

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Обладнання харчових технологій
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня
бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розрахунок та ремонт вакуум-барабана
хлібопекарської печі Ротор-Агро.

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МО-41
спеціальності 133 галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

	(підпис)	Мельник М. (прізвище та ініціали)
Керівник	(підпис)	Стадник І.Я. (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	(підпис)	Ворощук В.Я. (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	(підпис)	Вітенько Т.М. (прізвище та ініціали)
Рецензент	(підпис)	Марущак П.О. (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра Обладнання харчових технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Вітенько Т.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

« 27 » січня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)

студенту Максиму МЕЛЬНИКУ
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

Керівник роботи Стадник Ігор Ярославович, д.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 24 » січня 2025 р. № 4/7-49

2. Термін подання студентом завершеної роботи « 18 » червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити) Анотація. Вступ. 1. Загально-технічна частина 1.1. Аналіз вихідної інформації для розробки дипломної роботи. Будова і принцип роботи етикетувальної хлібопекарної печі Ротор-Агро. 1.2. Аналіз патентних матеріалів та літературних джерел щодо ротаційних печей. 1.3. Мета і задачі комплексної роботи
Обґрунтування конструкції і розрахунки вакуум-барабана хлібопекарської печі "Ротор Агро.1.Проектування конструкції вузла вакуум-барабана системи циркуляції .2.1.1. Обґрунтування конструктивних рішень базової конструкції вакуум-барабана. 2.1.2.2. Розрахунок продуктивності печі "Ротор-Агро"2.1.2.3. Тепловий розрахунок печі "Ротор-Агро. 2.1.2.4. Розрахунок та підбір підшипників для валу лопатей 2.1.2.5. Розрахунок валу вакуум – барабана (вентилятора) печі. 2.1.2.6. Розрахунок на міцність валу вакуум – барабана (вентилятора) печі. 2.1.3. Технологічна потреба та динамічні процеси (симуляція) відкачування вологи вакуум-барабаном Ротор-Агро. .3 Розроблення технології ремонту і випробування хлібопекарної печі Ротор-Агро. 2.1.3.2. Симуляція динамічних процесів та оптимізація Ротор-Агро. 3. Технологічні процеси експлуатації та ремонту валу вакуум-барабана печі "РОТОР-АГРО"3.1. Технологія експлуатації, технічного обслуговування та ремонтних робіт валу вакуум арабана. Основні технічні умови та заходи з ремонту вакуум-барабана хлібопекарської печі Ротор-Агро.3.1.2. Організація ремонту хлібопекарної печі "Ротор-Агро": Система планово-попереджувального ремонту (ППР). Структура ремонтних циклів печі "Ротор-Агро" та розрахунок трудомісткості.3.2. Розроблення технології. розбирання та складання вузла забезпечення теплових режимів печі "Ротор-Агро". 3.2.1. Обґрунтування рішень щодо ремонту вузла вакуум-барабана хлібопекарської печі "Ротор-Агро"3.2.2. Вибір та обґрунтування матеріалів для ремонтваних/виготовлених елементів. Аналіз конструкції та вимог до виготовлення валу вентилятора хлібопекарної печі "Ротор-Агро. Технологічні маршрути виготовлення валу.3.3. Аналіз та обґрунтування вибору необхідного технологічного оснащення для реалізації розробленого технологічного процесу виготовлення валу вакуум-барабана печі Ротор-Агро.Аналіз технологічного забезпечення ремонту та обґрунтування необхідності спеціального оснащення. Вибір електронавантажувача. Обґрунтування можливості встановлення печі без фундаментних болтів.3.3.2. Розрахунок основних параметрів такелажних пристосувань для строповки. Розрахунок основних конструктивних параметрів барабана лебідки Розрахунок телескопічного домкрата Т-56Б.Висновки. Перелік посилань. Специфікації.
Загальний вигляд печі А1

Графік ППР печі А1

Технологічна карта вузла А1

Вузол вентилятора А1

Техмаш А1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи хорони праці			
Нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання « 27 » січня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Анотація. Вступ. 1		
2	Загально-технічна частина 1.1. Аналіз вихідної інформації для.		
3	розробки дипломної роботи		
4	Будова і принцип роботи етикетувальної хлібопекарної печі.		
5	Аналіз патентних матеріалів та літературних джерел щодо		
6	ротаційних печей. 1.3. Мета і задачі комплексної работ		
7	Обґрунтування конструкції і розрахунки вакуум-барабана.		
8	хлібопекарської печі "Ротор Агро		
9	Проектування конструкції вузла вакуум-барабана системи циркуляції Обґрунтування конструктивних рішень		
10	базової конструкції вакуум-барабана..		
11	Розрахунок продуктивності печі "Ротор-Агро".		
12	Тепловий розрахунок печі "Ротор-Агро		
13	Технологічні процеси експлуатації та ремонту валу вакуум-		
14	барабана печі "РОТОР-АГРО"		
15	Технологія експлуатації, технічного обслуговування та ремонтних		
16	робіт валу вакуум арабана.		
17	Система планово-попереджувального ремонту (ППР).		
18	Технологічні маршрути виготовлення валу		
19	.1.2. Організація ремонту хлібопекарної печі "Ротор-Агро":		
20	Структура ремонтних циклів печі "Ротор-Агро" та розрахунок трудомісткості.3.2. Розроблення технології. розбирання та		
21	складання вузла забезпечення теплових режимів печі "Ротор-Агро".		
22	Основні технічні умови та заходи з ремонту вакуум-барабана		
23	хлібопекарської печі Ротор-Агро.3		
24	Розрахунок основних конструктивних параметрів барабана лебідки		
25	Розрахунок телескопічного домкрата Т-56Б		
26	Висновки		
27	Перелік посилань		
28	Специфікації		
29	Креслення А1		

Студент

(підпис)

Максим МЕЛЬНИК

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Ігор СТАДНИК

(прізвище та ініціали)

Зміст

Анотація.....	
Вступ	
1. Загально-технічна частина	
1.1. Аналіз вихідної інформації для розробки дипломної роботи. Будова і принцип роботи хлібопекарної печі Ротор-Агро	
1.2. Аналіз патентних матеріалів та літературних джерел щодо ротаційних печей	
1.3. Мета і задачі комплексної роботи.....	
2. Обґрунтування конструкції і розрахунки вакуум-барабана хлібопекарської печі "Ротор-Агро.....	
2.1. Проектування конструкції вузла вакуум-барабана системи циркуляції .	
2.1.1. Обґрунтування конструктивних рішень базової конструкції вакуум-барабана.....	
2.1.2.2. Розрахунок продуктивності печі "Ротор-Агро".....	
2.1.2.3. Тепловий розрахунок печі "Ротор-Агро.....	
2.1.2.4. Розрахунок та підбір підшипників для валу лопатей	
2.1.2.5. Розрахунок валу вакуум – барабана (вентилятора) печі	
2.1.2.6. Розрахунок на міцність валу вакуум – барабана (вентилятора) печі.....	
2.1.3. Технологічна потреба та динамічні процеси (симуляція) відкачування вологи вакуум-барабаном Ротор-Агро.....	
2.1.3.1. Оптимізація конструкції вакуум-барабана.....	

2.3 Розроблення технології ремонту і випробування хлібопекарної печі Ротор-Агро	
2.1.3.2. Симуляція динамічних процесів та оптимізація Ротор-Агро.....	
3. Технологічні процеси експлуатації та ремонту валу вакуум-барабана печі "РОТОР-АГРО".....	
3.1. Технологія експлуатації, технічного обслуговування та ремонтних робіт валу вакуум-барабана.....	
3.1.1. Основні технічні умови та заходи з ремонту вакуум-барабана хлібопекарської печі Ротор-Агро.....	
3.1.2. Організація ремонту хлібопекарної печі "Ротор-Агро": Система планово-попереджувального ремонту (ППР)	
3.1.3. Структура ремонтних циклів печі "Ротор-Агро" та розрахунок трудомісткості.....	
3.2. Розроблення технології розбирання та складання вузла забезпечення теплових режимів печі "Ротор-Агро".....	
3.2.1. Обґрунтування рішень щодо ремонту вузла вакуум-барабана хлібопекарської печі "Ротор-Агро"	
3.2.2. Вибір та обґрунтування матеріалів для ремонтваних/виготовлених елементів.....	
3.2.2.1. Аналіз конструкції та вимог до виготовлення валу вентилятора хлібопекарної печі "Ротор-Агро".....	
3.2.2.2. Розробка креслень елементів вузла вакуум-барабана.....	
3.2.3. Технологічні маршрути виготовлення валу.....	
3.3. Аналіз та обґрунтування вибору необхідного технологічного оснащення для реалізації розробленого технологічного процесу виготовлення валу вакуум-барабана печі Ротор-Агро.	
3.3.1. Аналіз технологічного забезпечення ремонту та обґрунтування необхідності спеціального оснащення.....	
3.3.1.1. Вибір електронавантажувача.....	

3.3.1.2. Обґрунтування можливості встановлення печі без фундаментних болтів.....	
3.3.2. Розрахунок основних параметрів такелажних пристосувань для строповки	
3.3.3. Розрахунок основних конструктивних параметрів барабана лебідки.....	
3.3.3.1. Розрахунок телескопічного домкрата Т-56Б.....	
3.3.4. Спеціальний пристрій для контролю симетричності шпонкових канавок валу.....	
3.3.4.1. Конструкція та принцип роботи пристрою.....	
3.3.4.2. Вивірка та центрування хлібопекарної печі "Ротор-Агро" при встановленні та обслуговуванні.....	
4. Розроблення питань з охорони праці та надзвичайних ситуацій.....	
Загальні висновки	
Перелік посилань.....	
Специфікації	

Анотація

Дана кваліфікаційна робота бакалавра на тему „Розрахунок та ремонт вакуум-барабана хлібопекарської печі Ротор-Агро” розроблений згідно виданого завдання. Проект передбачає розрахунок та ремонт валу вентилятора вакуум-барабана печі, щоб забезпечити її безперебійну роботу.

Розділи кваліфікаційної роботи виконані у повному об’ємі згідно методичних вказівок і рекомендацій. Подано розрахунки та маршрути виготовлення валу приводу вентилятора вакуум-барабана.

Графічна частина дозволяє більш повно розкрити будову машин, показати виготовлення деталі, її розміщення, розміри і будову. Дотримання графіка планового та профілактичного обслуговування та інших вимог забезпечує надійну роботу печі та запобігає поломкам. Загальні висновки обґрунтували правильну організацію виконання ремонтних робіт.

This bachelor's qualification work on the topic "Calculation and repair of the vacuum drum of the Rotor-Agro bread baking oven" was developed in accordance with the given task. The project involves the calculation and repair of the fan shaft of the vacuum drum of the oven to ensure its uninterrupted operation.

The sections of the qualification work are completed in full according to the methodological instructions and recommendations. Calculations and manufacturing routes for the vacuum drum fan drive shaft are provided.

The graphic part allows you to more fully reveal the structure of the machines, show the manufacture of the part, its location, dimensions and structure. Compliance with the schedule of scheduled and preventive maintenance and other requirements

ensures reliable operation of the furnace and prevents breakdowns. The general conclusions substantiated the correct organization of repair work.

1. Загально-технічна частина

1.1. Аналіз вихідної інформації для розробки кваліфікаційної роботи бакалавра. Будова та принцип дії хлібопекарської печі Ротор-Агро

Під час підготовки кваліфікаційної роботи було зібрано та опрацьовано комплекс вихідних матеріалів, що забезпечують ґрунтовну технічну базу для аналізу, розрахунків і формулювання інженерних рішень. Основні джерела включають:

- *Технічний паспорт та експлуатаційна інструкція до печі «Ротор-Агро»*, в яких наведено опис конструкції, підготовки до введення в експлуатацію, режимів роботи, заходів з технічного обслуговування, а також креслення загального вигляду і деталей основних вузлів;
- *Опис технологічного процесу виробництва хліба*, що містить дані щодо параметрів температури, вологості, часу випікання, а також особливості процесу ферментації та дозрівання тіста;
- *Машинно-апаратурні та технологічні схеми*, що дозволяють зрозуміти місце печі у загальному технологічному ланцюгу виробництва хлібобулочних виробів;
- *Нормативна документація (ДСТУ, ГОСТи)*, яка визначає вимоги до хлібопекарської продукції та умов експлуатації обладнання;
- *Науково-технічна література*, що охоплює конструкції ротаційних печей, питання теплопередачі, аеродинаміки, механіки матеріалів, діагностики несправностей та методи удосконалення технологічного обладнання.

Крім загального технічного аналізу, у рамках роботи розглядаються такі аспекти:

1. *Огляд конструкції хлібопекарської печі «Ротор-Агро».* Досліджено основні компоненти печі: теплоізований корпус, система обертання роторного барабана, система подачі гарячого повітря, блок автоматики та органи керування. Розглянуто принцип циркуляції повітряного потоку та особливості конструктивного забезпечення рівномірного випікання.
2. *Призначення і розташування вакуум-барабана.* Вивчено конструкцію вакуум-барабана, який забезпечує фіксацію температури за рахунок обертання лопатей від приводу двигуна. Проаналізовано його роль у формуванні повітряних потоків, осушенні поверхні тіста та рівномірному прогріванні виробів. Розглянуто способи монтажу і кріплення барабана у зовнішньому просторі печі.
3. *Теплофізичні та механічні розрахунки,* необхідні для інженерного обґрунтування роботи барабана:
 - Розраховано параметри повітряного середовища в печі: тиск, температура, об'єм повітря, швидкість циркуляції, що впливають на ефективність теплопередачі та сушіння виробів;
 - Проведено оцінку міцності барабана, з урахуванням термічного розширення, допустимих деформацій, впливу маси виробів та обертальних навантажень.
4. *Типові несправності та ремонт вакуум-барабана.* На основі аналізу експлуатаційної практики виділено основні типи ушкоджень:
 - Пошкодження корпусу внаслідок термічної втоми або деформацій при перевантаженнях;
 - Поломка кріплень і опор, що може призводити до порушення осової симетрії;
 - Зношення або деформація лопатей, валу, пластин і внутрішніх елементів, що потребує заміни або локального ремонту зварюванням та зміцненням конструкцій.

5. Модернізація системи осушення або розробка альтернативного інженерного рішення. Як приклад інженерного підходу, запропоновано вдосконалення системи осушення всередині барабана шляхом встановлення спрямованих повітряних каналів або інтеграції нової системи регулювання вологості із зворотним зв'язком. Можливе застосування теплообмінників з підвищеним ККД або адаптивного керування обертами вентилятора залежно від ступеня випікання.

Будова та принцип роботи. Це типова ротаційна піч (хлібопекарська або кондитерська), яка широко використовується для випікання різних видів продукції завдяки своїй здатності забезпечувати рівномірне пропікання.

Хлібопекарська піч (рис. 1.1) має модульну будову, що забезпечує зручність обслуговування та ремонту. Основу конструкції формують кілька ключових блоків (див. рис. 1): опорна платформа (поз. 1), правий модуль (поз. 2), лівий модуль (поз. 3), верхня частина камери (поз. 4) та тепловий блок (поз. 5). Усі ці елементи утворюють жорсткий та термостійкий корпус печі.

Внутрішні поверхні пекарної камери та панелі корпусу виготовлені з нержавіючої сталі, яка не піддається корозії та легко очищується. Зовнішні частини конструкції виконані зі сталевих листів, покритих порошковою термостійкою фарбою для захисту від зовнішніх впливів. Теплоізоляція між зовнішніми та внутрішніми шарами досягається за рахунок шару мінеральної вати завтовшки 100 мм, що дозволяє мінімізувати втрати тепла і підвищити енергоефективність.

Система обігріву працює на основі примусової циркуляції гарячого повітря, яке проходить через спеціальний *тепловий модуль*. Потік повітря створюється вакуум – барабаном (вентилятором) із двома швидкісними режимами. Завдяки можливості регулювання швидкості вентилятора на різних етапах випікання можна точно керувати такими параметрами, як швидкість прогрівання тіста, інтенсивність підйому, тривалість термообробки, ступінь підрум'янення скоринки та рівень запікання.

Рівномірний розподіл тепла в камері досягається за допомогою спеціальних шибєрів, які керують напрямом повітряних потоків, а також за рахунок обертання візка з продукцією. Температурний режим всередині камери підтримується автоматично відповідно до встановлених параметрів програми, заданої через панель керування.

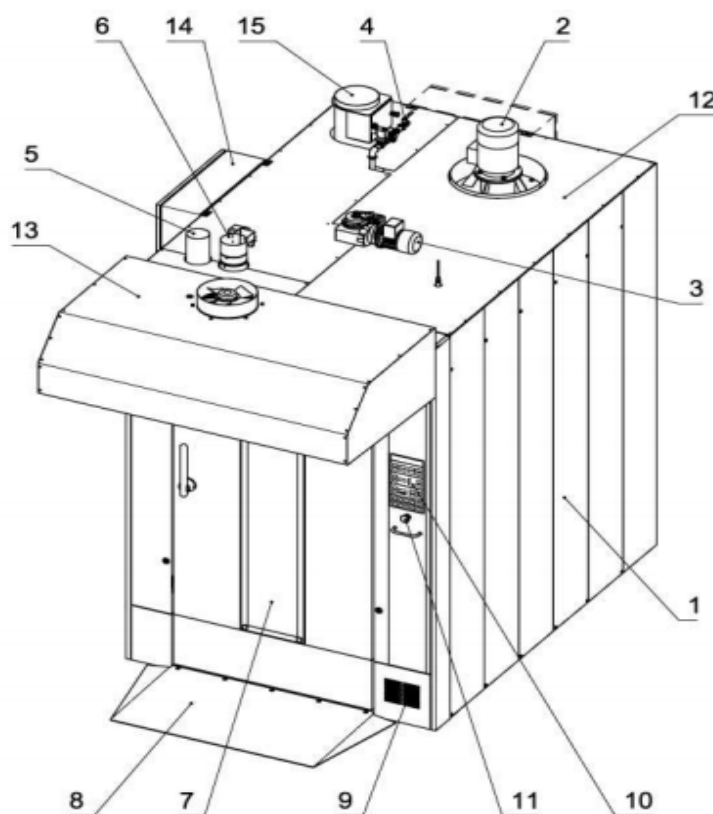


Рис.1.1 Загальний вигляд хлібопекарної печі Ротор-Агро

1 - корпус печі, 2 - тепловий вакуум – барабаном (вентилятор); 3 - привід поворотного столу; 4 - трубопровід парогенератора; 5 - витяжна вентиляція (паровидаленення); 6 - приводна заслінка; 7 – двері завантаження; 8 - трап подачі вагонетки; 9 – охолодження; 10 - блок управління; 11 - аварійне відключення; 12 – кріплення верхнього листа; 13 - козирок із вентилятором, 14 - шафа електрокерування; 15 - димовідвід

На рис.1.1. зображено промислову ротаційну піч, призначену для випікання хлібобулочних та кондитерських виробів. Її конструкція забезпечує рівномірний розподіл тепла та ефективне пропікання продукції завдяки постійному обертанню візка з заготовками всередині робочої камери.

Корпус печі – це зовнішня оболонка печі 1, яка містить усі внутрішні компоненти. Корпус виготовлений з металу (зазвичай нержавіючої сталі або пофарбованої сталі) і має високоефективну теплоізоляцію для мінімізації втрат тепла та забезпечення енергоефективності. У верхній частині корпусу встановлено димохід 15. Місце, через яке відводяться продукти згоряння (якщо це газова або дизельна піч) або надлишок вологи та пари з робочої камери. Його конструкція може включати регульовану заслінку.

Бічна стінка / панель корпусу. Одна з бічних поверхонь печі, що є частиною загального корпусу. Зазвичай знімні панелі можуть надавати доступ до внутрішніх компонентів для обслуговування. Електродвигун / Привід системи циркуляції повітря (Вакуум-барабан) 2 – це двигун, який приводить в рух вентилятор (вакуум-барабан), що забезпечує циркуляцію гарячого повітря всередині робочої камери. Він відіграє ключову роль у рівномірному розподілі тепла.

Електродвигун / Привід обертання візка 3 – двигун, який забезпечує механізм обертання підвісного пристрою або платформи для візка з продукцією всередині печі. Це є однією з головних особливостей ротаційних печей, що гарантує рівномірне пропікання з усіх боків. Вентиляційна система може бути частиною загальної системи витяжки або припливно-витяжної вентиляції, яка забезпечує відведення надлишкової пари та відпрацьованого повітря з області над піччю.

Двері робочої камери 7 є великі, теплоізольовані. Через них завантажуються та вивантажуються візок з продукцією. Вони мають надійні запірні механізми та ущільнювачі для збереження герметичності та запобігання втратам тепла. Часто мають оглядове вікно. Ручка для зручного відкривання та закривання дверей робочої камери, яка також може мати функцію швидкого відкриття. Біля дверей завантажувальний трап, відкидний або висувний елемент, який полегшує завантаження та вивантаження важкого пекарського візка в піч та з неї.

Панель управління 10 містить усі електричні компоненти, реле, контактори та інше обладнання для керування роботою печі. Зазвичай закрита захисною кришкою. Панель керування 14 є основний інтерфейс для оператора, що містить

кнопки, перемикачі, регулятори та дисплей для встановлення параметрів випікання (температура, час, режим подачі пари, швидкість обертання). Додатковий вентилятор 9, що може використовуватися для охолодження компонентів печі, або як частина системи рециркуляції повітря.

Система для подачі пари в робочу камеру печі на початку процесу випікання. Пара сприяє формуванню глянцевої кірки, збільшенню об'єму виробу та запобіганню швидкому засиханню поверхні. Основний елемент нагріву, який спалює паливо (газ або дизельне паливо) для нагрівання повітря. Якщо піч електрична, то на цьому місці будуть розташовані електричні нагрівальні елементи (ТЕНи) або їх вентиляторний блок. Різноманітні датчики (температури, тиску) та інші компоненти системи автоматичного керування, які забезпечують безпечну та ефективну роботу печі.

Принцип роботи: Після завантаження візка з продукцією в робочу камеру, двері зачиняються. Система опалення (пальник або ТЕНи) нагріває повітря. Вентилятор (поз. 4) забезпечує інтенсивну циркуляцію гарячого повітря всередині камери, а механізм обертання (поз. 5) постійно обертає візок, гарантуючи рівномірне пропікання продукції з усіх боків. Система парозволоження (поз. 13) може подавати пару за заданою програмою. Пульт керування (поз. 10) дозволяє оператору налаштовувати всі параметри процесу.

Піч є типовим представником сучасного хлібопекарського обладнання, розробленого для високої продуктивності та якості випікання.

1.2. Аналіз патентних матеріалів та літературних джерел щодо ротаційних печей

Цей розділ роботи присвячений всебічному вивченню існуючих технічних рішень та наукових розробок у галузі ротаційних печей. Аналіз патентних матеріалів та літературних джерел є фундаментальним етапом дослідження, що дозволяє визначити поточний рівень розвитку технологій, виявити білі плями та невирішені проблеми, а також обґрунтувати актуальність запропонованих інновацій.

Грунтовне вивчення стану останнього рівня техніки у галузі ротаційних печей через призму патентних матеріалів та наукової літератури є першочерговим завданням. Воно дозволяє виявити вже існуючі запатентовані конструктивні рішення та технологічні підходи, які застосовуються у промислових ротаційних печах. Охоплення досліджень патентів стосуються загальної архітектури печей, механізмів обертання візка, систем нагріву (газових, електричних, дизельних), методів подачі пари, а також систем циркуляції повітря. Такий пошук дає можливість не тільки уникнути дублювання вже відомих рішень, але й ідентифікувати перспективні напрямки, що активно розвиваються провідними виробниками. Одночасно, глибокий аналіз наукової та технічної літератури (монографії, статті у фахових журналах, матеріали конференцій, дисертації) дозволяє виявити теоретичні основи функціонування ротаційних печей, проаналізувати чинні моделі тепломасообміну, визначити ключові фактори, що впливають на якість випікання та енергоефективність. Особлива увага приділяється дослідженням, що стосуються оптимізації повітряних потоків, роботи вентиляційних систем, питань енергозбереження та автоматизації процесів. Завдяки цьому комплексному аналізу виявляються як досягнення, так і нерозв'язані проблеми, такі як нерівномірність температурного поля, високе енергоспоживання, інтенсивний знос окремих вузлів, а також обмеження у контролі над процесом випікання. Узагальнення отриманих даних дозволяє чітко сформулювати проблему, обґрунтувати актуальність та шляхи ремонтних робіт запропонованих у даній роботі. Зокрема щодо вдосконалення функціонування критично важливих вузлів, таких як вакуум-барабан.

Патентні розробки в галузі ротаційних печей відображають постійне прагнення до підвищення енергоефективності, поліпшення якості випікання, автоматизації процесів, спрощення обслуговування та зниження експлуатаційних витрат. Нижче наведено типові напрямки інновацій, які є предметом патентування:

Системи рекуперації тепла: патентуються рішення, які передбачають використання тепла відпрацьованих газів або повітря для попереднього нагріву свіжого повітря, що подається в піч, або для інших потреб (наприклад, нагрів води). Це можуть бути спеціальні теплообмінники, інтегровані в димохідну систему. Патент на "Систему рекуперації тепла для хлібопекарської печі з вентилятором", де гарячі димові гази проходять через теплообмінник, що передає енергію вхідному холодному повітрю, зменшуючи навантаження на пальник та споживання палива.

Оптимізована геометрія робочої камери та повітроводів: розробки спрямовані на створення аеродинамічно ефективніших внутрішніх просторів печі та повітроводів, що мінімізує втрати тиску та забезпечує більш рівномірний розподіл повітря при меншому енергоспоживанні вентилятора. Патент на "Ротаційну піч з оптимізованим дизайном внутрішніх повітряних каналів та дефлекторів" забезпечує рівномірний потік гарячого повітря навколо всього об'єму візка, виключаючи "мертві зони".

Удосконалені системи теплоізоляції: патентуються нові композитні теплоізоляційні матеріали або багатошарові конструкції стінок печі, що забезпечують мінімальні втрати тепла через корпус. Патент на "Модульну теплоізоляційну панель для печей з низькою теплопровідністю". Дозволяє легко замінювати пошкоджені секції та покращує загальну енергоізоляцію.

Удосконалення систем циркуляції повітря (вакуум-барабан): Вакуум-барабани зі змінною геометрією лопатей: патентуються конструкції, де кут нахилу або форма лопатей вакуум-барабана може динамічно змінюватися під час роботи. Це дозволяє тонко налаштовувати характеристики повітряного потоку залежно від типу продукції та етапу випікання, оптимізуючи енергоспоживання та покращуючи якість. Патент на "Вакуум-барабан для печі з регульованими лопатями" дозволяє змінювати продуктивність та тиск повітряного потоку без зміни швидкості обертання двигуна або дозволяє працювати на оптимальній частоті двигуна.

Системи з подвійним або багаторівневим потоком повітря: розробки передбачають два або більше незалежних контури циркуляції повітря або можливість перемикання між ними, дозволяючи точніше контролювати розподіл тепла у вертикальному напрямку. Патент на "Ротаційну піч з роздільними зонами циркуляції повітря", де верхня та нижня частини камери мають незалежні або регульовані повітряні потоки для оптимізації випікання різноманітних виробів.

Матеріали для вакуум-барабанів з підвищеною зносостійкістю та термостійкістю: патентуються сплави, керамічні покриття або композитні матеріали, які значно збільшують термін служби валу, лопатей та підшипників, зменшуючи необхідність в обслуговуванні. Патент на "Лопать вентилятора для високотемпературної печі, виготовлену зі спеціального сплаву з нанокompозитним покриттям", забезпечує виняткову стійкість до абразивного зносу та корозії.

Дистанційний моніторинг та діагностика: дозволяють віддалено контролювати роботу печі, отримувати сповіщення про несправності та навіть виконувати діагностику через інтернет. Патент на "Систему віддаленого моніторингу та профілактичного обслуговування хлібопекарського обладнання з використанням IoT", дозволяє прогнозувати потенційні поломки вакуум-барабана за зміною вібрації або температури підшипників.

Модульні конструкції для швидкої заміни компонентів: патентуються печі, де вакуум-барабан, нагрівальні елементи або інші ключові вузли виконані у вигляді легкознімних модулів, що дозволяє значно скоротити час на ремонт та чистку. Патент на "Ротаційну піч зі швидкознімним модулем циркуляційного вентилятора", спрощує доступ для очищення та заміни. Розробки, що передбачають автоматичні цикли очищення внутрішніх поверхонь печі та компонентів, таких як вакуум-барабан, від жирових відкладень та нагару. Патент на "Систему автоматичної термічної очистки внутрішньої камери ротаційної печі".

Приклади ілюструють, що патентна діяльність у галузі ротаційних печей спрямована на комплексне вдосконалення, де кожен елемент, особливо такий критичний як вакуум-барабан, постійно оптимізується для підвищення загальної ефективності та надійності обладнання.

Порівняльний аналіз конструктивних рішень ротаційних печей дозволяє оцінити різноманітність інженерних підходів до створення ефективного та надійного обладнання для хлібопекарської та кондитерської промисловості. Основні відмінності зосереджуються на системах нагріву, механізмах обертання візка, системах циркуляції повітря та парозволоження, а також на загальній компоновці та енергоефективності.

1. За Типом нагріву: газові печі. Переваги: висока швидкість нагріву, економічність експлуатації за наявності доступу до дешевого природного газу, відносно низькі експлуатаційні витрати. *Недоліки:* необхідність підключення до газової магістралі, підвищені вимоги до безпеки (системи контролю витоку газу, вентиляції), потреба у димоході для відведення продуктів згоряння, залежність від стабільності тиску газу. Конструктивні особливості: наявність газового пальника, системи газопостачання та відведення димових газів.

2. Електричні печі. Переваги: екологічність (відсутність викидів продуктів згоряння), простота монтажу та експлуатації, точний контроль температури завдяки електричним ТЕНам, не потребують димоходу (лише витяжка пари). Недоліки: високе енергоспоживання та, як наслідок, значні експлуатаційні витрати при високих тарифах на електроенергію, потреба у потужній електричній мережі. Конструктивні особливості: розміщення ТЕНів у повітряних каналах, наявність потужного електричного щита.

3. Дизельні (рідкопаливні) печі. Переваги: автономність від газових магістралей, можливість використання у віддалених регіонах. Недоліки: висока вартість палива, потреба у сховищах для дизельного палива, складніша система очищення та обслуговування пальника, значніші викиди продуктів згоряння порівняно з газом, характерний запах. Конструктивні особливості: наявність дизельного пальника, паливного бака, системи подачі палива.

2. За механізмом обертання візка: платформні (з обертовою платформою). Переваги: забезпечують стабільне обертання, менш чутливі до дисбалансу візка, зручні для завантаження важких візків. Недоліки: складніший механізм, що вимагає обслуговування (підшипники платформи), може займати більше простору в нижній частині печі. Конструктивні особливості: наявність поворотної платформи на підлозі камери, яка приводиться в рух двигуном через редуктор. Підвісні (з гаком або кріпленням вгорі): **переваги:** економія простору на підлозі камери, простіший механізм завантаження візка (візок просто "зачіпається" за гак), легше підтримувати чистоту підлоги печі. Недоліки: більша чутливість до дисбалансу візка, що може призвести до вібрацій, підвищене навантаження на верхні підшипники та кріплення. Конструктивні особливості: наявність штанги з гаком у верхній частині камери, яка обертається двигуном. Візкові (безпосереднє обертання візка): **переваги:** максимально проста конструкція, візок встановлюється на спеціальні рейки або опори і обертається. Недоліки: можуть бути менш рівномірними в обертанні, візок повинен бути спеціально адаптований, менш поширені у великих промислових печах.

3. За Системою циркуляції повітря та вакуум-барабаном: З одним центральним вакуум-барабаном (найбільш поширений). Переваги: відносна простота конструкції, компактність. Недоліки: може бути важко досягти абсолютної рівномірності потоку по всьому об'єму камери, особливо у великих печах, що вимагає точного розрахунку дефлекторів та повітряних каналів. Конструктивні особливості: один потужний вакуум-барабан, розташований, як правило, у верхній або бічній частині теплового блоку. З кількома вакуум-барабанами або зональними вентиляторами: **переваги:** дозволяє більш точно контролювати розподіл повітря в різних зонах камери, що покращує рівномірність випікання для різних типів продукції. Недоліки: складніша конструкція, збільшена кількість двигунів та компонентів, що може підвищити вартість та вимоги до обслуговування. Конструктивні особливості: два або

більше вакуум-барабани, або один барабан з диференційованими каналами подачі повітря.

З вакуум-барабанами зі змінною геометрією лопатей або регульованою швидкістю: **переваги:** Максимальна гнучкість у налаштуванні повітряного потоку, оптимізація енергоспоживання, можливість адаптації до різних етапів випікання. **Недоліки:** вища складність механізму, потенційно вища вартість, потреба в складнішій системі керування (частотні перетворювачі). **Конструктивні особливості:** наявність сервоприводів або механізмів для зміни кута лопатей, або інтеграція з частотним перетворювачем для двигуна.

4. Парогенератори з непрямым нагрівом (трубчасті або каскадні): **Переваги:** висока якість пари (перегріта пара), рівномірний розподіл, кращий контроль над об'ємом пари. **Недоліки:** складніша конструкція, потреба у регулярному очищенні від накипу, більший час для нагріву.

5. За конструкцією корпусу та теплоізоляції: **Зварні корпуси:** **Переваги:** висока міцність, герметичність, довговічність. **Недоліки:** Складність ремонту або заміни окремих секцій, вимагає спеціального обладнання для транспортування та монтажу. **Модульні корпуси (панельні):** **Переваги:** простота монтажу та демонтажу, можливість легкої заміни пошкоджених секцій, зручність транспортування, дозволяє використовувати різні типи ізоляції. **Недоліки:** може вимагати більшої кількості ущільнювачів для забезпечення герметичності, потенційно вища вартість виробництва окремих модулів.

Вибір оптимального конструктивного рішення ротаційної печі залежить від багатьох факторів: типу продукції, необхідної продуктивності, доступних енергоносіїв, бюджету на придбання та експлуатацію, а також вимог до якості та автоматизації. Сучасні тенденції спрямовані на поєднання енергоефективності, гнучкості налаштування процесів (особливо через управління циркуляцією повітря) та зручності в обслуговуванні, що часто досягається за рахунок інтеграції передових систем автоматизації та модульних конструкцій.

Комплексний аналіз існуючих патентних матеріалів та літературних джерел, присвячених ротаційним печам, попри значні досягнення в галузі

теплотехніки, автоматизації та матеріалознавства, дозволяє чітко ідентифікувати низку нерозв'язаних або недостатньо вивчених проблем, які формують "прогалини" у поточних знаннях та технологіях. Ці прогалини є критично важливими, оскільки вони безпосередньо впливають на ефективність, надійність та екологічність експлуатації печей, а також на стабільність якості випікаємої продукції.

Загальний опис технології виготовлення хліба. Процес виготовлення хліба включає послідовність операцій, що забезпечують отримання якісного, безпечного і стабільного за характеристиками продукту. Основні етапи: підготовка сировини, замішування тіста, бродіння, оброблення, вистоювання, випікання та охолодження. Таблиця 1.1 з основними технологічними етапами виготовлення хліба та відповідними параметрами для кожного з них, з урахуванням випікання в ротаційній печі.

1. *Підготовка сировини.* До складу рецептури хліба входять: пшеничне або житнє борошно, вода, дріжджі або закваска, сіль, цукор (за потреби), інші інгредієнти (олія, поліпшувачі, ферменти). Сировину очищають, дозують і направляють у тістомісильну машину.

2. *Замішування тіста.* У тістомісильному обладнанні компоненти змішуються до утворення однорідної маси. Заміс може бути інтенсивним або традиційним (в залежності від технології). У процесі формуються клейковинні зв'язки, що забезпечують еластичну структуру тіста.

Таблиця 1.1. Технологічні етапи виробництва хліба та їх параметри

Етап технології	Основні операції	Температура	Тривалість	Інші параметри
Підготовка сировини	Очищення, зважування, просіювання борошна	Кімнатна (20–25 °C)	5–15 хв	Вологість борошна: 14–15%
Замішування тіста	Змішування сировини у тістомісильній машині	22–28 °C	8–20 хв (в залежності від виду тіста)	Оптимальна вологість тіста: 42–48%
Бродіння тіста	Ферментація в чанах або ваннах	28–30 °C	60–180 хв	Кислотність: 2.5–3.5°N

Етап технології	Основні операції	Температура	Тривалість	Інші параметри
Оброблення тіста	Поділ, округлення, формування	Кімнатна	10–20 хв	Маса заготовок: 200–1000 г
Вистоювання (розстій)	Остаточне бродіння заготовок перед випіканням	35–40 °C	45–60 хв	Відносна вологість повітря: 75–85%
Випікання в ротаційній печі	Посадка, термічна обробка, подача пари	200–240 °C	25–60 хв	Подача пари на початку: 5–10 сек
Охолодження	Природне або примусове охолодження	Навколишнє середовище	1–2 години	До температури м'якуша: 30–35 °C

3. Бродіння тіста. Тісто відправляється у ферментаційний відсік або бродильну камеру. Протягом певного часу (30–180 хв, залежно від рецептури) дріжджі розкладають цукри, виділяючи вуглекислий газ. Це сприяє розпушуванню і збагаченню тіста ароматичними речовинами.

4. Оброблення тіста. Після бродіння тісто ділять на шматки потрібної маси, формують за заданою формою (батон, круглий, подовжений) і розміщують у форми або на листи. Потім тістові заготовки спрямовують на вистоювання.

5. Вистоювання. На цьому етапі тістові заготовки розміщуються в остаточній розстійній шафі (при температурі 35–40 °C і вологості 75–85%). Мета – дати тісту достатньо часу для розпушення, щоб майбутній хліб мав потрібний об'єм та пористість.

6. Випікання в ротаційній печі. Ротаційна піч – це термічне обладнання з обертовим стелажем, що дозволяє рівномірно пропікати вироби за рахунок конвективного теплообміну. Особливості випікання:

- Температура: 200–240 °C (в залежності від типу хліба).
- Тривалість: 25–60 хв.
- Режим подачі пари: під час посадки тіста для формування блискучої скоринки.

- Вентилятори і система обертання забезпечують рівномірне пропікання з усіх боків.

Переваги ротаційної печі: висока продуктивність; рівномірна якість випічки; зручність завантаження/вивантаження заготовок.

7. Охолодження. Готовий хліб вивантажується і залишаються для охолодження до температури 30–35 °С. Це необхідно для стабілізації м'якуша та уникнення утворення конденсату при пакуванні.

Технологія виготовлення хліба з використанням ротаційної печі дозволяє досягти стабільної якості продукції при зниженні витрат праці. Такий спосіб особливо ефективний у середніх та великих пекарнях завдяки автоматизації процесів і універсальності обладнання.

1.3. Мета і задачі комплексної роботи

Метою даної роботи є розроблення технології ремонту та монтажу, технічного обслуговування технологічного обладнання хлібопекарної печі типу Ротор-Агро. Цей розділ є підґрунтям для формування гіпотез розробки нових конструктивних рішень ремонту та обслуговування, що підвищують ефективність і надійність вакуум-барабана хлібопекарської печі Ротор-Агро. Особливим акцентом на оптимізацію роботи критично важливих компонентів, таких як валу вакуум-барабан.

Актуальність: ефективність роботи хлібопекарських печей, зокрема ротаційних моделей "Ротор-Агро", напряму залежить від належного функціонування системи циркуляції повітря. Ключовим елементом цієї системи є вакуум-барабан, який забезпечує рівномірний розподіл тепла та оптимальний тепломасообмін. Однак, в умовах інтенсивної експлуатації та впливу високих температур, вакуум-барабан піддається значному зносу, що призводить до поломок, зниження ефективності печі, підвищення енергоспоживання та, як наслідок, до простоїв виробництва. Своєчасний та кваліфікований ремонт, а також точний розрахунок параметрів ремонтуваних або виготовлених елементів

вакуум-барабана, є критично важливими для відновлення працездатності обладнання та забезпечення стабільності технологічного процесу.

Метою бакалаврської роботи є розробка методики розрахунку та обґрунтування технології ремонту вакуум-барабана хлібопекарської печі "Ротор-Агро" для відновлення його експлуатаційних характеристик та забезпечення надійної роботи печі. Основними задачами бакалаврської роботи

для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проведення аналізу основних технічних засобів і сучасних технологічних методів проведення монтажних і ремонтних робіт;

- розробка структури ремонтного циклу і системи ППР на ремонт печі Ротор-Агро;

- розроблення технологічного процесу монтажу хлібопекарної печі Ротор-Агро;

- розроблення технології ремонту і випробування хлібопекарної печі Ротор-Агро;

- проаналізувати конструкцію вакуум-барабана хлібопекарської печі "Ротор-Агро", вивчивши його основні елементи, принцип дії та взаємодію з іншими вузлами печі. Визначити типові несправності та види зносу елементів вакуум-барабана (валу, лопатей, підшипникових опор) печей "Ротор-Агро", а також виявити їх основні причини.

- розроблення технології розбирання і складання вузла привідного механізму хлібопекарної печі Ротор-Агро;

- розроблення технологічного процесу механічної обробки або відновлення деталі типу корпус привідного механізму **вакуум-барабана** хлібопекарної печі Ротор-Агро;

- виконати інженерні розрахунки ключових параметрів валу та лопатей вакуум-барабана (на міцність, жорсткість, вібраційну стійкість, балансування) з урахуванням експлуатаційних навантажень та температурних режимів.

- розробити технологічний процес ремонту валу та/або лопатей вакуум-барабана, включаючи вибір методів відновлення (наплавлення, шліфування, заміна), вибір матеріалів та технологічного обладнання.

- обґрунтувати техніко-економічну доцільність запропонованих ремонтних рішень, порівнявши витрати на ремонт з вартістю придбання нового вакуум-барабана та оцінивши потенційний ефект від відновлення працездатності печі.

- надати рекомендації щодо експлуатації та профілактичного обслуговування вакуум-барабана для продовження його ресурсу та запобігання передчасному зносу.

2. Обґрунтування конструкції і розрахунки вакуум-барабана хлібопекарської печі "Ротор-Агро"

2.1. Проектування конструкції вузла вакуум-барабана системи циркуляції повітря хлібопекарської печі

Цей розділ роботи присвячений детальному розгляду конструкції та інженерно-технічних аспектів проектування вузла вакуум-барабана, який є ключовим елементом системи циркуляції повітря хлібопекарської печі "Ротор-Агро". Метою аналізу є отримання повного уявлення про його будову, принцип функціонування, ключові елементи, використовувані матеріали та характерні особливості, що безпосередньо впливають на його експлуатаційні характеристики та схильність до зносу. Поглиблений аналіз існуючого проекту є необхідною передумовою для обґрунтування подальших розрахунків та розробки ефективних ремонтних рішень.

Вакуум-барабан є серцевиною системи примусової циркуляції повітря в ротаційній печі "Ротор-Агро". Він розташовується у **тепловому блоці** печі, який, як правило, знаходиться позаду або зверху від робочої камери. Його основна функція полягає у створенні необхідного аеродинамічного потоку, що забезпечує рівномірне розподіл нагрітого повітря по всьому об'єму камери, де обертається візок з випікаючою продукцією. Завдяки цій циркуляції відбувається ефективна теплопередача від нагрівальних елементів до продукту, а також видалення надмірної вологи, що є запорукою якісного та однорідного пропікання. Правильне функціонування вакуум-барабана критично важливе для уникнення "холодних зон", підвищення ККД печі та запобігання нерівномірності випікання. Опис та аналіз базової конструкції вакуум-барабана (рис.2.1), що використовується в печах "Ротор-Агро".

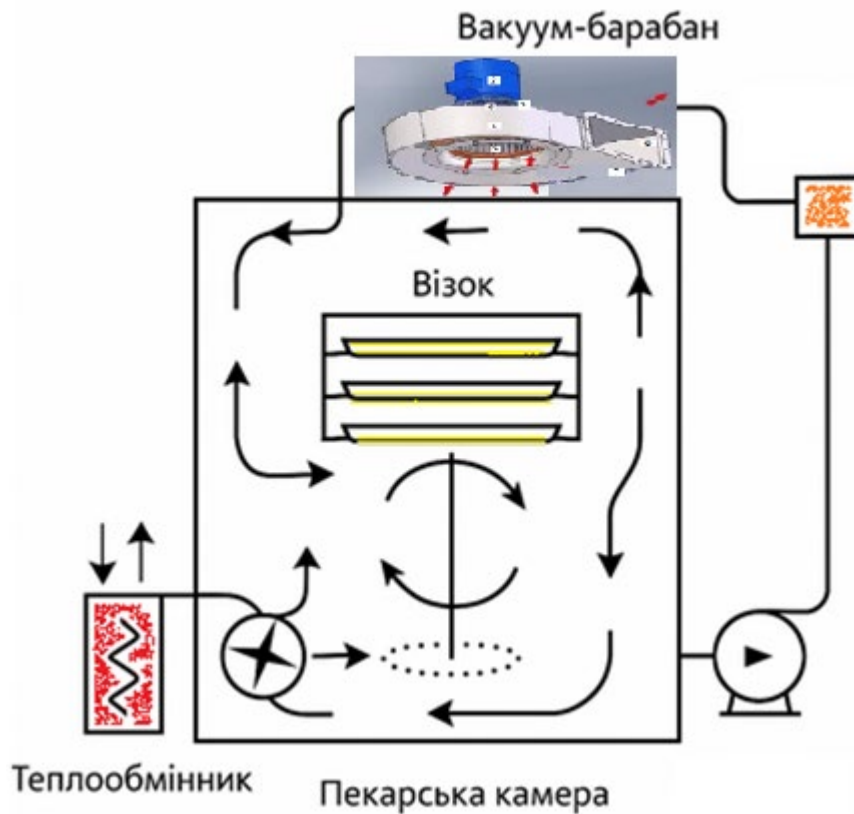


Рис. 2.1. Система примусової циркуляції повітря в ротаційній печі "Ротор-Агро" при дії вакуум-барабан

Базова конструкція вакуум-барабана, що застосовується в промислових хлібопекарських печах серії "Ротор-Агро" подана на рис.2.2..

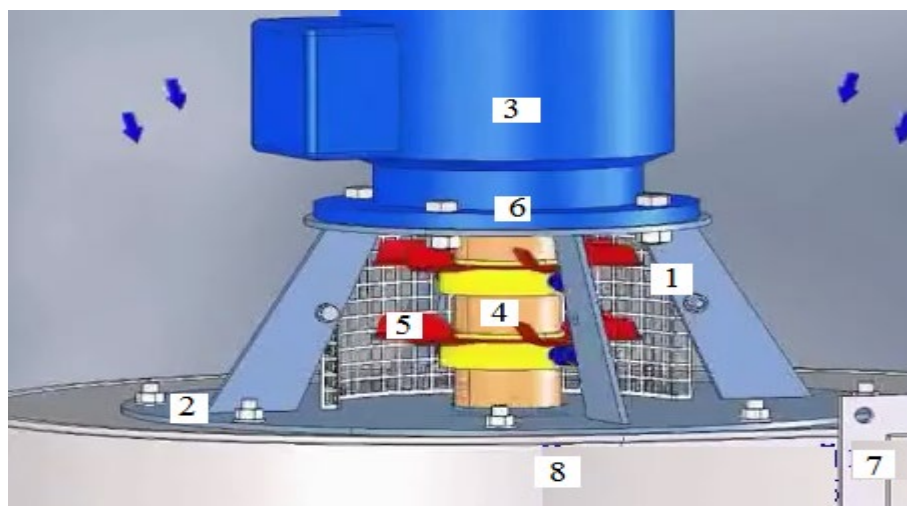


Рис.2.2. Базова конструкція вакуум-барабана: 1 – корпус; 2 - елементи кріплення; 3 – двигун; 4 – вал; 5 - лопаті нагнітання; 6 – підшипникові опори; 7 – фланець нагнітання; 8 – барабан із лопатями

Конструкція вакуум-барабана печі "Ротор-Агро" типово включає такі взаємодіючі компоненти:

- **1. Корпус (кожух, улитка):** Оболонка, що оточує обертові елементи барабана. Корпус має спеціальну спіральну або циліндричну форму, що забезпечує оптимальний вхід та вихід повітряного потоку, направляючи його до повітроводів робочої камери печі. Він також слугує опорою для підшипникових вузлів.
- **2. Елементи кріплення:** Різноманітні болти, гайки, шпонки, зварні шви, що з'єднують лопаті з валом, вал з приводом, а також фіксують корпус барабана та підшипникові опори.
- **3. Привід:** Електричний двигун (як правило, асинхронний) з редуктором або без нього, який передає обертання валу вакуум-барабана. Частота обертання двигуна може регулюватися за допомогою частотного перетворювача для зміни інтенсивності циркуляції повітря.
- **4. Вал (вісь):** Центральний елемент, що обертається, на якому закріплюються лопаті (крильчатка). Вал передає крутний момент від привідного двигуна та сприймає навантаження від ваги крильчатки та аеродинамічного опору. Його точна геометрія та міцність є критично важливими.
- **5. Лопаті (крильчатка):** Система робочих елементів, які, обертаючись разом із валом, захоплюють повітря та надають йому необхідну швидкість та напрямок. Кількість, форма, розміри та кут нахилу лопатей визначають аеродинамічні характеристики вакуум-барабана (продуктивність, тиск). Лопаті можуть бути зварними або кріпитися до валу за допомогою шпонок або інших роз'ємних з'єднань.
- **6. Підшипникові опори (підшипниковий вузол):** Вузли, що забезпечують підвіс та вільне обертання валу з крильчаткою. Вони складаються з корпусу, підшипників (як правило, високотемпературних, роликових або кулькових), ущільнювачів та системи змащення (якщо передбачено). Ці опори сприймають радіальні та осьові навантаження.

Для забезпечення надійної роботи вакуум-барабана в умовах високих температур (до 300°C і вище) та впливу агресивних випарів (волога, жири, органічні кислоти) виробник "Ротор-Агро" обирає специфічні матеріали:

- **Вал та лопаті:** виготовляються з жароміцних нержавіючих сталей (наприклад, AISI 304, AISI 310, або аналогів), які демонструють високу міцність при підвищених температурах, добру корозійну стійкість до агресивного середовища випікання, а також здатність витримувати циклічні термічні та механічні навантаження. Вибір конкретної марки сталі залежить від максимальних робочих температур та інтенсивності впливу агресивних речовин.
- **Корпус:** виготовлений як зі звичайної конструкційної сталі з антикорозійним покриттям (у менш навантажених зонах), так і з нержавіючої сталі, особливо в місцях контакту з гарячим повітрям та конденсатом.
- **Підшипники:** використовуються спеціальні високотемпературні підшипники, розраховані на роботу в умовах значного нагріву та високих обертальних швидкостей. Вони мають особливу конструкцію та використовують спеціальні мастила (або працюють без змащення), що зберігають свої властивості при екстремальних температурах.

На основі експлуатаційного досвіду та літературних даних, можна виділити типові "слабкі місця" конструкції вакуум-барабана "Ротор-Агро", які найчастіше призводять до необхідності ремонту: зношування валу, особливо в місцях посадки підшипників або в зонах кріплення крильчатки (через тертя, вібрації, корозію); деформація або відрив лопатей спричинено втомним руйнуванням металу, корозією, нерівномірним нагріванням, механічними пошкодженнями (потрапляння сторонніх предметів) або ослабленням зварних швів/кріплень; вихід з ладу підшипникових опор через перегрів, недостатнє або неякісне змащення, потрапляння забруднень, або перевищення допустимих навантажень, що призводить до руйнування сепараторів, кульок/роликів; дисбаланс крильчатки виникнути через нерівномірне налипання продуктів

випікання (жири, борошно), деформації лопатей або зносу валу, що призводить до підвищеної вібрації та прискореного зносу всіх елементів вузла; корозійне руйнування елементів в зонах скупчення конденсату або впливу агресивних кислот, що утворюються під час випікання.

Цей детальний аналіз існуючої конструкції є відправною точкою для подальших розрахунків та розробки конкретних технологій ремонту, спрямованих на відновлення функціональності та продовження терміну служби вакуум-барабана печі "Ротор-Агро".

2.1.1. Обґрунтування конструктивних рішень базової конструкції вакуум-барабана

З урахуванням результатів патентного та літературного аналізу, що визначає сучасні тенденції та ефективні підходи до вирішення подібних проблем, проводимо обґрунтування вибору конкретних технічних рішень для ремонту та відновлення працездатності вузла вакуум-барабана печі "Ротор-Агро". Метою обґрунтування є вибір найбільш доцільних, економічно вигідних та технічно здійсненних методів ремонту, які дозволять не тільки відновити функціональність вакуум-барабана, але й, за можливості, підвищити його надійність та ресурс.

Процес обґрунтування включає:

1. *Аналіз виявлених дефектів та зносу.* Виходячи з типових несправностей, описаних раніше (зношування валу в місцях посадки підшипників, деформація/відрив лопатей, вихід з ладу підшипників, дисбаланс), визначаються конкретні деталі, які потребують ремонту або заміни.
2. *Розгляд альтернативних методів ремонту.* Для кожної групи дефектів (наприклад, для зношених поверхонь валу, для пошкоджених лопатей) розглядаються різні можливі технології відновлення:
 - відновлення зношених поверхонь валу. Наплавлення (електродугове, газове, вібродугове), гальванічне осадження (хромування), металізація, застосування полімерних композитів.

- відновлення або заміна лопатей. Виправлення деформацій, зварювання тріщин, заміна окремих пошкоджених лопатей, виготовлення нового комплексу лопатей.
- ремонт або заміна підшипникових вузлів. Заміна підшипників, відновлення посадкових місць, модернізація системи змащення або ущільнень.
- балансування. Статичне та динамічне балансування після будь-яких втручань у конструкцію крильчатки.

3. *Технічна оцінка та порівняння рішень.* Кожен варіант ремонту оцінюється за такими критеріями:

- відновлюваність – наскільки повно відновлюються початкові характеристики деталі;
- надійність та ресурс – який термін служби можна очікувати після ремонту, чи не призведе ремонт до появи нових "слабких місць";
- технологічність – чи є можливість реалізувати даний метод ремонту в умовах типового ремонтного підприємства (наявність обладнання, кваліфікація персоналу);
- якість – чи забезпечує обраний метод необхідні характеристики поверхні, точність розмірів тощо;
- можливість підвищення параметрів – чи є можливість при ремонті застосувати кращі матеріали або змінити геометрію для підвищення зносостійкості або ефективності без суттєвого перепроектування;

4. *Економічне обґрунтування.* Проводиться порівняльний аналіз витрат на кожен з розглянутих методів ремонту (вартість матеріалів, робіт, час простою обладнання) з вартістю придбання нової оригінальної деталі або вузла. Обґрунтовується, наскільки обране ремонтне рішення є економічно вигідним.

5. *Екологічні та безпекові аспекти.* Враховується вплив обраних технологій ремонту на навколишнє середовище та безпеку персоналу.

За результатами цього обґрунтування формуємо конкретний перелік рекомендованих конструктивних та технологічних рішень для ремонту вакуум-барабана, який буде детально описаний у наступних параграфах роботи, включаючи відповідні розрахунки та креслення. Цей підрозділ, по суті, є містком між аналізом існуючого стану та безпосередньою розробкою ремонтних технологій.

2.1.2. Конструктивні розрахунки основних елементів вузла вакуум-барабана примусової циркуляції печі "Ротор-Агро"

2.1.2.1. Аналіз структури приводу вентилятора хлібопекарної печі "Ротор-Агро"

Створення будь-якого вузла, зокрема приводу вентилятора, починається з представлення його структури у вигляді структурної схеми. На цій схемі умовні позначення та лінії відображають послідовність передачі руху, починаючи від джерела енергії (електродвигуна) і закінчуючи робочими органами або виконавчими механізмами. У випадку приводу вентилятора печі "Ротор-Агро", вентилятор приводиться в рух електродвигуном. Рух від електродвигуна передається через ряд послідовних передач:

В цьому випадку, ККД муфти (якщо вона є) буде впливати на передачу потужності, але не на передаточне число. Надана модель (рис.2.1 і 2.2) зображення чітко показує прямий привід або привід через муфту між електродвигуном та робочими колесами вентилятора. Тому, для подальших розрахунків, слід приймати, що частота обертання вентилятора дорівнює 1370 об/хв, якщо не буде надано додаткових підтверджень про інтегрований редуктор.

Якщо припустити, що 1370 об/хв - це частота обертання вентилятора:

- Потужність двигуна (N): 2.2 кВт
- Частота обертання вентилятора ($\omega_{\text{вен}}$): 1370 об/хв

Для розрахунку приводу обираємо [5] електродвигун 4А71АЧУЗ ГОСТ 19523-74 з такими параметрами:

- Потужність двигуна (N): 2.2 кВт.

- Частота обертання ротора двигуна (ω_d): 1370 об/хв.
- Частота веденого валу (ω_v): 920 об/хв.

Переводимо частоту веденого валу в радіани за секунду:
 $\omega_v = 920 \text{ об/хв} = 60920 \cdot 2\pi \approx 96.34 \text{ рад/с}$

Крутний момент, що створюється на валу двигуна:

Використовуємо формулу для крутного моменту двигуна: $M_d = \omega_d 9550 \cdot N$

де N – потужність двигуна в кВт, ω_d – частота обертання ротора в об/хв.

$$M_d = 1370 \text{ об/хв} 9550 \cdot 2.2 \text{ кВт} \approx 15.34 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Крутний момент вала:

$$T_3 = 920 N_3 / n_3, \text{ об/хв}$$

$$N_3 = N_2 \eta_1, \text{ кВт},$$

Ми розглядаємо крутний момент на виході двигуна. Його можна розрахувати за формулою: $M_{\text{вих}} = \omega_{\text{вих}} 9550 \cdot N_{\text{вих}}$

де $N_{\text{вих}}$ – потужність на виході двигуна,

$\omega_{\text{вих}}$ – частота обертання вихідного валу.

Або, якщо ми знаємо крутний момент двигуна та передаточне число (i_m), а також ККД (η_m): $M_m = M_d \cdot i_m \cdot \eta_m$

З наших даних:

- η_m (ККД муфти) припустимо, що $\eta_m = 0.98$ для типових значень.
- Наведена формула для крутного моменту використовує N та $\omega_{\text{вих}}$.
- $N_{\text{вих}} = N \cdot \eta_m \cdot \eta_p = 2.2 \text{ кВт} \cdot 0.98 \cdot 0.95 \approx 2.05 \text{ кВт}$
- Передаточне число (i_m) визначається як відношення частот обертання двигуна до веденого валу: $i_m = \omega_v \omega_d = 920 \text{ об/хв} 1370 \text{ об/хв} \approx 1.49$

Тепер розрахуємо крутний момент, що створюється, використовуючи формулу, що базується на вихідних даних: $M_{m(\text{вих})} = \omega_{\text{вих}} 9550 \cdot N_{\text{вих}}$

$$M_{m(\text{вих})} = 920 \text{ об/хв} 9550 \cdot 2.05 \text{ кВт} \approx 21.28 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Крутний момент валу (ймовірно, робочого валу або валу вентилятора):

Зазвичай, після муфти, наступні передачі також мають свій ККД та передаточне число. Якщо припустити, що:

- $N_{\text{кінцевий}}$ - потужність на кінцевому робочому валу.

- $\omega_{\text{кінцевий}}$ - частота обертання кінцевого робочого валу.
- $i_{\text{передачі}}$ - передаточне число наступної передачі.

І крутний момент на кінцевому валу: $M_{\text{кін}} = \omega_{\text{кін}} 9550 \cdot N_{\text{кін}}$

Крутний момент на валу вентилятора ($M_{\text{вен}}$):

$$M_{\text{вен}} = \omega_{\text{вен}} 9550 \cdot N$$

$$M_{\text{вен}} = 1370 \text{ об/хв} 9550 \cdot 2.2 \text{ кВт} \approx 15.34 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

2.1.2.2. Розрахунок продуктивності печі "Ротор-Агро"

Для розрахунку продуктивності печі "Ротор-Агро" необхідно врахувати кількість виробів, які можна одночасно випікати, та час випікання.

Розмір листів становить 800х600 мм. Для "Дарницького" хліба:

- Діаметр хліба: 20-22 см (прийmemo 20 см або 200 мм).
- Відстань між виробами (припустимо): 30 мм.
- Кількість хлібин по довжині листа: $(800-30)/(200+30)=770/230 \approx 3.35$ (округлюємо до 3 хлібин).
- Кількість хлібин по ширині листа: $(600-30)/(200+30)=570/230 \approx 2.47$ (округлюємо до 2 хлібин).
- Загальна кількість хлібин на одному листі: $3 \times 2 = 6$ хлібин.
- Для булочок:
 - Довжина булочки: 55 мм, ширина булочки: 47 мм.
 - Відстань між виробами (припустимо): 20 мм.

Кількість булочок по довжині листа: $(800-20)/(47+20)=780/67 \approx 11.64$ (округлюємо до 11 булочок). Кількість булочок по ширині листа: $(600-20)/(55+20)=580/75 \approx 7.73$ (округлюємо до 7 булочок).

Загальна кількість булочок на одному листі: $11 \times 7 = 77$ булочок.

Для розрахунку добової продуктивності необхідні додаткові дані, такі як: кількість ярусів (візків) у печі; кількість листів на одному візку; тривалість циклу випікання (включаючи завантаження, випікання, розвантаження). Припустимо, що піч може випікати 15,34 кг/цикл для хліба та **160,2** кг/цикл для

булочок (виходячи з наданих вихідних даних про продуктивність в кілограмах за цикл, які, ймовірно, включають вагу одного виробу та кількість листів/візків).

Кількість циклів на добу: 144 (для хліба) та 15,34 (для булочок) - *це кількість циклів за добу.*

Добова продуктивність по хлібу:

$$P_x = 15.34 \text{ кг/цикл} \times 144 \text{ цикли/доба} = 2208.96 \text{ кг/доба} \approx 2.2 \text{ т/доба}$$

Добова продуктивність по булочкам:

$$P_b = 160.2 \text{ кг/цикл} \times 15.34 \text{ цикли/доба} = 2457.4 \text{ кг/доба} \approx 2.4 \text{ т/доба}$$

Кількість необхідних теплових ресурсів.

Розрахунок електроенергії базується на активній потужності обладнання та освітлення, а також річному споживанні. Активна потужність для кожного типу обладнання визначається за формулою: $P_a = P_{\text{вст}} \cdot K_{\text{п}}$

де: $P_{\text{вст}}$ – встановлена потужність обладнання (з паспорта);

$K_{\text{п}}$ – коефіцієнт попиту.

Оскільки у наших даних не вказано $P_{\text{вст}}$ та $K_{\text{п}}$ для окремого обладнання, а також не вказана сумарна активна потужність (вона має бути розрахована), приймаємо, що надане значення 1194 кВт вже є сумарною активною потужністю.

$$P_{a\Sigma} = \Sigma P_{ai} = 0,07 + 0,03 + 2,2 + 1,23 + 2,3 + 0,13 = 5,96$$

Виходячи з наданих даних, річне споживання електроенергії обладнанням ($W_{\text{обл}}$) становить:

$$W_{\text{обл}} = 1194 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

$$\text{Питома потужність на освітлення: } P_{\text{аосв}} = 15 \text{ Вт/м}^2.$$

Площа приміщення (F_y) з попередніх розрахунків (або припустимо, що це 576 м²).

Тоді необхідна потужність на освітлення становитиме:

$$P_{\text{аосв,р}} = P_{\text{осв}} \cdot F_y = 15 \text{ Вт/м}^2 \cdot 576 \text{ м}^2 = 8640 \text{ Вт} = 8.64 \text{ кВт}$$

Річне споживання електроенергії на освітлення ($W_{\text{осв}}$) розраховується за формулою: $W_{\text{обл}} = \Sigma P_a \cdot \Phi_{\text{д}} \cdot \eta_z = 5,96 \cdot 264 \cdot 0,75 = 1194$ – кількість годин роботи на рік (припустимо, 264 години/рік).

$$W_{\text{осв}} = 8.64 \text{ кВт} \cdot 264 \text{ год/рік} = 2280.96 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Сумарна річна потреба в електроенергії (W) дорівнює сумі річного споживання обладнанням та освітленням:

$$W = W_{\text{осв}} + W_{\text{обл}} = 2280.96 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік} + 1194 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік} = 3474.96 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Отже, сумарна річна потреба в електроенергії становить приблизно 3475 кВт·год/рік.

На підприємстві пара використовується переважно для опалення приміщень та вентиляції, оскільки в цеху виготовлення хлібобулочних виробів у технологічних процесах пара не задіяна.

Витрата пари на опалення та вентиляцію розраховується за формулою:

$$P_{\text{пр}} = \frac{q_m \cdot H \cdot V}{i \cdot 1000}$$

де: q_m – питома теплота пароутворення, яка варіюється від 25 до 35 ккал/(год·м³). Візьмемо середнє значення 30 ккал/(год·м³);

H – кількість годин роботи цеху в опалювальний сезон: 4320 год/рік;

i – ентальпія пари: 540 ккал/кг.

V – об'єм приміщення цеху: $V = F \cdot h = 576 \text{ м}^2 \cdot 8.4 \text{ м} = 4838.4 \text{ м}^3$.

Підставляємо значення у формулу:

$$P_{\text{пр}} = \frac{q_m \cdot H \cdot V}{i \cdot 1000} = \frac{30 \cdot 4320 \cdot 4838}{540 \cdot 1000} = 1162 \text{ кг/рік}$$

Отже, річна потреба в парі для цеху становить приблизно 1161941 кг/рік (або 1161.94 тон/рік).

2.1.2.3. Тепловий розрахунок печі

Тепловий баланс пекарної камери складається для розрахунку витрат теплоти, необхідної на випікання 1 кг готового хліба. Витрати теплоти на випікання визначаються з урахуванням випаровування вологи, нагрівання м'якиша, скоринки, а також витрат на утворення водяної пари в камері. Загальна формула витрат теплоти на випікання має вигляд:

$$q_1 = W_{\text{вип}}(i_{\text{нп}} - i_{\text{в}}) + q_{\text{к}} c_{\text{к}}(t_{\text{к}} - t_{\text{м}}) + (q_{\text{м}} c_{\text{м}} + W_{\text{м}} c_{\text{м}})(t_{\text{м}} - t_{\text{в}}); \quad \text{Дж/кг гарячого хліба,}$$

де: W – кількість води, яка випаровується з тіста під час випікання, % (зазвичай 3–5%);

i_n – ентальпія перегрітої пари при температурі в печі, кДж/кг (при 250 °C: $i_n=2970$ кДж/кг);

i_v – ентальпія води при температурі тіста (наприклад, при $t_{v37} = 37$ °C: $t_{v37}=37$ °C):

$$i_v = c_v \cdot t_v = 4.19 \cdot 37 = 155.03 \text{ кДж/кг};$$

A – масова частка скоринки, % (зазвичай 10–15%);

c – теплоємність сухих речовин скоринки, кДж/(кг·°C), приблизно 1.675;

c_m – теплоємність м'якиша, кДж/(кг·°C), приблизно 2.512;

t_c – температура скоринки наприкінці випікання, зазвичай 180–200 °C;

t_m – температура м'якиша (90–98 °C);

t_v – температура тіста перед посадкою (35–40 °C);

c_v – питома теплоємність води (4.19 кДж/(кг·°C)).

Вихідні дані:

Параметр		Значення
Маса тіста за одну загрузку		100 кг
Вологість тіста		30%
Температура випікання		250 °C
Початкова температура тіста		25 °C
Площа огороження печі		12 м²
Маса одного візка		150 кг
Кількість візків у печі		2
Початкова температура візка		25 °C
Середня температура поверхні		45 °C (318 K)
Температура середовища	навколишнього	30 °C (303 K)
Ступінь чорноти поверхні печі (ϵ)		0.8

Розрахунок тепла на випаровування води припустимо, що волога, яка випаровується, становить $W=0.035W = 0.035W=0.035$ кг/кг тіста (3.5%);

температура в печі $t_{\text{п}}=250\text{ }^{\circ}\text{C}$, отже ентальпія перегрітої пари $i_{\text{п}}=2970$ кДж/кг;

температура тіста $t_{\text{в}}=37\text{ }^{\circ}\text{C}$, отже $i_{\text{в}}=155$ кДж/кг.

$$Q_{\text{вол}}=W \cdot (i_{\text{п}} - i_{\text{в}}) = 0.035 \cdot (2970 - 155) = 0.035 \cdot 2815 = 98.525 \text{ кДж/кг.}$$

Розрахунок теплоти на нагрівання скоринки і м'якиша. Для прикладу:

$A=0.12$ (масова частка скоринки);

$c_{\text{с}}=1.675$, $t_{\text{с}}=200$;

$c_{\text{м}}=2.512$, $t_{\text{м}}=96$;

$t_{\text{в}}=37$.

$$Q_{\text{скор}}=A \cdot c_{\text{с}} \cdot (t_{\text{с}} - t_{\text{в}}) = 0.12 \cdot 1.675 \cdot (200 - 37) = 32.64 \text{ кДж/кг,}$$

$$Q_{\text{м'як}}=(1-A) \cdot c_{\text{м}} \cdot (t_{\text{м}} - t_{\text{в}}) = 0.88 \cdot 2.512 \cdot (96 - 37) = 130.24 \text{ кДж/кг.}$$

$$Q_{\text{заг}}=Q_{\text{вол}}+Q_{\text{скор}}+Q_{\text{м}}=98.525+32.64+130.24=261.4 \text{ кДж/кг.}$$

Розрахунок витрат теплоти на утворення пари в пекарній камері. У процесі випікання важливо підтримувати відповідну вологість середовища в пекарній камері. Для цього подається вода, яка випаровується і зволожує повітря. Витрати теплоти на утворення пари визначаються за формулою:

$$Q_{\text{п}}=G_{\text{п}} \cdot (i_{\text{п}} - i_{\text{в}}), \text{кДж/кгг.хліба,}$$

де: $G_{\text{п}}$ – витрати води на пароутворення, кг/кг гарячого хліба (наприклад, 0.1 кг/кг);

$i_{\text{п}}$ – ентальпія перегрітої пари при температурі печі (для $t=250\text{ }^{\circ}\text{C}$ $i_{\text{п}}=2970$ кДж/кг);

$i_{\text{в}}$ – ентальпія води, яка подається на випаровування (за температури $20\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$i_{\text{в}}=c_{\text{в}} \cdot t=4.19 \cdot 20=83.8 \text{ кДж/кг.}$$

$$Q_{\text{п}}=0.1 \cdot (2970 - 83.8) = 0.1 \cdot 2886.2 = 288.62 \text{ кДж/кг г.хліба.}$$

При кожному завантаженні в пекарну камеру потрапляє свіже повітря, яке нагрівається до температури камери. Ці витрати теплоти оцінюються за повним об'ємом камери: $V_{\text{к}}=l \cdot b \cdot h, \text{м}^3$,

де: l – довжина камери, м (наприклад, 3.2 м);

b – ширина камери, м (наприклад, 2.0 м);

h – висота камери, м (наприклад, 2.2 м).

$$V_k = 3.2 \cdot 2.0 \cdot 2.2 = 14.08 \text{ м}^3.$$

Теплові витрати з вентиляційним повітрям на одну посадку:

$$Q_v = c_p \cdot V_k \cdot (t_p - t_v), \text{кДж/пос},$$

де: c_p – ізобарна теплоємність повітря (приблизно 1.2 кДж/(м³·К));

t_p – температура в пекарній камері (наприклад, 250 °С);

t_v – температура поданого повітря (наприклад, 20 °С).

$$Q_v = 1.2 \cdot 14.08 \cdot (250 - 20) = 1.2 \cdot 14.08 \cdot 230 = 3887.04 \text{ кДж/пос}$$

Якщо тривалість випікання становить 40 хвилин, то за одну годину відбувається: $n = 60/40 = 1.5 \approx 2$ пос/год.

Втрати теплоти з повітрям за 1 годину:
 $Q_v = n \cdot Q_v = 2 \cdot 3887.04 = 7774.08 \text{ кДж/год.}$ Переведемо в кВт: $N_v = Q_v / 3600 = 7774.08 / 3600 = 2.16 \text{ кВт.}$

Витрати теплоти на утворення пари становлять приблизно 288.62 кДж/кг гарячого хліба, а теплові втрати з вентиляційним повітрям — близько 2.16 кВт при двох посадках на годину. Ці значення враховуються при визначенні загальних витрат теплоти для печі.

Під час завантаження пекарної камери холодні стелажні візки та форми нагріваються до температури середовища. Це потребує додаткових витрат теплоти. Розрахунок проводиться за формулою:

$$Q_{vиз} = n_v \cdot G_v \cdot c_v \cdot (t_p - t_{vиз}), \text{кДж/год},$$

де: n_v — кількість візків у печі;

G_v — маса одного візка, кг (наприклад, 150 кг);

c_v — питома теплоємність заліза $\approx 0.46 \text{ кДж/(кг)}$;

t_p — температура в пекарній камері (наприклад, 250 °С);

$t_{vиз}$ — початкова температура візка (наприклад, 25 °С).

$$Q_{vиз} = 2 \cdot 150 \cdot 0.46 \cdot 225 = 31050 \text{ кДж/год.}$$

Переведемо в кВт: $N_{vиз} = Q_{vиз} / 3600 \approx 8.63 \text{ кВт.}$

Через стінки печі відбуваються втрати теплоти як випромінюванням, так і конвекцією. Для випромінювання застосовують закон Стефана–Больцмана:

$$Q_{\text{огр}} = F \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{\text{пов}}^4 - T_{\text{сер}}^4), \text{Вт},$$

де: F — площа поверхні печі, м^2 (наприклад, 12 м^2);

ε — приведена ступінь чорноти поверхні (наприклад, 0.8);

σ — стала Стефана-Больцмана $= 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$

$T_{\text{пов}}$ — температура поверхні печі в Кельвінах (наприклад, $45 + 273 = 318 \text{ К}$;

$T_{\text{сер}}$ — температура повітря в Кельвінах (наприклад, $30 + 273 = 303 \text{ К}$).

$$Q_{\text{огр}} = 12 \cdot 0.8 \cdot 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot (318^4 - 303^4).$$

$$Q_{\text{огр}} \approx 12 \cdot 0.8 \cdot 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot (1.021 \cdot 10^{10} - 8.439 \cdot 10^9) = 184.8 \text{ Вт} = 0.185 \text{ кВт}.$$

Кількість теплоти, що передається через вертикальні стінки, залежить від коефіцієнта тепловіддачі, який визначається за формулою:

$$\alpha = \text{Nu} \cdot \lambda, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

де: Nu — критерій Нуссельта (визначається за графіками або емпіричними залежностями, наприклад, $\text{Nu} = 30$);

λ — коефіцієнт теплопровідності повітря (приблизно $0.026 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

l — характерний розмір (висота стінки, наприклад, 2.0 м).

$$\alpha = 30 \cdot 0.026 \cdot 2.0 = 0.39 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Тепловтрати конвекцією:

$$Q_{\text{конв}} = \alpha \cdot F \cdot (t_{\text{пов}} - t_{\text{повітр}}) = 0.39 \cdot 12 \cdot (45 - 30) = 70.2 \text{ Вт} = 0.070 \text{ кВт}.$$

$$Q_{\text{огр. заг}} = Q_{\text{випр}} + Q_{\text{конв}} = 0.185 + 0.070 = 0.255 \text{ кВт}.$$

Витрати теплоти на нагрів стелажних візків — **8.63 кВт**.

Тепловтрати через огороження пекарної камери: **0.255 кВт**.

Втрати не є основними, але їх облік необхідний для точного енергетичного балансу печі. Всі розрахунки зведемо у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1. Статті теплових витрат

	Стаття теплових витрат	Кількість теплоти, кВт або кДж/кг
	Витрати теплоти на випаровування води з тістової заготовки ($Q_{\text{вип}}$)	155.13 кДж/кг
	Витрати теплоти на утворення пари у пекарній камері ($Q_{\text{пара}}$)	83.35 кДж/кг
	Витрати теплоти з вентиляційним повітрям за годину ($Q_{\text{вент}}$)	1.63 кВт

	Втрати теплоти на нагрів стелажного візка ($Q_{\text{візок}}$)	0.48 кВт
	Втрати теплоти через огороження пекарної камери ($Q_{\text{ог}}$)	0.66 кВт

Відповідно тепловий баланс пекарної камери пічки подано у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Тепловий баланс пекарної печі

Стаття витрат теплоти	Формула розрахунку	Значення, кВт
Теплота, необхідна для випікання тіста	$Q1 = G_{\text{тіст}} \cdot c \cdot \Delta t + r_{\text{волога}} \cdot W$	12.5
Витрати на випаровування води	$Q2 = G_{\text{волога}} \cdot r$	4.2
Витрати на нагрів свіжого повітря (вентиляція)	$Q3 = G_{\text{пов}} \cdot c_{\text{пов}} \cdot \Delta t$	2.8
Витрати на нагрів стелажних візків	$Q4 = n \cdot G_{\text{в}} \cdot c \cdot (t_{\text{кінц}} - t_{\text{поч}})$	8.63
Втрати через огороження випромінюванням	$Q5 = F \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{\text{пов}}^4 - T_{\text{зовн}}^4)$	0.185
Втрати через огороження конвекцією	$Q6 = \alpha \cdot F \cdot (t_{\text{пов}} - t_{\text{повітр}})$	0.070
Тепловтрати через утилізацію пару/вентиляційні витяжки	Орієнтовно (до 10% від загальної потужності)	3.0
Тепловтрати при відкритті дверей	Орієнтовно (до 5% від загальної потужності)	1.5
Разом необхідна теплова потужність печі		32.89 кВт

Враховуючи проведені розрахунки, побудуємо діаграму розподілу теплоти в пекарній печі (рис.2.1). Вона наочно показує, яка частина теплоти витрачається на основні процеси, а яка — втрачається через конструкційні особливості печі.

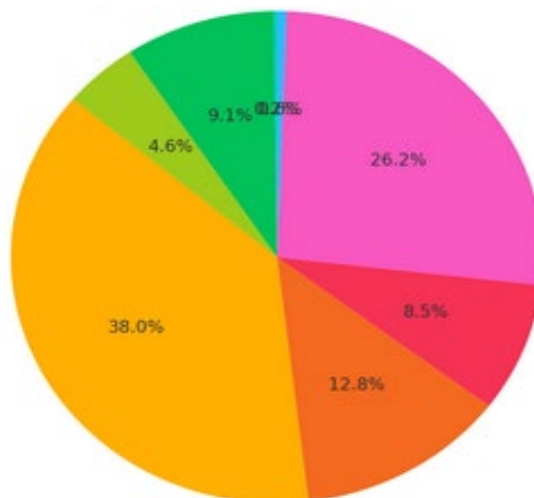


Рис.2.1. Діаграма розподілу теплоти в пекарній печі із загальними тепловими витратами (32.89 кВт): випікання тіста — 38.0%; випаровування вологи — 12.8%; вентиляція — 8.5%; нагрів візків — 26.2%; втрати випромінюванням — 0.6%; втрати конвекцією — 0.2%; утилізація пари — 9.1%; відкриття дверей — 4.6%

Зведена таблиця теплового балансу пекарної печі на 1 кг гарячого хліба та для роботи печі за 1 годину наведено у табл 2.3.

Таблиця 2.3. Тепловий баланс пекарної печі на 1 кг гарячого хліба

Стаття витрат теплоти	Формула/розрахунок	Витрати теплоти	Одиниця виміру
Витрати теплоти на випаровування вологи з тістової заготовки	$Q_1 = r(i_p - i_v)$	407.0	кДж/кг хліба
Витрати теплоти на утворення пари в камері	$Q_2 = q(i_p - i_v)$	104.0	кДж/кг хліба
Витрати теплоти вентиляційним повітрям (1 посадка)	$Q_3 = c_v \cdot V \cdot (t_p - t_v)$	91.0	кДж/кг хліба
Втрати теплоти вентиляцією за 1 год (дві посадки)	$Q_{3\text{год}} = n \cdot Q_3 / 360$	0.051	кВт

Стаття витрат теплоти	Формула/розрахунок	Витрати теплоти	Одиниця виміру
Втрата теплоти на нагрів стелажних візків /3600	$Q_4 = n_v \cdot m \cdot c \cdot (t_n - t_v)$	0.087	кВт
Втрати теплоти через огороження (випромінювання конвекція) + 4)	$Q_5 = F \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T^4 - T_0^4)$	0.374	кВт
Загальні теплові витрати	—	602.0	кДж/к г хліба (без кВт)

2.1.2.4. Розрахунок та підбір підшипників для валу лопатей

Розрахуємо та підберемо підшипники для вашого валу лопатей. Враховуючи необхідність жорсткої фіксації валу в осьовому напрямку, використання конічних роликів підшипників є правильним вибором [2,3]. Для забезпечення точної та жорсткої фіксації валу лопатей в осьовому напрямку, ми обрали конічні роликові підшипники легкої серії згідно з ГОСТ 339-79: **7214** для першої опори та **7212** для другої опори. Підшипник I (**7214**): динамічна вантажопідйомність $C=95900\text{Н}$; кут контакту $\alpha=14^\circ$; коефіцієнт $e=0.37$. Підшипник II (**7212**): динамічна вантажопідйомність $C=72200\text{Н}$; кут контакту $\alpha=13^\circ$; коефіцієнт $e=0.35$

Загальні параметри: радіальне навантаження на підшипник I: **$F_{r1}\text{Н}$** ; радіальне навантаження на підшипник II: **$F_{r2}\text{Н}$** ; осьове навантаження, що сприймає підшипник I: F_a , загальне H .

Для підшипника I: $X=1$, $Y=0$. Це означає, що осьове навантаження, що виникає від радіального навантаження, не домінує, і підшипник в основному сприймає радіальне навантаження. Для підшипника II: відношення $F_a/F_r=0.521 > e=0.35$ (для підшипника 7212), тому приймаємо $X=0.4$ та $Y=1.46$. Це вказує на значний вплив осьового навантаження на еквівалентне динамічне навантаження. $P_1=11110.3\text{Н}$; $P_2=9050.6\text{Н}$.

Для підшипника I (7214): Відношення $s/p=7,3$. Для підшипника I опори $P_{req1}=13136.9\text{Н}$.

Припустимо, що P_{req1} є розрахованим еквівалентним навантаженням для перевірки довговічності, яке враховує всі коефіцієнти. Це значення (або C_{req}) повинно бути менше або дорівнювати номінальній динамічній вантажопідйомності підшипника C . Номінальна динамічна вантажопідйомність підшипника 7214: $C=95900\text{H}$

Порівнюємо: $P_{\text{req1}}=13136.9\text{H}$ дещо менше ніж $C=95900\text{H}$.

Для підшипника II опори $P_2=9050.6\text{H}$, $P_{\text{req2}}=9050.6\text{H}$.

Отже, $P_{\text{req2}}=9050.6\text{H}$ є розрахованим еквівалентним навантаженням.

Номінальна динамічна вантажопідйомність підшипника 7212: $C=72200\text{H}$

Обрані конічні роликові підшипники 7214 для першої опори та 7212 для другої опори, згідно з проведеними розрахунками еквівалентних динамічних навантажень та їх порівнянням з номінальними вантажопідйомностями, підходять для даної конструкції валу лопатей. Вони забезпечують необхідну жорсткість фіксації та мають достатній запас міцності для забезпечення довговічності, вищої за 90% надійності.

Повторний розрахунок підшипників з уточненими даними.

Щоб визначити радіальне навантаження на підшипник I лівий F_{r1} та правий F_{r2} , спочатку потрібно визначити реакції опор від радіальної сили $F_{r,\text{колесо}}=500\text{H}$, прикладеної на відстані $x_F=470-68=402\text{ мм}$ від лівої опори. Загальна довжина між опорами $L=428\text{ мм}$.

Рівняння рівноваги: $\sum M_1=0 \Rightarrow F_{r2} \cdot L - F_{r,\text{колесо}} \cdot x_F = 0$

$F_{r2} = L F_{r,\text{колесо}} / x_F = 428 \cdot 500 / 402 \approx 469.6\text{H}$

$\sum F_y=0 \Rightarrow F_{r1} + F_{r2} - F_{r,\text{колесо}} = 0$

$F_{r1} = F_{r,\text{колесо}} - F_{r2} = 500 - 469.6 = 30.4\text{H}$

Тепер використовуємо ці значення та задані раніше коефіцієнти X, Y для розрахунку еквівалентних навантажень та перевірки підшипників. Підшипник I (7214): $C=95900\text{H}$; $\alpha=14^\circ$; $\epsilon=0.37$; $F_{r1}=30.4\text{H}$. $F_{a,\text{заг}}=100\text{H}$ (осьове навантаження від колеса, що сприймається одним підшипником, зазвичай одним з конічних роликових). Припустимо, що вся осьова сила $F_{a,\text{кол}}$ сприймається лівим підшипником (опорою I), так як конічні підшипники встановлюються "врозпір".

Осьова складова радіального навантаження для підшипника I:
 $F_{a,r1}=0.47 \cdot F_{r1} \tan(\alpha_1)=0.47 \cdot 30.4 / \tan(14^\circ) \approx 0.47 \cdot 30.4 / 0.249 \approx 57.3 \text{ Н}$

Розрахункове осьове навантаження для підшипника I:
 $F_{a,розр1}=F_{a,кол}+F_{a,r1}=100+57.3=157.3 \text{ Н}$

Уточнимо для підшипника I (7214): Еквівалентне динамічне навантаження:
 $P_1=(X \cdot K_v \cdot F_{r1} + Y \cdot F_{a,розр1}) \cdot K_b \cdot K_t$
 $P_1=(0.4 \cdot 1 \cdot 30.4 + 1.46 \cdot 157.3) \cdot 1.1 \cdot 1 = (12.16 + 229.6) \cdot 1.1 = 241.76 \cdot 1.1 \approx 265.9 \text{ Н}$

Осьова складова радіального навантаження для підшипника II:
 $F_{a,r2}=0.47 \cdot F_{r2} / \tan(\alpha^2)=0.47 \cdot 469.6 / \tan(13^\circ) \approx 0.47 \cdot 469.6 / 0.231 \approx 956.8 \text{ Н}$

Розрахункове осьове навантаження для підшипника II:
 $F_{a,розр2}=F_{a,r2}=956.8 \text{ Н}$

Перевірка відношення F_a/F_r для підшипника II:
 $F_{a,розр2}/F_{r2}=956.8/469.6 \approx 2.037$. Це значно більше $e_2=0.35$. Отже, використовуємо $X=0.4$ та $Y=1.46$.

Еквівалентне динамічне навантаження: $P_2=(X \cdot K_v \cdot F_{r2} + Y \cdot F_{a,розр2}) \cdot K_b \cdot K_t$
 $P_2=(0.4 \cdot 1 \cdot 469.6 + 1.46 \cdot 956.8) \cdot 1.1 \cdot 1 = (187.84 + 1397.08) \cdot 1.1 = 1584.92 \cdot 1.1 \approx 1743.4 \text{ Н}$

Обидва підшипники обрані з величезним запасом по динамічній вантажопідйомності.

2.1.2.5. Розрахунок вала вакуум – барабана (вентилятора) печі

Припустимо, що підшипник I (7214, Ø32) розташований на лівій частині вала, а підшипник II (7212, Ø46) на правій.

Згідно з кресленням, відстань від лівого торця до опори 4 (ліва опора) – 68 мм (відповідно до деталізації Ø32 ділянки). Загальна довжина ділянки Ø32 становить 182 мм. Загальна довжина вала $182+344=526$ мм. Відстань між опорами: опора 4 розташована на 68 мм від лівого торця. Опора 3 розташована на деякій відстані від переходу Ø32→Ø46. Давайце приймемо, що опора 3 знаходиться на відстані 30 мм від правого кінця ділянки Ø46. Тоді відстань від лівого торця до опори 3 буде $526-30=496$ мм. Довжина вала між опорами: $L=496-68=428$ мм. Діаметри опорних шийок: $d_1=32$ мм, $d_2=46$ мм.

Розташування та величини сил: робоче колесо (лопаті) вентилятора знаходиться в кінці ділянки Ø46. Нехай воно розташоване на відстані 470 мм від лівого торця вала (ближче до правого кінця вала Ø46). Радіальні сили від лопатей (**Fr**): виникають від дисбалансу та аеродинамічних сил. Прийmemo:

$Fr_{\text{кол}}=500\text{Н}$ (радіальна сила від робочого колеса). Осьові сили від лопатей (**Fa**): $Fa_{\text{кол}}=100\text{Н}$ (направлена вліво). Вага вала та колеса: Розподілене навантаження від власної ваги вала знехтуємо для спрощення першого етапу, враховуючи, що $Fr_{\text{кол}}$ вже включає деякий запас.

Крутний момент (**Tk**): двигун з'єднаний з валом через муфту, розташований на ділянці Ø40 (ділянка 6 на нижньому ескізі). $Tk = 150 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Цей момент передається від ділянки 6 до робочого колеса на ділянці 5. Частота обертання вала (**n**): для вентилятора печі, типова частота обертання може бути, наприклад, $n=1500\text{об/хв}$.

Розрахунок вала. 1. Розрахункова схема вала: матеріал: Сталь 40 ($\sigma_T=280\text{МПа}$, $E=2.1\cdot10^5\text{МПа}$). Опори А (ліва, підшипник 7214) на відстані 68 мм від лівого торця. Опора В (права, підшипник 7212) на відстані 496 мм від лівого торця. Відстань між опорами $L=428 \text{ мм}$.

Реакції в опорах (від радіальної сили): $R_A=F_{r1}=30.4\text{Н}$; $R_B=F_{r2}=469.6\text{Н}$

Епюри моментів: Крутний момент (**Tk**): Від точки прикладання моменту (наприклад, 100 мм від лівого торця) до робочого колеса (470 мм від лівого торця) на валу діє постійний крутний момент $T_k = 150 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

На інших ділянках $T_k=0$.

Згинальні моменти ($M_{зг}$): Будуємо епюру згинальних моментів. В опорах згинальний момент дорівнює 0 (якщо немає консольних навантажень за межами опор). Ліва консоль (від 0 до 68 мм): $M_{зг}(x)=0$. Ділянка між опорами (від 68 мм до 496 мм): $M_{зг}(x)=R_A\cdot(x-68)$ для $68\leq x\leq 470 \text{ мм}$.

$$M_{зг}(68)=0$$

Далі від 470 мм до 496 мм: $M_{зг}(x)=R_A\cdot(x-68)-Fr_{\text{кол}}\cdot(x-470)$.

$$M_{зг}(496)=30.4\cdot(496-68)-500\cdot(496-470)=30.4\cdot 428-500\cdot 26=13000-13000$$

Права консоль (від 496 мм до 526 мм): $M_{зг}(x)=-Fr_{\text{кол}}\cdot(x-470)$ (для $x>496$)

Давайте перерахуємо реакції, якщо $F_{r, \text{кол}} = 500 \text{ Н}$ діє на відстані $x_F = 470 \text{ мм}$ від лівого торця.

Опири: А (68 мм) та В (496 мм).

Плече $F_{r, \text{кол}}$ від опори А: $470 - 68 = 402 \text{ мм}$.

Плече $F_{r, \text{кол}}$ від опори В: $496 - 470 = 26 \text{ мм}$ (вправо, тобто на консолі).

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow R_B \cdot L - F_{r, \text{кол}} \cdot (x_F - 68) = 0$$

$$R_B \cdot 428 - 500 \cdot 402 = 0 \Rightarrow R_B = 428 \cdot 500 / 402 \approx 469.6 \text{ Н}.$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow R_A + R_B - F_{r, \text{кол}} = 0 \Rightarrow R_A = 500 - 469.6 = 30.4 \text{ Н}.$$

4. Визначення небезпечних перерізів: переріз 1: Місце прикладання крутного моменту (наприклад, 100 мм від лівого торця), діаметр $\varnothing 40$. Тут буде кручення і невеликий згин. Переріз 2: Точка прикладання сили $F_{r, \text{кол}}$ (470 мм від лівого торця), діаметр $\varnothing 46$. Тут максимальний згинальний момент.

Переріз 3: Перехід від $\varnothing 40$ до $\varnothing 32$ (наприклад, 125 мм від лівого торця) - концентратор напружень. Переріз 4: Перехід від $\varnothing 32$ до $\varnothing 46$ (182 мм від лівого торця) - концентратор напружень.

Найбільш навантажений переріз, як правило, знаходиться там, де є максимальний згинальний момент та/або крутний момент, а також концентратори напружень. В даному випадку, скоріш за все, це буде **переріз 2** (470 мм від лівого торця), де згинальний момент максимальний ($12220.8 \text{ Н} \cdot \text{мм}$), а також діє крутний момент $150 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Діаметр в цьому місці $\varnothing 46 \text{ мм}$. На рис. 2.2 подано графік епюри згинальних моментів уздовж валу із зображенням самого валу як базової лінії.

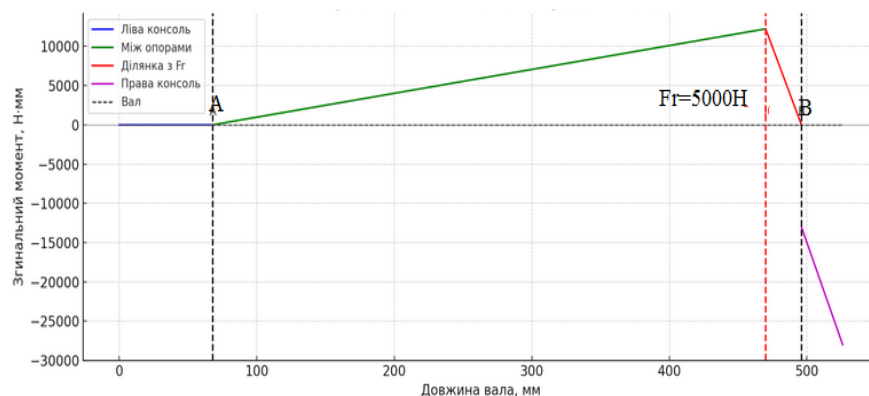


Рис. 2.2. Графік епюри згинальних моментів уздовж валу

Опори (А і В) та точка прикладання сили $F_r=500$ Н чітко позначені. Видно, як момент зростає від опори А, досягає максимуму перед точкою прикладання сили, а далі різко зменшується. З 0 до 68 мм: горизонтальна лінія на нулі. Від 68 до 470 мм: лінійне зростання від 0 до 12280.8 Н·мм. Від 470 до 496 мм: лінійне спадання від 12280.8 до 11.2 Н·мм. Від 496 до 526 мм: лінійне спадання до - 28000 Н·мм (великий вигин правої консолі).

Епюра крутних моментів (T_k): Показує, як змінюється крутний момент вздовж валу. Він виникає там, де передається потужність (від приводу до робочого органу). У нашому випадку, він постійний між точкою прикладання вхідного моменту (100 мм) і робочим колесом (470 мм).

Епюра згинальних моментів (M_z) показує, як змінюється згинальний момент вздовж валу. Максимальні значення згинального моменту зазвичай виникають у місцях прикладання значних радіальних сил або у місцях переходу діаметрів, де концентруються напруження. У нашому випадку, максимум спостерігається у точці прикладання сили від робочого колеса (470 мм), що є типовим.

Максимальний крутний момент: $T_k = 150000$ Н·мм. Максимальний згинальний момент: $M_z = 12220.8$ Н·мм. Ці значення підтверджують наші попередні розрахунки на міцність, де ми використовували саме ці максимальні моменти для оцінки напружень у найнебезпечнішому перерізі (який знаходиться біля 470 мм, на ділянці $\varnothing 46$ мм).

2.1.2.6. Розрахунок на міцність валу вакуум – барабана (вентилятора) печі

Візьмемо переріз 2 (470 мм від лівого торця, діаметр $d=46$ мм, $M_{zg} = 12220.8$ Н·мм, $T_k = 150000$ Н·мм. Геометричні характеристики перерізу:

момент опору при згині: $W_p=32\pi d^3=32\pi \cdot 46^3 \approx 9585 \text{ мм}^3$.

Полярний момент опору при крученні: $W_k=16\pi d^3=2 \cdot W_p \approx 19170 \text{ мм}^3$.

Нормальне напруження від згину (змінне):
 $\sigma_a=W_p M_{zg}=9585 \cdot 12220.8 \approx 1.275 \text{ МПа}$

Дотичне напруження від кручення (постійне, якщо немає ударів):
 $\tau_m = W_k T_k = 19170150000 \approx 7.82 \text{ МПа}$. Якщо крутний момент пульсує від 0 до T_k , тоді
 $\tau_a = \tau_m = 7.82 \text{ МПа}$. Припустимо, що він постійний, оскільки немає даних про його пульсацію.

Коефіцієнти запасу втомної міцності. Границі витривалості: для симетричного циклу згину: $\sigma^{-1} \approx (0.4 \dots 0.5) \cdot \sigma_B = 0.45 \cdot 550 = 247.5 \text{ МПа}$.

Для симетричного циклу кручення:
 $\tau^{-1} \approx (0.5 \dots 0.6) \cdot \sigma^{-1} = 0.55 \cdot 247.5 \approx 136.1 \text{ МПа}$. Коефіцієнти, що враховують вплив форми, розмірів, шорсткості, температури: для даного прикладу приймемо їх як середні значення для сталей без складних розрахунків концентраторів. Для переходів діаметрів без гострих кутів $\beta_k \approx 1.5 \dots 2.5$. Візьмемо $\beta_k = 2.0$ для згину та кручення.

ϵ_d (коефіцієнт масштабу): для $d = 46 \text{ мм}$, $\epsilon_d \approx 0.85 \dots 0.95$. Приймемо 0.9.

ϵ_R - коефіцієнт шорсткості, що залежить від чистоти обробки. Для обточених поверхонь $\epsilon_R \approx 0.8 \dots 0.9$. Приймемо 0.85.

$K_T = 1$ - температурний коефіцієнт, якщо температура до 100°C .

q - коефіцієнт чутливості для сталі 40, $q \approx 0.8$.

Ефективний коефіцієнт концентрації: $K_F = 1 + q(\beta_k - 1)$. Для згину та кручення. $K_F = 1 + 0.8(2.0 - 1) = 1.8$.

Приведені границі витривалості:

$$\sigma_{-1} = K_F \cdot \epsilon_d \cdot \epsilon_R \cdot K_T \sigma^{-1} = 1.8 \cdot 0.9 \cdot 0.85 \cdot 247.5 \approx 1.377 \cdot 247.5 \approx 179.7 \text{ МПа}$$

$$\tau_{-1} = K_F \cdot \epsilon_d \cdot \epsilon_R \cdot K_T \tau^{-1} = 1.377 \cdot 136.1 \approx 98.8 \text{ МПа}$$

Коефіцієнти запасу втомної міцності:

$$\text{По нормальних напруженнях (згин): } S_\sigma = \sigma_{-1}' / \sigma_a = 1.275 \cdot 179.7 \approx 141$$

По дотичних напруженнях (кручення, якщо постійне): $S_\tau = \tau_{-1}' / \tau_m$ (якщо τ_m є середнім напруженням).

Якщо крутний момент постійний, то запас по дотичних напруженнях розраховується за статичною міцністю:

$$S_\tau = \tau_T / \tau_m = \tau_m \cdot 0.6 \cdot \sigma_T = 7.82 \cdot 0.6 \cdot 280 = 7.82 \cdot 168 \approx 21.5.$$

Якщо крутний момент пульсує від 0 до T_k , тоді $S_\tau = \tau_{-1} / \tau_a = 7.8298.8 \approx 12.6$.
Прийmemo другий варіант, як більш суворий.

$$\text{Загальний коефіцієнт запасу: } S = \sqrt{\frac{1}{1/S\sigma^2 + 1/S\tau^2}}$$

$$= 1/1412 + 1/12.62 = 0.00005 + 0.0063 \approx 1/0.00635 \approx 1/0.0971 \approx 12.5.$$

Коефіцієнт запасу $S = 12.5$ є надзвичайно високим. Зазвичай вимагається $S \geq 1.5 \dots 2.5$. Це свідчить про те, що вал має величезний запас міцності при даних навантаженнях. Це, ймовірно, вказує на те, що реальні навантаження на вал значно вищі, або що вал має великий діаметр відносно навантажень для забезпечення жорсткості або інших вимог наприклад, вібрації.

6. Розрахунок на жорсткість (прогин):

Для спрощення, розрахуємо максимальний прогин як для балки на двох опорах з навантаженням посередині. Це наближене значення, бо сила не точно посередині, і вал змінний по перерізу для сили, що діє між опорами.

$$y_{\max} = \frac{F \cdot a \cdot b}{6 \cdot E \cdot I_x \cdot L} (L^2 - a^2 - b^2).$$

$$I_x = \pi d^4 / 64 \text{ (момент інерції)}.$$

$$\text{Для ділянки } \varnothing 46, I_x \approx 206250 \text{ мм}^4.$$

$$a = 402 \text{ мм (відстань від А до сили), } b = 26 \text{ мм (відстань від сили до В)}.$$

$$\begin{aligned} y_{\max} &= 6 \cdot 2.1 \cdot 105 \cdot 206250 \cdot 428500 \cdot 402 \cdot 26 (4282 - 4022 - 262) \approx 1.1 \cdot 10^{13} 52260 \\ &00 (183184 - 161604 - 676) \approx 0.00000047 \cdot 20904 \approx 0.0098 \text{ мм} \end{aligned}$$

$$\text{Допустимий прогин для валів вентиляторів } [y] = (0.0001 \dots 0.0005) \cdot L.$$

$$[y] = 0.0003 \cdot 428 = 0.1284 \text{ мм}.$$

Вал є дуже жорстким.

7. Динамічний розрахунок (критичні частоти): оскільки вал дуже жорсткий, критична частота буде високою. Приблизна формула для однієї маси

$$\text{на валу: } n_{\text{кр}} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{\delta_{\text{ст}}}}, \text{ де } g = 9.81 \text{ м/с}^2 = 9810 \text{ мм/с}^2.$$

$\delta_{\text{ст}}$ - статичний прогин у точці дії сили.

$$n_{кр} \approx 9.55 \cdot 1000 \approx 9550 \text{об/хв.}$$

Робоча частота $n=1500 \text{об/хв}$ значно нижча за критичну частоту $n_{кр}=9550 \text{об/хв}$. Це означає, що вал працюватиме без резонансу в робочому діапазоні. Вибір матеріалу (Сталь 40) цей матеріал цілком підходить для вала вентилятора, забезпечуючи необхідні механічні властивості. Підбір підшипників (7214, 7212) мають величезний запас динамічної вантажопідйомності при прийнятих навантаженнях, що гарантує високу довговічність та надійність.

Вал має дуже високий запас втомної міцності ($S=12.5$), що свідчить про його велику надійність. Це також може вказувати на те, що прийняті навантаження занижені або конструкція вала надмірно міцна для таких навантажень (що може бути зумовлено вимогами до жорсткості). Вал є надзвичайно жорстким, його максимальний прогин 0.0098мм значно менший за допустимі значення. Робоча частота обертання (1500об/хв) значно віддалена від критичної частоти (9550об/хв), що унеможливлює виникнення резонансу під час роботи.

2.1.3. Технологічна потреба та динамічні процеси (симуляція) відкачування вологи вакуум-барабаном

Вакуум-барабан є ключовим елементом витяжної системи печі "Ротор-Агро", розташований у її верхній частині. Його основна функція - ефективне виведення надлишкової вологи та пари з робочої камери печі, що має вирішальне значення для якості кінцевого продукту, особливо для хліба з високим вмістом вологи. Вакуум-барабан складається з трьох основних частин:

верхня частина: містить електричний двигун, який приводить в рух обертові елементи;

середня (циліндрична) частина: всередині неї обертаються лопаті (або крильчатка), які створюють потік повітря та забезпечують витяжку;

нижня частина (вентилятор): власне вентилятор, який забезпечує створення вакууму та переміщення повітря.

Для хліба з високим вмістом вологи критично важливим є етап "добросушки" наприкінці випічки. Вакуум-барабан дозволяє точково виводити вологу,

запобігаючи її конденсації та покращуючи структуру та смакові якості продукту. Основні функції: виведення вологи з камери (після випічки); прискорення охолодження або сушки хліба; видалення надлишкової пари з парогенератора (через вакуумну витяжку): формування оболонки у виробу за допомогою пониженого тиску.

Після завершення основного етапу випічки, коли хліб ще гарячий і виділяє значну кількість пари, вакуум-барабан активно відкачує цю вологу. Це запобігає зволоженню скоринки хліба та розвитку небажаних мікроорганізмів.

Створення пониженого тиску та активне виведення повітря з камери сприяє інтенсивному випаровуванню вологи з поверхні хліба, що прискорює процес його охолодження та сушки.

Якщо піч оснащена парогенератором, вакуум-барабан може також видаляти надлишкову пару, що допомагає контролювати рівень вологості в камері та запобігати її надмірному накопиченню. Понижений тиск, створюваний вакуум-барабаном, може сприяти більш ефективному формуванню скоринки хліба, роблячи її хрусткою та золотистою. Цей ефект схожий на вакуумне випікання, де вода випаровується швидше за нижчого тиску, що сприяє утворенню бажаної текстури.

Об'єм камери печі: $V_{\text{печі}}=1.5 \text{ м}^3$ (типовий об'єм для невеликої промислової печі "Ротор-Агро")

Час повного оновлення повітря (витяжки): $t=1-2$ хвилини (для швидкого виведення пари). Густина вологого повітря: $\rho_{\text{в.п.}} \approx 1.2 \text{ кг/м}^3$ (приблизно)

Кількість вологи, яку потрібно вивести: припустимо, що за цикл випічки випаровується $m_{\text{в}}=0.5 \text{ кг}$ води. (Це залежить від типу хліба та його вологості).

1. Діаметр барабана (вентилятора): діаметр барабана (крильчатки вентилятора) напряму пов'язаний з необхідним об'ємним потоком повітря. Необхідний об'ємний потік повітря (продуктивність вентилятора): $Q=V_{\text{п}}/t$

Якщо $t=1 \text{ хв.}=60 \text{ секунд}$: $Q=1.5 \text{ м}^3/60\text{с}=0.025 \text{ м}^3/\text{с}=90 \text{ м}^3/\text{год}$

Якщо $t=2 \text{ хвилини}=120 \text{ секунд}$: $Q=1.5 \text{ м}^3/120\text{с}=0.0125 \text{ м}^3/\text{с}=45 \text{ м}^3/\text{год}$

Припустимо, ми хочемо більш ефективну витяжку, тому візьмемо $Q=0.025 \text{ м}^3/\text{с}$.

2. Орієнтовний діаметр барабана (для відцентрового вентилятора). Для відцентрових вентиляторів продуктивність пов'язана з діаметром крильчатки. Існують емпіричні формули та таблиці, але для орієнтовного розрахунку можна припустити, що швидкість повітря на виході з вентилятора (та через площу перерізу вентилятора) є певною величиною [2].

Площа вихідного отвору (або вхідного отвору барабана): $A=Q/v_{\text{п}}$

Виходячи з візуального зображення, де двигун значно більший, ніж 56 мм, а також з продуктивності, діаметр крильчатки (барабана) буде більшим. Для відцентрового вентилятора продуктивністю $90 \text{ м}^3/\text{год}$ і середнім тиском, типовий діаметр робочого колеса (крильчатки) може бути в діапазоні 150 мм - 300 мм.

Припустимо діаметр барабана (крильчатки) $D_6=250 \text{ мм}=0.25 \text{ м}$.

3. Швидкість повітря. Швидкість повітря на вході в барабан (крильчатку): Якщо взяти об'ємний потік $Q=0.025 \text{ м}^3/\text{с}$ і припустити, що вхідний отвір має площу $A_{\text{в}}=\pi \cdot (D_6/2)^2=\pi \cdot (0.25/2)^2 \approx 0.049 \text{ м}^2$.

$$v_{\text{в}}=Q/A_{\text{в}}=0.025 \text{ м}^3/\text{с}/0.049 \text{ м}^2 \approx 0.51 \text{ м/с}$$

Ця швидкість є досить низькою. Це означає, що повітря буде плавно втягуватися. Швидкість всередині самого вентилятора (між лопатями) буде значно вищою, особливо на кінцях лопатей.

4. Швидкість повітря на виході з витяжного патрубку. Вихідний патрубок має розміри, $100 \text{ мм} \times 100 \text{ мм}$ ($0.1 \text{ м} \times 0.1 \text{ м}$), то його площа $A_{\text{в}}=0.1 \text{ м} \times 0.1 \text{ м}=0.01 \text{ м}^2$. $v_{\text{в}}=Q/A_{\text{в}}=0.025 \text{ м}^3/\text{с}/0.01 \text{ м}^2=2.5 \text{ м/с}$

Ця швидкість є більш реальною для витяжної системи.

Для ефективного виведення вологи та формування оболонки потрібен певний перепад тиску (вакуум). Для печей "Ротор-Агро" та подібних систем, тиск зазвичай не є глибоким вакуумом, а скоріше помірним розрідженням.

5. Типовий тиск для витяжних систем: Для таких завдань, як виведення пари та прискорення сушки, вентилятор повинен створювати статичний тиск в

діапазоні 50 Па - 200 Па. Для глибшого вакууму (наприклад, для деяких процесів формування оболонки) можуть знадобитися сотні або навіть тисячі Па.

Припустимо, нам потрібен перепад тиску $\Delta P=100$ Па. Це відповідає легкому розрідженню, яке відчувається як "витяжка".

Еквівалент вакууму: $100 \text{ Па}=0.001 \text{ бар}=0.1 \text{ кПа}$ Атмосферний тиск становить приблизно 101325 Па (101.325 кПа). Отже, тиск всередині камери буде приблизно $101325 \text{ Па}-100 \text{ Па}=101225 \text{ Па}$. Це не є глибоким вакуумом, але достатньо для прискорення випаровування та ефективної витяжки.

6. Потужність вентилятора чи вакуумного насоса:

Потужність вентилятора (вакуумного насоса) розраховується за формулою:

$$P_k = Q \cdot \Delta P$$

Де: P_k - корисна потужність (потужність, що йде на переміщення повітря) (Вт)

Q - об'ємний потік повітря ($\text{м}^3/\text{с}$)

ΔP - повний тиск (Па), який повинен створити вентилятор (враховує статичний і динамічний тиск, а також втрати на тертя).

Припустимо, ми використовуємо значення: $Q=0.025 \text{ м}^3/\text{с}$ $\Delta P=100 \text{ Па}$

$$P_k = 0.025 \text{ м}^3/\text{с} \cdot 100 \text{ Па} = 2.5 \text{ Вт}$$

Це дуже мала корисна потужність. Однак, це лише корисна потужність. Потрібно враховувати ККД (коефіцієнт корисної дії) вентилятора, який для малих відцентрових вентиляторів може бути в діапазоні 30%–60%.

$$P_{\text{сп}} = P_k / \eta$$

Де η - ККД вентилятора. Візьмемо $\eta=0.4$ (40%).

$$P_{\text{сп}} = 2.5 \text{ Вт} / 0.4 = 6.25 \text{ Вт}$$

Ця потужність також досить низька, що свідчить про те, що для досягнення такого тиску та об'ємного потоку достатньо невеликого двигуна.

2.1.3.1. Оптимізація конструкції вакуум-барабана

Для оптимізації конструкції вакуум-барабана необхідно провести детальні гідродинамічні розрахунки (CFD - Computational Fluid Dynamics) та

експериментальні дослідження. Це дозволить мінімізувати втрати тиску, покращити енергоефективність та забезпечити рівномірне виведення вологи по всій камері.

Важливо вибрати матеріали, стійкі до високих температур та вологи, а також до харчових продуктів (наприклад, нержавіюча сталь). При проектуванні необхідно враховувати рівень шуму та вібрації, які може створювати вентилятор, і вжити заходів для їх зменшення. Для забезпечення оптимальних умов випічки та сушіння, бажано мати можливість регулювати швидкість обертання вентилятора (наприклад, за допомогою частотного перетворювача) для зміни об'ємного потоку та тиску.

Оптимізація конструкції вакуум-барабана для печі "Ротор-Агро" спрямована на досягнення максимальної ефективності витяжної системи при мінімальних енерговитратах та забезпеченні стабільної якості продукту. Це включає тонке налаштування аеродинамічних та механічних параметрів.

До раніше згаданих аспектів (вибір матеріалів, зменшення шуму та вібрації, CFD-аналіз) необхідно додати наступні, життєво важливі для функціональності та гнучкості системи:

Технологічна потреба. Це найважливіший інструмент для динамічного контролю процесу. Різні види хліба, різний вміст вологи, різні етапи випічки (особливо "добросушка" або початкове охолодження) вимагають різного рівня витяжки.

Високий вміст вологи. Для інтенсивної "добросушки" потрібна максимальна швидкість обертання для створення сильнішого вакууму та швидшого видалення вологи. Для видалення надлишкової пари без інтенсивної сушки можна зменшити оберти, економлячи енергію. Точне регулювання дозволяє підтримувати оптимальний перепад тиску для бажаної хрусткості.

Механізм регулювання. Реалізується за допомогою частотного перетворювача (інвертора). Він дозволяє змінювати частоту електричного струму, що подається на електродвигун, тим самим плавно регулюючи його оберти в широкому діапазоні.

Отже переваги оптимізації: енергоефективність, гнучкість процесу, Зниження шумів та зносу. Робота на оптимальних обертах дозволяє значно економити електроенергію, оскільки потужність вентилятора пропорційна кубу швидкості обертання ($P \propto n^3$). Адаптація під різні рецептури та етапи випічки. Робота на нижчих обертах зменшує механічний знос та рівень шуму.

Оптимальна висота циліндричної частини (розміру робочого колеса) впливає на об'єм повітря, який може бути переміщений за один оберт. Занадто мала висота може обмежувати потік, занадто велика – призводити до зайвого об'єму та інертності, а також до втрат. Взаємодіє з радіальним розміром лопатей, формуючи оптимальний шлях повітряного потоку всередині корпусу.

Якщо потрібен високий тиск при меншому об'ємі, висоту можна дещо зменшити, оптимізуючи співвідношення між радіальним та осьовим розмірами. Якщо пріоритет – великий об'єм, то висота може бути збільшена. Кількість лопатей безпосередньо впливає на тиск, який може створити вентилятор, та на його продуктивність. Зазвичай створює вищий тиск при меншому об'ємному потоці (для однакового діаметра та швидкості). Це може бути корисно для подолання значних аеродинамічних опорів або створення більшого вакууму. Однак, це може призвести до збільшення шуму та втрат на тертя.

Менша кількість лопатей забезпечує більший об'ємний потік при меншому тиску. Менше шуму та вібрації. Оптимальна кількість лопатей залежить від конкретного типу вентилятора (наприклад, для лопатей загнутих вперед, назад або радіальних) та від бажаних характеристик (тиск/потік). Це є результатом складних аеродинамічних розрахунків. Окрім кількості, критичною є форма лопатей (вигнуті вперед, назад, прямі радіальні). Лопаті, загнуті назад, є найбільш енергоефективними, але створюють менший тиск на одиницю розміру. Загнуті вперед - створюють вищий тиск, але менш ефективні.

Змінний кут нахилу лопатей дозволяє змінювати продуктивність та тиск вентилятора без зміни швидкості обертання двигуна. Це дуже енергоефективний метод регулювання, оскільки не має втрат, притаманних частотним

перетворювачам при частковому навантаженні. Однак, конструкція такого механізму значно складніша та дорожча.

2.1.3.2. Симуляція динамічних процесів та оптимізація

Завдяки врахуванню цих параметрів, симуляція динамічних процесів стає значно точнішою:

CFD-моделювання (Computational Fluid Dynamics):

- дозволяє візуалізувати повітряні потоки, розподіл тиску та швидкості всередині вакуум-барабана та в камері печі;
- оцінити ефективність видалення вологи, визначити "мертві зони", де волога може застоюватися;
- протестувати різні конфігурації (кількість/форма лопатей, розміри корпусу) та режими роботи (різні швидкості обертання) без створення фізичних прототипів;
- оптимізувати геометрію вхідного та вихідного патрубків для мінімізації втрат тиску.

Симуляція дозволяє оцінити енергоспоживання при різних режимах роботи та підібрати оптимальний двигун і систему регулювання. Інтеграція аеродинамічної симуляції з термодинамічною дозволить прогнозувати швидкість випаровування вологи з хліба при різних параметрах вакуум-барабана.

Дійсно, для проведення симуляцій динамічних процесів та оптимізації конструкції вакуум-барабана, сучасні інженерні комп'ютерні програми (CAD/CAE) є незамінними інструментами. Вони дозволяють створювати віртуальні прототипи, тестувати їх у різних умовах і вносити зміни до проекту ще до початку фізичного виробництва, що значно економить час і кошти.

Основними ключовими програмами комплексів та їх застосування для симуляції вакуум-барабана є:

1. програми CAD (Computer-Aided Design) – для 3D-моделювання. Це перша і найважливіша категорія програм, оскільки вони дозволяють створити точну тривимірну модель вакуум-барабана з усіма його компонентами.

2. SolidWorks. Дуже популярний і потужний CAD-пакет, широко використовуваний в машинобудуванні. Дозволяє створювати деталі, збірки, креслення. Має вбудовані модулі для базових інженерних розрахунків (наприклад, Simulation Express) і добре інтегрується з іншими CAE-програмами.

3. Autodesk Inventor. Ще один провідний CAD-пакет від Autodesk, схожий за функціоналом на SolidWorks. Має гарні інструменти для моделювання листового металу та збірок.

4. PTC Creo (раніше Pro/ENGINEER): потужна CAD-система, відома своїми можливостями в параметричному моделюванні та інтеграцією з різними аналітичними інструментами.

5. Siemens NX (раніше Unigraphics): комплексна CAD/CAE/CAM система, що використовується у високотехнологічних галузях, таких як аерокосмічна промисловість та автомобілебудування.

6. ANSYS Fluent / CFX: Це, мабуть, найпотужніші та найпоширеніші комерційні пакети для CFD-моделювання. Дозволяють моделювати складні багатофазні потоки (повітря з водяною парою), теплообмін, турбулентність. Ідеально підходять для: оптимізації форми лопатей крильчатки; аналізу потоків у корпусі вентилятора та витяжному патрубку; моделювання розподілу тиску та швидкості повітря в камері печі; прогнозування ефективності виведення вологи; визначення оптимального розташування вакуум-барабана та вентиляційних отворів.

7. ANSYS Mechanical: Використовується для аналізу напружено-деформованого стану компонентів вакуум-барабана (корпусу, лопатей, валу) під впливом навантажень (відцентрових сил, тиску, температурних розширень). Це важливо для забезпечення надійності та довговічності конструкції.

8. SolidWorks Simulation: Вбудований у SolidWorks модуль для FEA. Дозволяє проводити аналіз на міцність, статичні та динамічні навантаження, коливання. Ідеально підходить для початкового та середнього рівня аналізу.

9. MATLAB/Simulink: Універсальне середовище для чисельних розрахунків та моделювання систем. Можна розробити моделі для розрахунку продуктивності вентилятора в залежності від обертів, опору системи, температури тощо.

Створення точної 3D-моделі всіх компонентів вакуум-барабана (корпус, крильчатка, двигун, вхідні/вихідні патрубки). Імпорт 3D-моделі в CAE-програму, визначення матеріалів, задання граничних умов (наприклад, тиск в камері печі, температура, швидкість обертання двигуна), створення розрахункової сітки (розбиття моделі на малі елементи). Запуск розрахунку відповідно до обраного фізичного явища (CFD, FEA). Візуалізація результатів (розподіл швидкостей, тиску, температур, напружень), створення графіків, звітів. На основі отриманих результатів вносяться зміни в CAD-модель, і цикл симуляції повторюється до досягнення оптимальних характеристик.

Використання цих програмних інструментів дозволяє провести всебічну віртуальну оцінку та оптимізацію конструкції вакуум-барабана, забезпечуючи його високу ефективність, надійність та відповідність технологічним потребам печі "Ротор-Агро".

Додавання регулювання частоти обертання, а також ретельний розгляд висоти циліндра та кількості/форми лопатей (з урахуванням типу вентилятора) є фундаментальними для створення високоефективної та гнучкої витяжної системи. Це дозволяє не просто виводити вологу, а робити це точно, енергоефективно та адаптивно до різних технологічних потреб випічки, забезпечуючи найвищу якість продукції "Ротор-Агро".

3. Технологічні процеси експлуатації та ремонту валу вакуум-барабана печі "РОТОР-АГРО"

3.1. Технологія експлуатації, технічного обслуговування та ремонтних робіт валу вакуум-барабана

Піч "РОТОР-АГРО" вирізняється низкою значних переваг, які роблять її ефективним рішенням для хлібопекарських підприємств. Можливість використання різних джерел енергії, таких як електрика, газ або рідке паливо, забезпечує гнучкість у виборі та експлуатації, дозволяючи адаптуватися до доступних ресурсів та оптимізувати витрати. Завдяки **модульній будові** піч легко монтується та запускається, що значно скорочує час встановлення (у 4-5 разів). Це також дозволяє встановлювати піч у приміщеннях зі стандартними дверними отворами, що є важливим фактором для підприємств з обмеженим простором. Двері печі оснащені додатковими елементами жорсткості, подвійним замком та оновленою конструкцією ущільнення, яка запобігає його пошкодженню. Галогенове освітлення забезпечує чудовий огляд внутрішнього простору, а нові петлі з можливістю оперативного регулювання та подвійне скління з природним продуванням холодним повітрям підвищують безпеку та зручність експлуатації.

Збільшена товщина теплоізоляції сприяє кращому збереженню тепла всередині печі, що веде до підвищення енергоефективності та зниження операційних витрат. Ергономічний пульт управління "High Tech" з графічним дисплеєм забезпечує інтуїтивно зрозумілий та зручний інтерфейс. Управління однією круглою ручкою робить роботу з піччю простою та ефективною, надаючи оператору доступ до великого обсягу інформації. Ці характеристики та переваги роблять піч "Ротор-Агро" привабливим рішенням для сучасного хлібопекарського виробництва.

Вакуум-барабан, незважаючи на свою, здавалося б, допоміжну функцію, є одним з найбільш критично важливих і високотехнологічних вузлів ротаційної печі. Його роль не обмежується простим переміщенням повітря; він є ключовим в системі теплообміну, від якого безпосередньо залежить якість кінцевого продукту та ефективність роботи всієї печі.

Вакуум-барабан виконує функцію високопродуктивного вентилятора або циркуляційного колеса. Його основна задача – створювати та підтримувати інтенсивний, рівномірний та контрольований потік гарячого повітря всередині робочої камери. Це не просто переміщення повітря, а створення певних аеродинамічних умов, які забезпечують однорідність температури. Без постійної та рівномірної циркуляції гаряче повітря збиралося б у верхній частині камери, залишаючи холодні зони внизу. Вакуум-барабан долає цю проблему, "перемішуючи" повітря та вирівнюючи температурне поле. Це критично важливо для випікання, оскільки навіть незначні температурні градієнти можуть призвести до нерівномірного пропікання, пересушування або недопікання окремих ділянок продукції.

Активний рух повітря значно підвищує коефіцієнт теплопередачі від нагрівальних елементів до поверхні випікаємого продукту. Це дозволяє скоротити час випікання та зменшити енергоспоживання. Гаряче повітря, циркулюючи, інтенсивно забирає вологу, що випаровується з продукту. Вакуум-барабан забезпечує швидке видалення цього вологого повітря до системи вентиляції, сприяючи формуванню правильної кірки та запобігаючи "запарюванню" продукту.

На відміну від звичайного вентилятора, вакуум-барабан розробляється з урахуванням специфічних умов експлуатації. Він працює в умовах постійного впливу гарячого повітря (до 250-300°C і вище), що вимагає використання жароміцних та корозійностійких матеріалів (спеціальні марки нержавіючої сталі). Під час випікання утворюються пари жирів, кислот та інших органічних сполук, які можуть бути агресивними. Матеріали вакуум-барабана повинні витримувати такий вплив.

Через високі швидкості обертання та постійні температурні зміни, вал та лопаті барабана потребують надзвичайно точного динамічного балансування. Найменша розбалансованість призводить до значних вібрацій, що не тільки руйнують підшипники та інші вузли, але й погіршують якість випікання через нерівномірний потік. Форма, кут нахилу та кількість лопатей оптимізуються для

створення потрібного тиску та об'єму повітря, а також для мінімізації турбулентності та шуму.

Функціонує як дифузор і конфузор, спрямовуючи потік повітря оптимальним чином. Його інтеграція з нагрівальними елементами та системою повітроводів є ключовою. Серцевина барабана, що передає обертання. Його конструкція має бути стійкою до деформацій. Вимагають спеціальних високотемпературних підшипників, які забезпечують мінімальне тертя та довговічність у складних умовах. Вони є одним з найбільш навантажених елементів і часто є причиною несправностей.

Привід асинхронний електродвигун, часто з частотним регулятором, що дозволяє змінювати швидкість обертання барабана і тим самим регулювати інтенсивність циркуляції повітря. Це дозволяє адаптувати режим роботи печі до різних видів продукції. Через свою ключову роль та складні умови експлуатації, вакуум-барабан є одним з найчастіше зношуваних та найбільш дорогих у ремонті вузлів ротаційної печі. Проблеми з ним (зношування валу, пошкодження лопатей, несправності підшипників) безпосередньо впливають на:

якість продукції, нерівномірне пропікання, нерівномірне утворення кірки.

енергоспоживання, зниження ефективності циркуляції вимагає довшого часу випікання та більших енерговитрат.

експлуатаційні витрати, Часті ремонти та простой обладнання.

Саме тому дослідження та модернізація вакуум-барабана, включаючи розробку нових матеріалів, оптимізацію геометрії, покращення систем балансування та діагностики, а також впровадження ефективніших приводів, є одним з пріоритетних напрямків у вдосконаленні ротаційних печей. Його ефективна та безперебійна робота є запорукою успішної експлуатації всієї хлібопекарської лінії.

3.1.1. Основні технічні умови та заходи з ремонту вакуум-барабана хлібопекарської печі Ротор-Агро

Ефективна робота хлібопекарської печі Ротор-Агро є ключовим елементом виробничого процесу. Однак, у процесі експлуатації цього обладнання неминуче

виникають різноманітні технічні несправності, що потребують оперативного втручання. Для забезпечення безперебійної роботи та запобігання аварійним ситуаціям розроблено комплекс заходів, спрямованих на усунення типових поломок (ці заходи зазвичай деталізовані в таблицях, наприклад. Деякі несправності можна вирішити за допомогою відносно простих налагоджувальних операцій, тоді як інші вимагають виконання складних ремонтних робіт.

Однією з поширених проблем, що сигналізує про необхідність негайного втручання, є різке збільшення шуму під час роботи кінематичних передач. Це може бути ознакою серйозного зносу ключових компонентів. Потенційні причини зношування роликів підшипників є критично важливими елементами, що забезпечують плавне обертання та мінімізують тертя. Їхній знос призводить до люфту, підвищення тертя та, як наслідок, до інтенсивного шуму.

Продовження експлуатації обладнання з подібними несправностями може мати катастрофічні наслідки. Існує високий ризик виникнення аварійної ситуації, такої як заклинювання передач, що призведе до непланової та вимушеної зупинки всієї машини [1-6]. Це не тільки спричинить значні фінансові втрати через простій виробництва, але й може потребувати дороговартісного ремонту або повної заміни пошкоджених вузлів.

При виявленні різкого збільшення шуму необхідно негайно зупинити хлібопекарську піч для детальної діагностики та запобігання подальшим пошкодженням. Після зупинки слід провести дефектовку та замінити виявлені зношені ролики підшипників або шестерні. При встановленні нових роликів підшипників критично важливо забезпечити правильний монтажний зазор, який не повинен перевищувати 0,005 мм. Точне дотримання цього показника гарантує коректну роботу підшипника, мінімізує вібрації та продовжує термін його служби.

Після монтажу обов'язково перевірте легкість обертання підшипника у вузлі. Будь-які перешкоди або відчуття опору свідчать про неправильний монтаж або

дефект деталі. Для виконання цих робіт знадобляться спеціалізовані інструменти:

гайкові ключі різного розміру для демонтажу захисних кожухів та кріплень.

знімачі для безпечного та ефективного демонтажу без пошкодження валів.

оправка та молоток (або спеціалізований прес) для правильного встановлення та демонтажу підшипників, забезпечуючи рівномірний розподіл зусилля та запобігаючи деформації.

Після проведення такого класу робіт при допомозі автомата для контролю підшипників виявляються несправності на встановлюється подальша оперативна робота ремонтних заходів.

3.1.2. Організація ремонту хлібопекарної печі "Ротор-Агро": Система планово-попереджувального ремонту (ППР)

Ефективна робота хлібопекарного обладнання, зокрема печі "Ротор-Агро", є запорукою безперебійного виробництва. Ключову роль у цьому відіграє правильно організована система планово-попереджувального ремонту (ППР), що дозволяє мінімізувати простої та забезпечити стабільну роботу [2].

Тривалість простою обладнання під час ремонту залежить від кількох факторів:

Вид ремонту: Капітальний, середній, малий або технічне обслуговування.

Категорія складності машини: Чим складніше обладнання, тим більше часу може зайняти ремонт.

Кількість та кваліфікація персоналу: Досвідчені ремонтні бригади виконують роботи швидше та якісніше.

Технологія ремонту: Застосування сучасних методів та інструментів прискорює процес.

Матеріально-технічна підготовка: Наявність необхідних запчастин, інструментів та матеріалів до початку ремонту.

Організаційно-технічні умови: Належна підготовка робочого місця та дотримання норм безпеки.

Ремонтні роботи на підприємстві здійснюються під безпосереднім керівництвом головного механіка або головного енергетика. Для їх ефективної організації необхідно:

- підготувати всі необхідні запчастини, інструменти, витратні матеріали;
- розробити детальні плани робіт, враховуючи послідовність та терміни;
- застосувати прогресивні технології методики ремонту та діагностики;
- впроваджувати механізацію слюсарних, підйомно-транспортних та інших робіт для прискорення;
- **призначити** відповідальних виконавців за кожним видом обладнання, що підлягає ремонту.

Час зупинки обладнання на ремонт суворо регламентується графіком ППР. Служба головного механіка узгоджує момент зупинки з начальником відповідної ділянки (наприклад, зерноочисної, якщо це стосується підготовки сировини, або безпосередньо виробничої, якщо мова йде про піч). Перед передачею в ремонт, обладнання ретельно чистять та миють. Якщо ремонт невеликий, його проводять без демонтажу агрегату з фундаменту, при цьому територію навколо нього необхідно ретельно прибрати.

Контроль за виконанням графіка ППР покладається на відповідальну особу, наприклад, бригадира ремонтної бригади та механіка заводу. Члени бригади повинні бути ознайомлені з оперативним місячним графіком не пізніше ніж за 4 дні до початку ремонтних робіт.

На підставі дефектів, виявлених під час технічного обслуговування та дрібних ремонтів, складається відомість дефектів для обладнання, що потребує середнього або капітального ремонту. Після цього формуються **замовлення на** виготовлення деталей, яких немає на складі. Необхідні деталі та матеріали, наявні на складі, виписуються та отримуються головним механіком заводу

Розрізняють три основні способи організації ремонту обладнання:

1. **Централізований спосіб.** Передбачає виконання всіх видів ремонтних робіт, а в деяких випадках і технічного обслуговування, силами та засобами ремонтно-механічних майстерень, які підпорядковуються головному механіку заводу. Цей спосіб найбільш ефективний для невеликих підприємств з великою кількістю однотипних машин, а також для ремонту малогабаритного обладнання.

2. **Децентралізований спосіб.** При децентралізованому способі всі види ремонтних робіт та технічного обслуговування виконують ремонтники виробничих цехів під керівництвом механіка цеху. Майстерні заводу виконують лише ті роботи, які неможливо зробити у виробничих цехах (наприклад, верстатні роботи) та виготовляють запасні деталі. Цей метод зазвичай застосовується на великих підприємствах з різноманітним обладнанням.

3. **Змішаний спосіб.** Даний спосіб поєднує елементи централізованого та децентралізованого підходів. Технічне обслуговування та дрібні ремонти здійснюються ремонтниками виробничих цехів (як при децентралізованому способі), а капітальні та середні ремонти виконуються силами ремонтно-механічних майстерень.

Для успішної організації ремонтних робіт на підприємстві критично важливим є впровадження системи ППР. Цей процес включає наступні організаційно-технічні заходи:

1 Інвентаризація обладнання: Проведення обліку всього експлуатованого устаткування на кожній ділянці за видами (технологічне, дозуюче, котельне, електроустаткування тощо).

2. Оформлення особистих карток машин та апаратів: Створення індивідуальних карток для кожної одиниці обладнання та їх заведення при введенні в експлуатацію нового обладнання. Кожній одиниці присвоюється інвентарний номер, який наноситься на її корпус.

3. Оцінка технічного стану: Визначення рівня зносу обладнання та аналіз попередніх ремонтів.

4. Складання відомостей: Формування списків наявних та відсутніх запасних деталей, пристосувань, інструментів та матеріалів.

Ці заходи зручно проводити під час річної інвентаризації основних засобів підприємства (наприклад, станом на 1 грудня), щоб впровадити графік ППР з 1 січня наступного року.

Система ППР охоплює наступні види робіт з технічного догляду та ремонту обладнання:

1. міжремонтне обслуговування: Регулярні перевірки та невеликі налагодження, що не потребують зупинки обладнання.

2. профілактичні огляди: Планові огляди для виявлення потенційних несправностей.

3. малий ремонт (М): Усунення дрібних дефектів та заміна зношених елементів.

4. середній ремонт (С): Більш масштабний ремонт, що включає часткове розбирання, заміну значної кількості деталей.

5. капітальний ремонт (К): Повне розбирання, відновлення або заміна всіх зношених вузлів та деталей.

Важливо зазначити, що позапланові роботи, спричинені аваріями або незадовільною експлуатацією обладнання, системою ППР не передбачаються, але потребують оперативного реагування. Відповідальність за загальну організацію та проведення заходів з ППР на підприємствах покладається на головного інженера та головного механіка підприємств.

3.1.3. Структура ремонтних циклів печі "Ротор-Агро" та розрахунок трудомісткості

Для печі "Ротор-Агро" встановлено наступну структуру ремонтних циклів [1,5]:

- Капітальний ремонт (К): кожні 48 місяців.
- Середній ремонт (С): кожні 24 місяці.
- Малий ремонт (М): кожні 12 місяців.

- Технічний огляд (ТО): кожні 3 місяці.

Визначимо трудомісткість робіт з ремонту та технічного огляду механічної частини технологічного обладнання за формулою:

$$T=k \times RM$$

де:

- T – трудомісткість робіт, люд.-год;
- k – коефіцієнт, що враховує вид ремонту машини (люд.-год);
- RM – категорія складності ремонту механічної частини даної машини.

Для наших розрахунків приймаємо значення коефіцієнта k для різних видів ремонту:

- $TO = 1$ люд.-год
- $M = 7$ люд.-год
- $C = 21$ люд.-год
- $K = 36$ люд.-год

Визначимо річну трудомісткість робіт для печі "Ротор-Агро", виходячи з її циклу. За 48 місяців (один повний цикл до капітального ремонту) відбудеться:

- $48 \text{ міс} / 3 \text{ міс} / TO = 16 \text{ TO}$
- $48 \text{ міс} / 12 \text{ міс} / M = 4$ малих ремонти
- $48 \text{ міс} / 24 \text{ міс} / C = 2$ середні ремонти
- 1 капітальний ремонт (K)

Таким чином, для одного повного циклу (48 місяців) загальна трудомісткість становитиме: $(16 \times 1) + (4 \times 7) + (2 \times 21) + (1 \times 36) = 16 + 28 + 42 + 36 = 122$ люд.-год

Річна трудомісткість (припустимо, що ми розраховуємо на один рік, а потім множимо на кількість циклів або розкладаємо за видами робіт на рік, якщо графік циклічний):

Якщо ми визначаємо трудомісткість за один рік, необхідно врахувати, які ремонти припадають на цей рік. Згідно з наданими даними, для одного року (відповідно до періодичності):

- $12 \text{ міс} / 3 \text{ міс} / TO = 4 \text{ TO}$

- $12 \text{ міс}/12 \text{ міс}/M=1$ малий ремонт
- $12 \text{ міс}/24 \text{ міс}/C=0.5$ середнього ремонту (але на практиці середній ремонт відбувається раз на 2 роки, тому за рік враховуємо половину його трудомісткості або плануємо його раз на два роки)
- $12 \text{ міс}/48 \text{ міс}/K=0.25$ капітального ремонту (аналогічно, планується раз на 4 роки)

Для спрощення розрахунку, якщо нам потрібно визначити сукупну трудомісткість для *одного повного циклу* (48 місяців) і потім розподілити її, або ж вирахувати середньорічну трудомісткість.

Припустимо, що в даному випадку розрахунок "трудомісткість шести ТО, одного малого, одного середнього і одного капітального ремонту" є демонстрацією сукупної трудомісткості певного умовного періоду або як приклад розрахунку, який може бути застосований до конкретного року в рамках циклу.

Якщо ми сумуємо значення за прикладом: "трудомісткість шести ТО, одного малого, одного середнього і одного капітального ремонту" (без прив'язки до реального річного циклу, а як гіпотетичний сукупний обсяг робіт):

$$6 \times 1 \text{ (ТО)} + 1 \times 7 \text{ (М)} + 1 \times 21 \text{ (С)} + 1 \times 36 \text{ (К)} = 6 + 7 + 21 + 36 = 70 \text{ люд.-год}$$

Отриманий результат розкладаємо за операціями:

- Слюсарні роботи: $70 \times 0.72 = 50.4$ люд.-год
- Верстатні роботи: $70 \times 0.2 = 14$ люд.-год
- Інші роботи: $70 \times 0.08 = 5.6$ люд.-год
- Загалом: $50.4 + 14 + 5.6 = 70$ люд.-год

Всі ці значення заносяться у відповідні графи графіка ППР.

3.2. Розроблення технології розбирання та складання вузла забезпечення теплових режимів печі "Ротор-Агро"

Під час проведення ремонтних робіт вузлів обладнання, які потребують відновлення, ключовим етапом є їхнє розбирання. Для забезпечення

ефективності та правильності цього процесу розробляється відповідна технічна документація, що включає схему та технологічну карту розбирання вузла.

У контексті обслуговування печі "Ротор-Агро", особливу увагу приділяють вузлу забезпечення теплових режимів. Наявність несправностей у цьому вузлі, зокрема ремонт валу вакуум-барабана, безпосередньо впливає на підтримання необхідного розрідження та, відповідно, на ефективну роботу вентилятора, що відповідає за циркуляцію теплого повітря.

Перед етапом складання, особливо для валів, на які за допомогою шпонкових з'єднань монтуються шківви, надзвичайно важливо перевірити якість поверхонь усіх деталей, що підлягають з'єднанню [1]. Необхідно ретельно усунути будь-які забоїни, заусенці чи задирки, які можуть перешкоджати точному приляганням або призвести до передчасного зносу. Під час монтажу призматичну шпонку слід обережно направляти в паз легким ударом молотка, забезпечуючи її правильне позиціонування.

Перед збиранням підшипникових вузлів, підшипники кочення підлягають обов'язковому розконсервуванню та ретельному очищенню. Їх необхідно промити в бензині або у мінеральному маслі, підігрітому до температури 80°C. Це забезпечує видалення захисного консерваційного шару та забруднень, що можуть вплинути на довговічність та ефективність роботи підшипника.

Далі наведена таблиця деталізує послідовність розбирання вузла вакуум-барабана печі "Ротор-Агро". Це допоможе забезпечити систематичний підхід та дотримання всіх необхідних етапів.

Таблиця 2.3. Порядок розбирання вузла вакуум-барабана печі "Ротор-Агро"

п/п	Операції та переходи	Інструмент, пристосування, матеріал	Технічні вимоги на складання	Профіль робітника, розряд	Норма часу (хв)	Примітка
	2	3	4	5	6	7
	Відкрутити гвинти 8	Викрутка		Слюсар III розряду		
	Зняти кришку 11	Викрутка		-//-		
	Зняти			-//-		

·	прижимний диск 12		
	Зняти		
·	вентилятор 9	Молоток	
	Відкрутити гвинти M8 6	Викрутка	
	Зняти		
·	шайбу 13		
	Зняти	Викрутка, молоток	
·	корпус 3		
	Зняти	Знімач	-//-
·	підшипник 7	підшипників	
	Відкрутити гвинти M8 2	Ключ ріжковий	-//-
	Зняти		
0.	стопорні гвинти 17		-//-
	Зняти	Пристосуванн	-//-
1.	ущільнювач 18 я		
	Зняти		-//-
2.	прокладку		
	Зняти	Викрутка	
3.	кріплення валу		
	Зняти		
4.	вал		

3.2.1. Обґрунтування рішень щодо ремонту вузла вакуум-барабана хлібопекарської печі "Ротор-Агро"

На підставі детального аналізу конструкції вакуум-барабана печі "Ротор-Агро", виявлених типових несправностей (зокрема, зношування валу в зоні посадки підшипників та відрив/деформація лопатей), а також з урахуванням результатів патентного пошуку та аналізу літературних джерел, було проведено порівняння альтернативних підходів до ремонту. Метою обґрунтування є вибір найбільш ефективних, економічно доцільних та технологічно обґрунтованих рішень для відновлення працездатності вузла, забезпечення його надійності та продовження терміну служби.

1. Обґрунтування рішення щодо відновлення валу вакуум-барабана.

Найбільш поширеним дефектом валу є зношування його шийок у місцях посадки підшипників, спричинене абразивним впливом пилю, недостатнім змащенням або вібраціями. Для відновлення цих ділянок розглядалися такі методи:

- наплавлення з подальшою механічною обробкою (шліфуванням). Дозволяє відновити оригінальні розміри та форму, застосовуючи зварювальні матеріали з підвищеною твердістю або зносостійкістю (наприклад, спеціальні марки хромонікелевих сплавів). Це технологічно відпрацьований метод, доступний на більшості машинобудівних підприємств. Відновлення відбувається швидко, і вартість матеріалів відносно невисока.

Високі температури наплавлення можуть спричинити внутрішні напруги та деформації валу, що вимагає подальшої термічної обробки та точного шліфування. Існує ризик неповного відновлення металу [4].

Використання гальванічне хромування забезпечує високу твердість та зносостійкість поверхні без значного нагріву деталі. Товщина шару обмежена, технологія вимагає спеціалізованого обладнання та є екологічно небезпечною (використання токсичних речовин). Довговічність покриття може бути нижчою за умов вібрацій.

Виготовлення нового валу забезпечує повне відновлення початкових характеристик, можливість використання сучасних, більш міцних матеріалів.

Значно вища вартість матеріалів та виготовлення, довший термін виконання робіт.

Обґрунтування обраного рішення: з огляду на необхідність забезпечення високої надійності в умовах високих температур та динамічних навантажень, а також оптимальне співвідношення "вартість-якість", виготовлення зношених шийок валу з подальшою термообробкою та точним шліфуванням (до класу чистоти не менше Ra 0.8) визнано найбільш доцільним методом, але виготовлення є ще більш доцільним. Це дозволяє використовувати відносно доступні технології, забезпечуючи при цьому необхідну твердість та точність

посадкових поверхонь для підшипників, мінімізуючи ризик появи нових дисбалансів та збільшуючи ресурс валу. При наплавленні буде застосовано електроди, що забезпечують формування зносостійкого шару, а термічна обробка дозволить зняти внутрішні напруги.

2. Обґрунтування вибору підшипникових опор: несправність підшипників є частою причиною простоїв. Під час ремонту необхідно здійснювати повну заміну підшипникових опор на нові високотемпературні аналоги, що рекомендовані виробником печі "Ротор-Агро" або мають еквівалентні (або кращі) характеристики. Вибір конкретного типу підшипників (наприклад, роликові або кулькові, з певним класом точності та температурним діапазоном) обґрунтовується розрахунком їхнього терміну служби та відповідністю умовам експлуатації (робоча температура, швидкість обертання, навантаження). Важливо також перевірити та за необхідності відновити посадочні місця підшипників на валу та в корпусі.

Обрані рішення – виготовлення валу – дозволяють значно продовжити термін служби вакуум-барабана за рахунок відновлення лише пошкоджених елементів, що є суттєво економічнішим, ніж часткова заміна вузла. Вартість ремонту, що включає матеріали, роботи з наплавлення, механічної обробки, виготовлення лопатей та балансування, є значно нижчою за вартість нового вакуум-барабана. Крім того, це дозволяє скоротити час простою печі в порівнянні з очікуванням постачання нового вузла. Запропоновані технології забезпечують відновлення експлуатаційних характеристик барабана до рівня, близького до нового, гарантуючи рівномірне випікання та оптимізуючи енергоспоживання печі.

3.2.2. Вибір та обґрунтування матеріалів для ремонтів/виготовлених елементів

Цей підрозділ зосередиться на обґрунтуванні вибору матеріалів, які будуть використані для відновлення або заміни зношених/пошкоджених деталей вакуум-барабана. Вимоги до матеріалів будуть сформульовані ключові вимоги

до матеріалів для елементів вакуум-барабана (механічні властивості при високих температурах, опір корозії, зносостійкість, зварюваність та ін.).

Розгляд потенційних матеріалів (різні марки нержавіючої сталі, жароміцні сплави, спеціальні покриття) та їх порівняння з оригінальними матеріалами "Ротор-Агро" за технічними характеристиками та вартістю. На підставі проведеного аналізу буде обґрунтовано вибір оптимальних матеріалів для валу, лопатей та інших елементів, що підлягають ремонту або виготовленню, з урахуванням забезпечення необхідної довговічності та економічної доцільності.

3.2.2.1. Аналіз конструкції та вимог до виготовлення валу вентилятора хлібопекарної печі "Ротор-Агро"

Представлена деталь – вал (рис. 3.1), є типовим представником класу валів, що характеризуються значно більшою довжиною порівняно з діаметром та відносно невеликими торцевими поверхнями. У випадку валу вентилятора, його основне призначення – передача крутного моменту від двигуна до лопатей вентилятора, забезпечення обертання ротора та сприйняття радіальних і осьових навантажень.

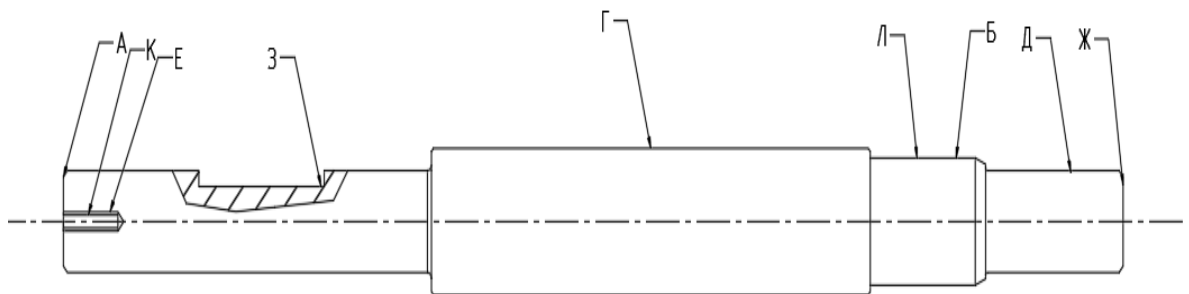


Рис.3.1. Вал вентилятора хлібопекарної печі

Вал навантажений не лише згинанням, а й крученням — у центральній частині (100–470 мм) діє крутий момент. Максимальне механічне навантаження виникає на ділянці біля правої опори (470 мм), де одночасно досягаються піки згинального і крутного моменту. Важливо враховувати

розподіл моментів і сил при розрахунку міцності вала, особливо в зоні переходу діаметрів (182 мм), щоб уникнути концентрації напружень.

Розглянемо конструктивні особливості та вимоги до виробництва валу вентилятора для хлібопекарної печі "Ротор-Агро". Він належить до категорії валів — тіл обертання, що характеризуються значно більшою довжиною порівняно з діаметром та відносно невеликими торцевими поверхнями.

Для виготовлення даного вала використовується сталь 40 згідно з ГОСТ 1050–89 [3]. Цей вибір матеріалу зумовлений необхідністю забезпечити високі експлуатаційні властивості деталі, такі як міцність, зносостійкість та стійкість до циклічних навантажень, які є типовими для елементів вентиляційних систем.

Нижче представлено детальний хімічний склад та механічні властивості сталі 40, що підтверджують її придатність для даного застосування.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад сталі 40 (ГОСТ 1050–89) у %

C α	Si α	Mn α	Ni α	Cr α	S α	P α
0,38-0,42 α	0,17-0,31 α	0,5-0,8 α	0,3 α	0,3 α	0,04 α	0,04 α

3.2.2.2. Розробка креслень елементів вузла вакуум-барабана

На основі проведених розрахунків та обґрунтованих рішень будуть розроблені інженерні креслення. Зі всіма необхідними розмірами, допусками, шорсткістю поверхонь, а також вказівками щодо термообробки або покриттів, якщо це передбачено. Складальне креслення вузла (або його частини) демонструє взаємне розташування відновлюваних або нових деталей. Технічні вимоги до виготовлення/ремонту на кресленнях будуть вказані всі необхідні технічні вимоги, що стосуються якості поверхні, точності розмірів, термічної обробки тощо, які є основою для подальшого технологічного процесу ремонту.

Технологічність конструкції виробу, згідно з ГОСТ 14.205-83, — це набір властивостей, які визначають, наскільки легко та економічно доцільно можна виготовити, експлуатувати та ремонтувати виріб. Вона прагне до оптимальних витрат при збереженні необхідної якості, запланованого обсягу виробництва та заданих умов виконання робіт. Головні цілі аналізу технологічності — це

максимальне зменшення трудомісткості та матеріаломісткості виробництва, а також можливість використання високопродуктивних методів обробки деталі.

На основі якісної оцінки технологічності конструкції даної деталі можна зробити наступні висновки: форма деталі є геометрично неправильною. Це може вказувати на складність виготовлення, що вимагає застосування багатоопераційних процесів або спеціалізованого обладнання. Значення шорсткості поверхонь відповідає класам точності їхніх розмірів і методам обробки цих поверхонь. Це позитивний аспект, оскільки вказує на обґрунтованість вимог до якості обробки та відповідність її функціональному призначенню.

Вісь основних отворів співпадає з віссю деталі, а осі кріпильних отворів перпендикулярні осі деталі. Таке розташування осей спрощує центрування та закріплення деталі під час механічної обробки, а також полегшує монтаж. Виготовлення деталі в більшості випадків може здійснюватись з використанням універсальних засобів і методів. Це свідчить про гнучкість виробництва та зменшує потребу в дорогому спеціалізованому устаткуванні.

В цілому, конструкція деталі є технологічною. Вона дозволяє застосовувати високопродуктивні методи обробки, має хороші базові поверхні для початкових операцій, що забезпечує стабільність обробки, і є достатньо простою за конструкцією.

3.2.3. Технологічні маршрути виготовлення валу

Виходячи з аналізу конструкції валу, його геометричних характеристик, вимог до точності та шорсткості поверхонь, а також з огляду на використання універсального обладнання (токарно-гвинторізний верстат, модель 16K20), можна запропонувати декілька технологічних маршрутів. Вибір конкретного маршруту залежить від обсягу виробництва (серійне, масове), наявного обладнання, кваліфікації персоналу та вимог до економічності.

Виготовлення з каліброваного прутка (для дрібносерійного та серійного виробництва). Цей маршрут передбачає використання каліброваного

металопрокату, що вже має близький до одного з найбільших діаметрів деталі (наприклад, Ø46 мм або Ø50 мм, якщо використовуватиметься обтиск). Це дозволяє зменшити обсяг чорнової обробки.

Вихідна заготовка: калібрований пруток зі сталі 40, діаметр $\approx \text{Ø}50$ мм, довжина 524 мм + припуск на відрізання та обробку торців. Послідовність операцій зведено у таблицю 3.2

Таблицю 3.2. Технологічний маршрут виготовлення валу вентилятора

Операції	Найменування операції	Зміст (переходи)	операції	бладна ння	нструмент, пристосування	Технічні вимоги (контроль)	Розряд робітника	Примітка
05	Відрізна та центрувальна	1.Відрізати заготовку від прутка на задану довжину (524 мм + припуски на торці). 2. Підрізати торці заготовки до точного розміру 524 мм. 3. Свердлити центрувальні отвори з обох торців (ГОСТ 14952–76).	окарно - різний верстат (мод. 16K20)	ідрізнй різець, прохідний різець, центрувальні свердло, патрон, центр.	Довжина 524 мм (+-0.1); розміри та форма центрувальних отворів згідно ГОСТ. Контроль штангенциркулем, шаблонами.	Слюсар-токарь ІІІ	Забезпечення бази для подальших операцій.	
06	Токарна обробка (Перша установка)	1. Встановити деталь у центрах. 2. Чорнове точіння ділянок Ø32 та Ø40. 3. Чистове точіння Ø32 (L=182 мм) (Ra3.2). 4. Чистове точіння Ø40 (L=57 мм) (Ra3.2). 5. Точіння фасок 2x45° (на лівому торці та	окарно - різний верстат (мод. 16K20)	рохідні різець, чорновий, прохідний різець ,	Діаметри Ø32, Ø40 (+допуски); Довжини 182, 57 мм (+допуски); Шорсткість Ra3.2. Контроль штангенциркулем, мікрометром	Слюсар-токарь ІV	Формування лівої частини вала.	

	уступах).	ць профілометр чист ом. овий , різці для фасо к, цент р.		
07	Токарна обробка (Друга установк а)	1. Перевстановити деталь у центрах (перевернути). 2 . Чорнове точіння ділянок Ø46 та окарно Ø32. 3. Чистове - точіння Ø46 (L=344 гвинто мм) (Ra6.3). 4. різний Чистове точіння Ø32 верстат (L=68 мм) (мод. (Ra3.2). 5. 16K20) Точіння фасок 2x45° (на правому торці та уступах).	рохі дни й різе три Діапе ць Ø32 Ø46, чорн (+допуски); овий Довжини , 344, 68 мм прох (+допуски); ідни Шорсткість Слюсар- й Ra6.3, Ra3.2. токар IV різе Контроль ць штангенцирк чист улем, овий мікрометром , різці , для профілометр фасо ом. к, цент р.	Завершення токарної обробки.
08	Фрезерна (для шпонков их пазів)	1. Встановити деталь на фрезерний верстат у призмі або ертика лещатах. 2. льно- Фрезерування фрезер шпонкових пазів ний (якщо передбачено верстат кресленням).	орце ва або кінц ева ри Розмі Фрез а, пазів (ширина, глибина, довжина), унів розташуванн ерса я. Контроль льні я. Контроль лещ штангенцирк ата/ улем, приз глибиноміро ма, м, калібром. інди като ри.	Забезпече ння елементів для передачі моменту. Фрезеру (Якщо пази відсутні, операція виключає ться).
	Шліфува	1. Встановити деталь	Точні Шліфуваль	Забезпечення

09	льна (за на шліфувальний руглош ліфу сть розмірів ник V необхідно верстат.ІТ6, ІТ7), сті) Кругле шліфування льний ний шорсткість посадкових верстат круг Ra0.8-1.6, поверхонь відп циліндричні (наприклад, Ø32, овід сть. Ø40), якщо потрібна ної Контроль вища точність (Н7) зерн мікрометром або шорсткість исто , сті. індикатором, профілометр ом.	Електр ична піч, загарту вальни й бак (з маслом /водою)	Твердість (HRC/HB), мікрострукт ура. Контроль твердоміром .	Підви щення міцності та зносостійкост і. (Залежить від вимог до експлуатації).
10	Термічна обробка (якщо потрібна) 1. Гартування.ІТ6, ІТ7). Відпуск.		Тер міст III-IV	
11	Фінішна та контроль на 1.Зачищення задирок.ІТ6, ІТ7). Нанесення антикорозійного покриття (якщо передбачено).ІТ6, ІТ7). Повний контроль вимірю всіх розмірів, вальні інстру менти. розташування поверхонь, шорсткості.	Наждачн ий папір, розчини для очищенн я, мікроче нт, штанген циркуль, індикато р, профіло метр.	П овна відповід ність креслен ням та ТУ.	Кон тролер ВТК IV Заверш альний етап, забезпечення якості.

Ця таблиця деталізує кожну операцію, вказуючи її зміст, необхідне обладнання, інструменти, технічні вимоги до контролю та кваліфікацію робітника. Це типовий вигляд технологічної карти.

3.3. Аналіз та обґрунтування вибору необхідного технологічного оснащення для реалізації розробленого технологічного процесу виготовлення валу вакуум-барабана печі Ротор-Агро

Вибір технологічного оснащення при ремонтних роботах печі є головною задачею, яка визначає кроки, які необхідно виконати для зняття, ремонту/заміни

та встановлення валу вакуум-барабана. Так як вал розташований зверху панелі збірної печі "Ротор-Агро" і є важким елементом.

Для цього процесу потрібні спеціальні пристосування. Є можливість про необхідність лебідки або іншого пристосування для знімання вакуум барабана з подальшим зніманням валу.

Мета розробки оснащення вирішує проблему підвищення безпеки, прискорення ремонту, зменшення трудовитрат, забезпечення точності. Спеціалізовані ключі, зйомники, монтажні лопатки, інструмент для демонтажу підшипників тощо.

Для контролю розмірів, биття, соосності після встановлення (наприклад, мікрометри, індикатори, рівні, нівеліри). Для кожного виду оснащення обґрунтовується, чому саме це обладнання є найкращим для даної операції. Врахувати: вантажопідйомність (для лебідки), точність (для вимірювальних приладів), ергономіка та безпека.

3.3.1. Аналіз технологічного забезпечення ремонту та обґрунтування необхідності спеціального оснащення

Процес ремонту та обслуговування валу вакуум-барабана хлібопекарної печі "Ротор-Агро", детально викладений у Розділі 2 даної роботи. До ключових моментів також належать: демонтаж валу з робочої зони печі, його дефектація, власне ремонтні або відновлювальні роботи (або заміна у випадку критичного зносу), наступний монтаж валу та проведення необхідних випробувань для підтвердження працездатності вузла.

Особливу складність та високу трудомісткість представляє операція демонтажу валу. Його розташування у верхній частині панелі збірної печі "Ротор-Агро", а також значна маса самого валу, створюють значні труднощі для ручного переміщення та роблять його потенційно небезпечним. Обмежений робочий простір навколо вузла додатково ускладнює маніпуляції та підвищує ризики. Отже, для забезпечення безпеки персоналу та ефективності виконання

робіт, критично важливим є застосування спеціалізованого вантажопідйомного обладнання.

Крім того, успішне виконання ремонтно-відновлювальних робіт вимагає високої точності. Це стосується як операцій, що передбачають вимірювання геометричних параметрів валу (наприклад, перевірка биття, контроль діаметрів після механічної обробки), так і контролю зазорів при монтажі підшипників, а також загального контролю якості після проведення ремонтних втручань (наприклад, оцінка стану зварних швів, якщо такі були). Забезпечення необхідної точності потребує застосування відповідних контрольно-вимірювальних приладів.

Ефективність проведення ремонтних робіт, включаючи демонтаж та монтаж валу, значною мірою залежить від належних умов експлуатації та обслуговування печі в цілому. Згідно з вимогами до встановлення печі "Ротор-Агро" та забезпечення можливості її обслуговування, приміщення для випікання виробів повинно відповідати наступним критеріям:

1. **Достатня площа** для встановлення та повноцінного обслуговування печі повинна становити не менше 12 м² (зокрема, розміри 3,2 х 3,8 м). Це забезпечує вільний доступ до всіх вузлів агрегату.
2. **Прохід для обслуговування та виконання робіт** з поточного та дрібного ремонту необхідно забезпечити прохід шириною не менше 0,8 м між стіною приміщення та піччю.
3. **Водостійкість підлоги** в приміщенні повинна бути виконана з водостійких матеріалів для забезпечення гігієнічних та експлуатаційних вимог.
4. **Електричні комунікації** силового електричного вводу та контуру заземлення є обов'язковою для безпечної експлуатації та підключення технологічного обладнання.
5. **Водопровідні та водостічні комунікації** у цеху є необхідною для санітарних потреб та можливих технологічних процесів.

Конструкція печі "Ротор-Агро" передбачає її встановлення безпосередньо на підлогу цеху без використання фундаментних болтів. Це спрощує її монтаж та надає певні переваги у разі потреби переміщення. Оскільки цех, як правило, розташований на першому поверсі, для переміщення печі у міжцеховому просторі (наприклад, до зони проведення капітального ремонту) може бути використаний електронавантажувач, оснащений відповідними вилами або стріловим вантажопідйомним пристосуванням. Також, для демонтажу верхньої системи теплообміну, включаючи вал вакуум-барабана, може бути задіяна лебідка.

Для забезпечення безпечного та ефективного виконання операцій з демонтажу валу вакуум-барабана, а також у разі потреби переміщення печі, необхідно обрати відповідне вантажопідйомне обладнання.

3.3.1.1. Вибір електронавантажувача

Виходячи з потреби у міжцеховому переміщенні печі та можливості використання його для демонтажу верхніх вузлів, розглянемо вибір електронавантажувача. Згідно з джерелом [9], для транспортування вантажів до 750 кг, може бути обраний електронавантажувач моделі 4004. Однак, варто зазначити, що у наведених технічних характеристиках моделі 4004 вказана вантажопідйомність 1700 кг. Це забезпечує значний запас міцності для транспортування валу, а також може бути достатнім для переміщення всієї печі, якщо її маса менша за це значення.

Технічна характеристика електронавантажувача моделі 4004:

- Вантажопідйомність: 1700 кг
- Максимальна відстань вил до ґрунту: 2600 мм
- Швидкість підйому вантажу: 10 м/хв
- Комплектація вантажозахватним пристроєм: стріла, вила
- Габаритні розміри, мм:
 - Довжина: 4590
 - Ширина: 2150
 - Висота з опущеним вантажопідйомником: 2100

- База: 1900 мм
- Відстань між колесами, мм:
 - Передніми: 1540
 - Задніми: 1420
- Дорожній просвіт: 220 мм
- Радіус повороту: 3200 мм
- Швидкість руху: до 36 км/год
- Маса: 1740 кг

Застосування електронавантажувача моделі 4004, оснащеного стріловим вантажопідйомним пристосуванням, є оптимальним для демонтажу верхніх частин печі "Ротор-Агро" та її міжцехового переміщення.

3.3.1.2. Обґрунтування можливості встановлення печі без фундаментних болтів

Оскільки для хлібопекарної печі "Ротор-Агро" конструктивно не передбачено кріплення фундаментними болтами, її встановлення можливе безпосередньо на підлогу цеху. Для підтвердження стійкості та відсутності надмірного навантаження на основу, необхідно розрахувати питоме навантаження, що створюється піччю на підлогу.

Розрахунок питомого навантаження на основу виконується за формулою:

$$P = F_o \cdot R_n \cdot G_m \cdot k$$

де:

- G_m – вага печі, кН;
- k – коефіцієнт зменшення (0,7...0,9), що враховує динамічні навантаження та нерівномірність розподілу;
- F_o – площа опори печі, м² (дані беруться з паспорту печі);
- R_n – нормативний тиск на ґрунт, кПа (наприклад, 200 кПа для глинистого чорнозему).

Отримане значення питомого навантаження P порівнюється з допустимим нормативним тиском на ґрунт. Якщо P менше або дорівнює R_n , це підтверджує,

що основа витримає вагу печі. Таким чином, досягнення необхідного положення печі при її встановленні може бути реалізовано методом безвивірочного монтажу на жорстких бетонних подушках, що є характерним для подібного обладнання, що не вимагає жорсткого кріплення.

3.3.2. Розрахунок основних параметрів такелажних пристосувань для строповки

Для безпечного та надійного демонтажу та подальшого монтажу валу вакуум-барабана (або інших великогабаритних елементів печі, що потребують підйому), застосовуються сталеві канати у вигляді стропів. Вибір канатів здійснюється на основі розрахунку розривного зусилля, яке має значно перевищувати максимальне робоче навантаження з урахуванням коефіцієнтів запасу міцності.

Найбільший натяг у кожній вітці каната ($S_{\max}$), що виникає при підйомі вантажу, визначається за формулою:

$$S_{\max} = Q \cdot g / n \cdot \cos(\alpha)$$

де:

- Q – маса вантажу, що підіймається (у даному випадку, маса валу вакуум-барабана або іншого елемента, що стропується), кг;
- g – прискорення вільного падіння, $g \approx 9.81 \text{ м/с}^2$;
- n – кількість віток стропа;
- α – кут нахилу стропа до вертикалі (тобто, α – половина кута між стропами, який ви вказали як 2α).

Розрахункове розривне зусилля каната ($P_{\text{роз.}}$), яке має витримувати обраний канат, визначається з урахуванням необхідного коефіцієнта запасу міцності (K):

$$P_{\text{роз.}} = S_{\max} \cdot K$$

де:

- $S_{\max}$ – найбільший натяг канату (розрахункова величина), Н;

- К – коефіцієнт запасу міцності для стропів, який зазвичай приймається в діапазоні від 5 до 6 згідно з нормативними документами для вантажопідйомних механізмів.

На основі розрахованого необхідного розривного зусилля, здійснюється підбір стандартного сталевих каната з каталогу. Для даного випадку може бути обраний канат типу ТК 6х19 (тип конструкції каната), для якого нормативне розривне зусилля $R_{ном}=164\text{кН}$ при діаметрі $D=18.5\text{мм}$. Діаметр окремої дротини каната складає 1.2мм. Маса 100 погонних метрів такого каната становить 122кг. Оскільки $R_{ном}(164\text{кН}) > R_{роз.}$, обраний канат задовольняє вимогам міцності.

3.3.3. Розрахунок основних конструктивних параметрів барабана лебідки

Монтажні та демонтажні операції з валом вакуум-барабана, а також іншими елементами печі, передбачається виконувати за допомогою лебідки, наприклад, типу ТЕЛ-2, що оснащена барабаном одношарового навивання каната. Відповідно до правил Держгіртехнагляду та стандартів безпеки, борти барабанів вантажопідйомних механізмів повинні виступати над верхнім шаром намотаного каната щонайменше на два діаметри каната.

Застосування нарізних барабанів, на які канат намотується в один шар, є кращим, оскільки гвинтові канавки збільшують площу контакту каната з барабаном, знижуючи напруження від зім'яття. Це також усуває тертя між сусідніми витками каната та зменшує його зношування, що призводить до збільшення терміну служби каната. Профіль канавок зазвичай вибирається згідно з нормативними документами [3,7].

Приймаємо діаметр каната $D_{кан}=0.004\text{м}$ (якщо це внутрішній діаметр каната для розрахунку, інакше використовуйте $D=18.5\text{мм}=0.0185\text{м}$ з попереднього підрозділу, що є більш логічним. Крок нарізання канавки барабана вибирається з урахуванням діаметра каната та технологічних допусків: $t_k=D_{кан}+0.002\text{м}=0.0185\text{м}+0.002\text{м}=0.0205\text{м}$.

Глибина канавки зазвичай приймається як 0.3 від діаметра каната:
 $h_k = 0.3 \cdot D_{\text{кан}} = 0.3 \cdot 0.0185 \text{ м} = 0.00555 \text{ м}$.

Згідно з вимірами [8,9] (або технологічним завданням), довжина каната, що намотується на барабан, становить $L_{\text{кан}} = 12 \text{ м}$. Тоді довжина нарізної частини барабана, без врахування додаткової довжини каната для його закріплення, буде:
 $L_{\text{бар}} = t_k \cdot L_{\text{кан}} \cdot t_k = 0.0205 \text{ м} \cdot 12 \text{ м} \cdot 0.0205 \text{ м} \approx 586 \text{ витків}$. Довжина барабана буде $586 \cdot 0.0205 \text{ м} = 12.013 \text{ м}$. Приймаємо $L_{\text{бар}} = 12.1 \text{ м}$ [11], якщо це стандартний розмір.

Для литих чавунних барабанів товщина стінки може бути попередньо визначена за емпіричною формулою: $\delta_{\text{ст}} = 0.02 \cdot D_{\text{бар}} + 0.008 \text{ м}$

. Припустимо, що $D_{\text{бар}}$ дорівнює 0.5 м.

$\delta_{\text{ст}} = 0.02 \cdot 0.5 \text{ м} + 0.008 \text{ м} = 0.018 \text{ м}$. Приймаємо $\delta_{\text{ст}} = 0.02 \text{ м}$ [12], якщо це стандартний розмір.

3.3.3.1. Розрахунок телескопічного домкрата Т-56Б

Для точного встановлення печі на фундамент (або її позиціонування на підлозі цеху), вивірки по рівню, а також для прив'язочно-центрувальних переміщень, ефективним є використання домкратів. Зокрема, для підйому печі на невелику висоту та її точного позиціонування доцільно використовувати гідравлічні домкрати.

Припускається використання чотирьох гідравлічних домкратів, які встановлюються на фторопластові листи. Це забезпечує низький коефіцієнт тертя, що дозволяє переміщувати піч по підлозі цеху за допомогою зовнішніх сил (наприклад, за допомогою лебідки) до суміщення її монтажних осей з осями на фундаменті.

Розрахунок горизонтальної виштовхуючої сили (Тр). Горизонтальна виштовхуюча сила, що необхідна для переміщення печі, розраховується за формулою ([12], с. 232):

$$T_r = P_{\text{ван}} \cdot f \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot n_3$$

де:

- $P_{\text{ван}}$ – маса печі, що переміщується, кг.

- f – коефіцієнт тертя, $f=0.12$.
- n_1 – коефіцієнт перевантаження (згідно з табл. 13 [12]).
- $n_2=1.3$ – коефіцієнт запасу (для забезпечення надійності).
- $n_3=1.1$ – коефіцієнт, що приймається за пунктом 2 табл. 4 [12].

На основі отриманого значення необхідної горизонтальної виштовхуючої сили T_p , здійснюється вибір домкратів. Приймається чотири гідравлічні телескопічні домкрати моделі Т-56Б. Кожен такий домкрат має вантажопідйомність 3.5т (тобто 3500кг), що забезпечує достатній запас для переміщення. Максимальний хід поршня домкрата становить 180мм, що є достатнім для точного позиціонування.

3.3.4. Спеціальний пристрій для контролю симетричності шпонкових канавок валу

Для забезпечення точності геометричних параметрів валу вакуум-барабана після ремонтних робіт або при дефектації, а також для контролю його стану в процесі експлуатації, критично важливим є контроль радіального биття. Радіальне биття (ексцентриситет) є показником відхилення форми та взаємного розташування осей поверхонь обертання від ідеального стану, що безпосередньо впливає на динамічні характеристики вузла, знос підшипників та ефективність роботи печі.

Шпонкові з'єднання є критично важливими елементами для передачі крутного моменту від валу вакуум-барабана до інших компонентів печі "Ротор-Агро". Точність розташування шпонкових канавок (пазів) відносно осі валу безпосередньо впливає на рівномірність передачі навантаження, довговічність з'єднання та відсутність додаткових вібрацій. Відхилення від симетричності шпонкової канавки може призвести до нерівномірного розподілу навантаження, підвищеного зносу як самої канавки, так і відповідної шпонки та спряженої деталі, а також до виникнення небажаних динамічних навантажень.

При ремонті або виготовленні нового валу вакуум-барабана, а також під час періодичного технічного огляду, особливу увагу слід приділяти геометричній

точності шпонкових канавок. Навіть незначне зміщення паза відносно осі валу може спричинити:

1. нерівномірний розподіл навантаження буде концентруватися на одній зі стінок паза, що призведе до прискореного зносу або руйнування;
2. люфт у з'єднанні спричинить вібрації, шум та ударні навантаження;
3. ускладнення монтажу при несиметричній канавці може унеможливити або значно ускладнити збирання вузла;
4. зниження надійності ресурсу роботи всього механізму.

Саме тому для забезпечення високої якості ремонту та надійності функціонування валу розроблено спеціальний пристрій для контролю зміщення шпонкового паза щодо осі валу.

3.3.4.1. Конструкція та принцип роботи пристрою

Пристрій для контролю відхилення від симетричності шпонкових канавок, зображений на рисунку 3.3 є простим у виготовленні та дозволяє швидко й точно провести вимірювання без необхідності демонтажу оброблюваної деталі з верстата (якщо контроль проводиться безпосередньо на верстаті) або без спеціального складного станда.

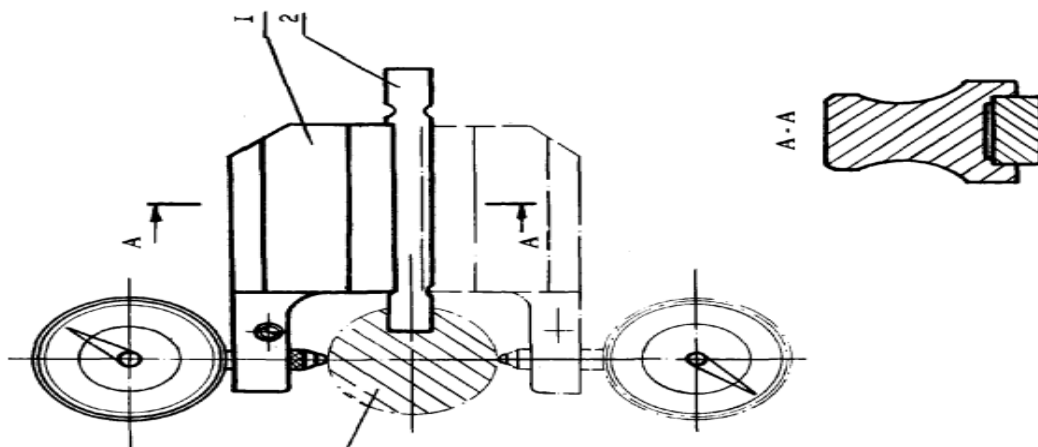


Рис. 3.3. Пристрій для контролю відхилення від симетричності шпонкових канавок

Основні конструктивні елементи пристрою:

- 1. Вимірювальна каретка 3, як основний рухомий елемент пристрою, який переміщується по поверхні щупів і несе на собі вимірювальний інструмент. Каретка повинна мати високу жорсткість та точність

виконання спряжених поверхонь для забезпечення мінімальних похибок при вимірюванні.

- 2. Щупи (опори) 2. Два спеціально виготовлених щупи, які без зазору встановлюються у шпонковий паз. Розміри їхніх кінців виконані відповідно допуску на ширину шпонкового паза. Для підвищення універсальності, щупи можуть мати кінці, розділені на чотири групи розмірів, що дозволяє використовувати пристрій для шпонкових пазів з різними допусками або номінальними розмірами. Це забезпечує щільну посадку щупа у паз, що є критичним для точності вимірювання.
- 3. Індикатор годинникового типу (ІГ): Високоточний вимірювальний прилад, який встановлюється на вимірювальній каретці. Його чутливий наконечник контактує з поверхнею валу, фіксуючи відхилення. Індикатор має малу ціну поділки (зазвичай 0.01 мм), що забезпечує необхідну точність вимірювання.

Принцип роботи. Встановлення щупів: Два щупи (2) щільно, тобто без зазору, встановлюються у шпонковий паз (3) на валу. Вони повинні щільно прилягати до бічних стінок паза. Вимірювальна каретка (1) встановлюється на верхню поверхню одного зі щупів. Стрілку індикатора годинникового типу (ІГ) встановлюють на нуль, попередньо знайшовши найвищу точку на поверхні валу, яка контактує з наконечником індикатора. Це забезпечує базову точку відліку. Каретку обережно переставляють на протилежну сторону того ж щупа, або на інший щуп (якщо конструкція дозволяє) і знову знаходять найвищу точку валу, фіксуючи нове показання ІГ.

Величина дійсного зміщення паза відносно осі валу визначається як половина абсолютної різниці показань індикатора годинникового типу:
$$\text{Зміщення} = 2 | \text{Показання ІГ1} - \text{Показання ІГ2} |$$

Забезпечується завдяки використанню прецизійного індикатора та точно виготовлених щупів. Дозволяє проводити контроль швидко, що є важливим в умовах ремонтного виробництва. Не потребує складного навчання персоналу.

Можливість використання для різних типорозмірів шпонкових пазів (за умови наявності відповідних наборів щупів). Дозволяє проводити вимірювання без демонтажу оброблюваної деталі з верстата або без транспортування її до спеціалізованої вимірювальної лабораторії, що скорочує час простою обладнання.

Застосування такого пристрою значно підвищує якість ремонту валів, забезпечуючи їх відповідність технічним вимогам щодо симетричності шпонкових канавок, що є запорукою надійної та довговічної роботи вакуум-барабана печі.

3.3.4.2. Вивірка та центрування хлібопекарної печі "Ротор-Агро" при встановленні та обслуговуванні

Правильне встановлення хлібопекарної печі "Ротор-Агро" у проектне положення на фундаменті або підлозі цеху є запорукою її стабільної та довговічної роботи. Цей процес включає декілька ключових етапів: укладання опорних елементів, попереднє встановлення печі на ці елементи, точна вивірка в плані (горизонтальне положення), по висоті та вертикальності, а також наступна підливка зазору між обладнанням та фундаментом (або підлогою).

Для досягнення необхідної точності положення печі по висоті та горизонтальності може бути застосований метод безвивірочного монтажу. Цей підхід передбачає встановлення опорних елементів (наприклад, жорстких бетонних подушок, як згадувалося раніше) з високою точністю в межах розрахункових допусків. За такого методу відпадає потреба в подальших регулювальних операціях за допомогою спеціального обладнання, що спрощує та прискорює монтаж.

При вивірці обладнання в плані, тобто його горизонтальному переміщенні для точного позиціонування, зазвичай застосовуються вантажопідйомні крани, домкрати та спеціальні монтажні пристрої. Регулювання здійснюється в межах технологічних зазорів: між стінками отворів у базовій деталі обладнання та стержнями попередньо встановлених фундаментних болтів;

або в межах зазору колодязів, призначених для заповнення бетоном та закріплення фундаментних болтів під час підливки основи обладнання.

Зокрема, для точної вивірки печі "Ротор-Агро" (або її окремих важких вузлів, що потребують ремонту), ефективним є використання гідравлічного телескопічного домкрата типу Т-56Б. Вивірка по висоті та горизонтальності також може виконуватися за допомогою опорних елементів різноманітних конструкцій, що дозволяють тонке регулювання.

Для проведення демонтажних робіт, а також подальшого технічного обслуговування хлібопекарної печі "Ротор-Агро" та її вузлів, необхідний відповідний набір матеріалів та інструментів. Оскільки піч встановлюється безпосередньо на підлогу (або жорсткі опори) без жорсткого кріплення фундаментними болтами до масиву фундаменту, вибір інструментарію має відповідати специфіці таких робіт. У таблиці 3.3 наведено перелік основних матеріалів та інструментів, що застосовуються для демонтажних, монтажних та вивірочних робіт.

Таблиця 3.3. – Основні матеріали та інструменти для монтажу та демонтажу печі "Ротор-Агро"

п/п	Матеріали та елементи кріплення	Кількість	Інструменти та прилади	Кількість
	Манжети 12х20 ГОСТ 6969-74	4	Рулетка 5 м	1
	Римболти ГОСТ 7808-70	4	Домкрат гідравлічний телескопічний Т-56Б	1 (або 4, як розраховано раніше)
			Нівелір	1
			Набір крейди для розмітки	1
			Ключ II 22-62 ГОСТ 9106-71	1
			Рівень	1
			Слюсарно-монтажні інструменти (набір)	1

Отже, для забезпечення необхідної точності деталі при конструюванні пристосування необхідно вибрати схему, яка дозволить якісно повести технологічні роботи.

Висновки

У роботі на основі аналізу роботи хлібопекарної печі марки «Ротор-Агро» та аналізу вихідної інформації запропоновано розрахунок та ремонт вакуум-барабана машини, який має постійні проблеми при його експлуатації.

На основі проведених розрахунків була прийнято рішення про доцільність заміни зношену конструкцію валу вузла вакуум-барабана, що входить до системи забезпечення теплообміну в пекарній камері печі. Дані технологічного ремонту та обслуговування печі ґрунтується на встановленні демонтажних робіт та виборі такелажних пристосувань. Також було встановлено, що графік ППР призводить не тільки до розрахованих термінів проведення для збільшення ефективності роботи печі, але і до підвищення надійності роботи даної машини, зокрема вузла теплового регулювання теплоносія. Це дозволяє при виконанні намічених заходів зменшити час простою печі в капітальному ремонті.

Надано структуру ремонтних циклів печі "Ротор-Агро" та розрахунок трудомісткості. Проведено розроблення технології розбирання та складання вузла забезпечення теплових режимів печі "Ротор-Агро". Надано обґрунтування рішень щодо ремонту вузла вакуум-барабана хлібопекарської печі "Ротор-Агро"

Перелік посилань

1. Закалов О.В. Дипломне проектування технологічного обладнання переробних і харчових виробництв : навчальний посібник [Текст] / Закалов О.В., Ворошук В.Я. – Видавництво ТНТУ ім.І.Пулюя, 2011. – 350 с.
2. Мельник С. В. *Технічне обслуговування та ремонт хлібопекарського обладнання.* — Харків: ХДУХТ, 2018.
3. Коваленко І. П. Механіка та експлуатація харчових машин. — Київ: НУХТ, 2017.
3. STADNYK Igor, PIDDUBNYI Volodymyr, CHAHAYDA Andrii, FEDORIV Viktor, HUSHTAN Tetiana, KRAIEVSKA Svitlana, KAHANETS-HAVRYLKO Lesia, OKIPNYI Ihor ENERGY SAVING THERMAL SYSTEMS ON THE MOBILE PLATFORM OF THE MINI-BAKERY. Contents of Journal of Mechanical Engineering - Strojnicky časopis, 2023, Volume 73, No. 1: pp. 169 - 186.
4. Федоренко С.О., Голуб О.Ю. "Технічний аналіз та вибір матеріалів для деталей машин в умовах агресивних середовищ" — Книга,
5. Патент UA 103725 U, 2016. Спосіб охолодження маслоутворювача з гвинтовими каналами для теплоносія / Винахідники: І. І. Чабан, М. М. Горбатюк.
6. Патент UA 130944 U, 2019. Маслоутворювач із функціонально розділеними зонами охолодження / І. В. Паламарчук, О. С. Клименко.
7. Інтегровані технології обробки матеріалів: підручник / Е.С. Геворкян, Л.А. Тимофєєва, В.П. Нерубацький, О.М. Мельник. Харків: УкрДУЗТ, 2016. – 238 с.,
8. Грабченко А.І., Везуб М.В., Внуков Ю.М., Мельничук П.П., Виговський Г.М. Робочі процеси високих технологій у машинобудуванні: підручник для студентів Вищих Навчальних Закладів. - Житомир: ЖДТУ, 2003. - 451 с.
9. Головка О. І., Беспалова Л. А. Технологічне обладнання для виробництва маргарину та спредів. — К.: Центр навчальної літератури, 2018. — 280 с.
6. Гаврилко П., Піддубний В., Стадник І., Гуштан Т., Краєвська С., Каганець-Гаврилко Л. Визначення розрахункових навантажень виробничих механізмів і машин та технологічні розрахунки виробництва борошняних виробів /навч.методичний посібник:.. Ужгород: РІК-У, 2023. 468 с..
7. Патент № UA 7654321 – Конструкція диспергатора з вали, що має спеціальні вкладиші для зменшення тертя та збільшення терміну служби обладнання при високих навантаженнях.
8. Andriy Derkach, Igor Stadnyk, Volodymyr Piddubnyi. Andrii Chahaida., Iurii Radchenko (2024). Achievements and problems in studying the mechanism of thermal potential transfer regulation between liquids/ Machinery & Energetics. Vol. 15, No. 1 Vol. 15, No. 1. 2024 104-117p

9. I. Stadnyk, V. Piddubnyi, O. Kolomiets, A.Chahaida, O.Kravets et. al. (2025). Determining the influence of drum mixer parameters on the change in dough components concentration at the initial mixing stage. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2 No. 11(134), 6–15.
10. Improvement of environmental sustainability of milk processing enterprises / Oleh Kravets, Mariia Shynkaryk, Viktor Kravets // *Scientific Journal of TNTU*. — Tern.: TNTU, 2024. — Vol 114. — No 2. — P. 111–118.
11. Shynkaryk, M., Kravets, O., & Venhrynovych, S. (2021). Features of pressing the juice from viburnum berries. *Вісник Тернопільського національного технічного університету*, 101(1), 94-101.
12. Piddubnyi, V., Stadnyk, I., Kravets, O., Chahaida, A., Hushtan, T., Kahanets-Havrylko, L., Karpovych, I., Tupitska, O., Kostyuk, T., & Rozbytska, T. (2023). Characteristics of mucous-forming polysaccharides extracted from flax seeds. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 2023. Vol. 17, P. 677–693.
13. Лобур Д.Ю. Шляхи зниження енергоємності процесів сушіння дисперсних матеріалів / Д.Ю. Лобур, О.І. Кравець // зб. тез доп. XIII Міжн. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 11-12 грудня 2024 р. Тернопіль : ТНТУ, 2024. С. 335-336.
14. Шинкарик М.М. Фільтраційно-компресійне сушіння технічного казеїну / М.М. Шинкарик, О.І. Кравець // Збірник тез Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» – Тернопіль: – 2018. – 295 с.
15. Шинкарик, М. М., & Кравець, О. І. (2024). Основи теплотехніки: навч. посібник. Тернопіль: ФОП Паляниця ВА.
16. Кравець О.І. Особливості фільтраційно-компресійного сушіння харчових мас / О.І. Кравець, М.М. Шинкарик // матеріали Міжн. наук.-техн. конф. «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», 14-15 трав. 2020 р. Тернопіль : ТНТУ, 2020. С. 223.
17. Кравчук В.І., Шевченко О.В. "Технологія і техніка виготовлення металевих виробів для харчової промисловості" — Підручник
18. В.К Супрунчук. Довідни по ремонту обладнання харчових виробництв [Текст] / Н.И. Житник, В.А Точковой та ін. - К.: техніка, 1984. - 224с.
19. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки: навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.
20. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с.
21. Пилипець М.І. Раціональні способи виготовлення заготовок для одиничного і дрібносерійного виробництва/ М.І. Пилипець, О.М. Пилипець //Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції присвяченої пам'яті професора Гевка Богдана Матвійовича

„Проблеми теорії проектування та виготовлення транспортно-технологічних машин“, 2021. - с.13

22. Pylypets M. I. Designing uniformly loaded threaded connections M. I. Pylypets, O.M. Pylypets, V. R Pankiv Modern research in technical sciences: the impact of martial law in Ukraine (March 6–7, 2024. Riga, the Republic of Latvia) : International scientific conference. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2024,-p.11-16.