Це забезпечує стабільну роботу пристроїв, таких як комп'ютери, медичне обладнання або промислові машини, які вимагають точного рівня напруги для нормальної роботи.

Наприклад, якщо напруга у мережі піднімається вище норми, AVR знижує її, щоб пристрої не перегрівалися або не пошкодилися. А якщо напруга падає, регулятор підвищує її до потрібного рівня. Такі стабілізатори використовуються в генераторах, побутових приладах і на виробництвах, щоб гарантувати надійну роботу техніки незалежно від зовнішніх факторів.

Та найголовнішим у цьому генераторі є Автоматичний перемикач джерел живлення (ATS) — це система, яка відіграє ключову роль у безперебійному живленні обладнання, особливо в промислових печах, як у випадку з Lincoln Foodservice 1305(рис. 1.2). Уявімо, що ця піч працює в ресторані, де швидкість і якість приготування є критично важливими. Якщо раптом виникає перебіт в електропостачанні — наприклад, через збої на лінії електромережі — це може зупинити весь процес приготування. Їжа залишиться неготовою, і ресторан зіштовхнеться з великими затримками, втратою клієнтів та фінансовими збитками.

ATS у такій ситуації миттєво переходить на резервне джерело енергії, наприклад, на генератор. Поки основна лінія ремонтується, генератор забезпечує безперервне живлення, і піч продовжує працювати без зупинки. Важливо, що цей перехід відбувається автоматично та швидко — навіть без участі оператора. Це дозволяє пекарській чи ресторанній техніці функціонувати без перерв, підтримуючи процес випікання на постійній температурі та з точністю.

Тому що якщо в середині процесу приготування піци пропаде струм, а система ATS не активується, духовка охолоне, і приготування буде порушено. Це не тільки зіпсує сам продукт, але й вплине на весь робочий графік кухні. Завдяки ATS, навіть у випадку збоїв у живленні, Lincoln Foodservice 1305(рис. 1.2) буде продовжувати працювати на резервному джерелі без помітних перерв для клієнтів і персоналу.

3.2. Вибір автономних джерел електрозабезпечення в умовах віялових відключень стаціонарного електрообладнання

Для екологічного та автономного джерела електрозабезпечення я обрав використовувати сонячну електростанцію (СЕС) сонячні панелі, а також контролер, акумулятори та інвертор до неї. З великого ринку сонячних панелей пропоную я пропоную панелі RisenEnergy RSM132-8-660M, TITAN, 660Вт. RisenEnergyCo, Ltd.(рис. 3.2) – це китайська компанія, яка спеціалізується на виробництві, продажу та обслуговуванні сонячних модулів. Вона належить до елітного списку компаній рівня Tier1.RisenEnergy

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

має високотехнологічні виробничі потужності, займається науково-дослідною діяльністю, а також володіє сертифікованою лабораторією CNAS, що гарантує якість продукції. Щороку компанія виробляє 4,5 ГВт сонячних модулів, що відповідають міжнародним стандартам якості ISO9001, ISO14001 та ISO18001. Також Сонячна панель моделі Risen 660M, TITAN (рис. 3.2) – це високо потужний сонячний модуль, який має показник потужності у 660 Вт. Він дуже ефективний, оскільки його ККД становить 21,2%, що дозволяє ефективно перетворювати сонячне світло в електроенергію. Тип панелі – монокристалічна з технологією CutHalf-Cell це технологія, при якій звичайні сонячні елементи розрізають на дві частини, що дозволяє модулю працювати ефективніше. У кожному модулі ці розрізані комірки створюють менше струму, але при цьому знижуються втрати енергії під час її передачі, оскільки менше нагріваються. Це підвищує загальну продуктивність панелі.

Крім того, такі модулі краще працюють у складних умовах, наприклад, при частковому затіненні. Кожна половина панелі може працювати незалежно, тому якщо частина панелі затінена, це менше впливає на загальну генерацію енергії.

PERC або Passivated Emitter and Rear Cell це технологія, яка покращує ефективність сонячних панелей. Вона додає спеціальний шар на задній частині сонячної комірки, який відбиває світло назад у комірку, дозволяючи їй поглинати більше сонячної енергії. Це підвищує загальну кількість електрики, яку може виробити панель.

PERC-комірки краще працюють при слабкому освітленні та високих температурах, що робить їх більш ефективними в різних умовах, зокрема в хмарні дні або в спеку, завдяки чому цей сонячний модуль досягає такої високої продуктивності.

Ця панель має 132 фотоелементи, які розміщені у 22 ряди по 6 елементів. Його розміри – 2384 мм у довжину, 1303 мм у ширину та 35 мм у товщину. Вага модуля становить 33,5 кг.

Щодо температурних коефіцієнтів, які показують, як продуктивність модуля змінюється з нагріванням: для потужності цей показник -0.34% на кожен градус Цельсія, для напруги -0.25% на градус, а для сили струму – 0.04%/градус Цельсія. Це означає, що при відхиленні температури на $\pm 2^{\circ}\text{C}$ від стандарту (44°C), втрати ефективності залишаються мінімальними, що робить цей модуль дуже конкурентоспроможним на українському ринку.

Для автономного джерела електрозабезпечення тунельної печі Lincoln Foodservice 1305 (рис. 1.2) треба 11 сонячних модулів, така кількість панелей не є проблемою встановлення на даху приватного закладу наприклад піцерії, при синхронному підключенні панелей сонячна електростанція при ідеальних умовах надасть максимальну потужність 7.2 кВт. при максимальній потужності 6 кВт для Lincoln Foodservice 1305 (рис. 1.2).

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

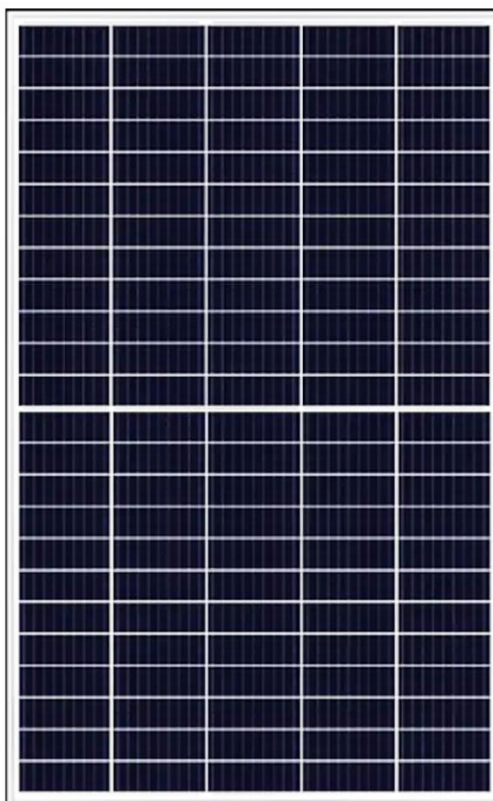


Рисунок 3.2 – Сонячний модуль-RSM132-8-6605M, TITAN, 660кВт

Модель:RSM132-8-6605M, TITAN, 660кВт

Технологія виробництва: CutHalf-Cell, Perc

Тип фотомодуля: монокристал

Кількість струмознімних доріжок (bb), шт:12

Потужність, Вт:660

Напруга при макс. потужності, В:38.12

Струм при макс. потужності, А:17.37

Струм короткого замикання, А:18.38

Напруга холостого ходу, В:45.75

Запас потужності, Вт:0...5

Максимальна напруга у системі, В:1500

ККД фотомодуля, %:21.2

Температурний коефіцієнт потужності, %/°C:-0.34

Температурний коефіцієнт напруги, %/°C:-0.25

Температурний коефіцієнт струму, %/°C:0.04

Робоча температура, °C:-40 ...+85

Кількість фотоелементів, шт:132

Габарити, Д*Ш*Т, мм:2384x1303x35

Вага, кг:33.50

Ступінь захисту фотомодуля:IP68

Рама: анодований алюміній

Акумулятори для СЕС потрібні піцерії з тунельною піччю, така як, Lincoln Foodservice 1305, можуть відігравати дуже важливу роль, особливо в контексті забезпечення безперервної роботи кухонного обладнання та

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підтримання якості обслуговування клієнтів. Уявімо типову ситуацію: ресторан працює у піковий час, замовлення надходять одне за іншим, а піч Lincoln 1305, яка спеціалізується на швидкому випіканні піци, зайнята на повну потужність. Якщо раптом станеться перебій з електропостачанням, наслідки для ресторану можуть бути серйозними — зупиниться не тільки піч, а й інше обладнання, що використовується для приготування страв.

Акумулятори, або системи збереження енергії (СЕС), у таких випадках стають рятувальним колом для закладу. Їхнє завдання полягає в тому, щоб миттєво забезпечити живлення обладнання в разі перебоїв з основним джерелом енергії. Наприклад, коли стається збій, акумулятори автоматично починають подавати електроенергію, зберігаючи роботу печі на необхідній температурі, щоб випікання піци не було перервано. Завдяки цьому, навіть при короткочасних перебоях електропостачання, процес приготування продовжується без зупинок, і ресторан не втрачає жодного замовлення.

Крім того, наявність акумуляторів у піцерії не тільки рятує від форс-мажорів, але й може бути частиною стратегії економії енергії. Наприклад, ресторан може заряджати акумулятори в період, коли ціна на електроенергію є нижчою (вночі або під час низького навантаження на мережу), а використовувати збережену енергію під час пікових годин, коли електрика дорожча. Це дозволяє скоротити витрати на електроенергію, особливо коли піч Lincoln 1305 (рис. 1.2) працює на високих потужностях для приготування великої кількості замовлень.

Таким чином, акумулятори стають не просто запасним джерелом енергії, але й інструментом для збереження стабільності роботи закладу, підвищення надійності та економії ресурсів. Для піцерії це означає постійно гарячі печі, точний час приготування піци та відсутність затримок у процесі подачі їжі клієнтам, навіть при непередбачуваних ситуаціях з електропостачанням і для цього я обрав акумулятор LG Chem RESU7H.(рис. 3.3)

Акумулятор LG Chem RESU7H(рис. 3.3) — це сучасний літій-іонний, спеціально розроблений для використання в системах зберігання енергії (ESS) для сонячних електростанцій. Він відзначається своєю компактністю, високою ефективністю та здатністю до довготривалого використання. Однією з ключових особливостей цієї моделі є можливість зберігати енергію, яку генерують сонячні панелі, для подальшого використання в моменти, коли електроенергія найдорожча або коли відбуваються відключення електрики.

Модель RESU7H(рис. 3.3) має високу щільність енергії, що дозволяє акумулятору накопичувати значну кількість енергії у відносно компактному розмірі, що є ідеальним для домашніх та невеликих комерційних систем. Акумулятор підтримує до 6000 циклів заряду-розряду, що забезпечує йому тривалий термін служби та мінімальну втрату ефективності навіть після багатьох років експлуатації.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.3 –LG Chem RESU7H

Тип: Літій-іонний (Li-Ion)

Запас енергії: 7 кВт*год

Номинальна напруга: 350-450 В

Ємність модуля: 63 А*год

Максимальний струм заряду/розряду: 8.5 А при 420 В / 10.0 А при 350 В

Пікова потужність: 5 кВт протягом 5 секунд

Ступінь захисту: IP55

Розмір одного блоку: 744 × 692 × 206 мм

Вага одного блоку: 75 кг

Температурний діапазон: -10...+45°C

Рекомендована глибина розряду: 90%

Ще одна важлива особливість LG Chem RESU7H(рис. 3.3) — це його сумісність з широким спектром інверторів, що полегшує його інтеграцію в різні сонячні системи. Він також має вбудовану систему захисту, яка забезпечує безпеку під час роботи, запобігаючи перегріву, коротким замиканням та іншим потенційним проблемам.

Акумулятори LG Chem, як наприклад модель LG Chem RESU7H(рис. 3.3), розроблені спеціально для зберігання енергії, що генерується сонячними панелями. Це дозволяє використовувати накопичену енергію в моменти, коли ціни на електроенергію є найвищими, або коли стається відключення електрики. Такі батареї надають можливість споживачам стати незалежними

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

від електромережі та зберігати енергію для подальшого використання в зручний час.

LG Chem RESU відома своїми унікальними характеристиками, які роблять її одним із лідерів на ринку акумуляторних технологій для сонячної енергетики. Ці системи мають високу щільність енергії, що означає можливість зберігати більше енергії у відносно компактному корпусі. Система забезпечує до 6000 циклів заряду-розряду, що дозволяє використовувати акумулятор протягом багатьох років без суттєвого зниження ефективності.

Крім того, LG Chem RESU оснащений вбудованою системою захисту, що гарантує безпеку в експлуатації та надійність системи. Вони сумісні з різними моделями сонячних інверторів, що дозволяє легко інтегрувати їх у вже існуючі або нові енергетичні системи. Акумулятори є досить компактними, але при цьому потужними, що робить їх ідеальними для встановлення у приватних будинках або невеликих підприємствах.

Використовуючи акумулятори LG Chem у системах зберігання енергії (ESS), споживачі можуть ефективніше використовувати сонячну енергію, зменшувати свої витрати на електроенергію та забезпечити себе резервною енергією у випадках перебоїв з постачанням. Це робить такі акумулятори важливим елементом для забезпечення енергетичної незалежності та стабільності.



Рисунок 3.4–Гібридний інвертор HuaweiSUN2000-10KTL-M1 HC

Основні характеристики:

Виробник: Huawei

Модель: SUN2000-10KTL-M1

Країна виробник: Китай

Тип інвертора: Мережевий

Кількість фаз: 3

Кількість MPPT (трекерів точки максимальної потужності): 2

Коефіцієнт корисної дії (ККД): 98.4%

Інтерфейс: RS485/WLAN (з використанням смарт донгла WLAN), 4G/2G через смарт донгл

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вхідні характеристики сонячного поля:
 Номінальна потужність: 10,000 Вт
 Максимальна потужність: 11,000 Вт
 Діапазон вхідної напруги: 140-1100 В
 Діапазон МРРТ (максимальної точки потужності): 240-850 В
 Максимальна вхідна напруга: 1100 В
 Вхідний струм: 11 А для кожного МРРТ трекера
 Максимальний струм для МРРТ трекера: 15 А
 Вихідні характеристики:
 Номінальна потужність: 8,000 Вт
 Максимальна потужність: 8,800 Вт
 Вихідний струм: 16.9 А
 Вихідна напруга: 220/380 В або 230/400 В
 Форма синусоїди: правильна (чиста синусоїда)
 Частота: 50/60 Гц
 Загальні характеристики:
 Габаритні розміри: 525x470x166 мм
 Вага інвертора: 17 кг
 Гарантія: 60 місяців (5 років)
 Робочий діапазон температури: від -25°C до +60°C
 Вологість: від 0% до 100%

Ступінь захисту: IP65 (захист від пилу та води, що дозволяє використовувати інвертор на відкритому повітрі)

Власне споживання: 1 Вт

Охолодження: природна конвекція

Інвертор Huawei SUN2000-10KTL-M1(рис. 3.4) — це сучасний трьохфазний мережевий пристрій, який грає центральну роль у сонячних енергетичних системах, особливо коли мова йде про ефективне перетворення енергії та управління нею. Завдяки своїм компактним розмірам, легкості та високим технологіям моніторингу, він відрізняється від інших інверторів на ринку.

Наприклад, в піцерії, де встановлені сонячні панелі для живлення всіх систем — від освітлення до потужної печі Lincoln Foodservice 1305(рис. 1.2) — такий інвертор дозволяє не тільки ефективно керувати генерацією електроенергії, а й слідкувати за роботою кожного фотомодуля в режимі реального часу. За допомогою спеціального мобільного додатку FusionSolar, власники піцерії зможуть перевірити продуктивність панелей і виявити будь-які проблеми, як-от деградація або пошкодження діодів, не виходячи з приміщення.

Основною перевагою цього інвертора є можливість підключення оптимізаторів потужності до кожної панелі. Уявімо ситуацію: частина панелей на даху піцерії опинилася під затіненням через розрослі дерева чи забруднення. Без оптимізаторів така ситуація призвела б до значних втрат у виробітку енергії, оскільки система працює на основі найслабшого модуля. Але завдяки оптимізаторам Huawei Smart PV Optimizer SUN2000-450W-P(рис.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4), кожна панель працює незалежно, і навіть ті панелі, що знаходяться під затіненням, будуть максимально ефективними. Це дозволяє збільшити загальну продуктивність системи на 30%.

Коли йдеться про технічні характеристики, інвертор SUN2000-10KTL-M1 має номінальну потужність у 8000 Вт, що цілком достатньо для живлення різноманітних електропристроїв в закладі, включаючи освітлення, кондиціонери, холодильники та печі. Крім того, максимальна потужність фотомодулів, яку може підтримати інвертор, становить 15 000 Вт, що дозволяє використовувати велику кількість панелей без зниження ефективності. Це особливо важливо для підприємств із великим споживанням електроенергії, таких як ресторани та піцерії, де постійно працює обладнання з великим енергоспоживанням.

Ще однією важливою перевагою цього інвертора є його система охолодження, яка базується на природній конвекції. Це означає, що пристрій працює безшумно та без потреби у додаткових вентиляторах, що може бути корисним у ресторані, де важливим є створення комфортної атмосфери для відвідувачів.

Що ж стосується безпеки, Huawei SUN2000-10KTL-M1(рис. 3.4) оснащений інтелектуальною системою захисту від дугових пробіїв, що автоматично виявляє та ізолює пошкоджені ділянки проводки. Це значно знижує ризик пожеж, що є критично важливим для будь-якого закладу громадського харчування, де електрична безпека є пріоритетом.

Також важливим аспектом є сумісність інвертора з акумуляторами LG Chem, які можуть зберігати надлишок виробленої енергії для використання в пікові години або під час відключення електроенергії. Уявіть, якщо у вашій піцерії зникло живлення, і ви не можете випікати піцу для клієнтів. Завдяки можливості інтеграції з акумуляторною системою, інвертор зможе забезпечити безперервне живлення вашого обладнання, навіть під час аварійних ситуацій.

3.3. Автоматизована система керування тунельною піччю на основі мехатронних модулів живлення

Засобом автоматичного безперебійного живлення для тунельної печі я обрав Моноблочний АВР Chint NXZ-630/4A 400A (171620)(рис. 3.5)



Рисунок 3.5 – АВР Chint NXZ-630/4A 400A (171620)

Типорозмір: 630
 Кількість полюсів: 4P
 Номінальний струм In, A: 400
 Тип контролера: стандартний
 Номінальний умовний струм КЗ, кА: 100
 Мінімальний час перемикання між вводами: від 3,3 с
 Мінімальний час перемикання контактів: від 1,5 с
 Номінальна робоча напруга Ue, В (50 Гц): 400/415
 Номінальна напруга ізоляції Ui, В: АС 800
 Номінальна імпульсна витримувана напруга Uimp, кВ: 8
 Категорія застосування: АС-33В
 Номінальна найбільша вимикальна здатність при КЗ Icm, кА: 50
 Номінальний короточасний витримуваний струм КЗ Icw (0,2 с), кА: 25
 Номінальна напруга в ланцюзі керування (напруга живлення) Us, В:
 230/240, 50/60 Гц
 Діапазон керуючої напруги Ue: 85-110%
 Електрична зносостійкість, циклів: 1000
 Механічна зносостійкість, циклів: 3000
 Категорія забруднення середовища: III
 Діапазон робочих температур, °С: -5...+40
 Габаритні розміри (ШxВxГ), мм: 430x272x230
 Відповідність стандартам: ІЕС/EN 60947-6-1

Моноблочні пристрої автоматичного введення резерву (АВР) на базі моторизованих перемикачів навантаження CHINT NXZ-630/4A 400A(рис. 3.5) призначені для автоматичного перемикання на резервне джерело живлення в разі відключення основного. Якщо основне електропостачання припиняється або параметри мережі погіршуються нижче встановленого рівня, пристрій автоматично переходить на резервне джерело.

Коли живлення відновлюється або параметри мережі основного джерела повертаються до нормальних значень, АВР автоматично перемикає навантаження назад на основне джерело.

Також пристрій має функції управління дизель-генератором, який часто використовується як резервне джерело живлення.

Автоматичний введення резерву АВР Chint NXZ-630/4A 400A (171620)(рис. 3.5) використовується з трифазними, чотири провідними резервними електромережами змінного струму частотою 50/60 Гц з номінальною напругою до 400/415 В і номінальним струмом до 800 А. Пристрій може перемикати одну або декілька навантажувальних ліній від одного джерела живлення до іншого для забезпечення безперервного живлення споживачів, Таким чином ми можемо підключити до нього сонячну електростанцію (СЕС) та генератор.

Цей пристрій підходить для використання в об'єктах, що підключені до промислових і загальних електромереж, таких як багатоповерхові будинки та житлові будинки.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виробництво пристрою відповідає стандартам МЕК 60947-1 та МЕК 60947-6-1.

Крім того, пристрій може використовуватися в умовах складного навколишнього середовища, згідно з наступними стандартами:

МЕК 60068-2-1 (низькі температури),

МЕК 60068-2-2 (високі температури),

МЕК 60068-2-30 (вологе тепло),

МЕК 60068-2-11 (соляний туман).

Безпека перемикачів АВР CHINT NXZ-630/4A 400A (рис. 3.5) забезпечується кількома важливими аспектами. По-перше, пристрій автоматично здійснює моніторинг стану електромережі. Він контролює параметри основного та резервного джерел живлення і приймає рішення про перемикач лише тоді, коли це дійсно необхідно. Це дозволяє уникнути помилкових перемикачів, що можуть спричинити небезпечні ситуації.

По-друге, сам процес перемикачів виконується плавно і без ривків, завдяки моторизованому механізму. Це важливо, оскільки різкі перемикачів можуть спричинити перевантаження або пошкодження електрообладнання, що підключене до мережі.

Крім того, АВР обладнаний системою захисту від коротких замикань і перевантажень. Якщо виникають нестандартні ситуації або збої в роботі основного або резервного джерел живлення, пристрій не просто перемикає навантаження, але також забезпечує захист мережі та споживачів від пошкоджень.

Окремо варто зазначити функцію контролю дизель-генератора, який часто використовується як резервне джерело живлення. АВР не просто перемикається на Hyundai DHY 8500SE-3 (рис. 3.1), але й управляє його запуском і зупинкою, що дозволяє мінімізувати час простою та забезпечити стабільне живлення.

Тумблер (рис. 3.6) перемикачів в АВР CHINT NXZ-630/4A 400A (рис. 3.5) виконує важливу функцію ручного управління режимами роботи пристрою. Він дозволяє оператору вручну вибирати між різними режимами, такими як "Основне живлення", "Резервне живлення" або "Вимкнення". Це важливо для проведення обслуговування, налаштування або тестування системи.

У разі потреби оператор може самостійно перемикачів живлення без втручання автоматичної системи. Це корисно при тестуванні обладнання або в ситуаціях, коли автоматичне перемикачів з якихось причин небажане в режимі "Вимкнено" тумблер відключає обидва джерела живлення. Це забезпечує повну ізоляцію від електромережі, що важливо для безпечного обслуговування системи.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

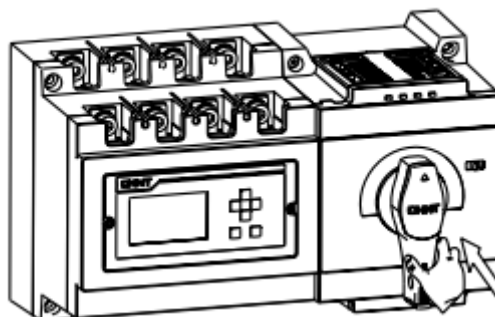


Рисунок 3.6 –Тумблер АВР CHINT NXZ-630/4A 400А

Тумблер (рис. 3.6)наочно вказує, в якому режимі перебуває пристрій — основне або резервне живлення. Це знижує ризик помилок під час експлуатації, оскільки оператор завжди бачить поточний стан системи.

Основна функція тумблера (рис. 3.6)полягає в тому, щоб перевести навантаження на резервне джерело у випадку відключення основного електропостачання або якщо його параметри виходять за межі допустимих норм. Тумблер реагує на ці зміни, активуючи моторизований механізм, що забезпечує плавне і безпечне перемикавання.

Під час переключення тумблер розрахований на швидку і точну роботу, що важливо для збереження стабільності живлення. У разі нормалізації електропостачання тумблер повертає навантаження на основне джерело. Це автоматичне управління допомагає уникнути перерв у постачанні електроенергії, що особливо важливо для критично важливих навантажень.

Також важливою характеристикою тумблера є його здатність виконувати функції безпеки, такі як захист від короткого замикання та перевантаження. У разі виникнення несправностей тумблер може відключити живлення, щоб запобігти пошкодженням обладнання.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

Завершуючи дослідження на тему "Оптимізація теплових режимів тунельної печі з використанням мехатронних модулів живлення", можна підсумувати основні результати, здобутки та висновки, отримані в ході аналізу, моделювання та тестування обладнання.

У першому розділі, який стосувався аналітичного аналізу технологічного обладнання для виробництва харчових продуктів, особливу увагу було приділено тунельній печі Lincoln Foodservice 1305. Ця піч має конструктивні особливості, які роблять її ефективною для випікання продукції у великих обсягах і забезпечують рівномірний розподіл тепла. Саме аналіз характеристик Lincoln Foodservice 1305 дозволив нам ідентифікувати основні параметри, які впливають на енергетичну ефективність, продуктивність та стабільність температурного режиму. Це включало вивчення її нагрівальних елементів, що виготовлені за технологією Calrod, забезпечуючи рівномірне прогрівання продукції, а також оптимальну потужність і зниження втрат тепла.

Другий розділ був присвячений математичному моделюванню теплотехнічного процесу в тунельній печі. Тут ми зосередились на розробці моделі теплопередачі, яка враховувала конвективні та променеві теплові потоки, що забезпечують ефективний перехід тепла в камері печі. В моделюванні були задіяні складові теплообміну, включаючи розрахунок критичного діаметра теплоізоляції для мінімізації теплових втрат. Модель дозволила виявити оптимальні параметри роботи печі для різних умов та інтенсивності використання, а також показала, як змінюється тепловий потік в умовах обмеження електроенергії, що стало основою для подальшої оптимізації.

Третій розділ зосереджувався на роботі тунельної печі в умовах обмеження електроенергії. Мені було важливим зробити резервне використання сонячних панелей як побічне джерело живлення для тунельної печі в наших життєвих умовах, а також загалом побудова сонячної електростанції (СЕС) для забезпечення безперервного енергопостачання на виробництві. Тут було розглянуто застосування СЕС для зниження енергетичних витрат, підвищення енергонезалежності та екологічності роботи підприємства.

Сонячна енергетика стала ефективним способом забезпечення енергією за умови тривалих виробничих процесів, як-от випікання хлібобулочних виробів. Розрахунки показали, що СЕС здатна генерувати необхідну потужність для тунельної печі в основні робочі години, що значно знижує потребу в споживанні електроенергії з загальної мережі. При цьому резервне

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ			
Розроб.		Трунов В.Ю.			Оптимізація теплових режимів тунельної печі з використанням мехатронних модулів живлення	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Хорольський В.П.					53	1
Н.конт		Омельченко О.В.				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
Затверд.		Хорольський В.П.						

живлення забезпечується дизельним генератором Hyundai DHY 8500SE-3, який служить для підтримки системи у разі недостатнього рівня генерації сонячної енергії, наприклад, у похмурі дні або вночі. Це дозволяє уникнути перебоїв у роботі, оскільки генератор активується лише за потреби, підтримуючи стабільність процесу.

Важливо, що впровадження СЕС також дозволило оптимізувати витрати, знизивши залежність від традиційних джерел енергії. В результаті аналізу ми дійшли висновку, що таке поєднання енергетичних систем — основна робота на СЕС та резервне живлення від генератора — є найбільш ефективним варіантом для забезпечення сталої роботи тунельної печі, дозволяючи не лише знизити витрати на енергію, але й зробити виробничий процес більш екологічним.

Отже, проведена робота демонструє значну користь від впровадження мехатронних модулів для управління тепловим режимом тунельної печі. Застосування резервного живлення та оптимізація параметрів печі під час моделювання підтвердили ефективність розроблених підходів для зниження енерговитрат, підвищення продуктивності та збереження якості продукції.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		43

Список використаних джерел

1. Сайт з описом роботи Air Impingement [Air Impingement - an overview | ScienceDirect Topics](#)
2. Сайт з інформацією про ТЕНи для тунельної печі <https://www.wattco.com/calrod-heaters/>
3. Сайт з інформацією про роботу ТЕНів <https://ten24.com.ua/ua/blog/typy-temperedachi-i-osobennosti-ikh-vliyaniya-pri-vypechke/>
4. Теплохолодотехніка С.М. Василенко, В.І. Павелко, А.В. Форсюк, М.М. Масліков, Н.В. Іващенко, С.В. Барановська 64-66 с.
5. Сайт з інформацією про сонячні модулі <https://solar-tech.com.ua/ua/solar-electricity/solar-panels/solnechnaya-batareya-risen-rsm132-8-660m-titan.html>
6. Сайт з додатковою інформацією про сонячні модулі <https://sun-energy.com.ua/solar-power/solar-panels/rsm132-8-660m-titan>
7. Сайт з додатковою інформацією про сонячні модулі <https://solar-tech.com.ua/image/data/Instructions/solar-panels/Risen/RSM132-8-655-675M%20IEC1500V-35mm%202023H2-3-EN.pdf>
8. Сайт з інформацією про аккумулятори для СЕС <https://onlysolar.in.ua/ru/katalog/akkumulyator-lg-chem-resu7h-7-kvtch-350-450v/>
9. Сайт з інформацією про інвертор для СЕС <https://energoseti.com.ua/uk/product/gibridnyj-invertor-huawei-sun2000-10ktl-m1-hc/>
10. Сайт з інформацією про автоматичного введення резерву для резервного живлення <https://axiomplus.com.ua/avr-rele-vvoda-rezerva/product-137717/#tab-attrs>
11. Сайт з додатковою інформацією про автоматичного введення резерву для резервного живлення <https://inelektro.com/ru/monoblochnyi-prystrii-avr-nxz-630-4a-400a-chint/>
12. Сайт з інформацією про тунельну піч Lincoln Foodservice 1305 <https://www.food-service.com.ua/instrukciya-konveyernaya-pech-dlya-pitstsy-lincoln-foodservice-1305-p67905>
13. Сайт з інформацією про тунельну піч MiddlebyMarshallPS570 <https://www.middlebymarshall.com/midmarsh/pdf/PS570-REV2.pdf>
14. Сайт з інформацією про дизельний генератор для резервного живлення https://hyundai-ukraine.com.ua/product/dizelnyi-generator-hyundai-dhy-85-0se-3.html?srsltid=AfmBOoqU8ij422kWbVDO_fXVbu74QAkfbS06T9BhH1I9jex9TVRf6Zg0#docs-tab

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

15. Сайт з додатковою інформацією про дизельний генератор для резервного живлення <https://hyundai-ukraine.com.ua/files/hy/docs/10891.pdf>

16. Сайт з додатковою інформацією про тунельну піч MiddlebyMarshallPS570 https://pizzaovens.com/pre-owned/middleby-marshall-ps570-per-deck/?srsltid=AfmBOoqvjENAU2OzBuJkCx-UcTtdwH0FgmKTeDGjlrFx90dm5_jykQoF

17. Сайт з додатковою інформацією про роботу ТЕНів <https://www.wattco.com/calrod-heaters/>

18. Сайт з додатковою інформацією про тунельну піч Lincoln Foodservice 1305 https://www.lincolnfp.com/product/fam_fkqdgH/Impinger-II-Express--Conveyor-Ovens---1100-Series

19. Сайт з додатковою інформацією про дизельний генератор для резервного живлення <https://hyundai.org.ua/ua/p1062949630-generator-dizelnyj-hyundai.html>

20. Сайт з інформацією про мехатроніку <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%85%D0%B0%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0>

21. Сайт з інформацією про випікання піци <https://intime.ua/ru/skilky-vypikaty-piczu-v-duhovczi-i-za-yakoyi-temperatury/>

22. Автоматизовані системи керування виробництвом смарт-продуктів харчування. Хрольський В.П, Коренець Ю М, Серебренников В.М, (за ред. проф. Хрольський В.П. – Кривий Ріг) Видавець Чернявський Д.О. 2021.- 312с.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		