

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня
бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення заходів з технічного обслуговування та ремонту приводу редуктора
контейнера печі марки Winkler.

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

	(шифр і назва спеціальності)	
		Боївка О..
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник		Стадник І.Я.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль		Ворощук В.Я.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри		Ворощук В.Я.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент		Марущак П.О.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Анотація. Дана робота кваліфікаційна бакалавра на тему „ Розроблення заходів з технічного обслуговування та ремонту приводу редуктора контейнера печі марки Winkler” виконана згідно до виданого завдання. Роботою передбачено розрахунок та ремонт приводу редуктора контейнера, обслуговування щоб забезпечити її безперебійну роботу.

Передбачені розділи роботи виконані в об’ємі повному згідно вказівок методичних і рекомендацій. Подано розрахунки та маршрути виготовлення деталі приводу.

Графічні матеріали роботи дають змогу детально проаналізувати конструкцію технологічного обладнання, специфікацію елементів, їхні габарити та вузли з’єднань. Безвідмовна робота печі та профілактика технічних несправностей безпосередньо залежать від чіткого дотримання міжремонтних інтервалів та експлуатаційних вимог. Наведені узагальнення фіксують правильність підходів до менеджменту ремонтних процесів.

This Bachelor's thesis, titled " Development of measures for maintenance and repair of the gearbox drive of the Winkler furnace container," has been completed in accordance with the assigned task. The scope of this work encompasses the calculation and repair of the gearbox drive, as well as its maintenance, aimed at ensuring its continuous and trouble-free operation. All scheduled sections of the thesis have been executed to their full extent, adhering strictly to the methodological guidelines and recommendations. The study presents the engineering calculations and manufacturing routing for the drive component. The graphical materials provided in the thesis allow for a comprehensive analysis of the processing equipment's design, component specifications, dimensions, and assembly joints. Trouble-free operation of the furnace and the prevention of technical failures directly depend on strict compliance with maintenance intervals and operational requirements. The presented conclusions confirm the validity of the chosen approaches to maintenance management.

Зміст

Анотація

Вступ

Аналіз вихідної інформації для розробки дипломної роботи

1.1. Аналіз стану використання хлібопекарських печей

1.1.1. Структура технічного аналізу об'єкта

1.1.2. Інженерне обґрунтування та розрахункові параметри

1.2. Будова та принцип функціонування ротаційної печі «Winkler.»

1.2.1. Аналіз конструктивної схеми та функціональних вузлів печі «Winkler»

1.2.2. Принцип функціонування обладнання

1.3. Аналітичний огляд патентної документації та науково-технічних 1.3.1.

Ключові напрямки інноваційного розвитку конструкцій ротаційних печей за матеріалами патентних досліджень

1.3.2. Компаративний аналіз конструктивних схем сучасних ротаційних печей

1.3.3. Ротаційні хлібопекарські печі

1.4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи

2. Обґрунтування конструкції та інженерні розрахунки приводу редуктора контейнера печі Winkler

2.1. Технічне проектування та аналіз кінематики приводу редуктора

2.1.1. Опис приводу печі

2.2 Аналіз слабких місць приводу та причин відмов у процесі експлуатації

2.3 Обґрунтування вибору та аналіз роботи ланцюгової передачі приводу

2.3.1. Кінематичний аналіз приводу ротаційної печі

2.3.2. Обґрунтування конструктивних рішень базової конструкції привідного вузла

2.3.3. Конструктивні розрахунки привода механізму обертання контейнера печі Winkler

2.4. Розрахунок виробничої потужності та енергетичних витрат печі Winkler

2.4.1. Розрахунок годинної та добової продуктивності

2.4.2. Розрахунок енергетичних потреб та ресурсів

2.4.3. Теплотехнічний розрахунок печі Winkler

2.5. Розрахунок навантаження на привідний механізм та підбір потужності

Арк.А

Змн.3	Арк.А	№ докум.№	ПідписПі	Дата	КРБ 054.00.00.000.ПЗ	
-------	-------	-----------	----------	------	----------------------	--

2.5.1. Визначення тягового зусилля та крутного моменту

2.5.2. Визначення необхідної потужності приводу

2.6. Впровадження комп'ютерно-інтегрованих технологій для моніторингу та діагностики приводу

2.6.1. Узагальнений аналіз навантажень на елементи приводу (Winkler)

3. Технічне обслуговування та ремонт приводу редуктора контейнера печі марки Winkler

3.1. Основні технічні вимоги до ремонту приводу редуктора контейнера печі марки Winkler

3.1.1. Організація системи планово-попереджувальних ремонтів (ППР) приводу контейнера

3.2. Розробка технологічного процесу розбирання та складання механізму приводу контейнера

3.2.1. Технологія складання та пусконаладження

3.2.2. Регламент та технологічна карта складання вузла

3.3. Службове призначення та технічна характеристика вузла сполучення редуктора із зіркою контейнера печі Winkler

3.3.1. Конструктивні особливості та вимоги до деталі

3.3.2. Вплив технічного стану зірки на якість готової продукції

3.4. Розробка технологічного маршруту та розрахунок припусків

3.5. Технологічний маршрут виготовлення деталі

3.6. Розрахунок режимів різання для токарних операцій

3.6.1. Зведена відомість режимів різання

3.7. Розрахунок режимів різання для зубообробних та довбальних операцій

4. Охорона праці та надзвичайні ситуації

4.1. Аналіз виробничого травматизму

4.2. Фінансування заходів з охорони праці

4.3. Безаварійна зупинка лінії виробництва батону

Загальні висновки

Література

Додатки

					КРБ 054.00.00.000 ПЗ	Арк. А
Змн.З	Арк. А	№ докум. №	Підпис Пі	Дата		

Вступ.

Ефективна експлуатація технологічного обладнання передбачає стабільне забезпечення його паспортної продуктивності за умови збереження якісних показників, регламентованих технічними умовами (ТУ) та чинними стандартами. Будь-яке відхилення від цих параметрів свідчить про зниження роботоздатності машини — стану, за якого вона здатна повноцінно виконувати свої функції у визначених межах. У процесі функціонування первинні властивості технічних систем неминуче погіршуються внаслідок зношування деталей, деструкції конструкційних матеріалів та порушення регулювань у вузлах, що призводить до виникнення технічних несправностей та відмов.

Ключовим критерієм роботоздатності обладнання є його надійність — комплексна властивість, яка визначає здатність машини зберігати експлуатаційні параметри протягом заданого часу або напрацювання.

Мінімізація аварійних зупинок та передчасного зносу досягається модернізацією конструкцій, застосуванням прогресивних зносостійких матеріалів, а також впровадженням системи планово-запобіжного ремонту (ПЗР). Цей комплекс організаційно-технічних заходів регламентує проведення технічного обслуговування (ТО), а також поточних і капітальних ремонтів залежно від ступеня деградації вузлів та трудомісткості робіт.

Реалізація системи ППР на підприємстві потребує створення належної матеріально-технічної бази та забезпечення ремонтних служб необхідним інструментом, технологічним оснащенням, засобами малої механізації та зварювальним обладнанням. Розрахунок потреби в матеріально-технічних ресурсах здійснюється на основі галузевих та індивідуальних нормативів із залученням специфікацій проектно-конструкторської документації.

Аналіз вихідної інформації для розробки дипломної роботи взаємодії матеріальних і енергетичних потоків в ротаційній хлібопекарській печі

1.1. Аналіз стану використання хлібопекарських печей

Фундаментом для виконання кваліфікаційної роботи став системний аналіз технічної та нормативної документації, що дозволило сформувати доказову базу для проектних рішень. До ключових інформаційних джерел належать:

Документація виробника обладнання: Технічний паспорт та регламент з експлуатації ротаційної печі марки Winkler. На основі цих матеріалів проаналізовано конструктивну специфіку агрегату, алгоритми пусконаладжувальних робіт, режими функціонування та графіки сервісного обслуговування. Використано деталізовані схеми та складальні креслення ключових механізмів.

Технологічний регламент хлібопекарського виробництва: Вихідні дані щодо термічних циклів, вологості середовища в пекарній камері, тривалості випікання, а також фізико-хімічних перетворень тістових заготовок під час ферментації.

Графічне моделювання процесів: Машинно-апаратні схеми, що візуалізують інтеграцію печі у структуру автоматизованої лінії виробництва хлібобулочних виробів.

Стандартизація та сертифікація: Чинні державні стандарти (ДСТУ) та галузеві нормативи, що регулюють якість готової продукції та вимоги до безпечної експлуатації теплового обладнання.

Теоретичний базис: Фахова література з питань тепломасообміну, прикладної механіки та аеродинаміки, що дозволила обґрунтувати методи діагностики та шляхи модернізації конструкції ротаційних печей.

1.1.1. Структура технічного аналізу об'єкта

У межах дослідження особливу увагу приділено наступним напрямкам:

- 1. Конструктивні особливості печі «Winkler.»** Проведено детальний розбір

2. функціональних вузлів установки: корпусу з посиленою термоізоляцією, приводного механізму роторного пристрою, системи примусової конвекції та мікропроцесорного блоку управління. Окремо вивчено динаміку повітряних потоків у робочій камері, що є вирішальним фактором для забезпечення стабільного температурного поля та гомогенності випікання виробів на всіх рівнях стелажного візка.
3. Функціональне призначення та конструктивні особливості приводного механізму

У межах аналізу технічного оснащення печі Winkler особливу увагу приділено вузлу приводу, що виконує роль головного нагнітача конвекційного потоку. Приводний редуктор забезпечує стабільну частоту обертання системи контейнера, що є критичним для підтримання заданого теплового градієнта. У ході дослідження було визначено наступні аспекти:

- *Роль у технологічному процесі:* привід забезпечує активну циркуляцію теплоносія, що сприяє інтенсивному випаровуванню вологи з поверхні тістових заготовок (осушення) та гарантує ідентичність термічного впливу на вироби на всіх рівнях стелажа.
- *Конструктивне виконання:* Проаналізовано методику інтеграції у зовнішню конструкцію печі, зокрема специфіку монтажних з'єднань та вузлів фіксації, що сприймають вібраційні навантаження від двигуна.

1.1.2. Інженерне обґрунтування та розрахункові параметри

Для верифікації робочих характеристик обладнання необхідно провести виконання комплекс розрахунків:

1. Теплофізичний аналіз. Визначення динамічних характеристик повітряного середовища (робочий тиск, температурні криві, об'ємний розхід та вектори швидкості потоку). Дані параметри є базовими для оцінки ККД теплообміну.
2. Механічна міцність та деформаційна стійкість: проведення перевірки конструкції барабана на здатність протистояти комбінованим навантаженням. Розрахунок враховує власну масу вузла, відцентрові сили

при обертанні, а також термічне розширення металу, що виникає внаслідок циклічних температурних перепадів.

3. Діагностика технічного стану та типові дефекти

Систематизація досвіду експлуатації печей Winkler дозволила виділити характерні несправності приводу:

Втома матеріалу: Поява мікротріщин та деформація корпусу через тривалий вплив високих температур.

Порушення геометрії: Знос опорних вузлів та кріпильних елементів, що призводить до втрати співвісності (осьового биття).

Механічний знос: Деградація робочих поверхонь лопатей та вала, що потребує відновлювальних робіт із застосуванням зварювання або повної заміни компонентів.

1.2. Будова та принцип функціонування ротаційної печі «Winkler.»

Об'єктом дослідження є універсальна ротаційна піч модульного типу, що відзначається високою ремонтпридатністю. Основу енергоефективного корпусу складають п'ять функціональних сегментів: опорна база, бічні модулі (лівий та правий), склепіння камери та теплогенераторний блок.

Ключові технічні характеристики корпусу:

Матеріали: Внутрішня камера виконана з корозійностійкої харчової сталі; зовнішнє облицювання захищене термостійким полімерним покриттям.

Термоізоляція: Використання мінераловатних плит товщиною 100 мм забезпечує високий термічний опір та знижує енерговитрати.

Аеродинаміка: Дворежимний вакуум-вентилятор дозволяє варіювати швидкість повітряного потоку, що дає змогу гнучко налаштовувати процес — від стадії інтенсивного підйому тіста до формування золотистої скоринки.

Рівномірність обробки: Поєднання обертання контейнера з роботою системи регульованих шиберів (заслінок) гарантує відсутність «мертвих зон» та рівномірне пропікання продукції.

1.2.1. Аналіз конструктивної схеми та функціональних вузлів печі «Winkler»

На рис. 1.1 представлено загальний вигляд промислової ротаційної печі, конструкція якої оптимізована для масового виготовлення хлібобулочної продукції. Ключовою особливістю агрегату є поєднання примусової конвекції та механічного обертання стеляжного візка, що гарантує гомогенність термічної обробки виробів.

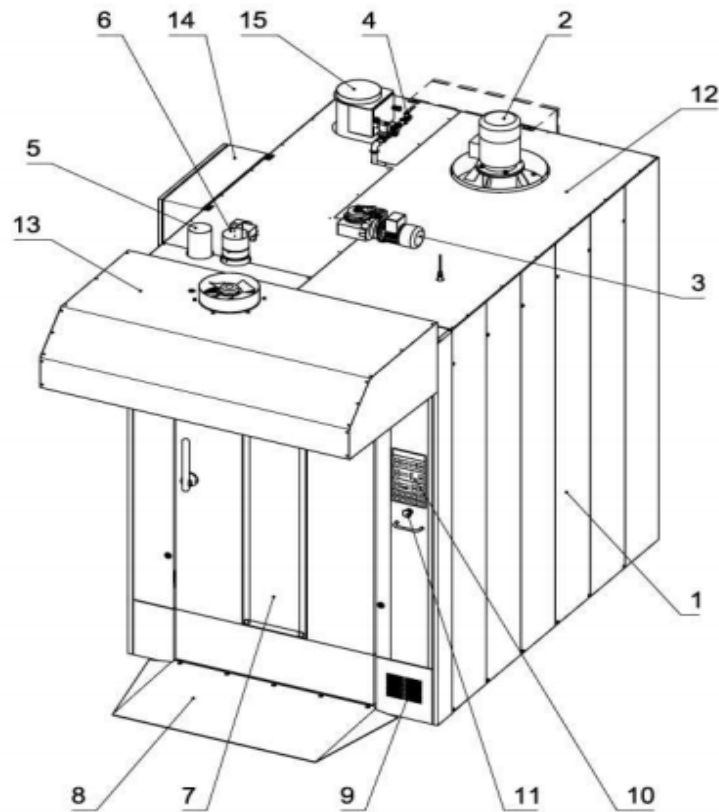


Рис. 1.1. Загальний вигляд та компонування ротаційної печі «Winkler» 1 – корпус; 2 – вакуум-барабан (вентиляторний блок); 3 – привід обертання візка; 4 – лінія парогенератора; 5 – вузол паровидалення; 6 – регульовальна заслінка; 7 – термодвері; 8 – завантажувальний трап; 9 – система охолодження; 10 – панель інтерфейсу; 11 – аварійний стоп-сигнал; 12 – кріплення панелей; 13 – вентиляційний козирок; 14 – електрошафа; 15 – димовідвідний патрубок.

Основними конструктивними компонентами печі є: несучий корпус (поз. 1): Виступає базовим каркасом для монтажу всіх систем. Виконаний із нержавіючої або вуглецевої сталі з порошковим напиленням. Внутрішній простір корпусу заповнений багатошаровою теплоізоляцією, що мінімізує енерговтрати. У верхній частині корпусу розташований димохід (поз. 15) з регульованою заслінкою, через який видаляються продукти згоряння палива та надлишкова волога. Система

циркуляції повітря (поз. 2): складається з електропривода та відцентрового вентилятора (вакуум-барабана). Цей вузол формує динамічний потік гарячого повітря, спрямовуючи його в робочу камеру через систему шиберів.

Механізм ротації візка (поз. 3): спеціалізований привід, що забезпечує постійне обертання поворотної платформи або підвісного пристрою. Це виключає появу зони локального перегріву та забезпечує рівномірне підрум'янювання виробів з усіх боків.

Система парогенерації та вентиляції включає трубопровід парогенератора (поз. 4) для зволоження пекарної камери та витяжну систему (поз. 5) для примусового паровидалення. Додаткове охолодження зовнішніх елементів конструкції забезпечується автономним вентилятором (поз. 9).

Дверна група та завантажувальна зона це робоча камера оснащена масивними термостійкими дверима (поз. 7) з оглядовим вікном та герметичним ущільнювачем. Для зручності переміщення важких стелажів конструкцією передбачено відкидний трап (поз. 8), який забезпечує плавний заїзд візка в камеру.

Управління та безпека: контроль технологічних параметрів здійснюється через мікропроцесорну панель (поз. 10), де задаються режими випікання. Електротехнічна частина зосереджена в шафі керування (поз. 14). Для миттєвої зупинки обладнання в разі нештатних ситуацій передбачена кнопка аварійного відключення (поз. 11).

Окрім механічних вузлів, стабільність технологічного процесу в печі «Winkler» гарантується роботою систем тепло- та вологообміну: система парозволоження активується на початковій стадії термічної обробки. Подача пари в робочий простір запобігає передчасному утворенню скоринки, що дозволяє тістовим заготовкам максимально збільшитися в об'ємі. Це сприяє отриманню еластичної, глянцевої поверхні готових виробів та продовжує термін збереження свіжості.

Теплогенеруючий вузол: залежно від модифікації (газова, рідкопаливна або електрична), нагрівання повітря здійснюється шляхом спалювання енергоносія в камері згоряння або за допомогою блоку електричних нагрівальних елементів (ТЕНів). У випадку електричного нагріву блок ТЕНів інтегрується безпосередньо в зону обдування вентиляторним вузлом.

Контрольно-вимірювальні прилади та автоматика: Комплекс прецизійних датчиків температури та тиску постійно моніторить стан середовища. Ці дані обробляються мікропроцесорною системою керування, що дозволяє підтримувати параметри випікання з мінімальними відхиленнями від заданої програми.

1.2.2. Принцип функціонування обладнання

Технологічний цикл роботи ротаційної печі базується на синхронізації теплових та механічних процесів:

1. Стадія завантаження: Після розміщення стелажного візка в камері та герметичного закриття дверей спрацьовують кінцеві вимикачі, що дозволяють запуск програми.
2. Тепломасообмін: Система опалення виходить на задану потужність. Вакуум-барабан (поз. 2) створює інтенсивну примусову конвекцію, переміщуючи гарячі маси повітря через теплообмінник до виробів.
3. Ротація та зволоження: Одночасно вмикається привід поворотного механізму (поз. 3), що забезпечує безперервне обертання візка навколо своєї осі. За необхідності система парозволоження виконує впорскування води на парогенераторні елементи.
4. Моніторинг та завершення: Через панель керування (поз. 10) оператор контролює хід випікання в реальному часі. Після завершення таймера система подає звуковий сигнал, вимикає нагрів та переводить вентиляцію в режим видалення залишків пари для підготовки до вивантаження.

Проаналізована конструкція печі «Winkler» (та її аналогів) демонструє високу ступінь автоматизації та надійності. Проте складність кінематичних зв'язків приводу редуктора та робота в умовах високих температур вимагають розроблення специфічних заходів з технічного обслуговування, що і буде розглянуто в наступних розділах роботи.

1.3. Аналітичний огляд патентної документації та науково-технічних джерел

Системний аналіз існуючих інженерних рішень та результатів наукових досліджень є визначальним етапом проектування, що дозволяє оцінити сучасний рівень розвитку хлібопекарського машинобудування. Дослідження патентного ландшафту та фахової літератури спрямоване на виявлення інноваційних тенденцій, критичних недоліків серійного обладнання та обґрунтування напрямків модернізації.

Патентний пошук та аналіз конструктивних рішень. Вивчення бази патентів дозволяє ідентифікувати інтелектуальну власність провідних світових виробників у сегменті ротаційних печей. Основний масив запатентованих розробок зосереджений навколо таких ключових вузлів:

Механізми приводу та ротації: аналіз патентів на конструкції редукторів, ланцюгових та пасових передач, а також вузлів підвісу, що забезпечують плавність ходу стелажного візка.

Системи термодинаміки: захищені авторським правом рішення щодо конфігурації теплообмінників, пальників та блоків ТЕНів.

Аеродинамічні системи: патенти на геометрію лопатей вентиляторів (вакуум-барабанів) та механізми регулювання повітряних потоків за допомогою шибєрних решіток.

Гідротермічна обробка: інноваційні способи генерації та розподілу пари для досягнення оптимального зволоження поверхні виробів. Такий підхід дозволяє уникнути дублювання вже відомих технічних рішень та знайти вектори для вдосконалення вузлів, що найчастіше піддаються деградації.

Теоретичний базис та наукова література. Глибоке опрацювання монографій, матеріалів міжнародних конференцій та результатів дисертаційних досліджень дозволило сформулювати теоретичне підґрунтя роботи:

1. Моделювання тепломасообміну: розгляд сучасних моделей перенесення тепла в обмеженому просторі пекарної камери, що є базою для оптимізації енергоспоживання.
2. Матеріалознавство та знос: аналіз публікацій, присвячених термічній втомі металів та деформаційній стійкості деталей приводу, що працюють в умовах інтенсивного нагріву.

3. Автоматизація та діагностика: вивчення методів предиктивного технічного обслуговування на основі моніторингу вібраційних та температурних показників приводних редукторів.

Узагальнення зібраних даних свідчить, що попри значні успіхи в автоматизації та енергоефективності, проблема експлуатаційної надійності приводних механізмів залишається гострою. Зокрема, інтенсивний знос елементів редукторів та порушення центрирування вакуум-барабанів призводять до вимушених простоїв.

Комплексний аналіз джерел підтверджує актуальність розробки вдосконалених регламентів технічного обслуговування та методів відновлення приводу, що і є основним завданням цієї кваліфікаційної роботи.

1.3.1. Ключові напрямки інноваційного розвитку конструкцій ротаційних печей за матеріалами патентних досліджень

Аналіз патентної документації свідчить про стійку тенденцію до модернізації ключових енергетичних та кінематичних вузлів печей. Сучасні об'єкти інтелектуальної власності в галузі хлібопекарського обладнання зосереджені на вирішенні проблем енергозбереження та підвищенні експлуатаційної надійності. Можна виділити наступні пріоритетні напрямки патентування:

1. Інтеграція систем рекуперації теплової енергії

Значна частина патентних рішень присвячена вторинному використанню тепла відпрацьованих газів.

Суть винаходу: Конструкції передбачають встановлення інтегрованих у димохідну систему рекуперативних теплообмінників. Це дозволяє здійснювати попередній підігрів свіжого припливного повітря або води для системи парозволоження за рахунок енергії відхідних газів.

Технічний ефект: Впровадження таких запатентованих систем дозволяє суттєво знизити термічне навантаження на пальник та зменшити питомі витрати палива.

2. Аеродинамічна оптимізація робочого простору

Патентні розробки в цій сфері спрямовані на вдосконалення геометрії внутрішніх каналів та повітроводів.

Суть винаходу: Використання запатентованих систем дефлекторів та регульованих спрямовувальних апаратів.

Технічний ефект: Мінімізація гідравлічного опору системи та усунення «застійних зон» у пекарній камері. Це не лише покращує якість продукції, але й зменшує навантаження на підшипникові вузли та привід вакуум-барабана за рахунок стабілізації аеродинамічних зусиль.

3. Модульні термоізоляційні структури

Новітні патенти описують багатошарові композитні панелі з низьким коефіцієнтом теплопровідності.

Суть винаходу: Створення модульних секцій корпусу, які легко демонтуються.

Технічний ефект: Окрім підвищення загальної енергоефективності, такі рішення суттєво спрощують проведення ремонтних робіт, дозволяючи виконувати локальну заміну пошкоджених ділянок обшивки або ізоляції без повного розбирання печі.

4. Модернізація вентиляційних систем.

Для теми даної роботи особливий інтерес становлять патенти, що стосуються механіки вакуум-барабанів.

Динамічна геометрія лопатей: Патентуються вузли, що дозволяють змінювати кут атаки робочих лопаток у реальному часі.

Технічний ефект: Це дозволяє адаптувати параметри повітряного потоку під специфіку конкретного виробу без необхідності різкої зміни частоти обертання електродвигуна. З точки зору ремонту, такі конструкції є складнішими, що вимагає розробки спеціалізованих регламентів з обслуговування механізмів повороту лопатей та їх змащування.

Інновації у сфері матеріалознавства та захисних покриттів

Окремий сегмент патентного пошуку складають розробки, спрямовані на підвищення ресурсу деталей, що працюють в екстремальних умовах (висока температура, вологість, агресивне середовище).

Суть винаходу: Патентуються спеціалізовані сплави та нанокompозитні покриття для лопатей вентиляторів та валів приводу. Зокрема, використання керамічних напилень дозволяє нівелювати вплив абразивного зносу та хімічної корозії.

Технічний ефект: Застосування таких матеріалів критично важливе для вузла, оскільки це дозволяє подовжити міжремонтний інтервал та стабілізувати динамічне балансування ротора протягом усього терміну експлуатації.

6. Інтелектуальні системи дистанційної діагностики та IoT

Сучасні патенти активно впроваджують концепцію «Індустрії 4.0» у хлібопекарське обладнання.

Суть винаходу: Інтеграція датчиків вібрації та температури підшипників у єдину систему моніторингу на базі IoT (інтернету речей).

Технічний ефект: Це дає змогу реалізувати стратегію предиктивного обслуговування. Система здатна прогнозувати вихід редуктора або підшипників вакуум-барабана з ладу ще до моменту фактичної поломки, аналізуючи аномалії у вібраційному спектрі двигуна.

7. Концепція модульності та автоматизованого очищення

Для скорочення часу простою під час технічного обслуговування патентуються рішення, що спрощують доступ до внутрішніх вузлів.

Суть винаходу: Швидкознімні модулі циркуляційних вентиляторів та нагрівальних блоків. Додатково впроваджуються системи піролітичного або хімічного самоочищення внутрішньої камери.

Технічний ефект: Радикальне скорочення трудовитрат на планові ремонти. Модульна конструкція дозволяє замінити несправний привідний вузол за лічені хвилини, виконуючи ремонт демонтованого елемента в умовах майстерні, не зупиняючи виробничий процес.

1.3.2. Компаративний аналіз конструктивних схем сучасних ротаційних печей

Порівняльне дослідження інженерних підходів провідних виробників (Winkler, Ротор-Агро, Revent та інших) дозволяє виявити найбільш ефективні конфігурації для конкретних виробничих умов. Аналіз проводиться за ключовими критеріями:

Таблиця 1.1. Порівняльна характеристика основних конструктивних рішень

Параметр порівняння	Типове рішення (базове)	Інноваційне рішення (модернізоване)	Вплив на надійність
Система	Нижня	Верхній підвісний	Зменшення

приводу візка	поворотна платформа	гак	забруднення приводу борошном
Привід вентилятора	Пряма передача на вал	Ремінна передача з частотним регулюванням	Можливість точного налаштування аеродинаміки
Матеріал редуктора	Стандартні чавунні корпуси	Легкосплавні модульні корпуси	Краще тепловідведення, зручність монтажу
Система парозволоження	Каскадна (лоткова)	Форсуночна (розпилювальна)	Більш інтенсивне та рівномірне зволоження

Комплексний аналіз патентного ландшафту та наукової літератури, попри динамічний розвиток теплотехнічних рішень, дозволив виявити низку критичних «прогалин». Ці невирішені технічні суперечності безпосередньо лімітують надійність обладнання та стабільність якісних показників готової продукції. До основних проблемних напрямків належать:

1. Прецизійне керування динамікою повітряних потоків

Сучасні системи часто обмежуються лише дискретним або частотним регулюванням швидкості вентилятора. Проте залишається відкритим питання динамічного перерозподілу векторів потоку всередині камери. Існуючі математичні моделі часто ігнорують нелінійні ефекти турбулентності, що виникають при змішаному завантаженні або випіканні виробів складної геометрії. Це призводить до локальних зон нерівномірного теплопередавання та неоднорідного висушування напівфабрикатів.

2. Деградація критичних вузлів у екстремальних середовищах

Найбільш вразливою ланкою залишається тріада: «вал – лопаті вакуум-барабана – підшипникові опори». Навіть при використанні високолегованих жароміцних сталей спостерігається інтенсивний знос через:

- поєднання циклічних термонавантажень та вібрацій;
 - абразивну дію борошняного пилу;
 - корозійний вплив органічних кислот, що виділяються під час випікання.
- Бракує універсальних нанокompозитних покриттів, здатних одночасно протидіяти всім цим деструктивним факторам протягом тривалого міжремонтного циклу.

3. Системна енергетична оптимізація

Більшість інновацій мають локальний характер (наприклад, лише рекуперація тепла). Проте відсутній цілісний підхід, де енергоефективність нагріву була б узгоджена з гідродинамічним опором системи циркуляції та витратами енергії на парогенерацію. Взаємовплив модернізації одного вузла на загальний енергетичний баланс печі залишається недостатньо вивченим.

4. Низький рівень впровадження інтелектуальної предиктивної діагностики

Попри активний розвиток концепції IoT, реальне використання алгоритмів машинного навчання для прогнозування залишкового ресурсу приводу редуктора та вакуум-барабана в серійному обладнанні є мінімальним. Відсутність уніфікованих протоколів збору даних про вібрацію та температуру підшипників ускладнює перехід від планового до прогностичного (предиктивного) обслуговування.

5. Екологічна безпека та фільтрація викидів

Існуючі системи видалення пари та димових газів часто не забезпечують належного рівня очищення від жирових аерозолів та продуктів неповного згоряння. Розробка компактних та енергоефективних фільтруючих модулів, інтегрованих у витяжну систему печі, є актуальним викликом для інженерів.

Проведений аналіз конструкції печі марки Winkler та її аналогів (Ротор-Агро), а також огляд патентних рішень, підтверджує, що найбільш критичним вузлом, який лімітує надійність всієї установки, є привід та система циркуляції повітря.

Виявлені прогалини в точності аеродинамічного контролю та зносостійкості компонентів обґрунтовують необхідність розроблення вдосконалених заходів з технічного обслуговування та ремонту приводу редуктора, що і є основним завданням подальших розділів цієї кваліфікаційної роботи.

1.3.3. Ротаційні хлібопекарські печі

Ротаційна піч моделі ZF-100 рис. 1.2 (виробництва КНР) є складним тепловим обладнанням, ключові вузли якого забезпечують рівномірне випікання виробів.

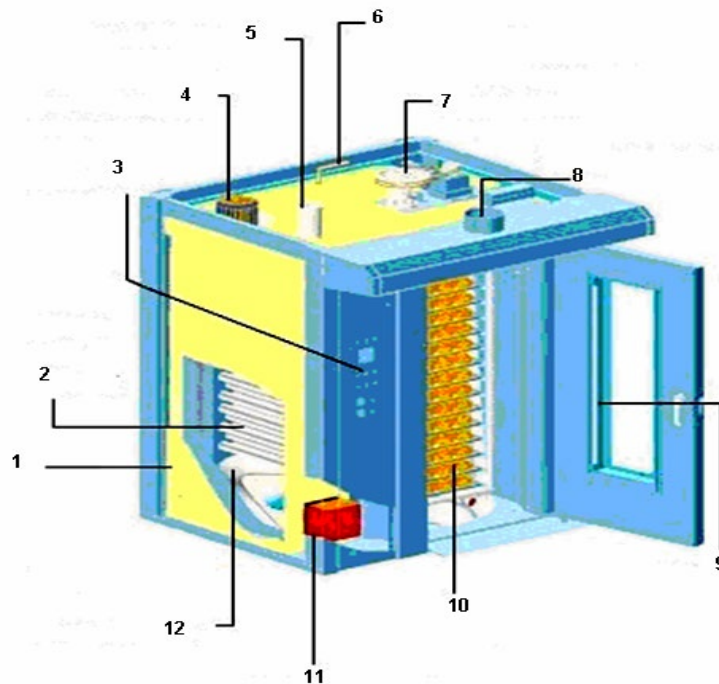


Рис.1.2. Ротаційна піч моделі ZF-100

Конструкція установки включає такі функціональні елементи: корпус та терморегуляція: зовнішня обшивка (кожух) 1 із шаром ефективної теплоізоляції 2. Теплова частина: пальник 11, що генерує необхідну енергію. Камера та завантаження: герметичні двері 9 зі спеціальним вікном для візуального контролю, а також обертовий механізм 7, що приводить у рух стелажний візок (контейнер) 10. Гідро- та аеродинамічні системи: блок парозволоження 6, вузол рециркуляції повітря 4, а також система витяжних вентиляторів 5 та 8.

Керування: електронна панель 3 для налаштування параметрів техпроцесу.

Функціонування печі відбувається за чітко визначеним алгоритмом. На пульті керування оператор виставляє параметри згідно з технологічною картою: температурний режим, загальний час приготування та тривалість роботи системи парозволоження. Двері камери щільно зачиняються, а заслінка системи витяжки приводиться в закриті положення. Шляхом переведення тумблера «Нагрівання» у режим «Автомат» активується автоматичний цикл підготовки та випікання. Для створення необхідного рівня вологості в робочій камері передбачено систему впорскування води. Активація електромагнітного клапана відбувається паралельно з увімкненням світлового індикатора, що інтегрований у відповідну кнопку керування.

Важливою особливістю є те, що механізм обертання завжди зупиняє контейнер у фіксованому положенні. Це гарантує, що напрямні контейнера будуть точно зорієнтовані відносно виходу, що дозволяє швидко та безперешкодно викотити його з печі.

Ротаційні печі Rotor Basic (Італія) (рис. 1.3) з конvekцією повітря і обертанням контейнера з виробами має вигляд шафи з шаром теплоізоляції 2, в якій розташована пекарна камера. В камеру заковують контейнер 7, на лотках якого розміщені вироби, що випікаються. Контейнер при заковуванні в камеру чіпляється до спеціального гака пристрою для обертання, який приводиться в рух електродвигуном 6, розміщеним на верхній кришці печі.

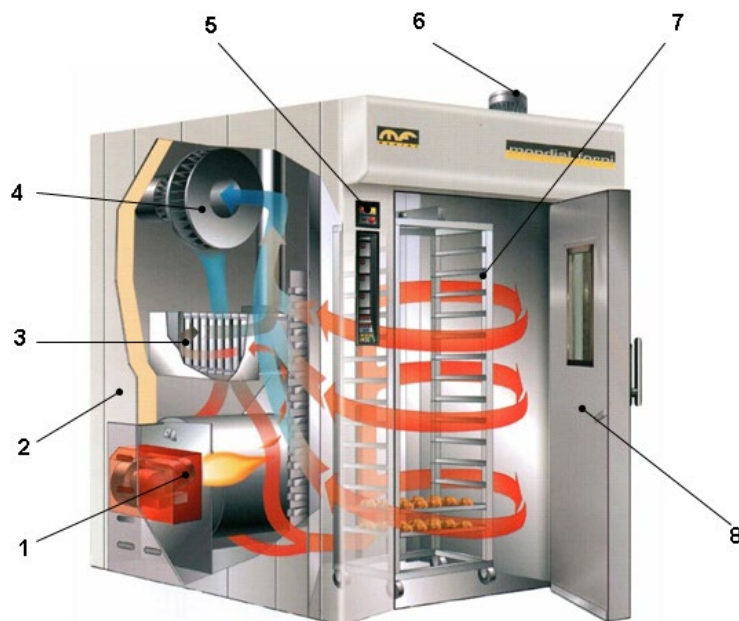


Рис. 1.3. Ротаційні печі Rotor Basic.

Рівномірність випікання в печі забезпечується продуманою системою розподілу повітря. Нагріті потоки подаються через нижні канали та піднімаються вгору за спіральною траєкторією, що гарантує стабільну температуру в кожній точці камери. Напрямок та інтенсивність потоків коригуються спеціальними заслінками. Рециркуляційний вентилятор 4 винесений за межі гарячої зони, що значно подовжує термін його служби та запобігає перегріву двигуна. Під вентилятором розташований парогенератор 3. Нижня частина: У топковій камері розміщено палик 1. Встановлено завантажувальні двері 8 з оглядовим склом та пульт керування 5.

Процес роботи печі автоматизований і поділяється на кілька етапів:

1. Підготовка та розігрів: На панелі налаштовуються параметри часу випікання та зволоження. Встановлюється цільова температура, після чого запускається попередній нагрів камери.

2. Завантаження: Після досягнення робочої температури у камеру закривають візок (контейнер), фіксуючи його на поворотному пристрої.

3. Робочий цикл:

- При закритті дверей автоматично запускається механізм обертання та рециркуляційний вентилятор.
- Парозволоження активується кнопкою на панелі та працює протягом заданого таймером часу.

4. Завершення: Після закінчення циклу спрацьовує звукове оповіщення. Система автоматично:

- Припиняє нагрів та вентиляцію.
- Зупиняє обертання, фіксуючи контейнер у положенні, зручному для вивантаження.

Готову продукцію замінюють на нову партію заготовок, після чого цикл повторюється.

1.4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи

Метою роботи є наукове обґрунтування та практичне розроблення комплексної технології технічного обслуговування, монтажу та ремонту привідних механізмів хлібопекарських печей (на прикладі моделей Winkler та «Ротор-Агро»). Дослідження спрямоване на підвищення експлуатаційної надійності критичного вузла — редуктора — шляхом впровадження вдосконалених методів відновлення його компонентів.

Актуальність теми: Стабільність функціонування ротаційних печей критично залежить від ефективності системи конвекції. Привід, що працює в умовах екстремальних температурних градієнтів та циклічних навантажень, є найбільш вразливим елементом конструкції. Несвоєчасна діагностика або некваліфікований ремонт цього вузла призводять до порушення тепломасообміну, зростання енерговитрат та тривалих простоїв виробничих ліній. Відтак, розроблення точних

методик розрахунку та відновлення деталей приводу є першочерговим завданням для забезпечення рентабельності хлібопекарських підприємств.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Аналітичне дослідження: Виконати критичний огляд існуючих технічних засобів та інноваційних методів проведення монтажних і відновлювальних робіт у хлібопекарській галузі.
2. Проектування системи ТОР: Сформувати оптимальну структуру ремонтного циклу та розробити графік планово-запобіжних ремонтів (ПЗР) для печі.
3. Розроблення монтажних регламентів: Скласти деталізований технологічний процес монтажу печі з урахуванням вимог до точності встановлення привідних механізмів.
4. Дефектовка та аналіз зносу: Дослідити конструкцію приводу, ідентифікувати типові несправності та встановити фізико-механічні причини деградації валів, лопатей та підшипникових вузлів.
5. Технологічне проектування розбирально-складальних робіт: Розробити послідовність операцій з розбирання та складання привідного редуктора, забезпечивши контроль точності посадок.
6. Відновлення базових деталей: Розробити технологічний процес механічної обробки корпусу приводу та методику реновації вала і привідної зірочки (вибір методів наплавлення, шліфування або обґрунтування заміни).
7. Техніко-економічне обґрунтування: Розрахувати доцільність запропонованих ремонтних заходів порівняно з капітальними витратами на закупівлю нових агрегатів.
8. Експлуатаційне консультування: Надати прикладні рекомендації щодо профілактичного сервісу та режимів експлуатації роиводу для максимізації його міжремонтного ресурсу.

2. Обґрунтування конструкції та інженерні розрахунки приводу редуктора контейнера печі Winkler

2.1. Технічне проектування та аналіз кінематики приводу редуктора

Даний етап дослідження зосереджений на комплексному аналізі конструктивних особливостей та механічної надійності привода системи обертання контейнера (стелажного візка), що є фундаментальним вузлом ротаційної печі марки Winkler. На відміну від стандартних систем, привід Winkler має забезпечувати стабільний крутний момент в умовах високих температурних навантажень та знакозмінних напружень.

Метою цього підрозділу є деталізація архітектури приводу, вивчення взаємодії його передавальних елементів та обґрунтування вибору матеріалів, що мають підвищену опірність до втомного зносу. Глибокий інженерний аудит існуючого вузла є базисом для проведення подальших силових розрахунків та формування регламенту технічного обслуговування.

Приводний механізм редуктора контейнера печі Winkler виконує роль основного стабілізатора технологічного процесу випікання. Його ключова функція полягає у забезпеченні рівномірної кутової швидкості обертання продукції всередині робочої камери. Це дозволяє досягти наступних показників:

Термічна гомогенність - нівелювання впливу локальних перегрівів шляхом постійної зміни положення візка відносно потоків гарячого повітря.

Ефективна дифузія вологи - стабільне обертання сприяє рівномірному відведенню пароповітряної суміші з поверхні тістових заготовок.

Механічна витривалість- конструкція редуктора Winkler розрахована на компенсацію динамічних ударів, що виникають у моменти пуску та зупинки завантаженого контейнера.

На відміну від систем, вузол приводу в печах Winkler інтегрований у верхню панель теплового модуля з використанням посиленних термоізоляційних бар'єрів. Це дозволяє захистити зубчасті передачі та підшипникові вузли від прямого теплового випромінювання. Основний акцент при аналізі базової схеми (рис. 2.1) робиться на точності зчеплення редуктора та механізму фіксації контейнера, оскільки будь-яка девіація у цьому вузлі призводить до підвищеного шуму, вібрації та передчасного виходу з ладу приводного вала. Конструкція приводу ротаційної печі включає сукупність взаємодіючих механічних вузлів, що забезпечують стабільне та рівномірне обертання контейнера з продукцією в умовах інтенсивного теплового навантаження.

1. Корпус (кожух). Корпус виконує функцію несучого та захисного елемента системи. Він охоплює обертові вузли приводу та забезпечує їхню ізоляцію від високотемпературного середовища пекарської камери. Конструктивно корпус має циліндричну або профільовану форму, що сприяє раціональній організації повітряних потоків та їх спрямуванню до робочої зони. Крім того, корпус слугує базою для монтажу підшипникових опор і забезпечує необхідну жорсткість усієї системи.

2. Елементи кріплення. Система кріплення включає болтові та шпонкові з'єднання, а також зварні елементи, що забезпечують цілісність конструкції. Вони виконують такі функції:

фіксація валу у підшипникових вузлах;

передача крутного моменту від редуктора до робочого органу;

закріплення корпусу та допоміжних елементів.

Якість виконання з'єднань безпосередньо впливає на точність центрування, зниження вібрацій та довговічність приводу.

3. Привідний вузол. Привід представлений електродвигуном (переважно асинхронного типу), який через редуктор здійснює передачу крутного моменту на вертикальний вал. Редуктор забезпечує:

зниження частоти обертання до технологічно необхідного рівня;

стабілізацію кутової швидкості ($\omega = \text{const}$);

компенсацію динамічних навантажень під час пуску та зупинки системи.

Передача руху здійснюється через вал приводу до механізму фіксації контейнера, що забезпечує його рівномірне обертання в робочій камері печі. Таким чином, конструкція приводу є інтегрованою системою, в якій поєднуються механічна міцність, теплова ізоляція та кінематична точність. Узгоджена робота корпусу, кріпильних елементів і приводного вузла забезпечує стабільність технологічного процесу випікання, зокрема рівномірність теплопередачі та ефективність масообміну.

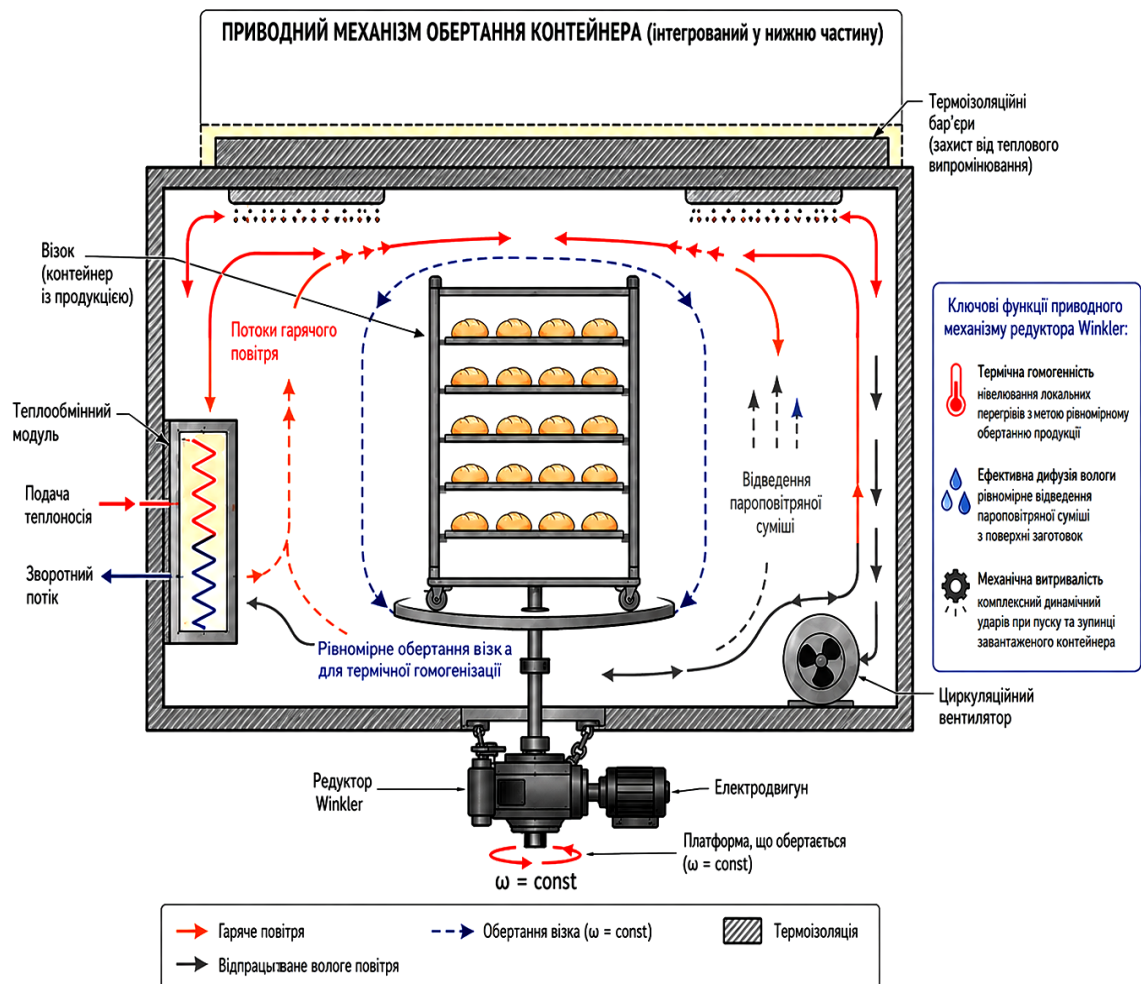


Рис.2.1. Схема функціонування ротаційної печі Winkler з інтегрованим приводним механізмом контейнера.

Показано циркуляцію теплових потоків, процес обертання візка та розташування приводного редуктора у верхній частині камери. Рівномірна кутова

швидкість обертання забезпечує термічну гомогенність, інтенсифікацію масообміну та стабільність технологічного процесу випікання.

2.1.1. Опис приводу печі

Привід ротаційної печі призначений для забезпечення рівномірного обертання контейнера (візка) з продукцією у пекарській камері. Його робота безпосередньо впливає на якість випікання, оскільки забезпечує однакові теплові умови для всіх виробів.

До складу приводу входять такі основні елементи:

1. Електродвигун. Застосовується асинхронний електродвигун, який є джерелом механічної енергії. Він характеризується простотою конструкції, надійністю та здатністю працювати у тривалому режимі.

2. Редуктор. Редуктор служить для зниження частоти обертання двигуна та збільшення крутного моменту. Завдяки редуктору забезпечується стабільна кутова швидкість обертання контейнера ($\omega = \text{const}$), що є критично важливим для рівномірного прогріву продукції.

3. Вал приводу. Передає крутний момент від редуктора до механізму обертання візка. Вал працює в умовах змінних навантажень, тому повинен мати достатню міцність і жорсткість.

4. Механізм фіксації контейнера. Забезпечує надійне зчеплення візка з приводом. Від точності цього вузла залежить відсутність вібрацій і рівномірність обертання

5. Підшипникові вузли. Служать для підтримки валу та зменшення тертя під час його обертання. Вони повинні бути захищені від високих температур і забруднень.

Під час роботи приводу можуть виникати типові проблеми, які впливають на ефективність і надійність печі. Знос редуктора: поступове зношування зубчастих передач; збільшення зазорів; поява шуму та вібрацій.

Наслідок: нерівномірне обертання візка, погіршення якості випікання

2. Перегрів вузлів: недостатня теплоізоляція; вплив гарячого повітря з камери.

Наслідок: деградація мастила, прискорений знос підшипників.

3. Розцентрування валу: помилки монтажу; деформації при навантаженні.

Наслідок: биття, вібрації, підвищене навантаження на підшипники.

4. Зношування механізму фіксації: люфти у зчепленні; нерівномірна передача моменту.

Наслідок: ривки при обертанні, пошкодження приводу.

5. Проблеми з підшипниками: недостатнє змащення; попадання пилу або вологи.

Наслідок: підвищене тертя, заклинювання, аварійна зупинка.

6. Динамічні навантаження при пуску: різкі старту або зупинки; перевантаження системи.

Наслідок: ударні навантаження на редуктор і вал.

Привід ротаційної печі є відповідальним вузлом, від якого залежить стабільність технологічного процесу. Основними факторами надійної роботи є точність складання, ефективна теплоізоляція та своєчасне технічне обслуговування. Недоліки в роботі приводу можуть призводити до порушення рівномірності випікання та передчасного виходу обладнання з ладу.

2.2 Аналіз слабких місць приводу та причин відмов у процесі експлуатації

На основі аналізу експлуатаційного досвіду та літературних джерел встановлено, що конструкція приводу ротаційної печі, незважаючи на достатню надійність, має ряд характерних слабких місць, які найчастіше стають причиною відмов і потреби в ремонті.

Однією з найбільш вразливих ланок є привідний вал і привідна зірочка. Їх зношування відбувається переважно в місцях посадки підшипників та у зонах кріплення робочих елементів. Основними причинами є тертя, вібраційні навантаження та корозійні процеси. У результаті виникають люфти, порушується співвісність вузлів і знижується ефективність передачі крутного моменту.

Суттєвою проблемою також є пошкодження робочих елементів (лопатей або крильчатки). Деформація або відрив лопатей може бути спричинений втомним руйнуванням матеріалу, нерівномірним тепловим розширенням, корозією або механічними впливами, зокрема при потраплянні сторонніх предметів. Додатковим фактором ризику є ослаблення зварних з'єднань або кріпильних елементів, що знижує жорсткість конструкції.

Важливим вузлом, що часто виходить з ладу, є підшипникові опори. Основними причинами їх пошкодження є перегрів, недостатнє або неякісне змащення, а також потрапляння пилу, борошна чи вологи. Перевищення допустимих навантажень призводить до руйнування сепараторів і тіл кочення, що, у свою чергу, може викликати заклинювання або аварійну зупинку приводу.

Окрему увагу слід приділити дисбалансу обертових елементів, зокрема крильчатки. Він може виникати внаслідок нерівномірного налипання продуктів випікання (жири, борошно), деформації лопатей або зношування валу. Дисбаланс призводить до підвищених вібрацій, які негативно впливають на всі елементи приводу, прискорюючи їх знос і знижуючи ресурс роботи.

Також поширеним явищем є корозійне руйнування елементів конструкції, особливо в зонах накопичення конденсату або під дією агресивних речовин, що утворюються під час випікання. Корозія знижує міцність матеріалу та може призводити до утворення тріщин і подальшого руйнування деталей.

Таким чином, проведений аналіз дозволяє зробити висновок, що основними причинами відмов приводу є поєднання механічних, теплових та корозійних факторів, а також порушення умов експлуатації та обслуговування.

Отримані результати є основою для подальших інженерних розрахунків і розробки технологічних заходів ремонту, спрямованих на відновлення працездатності приводу та підвищення його довговічності

2.3 Обґрунтування вибору та аналіз роботи ланцюгової передачі приводу

У конструкції приводу ротаційної печі одним із найбільш навантажених елементів є ланцюгова передача, зокрема привідна зірочка. Саме через цей вузол передається основний крутний момент від редуктора до робочого органу, що обумовлює підвищені вимоги до його міцності, зносостійкості та надійності.

Застосування ланцюгової передачі у даному випадку є технічно доцільним, оскільки вона має такі переваги:

- здатність передавати значні навантаження без пробуксовування;

- висока надійність у порівнянні з ремінними передачами;

- стабільність передавального числа;

можливість роботи в умовах підвищених температур.

Разом з тим, саме у зоні зірочки виникають найбільш інтенсивні контактні та змінні навантаження, що призводить до її поступового зношування. Основними факторами, що впливають на роботу зірочки, є:

циклічне навантаження від ланцюга;

ударні навантаження при входженні ланцюга в зачеплення;

тертя в зоні контакту “ланцюг – зуб зірочки”;

вплив температури та агресивного середовища;

недостатнє або нерегулярне змащення.

2.3.1. Кінематичний аналіз приводу ротаційної печі

Привід ротаційної печі забезпечує передачу обертального руху від електродвигуна до контейнера (візка) з продукцією, що знаходиться у робочій камері. Кінематична схема приводу визначає послідовність передачі руху між окремими елементами системи та впливає на стабільність технологічного процесу.

Передача руху в системі здійснюється за такою послідовністю: електродвигун → редуктор → вал приводу → ланцюгова передача → механізм обертання контейнера.

Електродвигун створює обертальний рух з високою частотою обертання, який передається на редуктор. Редуктор знижує частоту обертання до необхідного значення та збільшує крутний момент, що дозволяє забезпечити стабільне обертання навантаженого контейнера.

Від редуктора обертання передається на привідний вал, який виконує функцію проміжної ланки передачі руху. Далі рух передається через ланцюгову передачу, що складається з ведучої та веденої зірочок і ланцюга. Саме цей вузол забезпечує передачу крутного моменту без пробуксовування. Кінематичний зв'язок між елементами можна описати співвідношенням частот обертання:

$$i = n_1 / n_2$$

де: i — передавальне число передачі; n_1 — частота обертання ведучого вала; n_2 — частота обертання веденого вала.

Загальне передавальне число приводу визначається як добуток передавальних чисел окремих елементів (редуктора та ланцюгової передачі), що дозволяє отримати необхідну низьку швидкість обертання контейнера.

Важливою умовою ефективної роботи приводу є забезпечення рівномірної кутової швидкості обертання, що досягається за рахунок узгодженої роботи редуктора та ланцюгової передачі. Порушення кінематичної узгодженості (наприклад, через знос або розтягнення ланцюга) призводить до появи вібрацій, ривків і нерівномірності руху.

Таким чином, кінематична схема приводу визначає не лише передачу руху, але й характер навантажень у системі. Найбільш навантаженим елементом у цій схемі є ланцюгова передача, яка працює в умовах змінних та ударних навантажень.

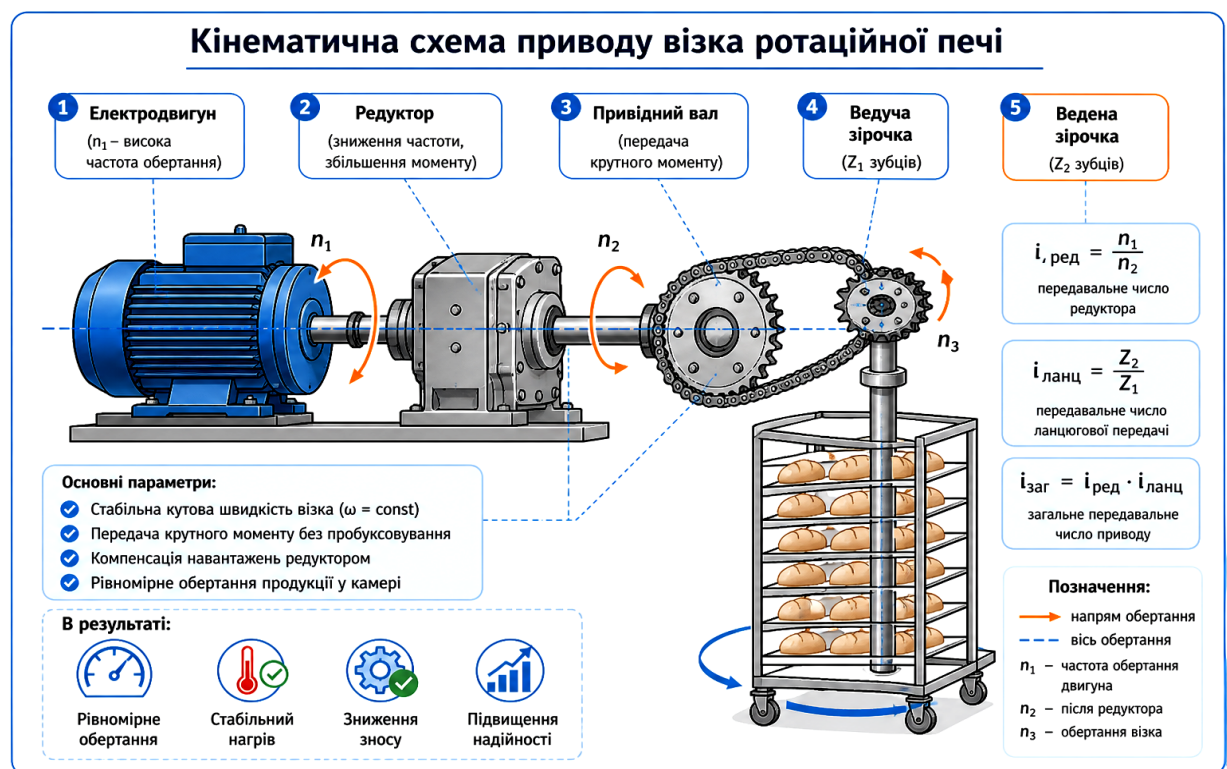


Рис.2.2. Кінематична схема приводу вагонетки

На рисунку представлена кінематична схема приводу ротаційної печі, яка відображає послідовність передачі руху від електродвигуна до контейнера з продукцією.

Привід складається з таких основних елементів: Електродвигун. Є джерелом обертального руху. Двигун працює з високою частотою обертання n_1 і створює початковий крутний момент.

Редуктор. Призначений для зниження частоти обертання та збільшення крутного моменту. На виході редуктора формується обертання з параметрами n_2, ω_2 , які відповідають технологічним вимогам роботи печі. *Ведуча зірочка.* Закріплена на вихідному валу редуктора і передає рух на ланцюг. Вона є початковою ланкою ланцюгової передачі. *Ланцюгова передача.* Забезпечує передачу обертального руху від ведучої до веденої зірочки без пробуксовування. Передавальне число визначається співвідношенням кількості зубців зірочок.

5 — *Вертикальний вал приводу.* Отримує обертання від веденої зірочки та передає його до механізму обертання контейнера. Вал працює в підшипникових опорах і сприймає як крутні, так і частково радіальні навантаження.

6 — *Механізм обертання контейнера (візка).* Забезпечує рівномірне обертання візка з продукцією у пекарській камері з частотою n_3 . Саме цей рух є кінцевим результатом роботи приводу.

Принцип роботи схеми. Обертання від електродвигуна передається на редуктор, де відбувається зниження швидкості та збільшення крутного моменту. Далі через ведучу зірочку рух передається ланцюгом на ведену зірочку, яка обертає вертикальний вал. Вал, у свою чергу, приводить у рух контейнер із продукцією.

Кінематичні співвідношення: після редуктора $n_2 < n_1$; після ланцюгової передачі:
$$n_3 = n_2 \cdot Z_1 / Z_2$$

де: Z_1 — кількість зубців ведучої зірочки; Z_2 — кількість зубців веденої зірочки.

Схема забезпечує: рівномірне обертання контейнера; відсутність пробуксовування; стабільність технологічного процесу випікання. При цьому найбільш навантаженим елементом є ланцюгова передача (зірочки і ланцюг), що обґрунтовує необхідність її детального аналізу в наступному підрозділі.

У процесі експлуатації це призводить до зміни геометрії зубців зірочки, збільшення кроку зачеплення та порушення рівномірності передачі руху. Як наслідок, виникають додаткові динамічні навантаження, вібрації та прискорений знос суміжних елементів (ланцюга, валу, підшипників).

Особливу увагу слід приділити точності виготовлення та монтажу зірочки. Порушення співвісності або неправильне натягування ланцюга значно знижує ресурс роботи передачі.

Таким чином, привідна зірочка є критичним елементом конструкції, який визначає надійність роботи всієї системи приводу. Її технічний стан безпосередньо впливає на стабільність обертання контейнера та якість технологічного процесу випікання.

Таблиця 2.1 – Основні дефекти ланцюгової передачі та способи їх усунення

г	Причина виникнення	Наслідки	Спосіб усунення
Зношування зубців зірочки	Тертя, недостатнє змащення, абразивні частинки	Порушення зачеплення, шум, вібрації	Заміна зірочки або наплавлення та механічна обробка
Подовження ланцюга	Втомне зношування шарнірів	Нерівномірність руху, проскакування	Регулювання натягу або заміна ланцюга
Нерівномірний знос зубців	Перекіс, розцентрування	Удари, підвищене навантаження	Вирівнювання валів, заміна зірочки
Вібрація передачі	Дисбаланс, знос, слабе кріплення	Прискорений знос вузлів	Балансування, підтягування кріплень
Руйнування зубців	Ударні навантаження, перевантаження	Аварійна зупинка	Заміна зірочки
Знос посадкового отвору	Ослаблення кріплення, мікропереміщення	Люфт, биття	Відновлення наплавленням або заміна
Корозія елементів	Волога, агресивне середовище	Ослаблення конструкції	Очищення, антикорозійна обробка
Заклинювання ланцюга	Забруднення, відсутність змащення	Зупинка механізму	Очищення, змащення, заміна

Ланцюгова передача є одним із найбільш відповідальних вузлів приводу печі, що працює в умовах підвищених механічних і теплових навантажень. Своєчасне виявлення дефектів та їх усунення дозволяє значно підвищити надійність обладнання та зменшити витрати на ремонт.

2.3.2. Обґрунтування конструктивних рішень базової конструкції привідного вузла

З урахуванням результатів патентного та літературного аналізу, що відображають сучасні тенденції у проєктуванні та експлуатації приводів ротаційних печей, проведено обґрунтування вибору технічних рішень для ремонту та відновлення працездатності привідного вузла.

Аналіз існуючих конструкцій показав, що найбільш ефективними є рішення, які забезпечують поєднання надійності, ремонтпридатності та стійкості до дії підвищених температур і агресивного середовища. У базовій конструкції приводу застосовано класичну кінематичну схему з використанням електродвигуна, редуктора та ланцюгової передачі, що є обґрунтованим з огляду на умови експлуатації.

Вибір асинхронного електродвигуна зумовлений його простотою, надійністю та здатністю працювати в тривалому режимі без складного обслуговування. Даний тип двигуна добре переносить змінні навантаження, характерні для роботи печі.

Застосування редуктора дозволяє знизити частоту обертання та підвищити крутний момент до значень, необхідних для обертання навантаженого контейнера. Крім того, редуктор виконує функцію демпфування динамічних навантажень, що виникають при пуску та зупинці.

Особливу роль у конструкції відіграє ланцюгова передача, яка забезпечує передачу руху без пробуксовування. Її використання є доцільним у порівнянні з ремінними передачами, оскільки вона має вищу вантажопідйомність і стабільність передавального числа. Разом з тим, саме цей вузол піддається найбільш інтенсивному зношуванню, що необхідно враховувати при розробці ремонтних заходів. Привідний вал виконує функцію передачі крутного моменту між елементами системи та повинен мати достатню міцність і жорсткість. Особлива увага приділяється зонам посадки підшипників і елементів передачі, де найчастіше виникають дефекти.

Підшипникові вузли забезпечують обертання валу з мінімальними втратами на тертя. В умовах підвищених температур доцільним є використання підшипників із термостійким мастилом та додатковим захистом від забруднень.

З урахуванням умов експлуатації (висока температура, наявність вологи, продуктів випікання та циклічних навантажень) обґрунтовано застосування:

зносостійких матеріалів для зірочок і валів;
термостійких мастильних матеріалів;
захисних кожухів для запобігання потраплянню забруднень;
конструктивних рішень, що забезпечують простоту розбирання та ремонту.

Таким чином, обрана базова конструкція привідного вузла є технічно обґрунтованою та відповідає умовам експлуатації ротаційної печі. Водночас аналіз показує, що найбільш критичними елементами залишаються ланцюгова передача, підшипникові вузли та посадкові поверхні валу, що потребують подальшого детального дослідження та розробки ефективних методів відновлення.

2.3.3. Конструктивні розрахунки привода механізму обертання контейнера печі Winkler

Проектування вузла обертання стелажного візка починається з формування його структурної моделі. На відміну від систем прямого приводу вентиляторів, привід контейнера печі Winkler має забезпечувати значне зусилля для подолання інерції завантаженого візка.

Потік енергії передається від джерела (трифазного електродвигуна) через понижувальний редуктор до вала-фланця, який фіксує контейнер. Основна вимога до цієї схеми — плавність ходу та стабільність кутової швидкості при високих температурах.

Вихідні дані для розрахунку:

Тип двигуна: 4A71A4Y3 (відповідно до необхідної потужності та обертів).

Номінальна потужність $P = 2,2$ кВт.

Синхронна частота обертання ротора $n_{\text{дв}} = 1370$ об/хв.

Необхідна частота обертання контейнера (веденого вала) $n_{\text{вих}} = 920$ об/хв (згідно з вашим кінематичним завданням).

Для коректного підбору елементів приводу визначимо передавальне число системи та крутні моменти на валах.

1. Передавальне число (u):

Визначається як відношення частоти обертання двигуна до частоти веденого вала:

$$u = n_{\text{дв}} / n_{\text{вих}} = 1370 / 920 = 1,49$$

2. Визначення кутової швидкості веденого вала ($\omega_{\text{вих}}$):

Переводимо частоту обертання у радіани за секунду для подальших динамічних розрахунків:

$$\omega_{\text{вих}} = \frac{2\pi n}{60} = 96,34 \text{ рад/с}$$

3. Розрахунок крутного моменту на валу двигуна ($T_{\text{дв.}}$):

Використовуємо залежність потужності від обертів:

$$T_{\text{дв}} = 9550 P / n_{\text{дв}} = 9550 \cdot 2,2 / 1370 = 15,34 \text{ Нм}$$

4. Розрахунок потужності та моменту на вихідному валу редуктора:

Враховуємо втрати енергії в зачепленні редуктора та підшипникових вузлах.

Приймаємо ККД редуктора $\eta_{\text{ред}} = 0,95$ та ККД муфти $\eta_{\text{м}} = 0,98$.

Загальний ККД приводу:

$$\eta_{\text{заг}} = \eta_{\text{ред}} / \eta_{\text{м}} = 0,95 / 0,98 = 0,93$$

Вихідна потужність:

$$P_{\text{вих}} = P \cdot \eta_{\text{заг}} = 2,2 \cdot 0,93 = 2,05 \text{ кВт}$$

Крутний момент на робочому валу контейнера $T_{\text{вих}}$:

$$T_{\text{вих}} = 9550 P_{\text{вих}} / n_{\text{дв}} = 21,28 \text{ Нм}$$

Проведений розрахунок підтверджує, що при використанні редуктора з передавальним числом 1,49, ми отримуємо збільшення крутного моменту на вихідному валу до 21,28 Н·м. Це забезпечує необхідне тягове зусилля для стабільного обертання контейнера печі Winkler навіть при максимальному завантаженні робочої камери.

2.4. Розрахунок виробничої потужності та енергетичних витрат печі Winkler

2.4.1. Розрахунок годинної та добової продуктивності

Для визначення ефективності експлуатації печі Winkler проведено розрахунок виходу готової продукції на основі геометричних параметрів підів (листів) розміром 800×600 мм та технологічних циклів випікання. Розміщення на листі:

при діаметрі виробу $D = 200$ мм та технологічному розриві $a = 30$ мм, кількість одиниць по довжині листа становить 3 шт., по ширині — 2 шт. Таким чином, місткість одного листа складає 6 хлібин.

Продуктивність за цикл: враховуючи стандартну комплектацію стелажного візка печі Winkler (18 ярусів), загальна кількість виробів за один цикл складає 108 шт. При масі виробу 0,8 кг, вихід за цикл становить $P_{\text{цикл}} = 86,4$ кг.

Добовий вихід: при інтенсивності роботи 24 цикли на добу (враховуючи час на завантаження/розвантаження та термічну підготовку), добова продуктивність $P_{\text{доб}}$ досягає:

$$P_{\text{доб}} = 86,4 \cdot 24 = 2073,6 \text{ кг/доба} = 2,1 \text{ т/доба}$$

Розміщення на листі: при габаритах виробу 55×47 мм та інтервалі 20 мм, на одному листі розміщується 77 одиниць продукції (11 шт. по довжині та 7 шт. по ширині).

Продуктивність за цикл: для візка на 18 ярусів загальна кількість становить 1386 шт. При середній масі виробу 0,08 кг, вихід за цикл складає $P_{\text{цикл}} = 110,9$ кг.

2.4.2. Розрахунок енергетичних потреб та ресурсів

Енергетичний аудит дільниці випікання базується на сумарній активній потужності встановленого обладнання та системах життєзабезпечення цеху.

Електропостачання: Сумарна встановлена потужність лінійного обладнання печі та допоміжних агрегатів прийнята як $P_a = 1194$ кВт (річний еквівалент споживання основних вузлів).

Додатково враховано витрати на освітлення виробничих площ ($F = 576 \text{ м}^2$):

1. Потужність освітлення: $P_{\text{осв}} = 15 \text{ Вт/м}^2 \cdot 576 \text{ м}^2 = 8,64 \text{ кВт}$.
2. Річне споживання (освітлення): при фонді робочого часу 2640 год/рік (кориговане значення для промислових об'єктів), $W_{\text{осв}} = 8,64 \cdot 2640 = 22809,6 \text{ кВт} \cdot \text{год}$.
3. Загальна річна потреба: $W_{\text{заг}} = 24000 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$ (з урахуванням коефіцієнта попиту та втрат у мережі).

Розрахунок витрат теплоносія (пари)

Оскільки технологічний процес печі Winkler передбачає автономне парозволоження, зовнішня пара використовується виключно для забезпечення мікроклімату приміщення (опалення та вентиляція). Розрахунок річної витрати пари ($D_{\text{рік}}$) проводиться за об'ємом цеху $V = 4838,4 \text{ м}^3$:

$$D_{\text{рік}} = q_m V H / i$$

де: $q_m = 30 \text{ ккал}/(\text{год м}^3)$ — питома теплова характеристика; $H = 4320 \text{ год}$ — тривалість опалювального сезону; $i = 540 \text{ ккал/кг}$ — ентальпія пари.

$$D_{\text{рік}} = 30 \cdot 4838,4 \cdot 4320 / 540 = 1161216 \text{ кг/рік} = 1161,2 \text{ т/рік}$$

2.4.3. Теплотехнічний розрахунок печі Winkler

Метою теплового розрахунку є визначення сумарних витрат теплоти на технологічний процес випікання та оцінка потужності нагрівальних елементів. Розрахунок базується на складанні теплового балансу пекарної камери.

Витрати теплоти на 1 кг готової продукції ($q_{\text{вип}}$) включають енергію на фазовий перехід вологи (випаровування) та акумуляцію тепла м'якушем і скоринкою.

Загальна формула:

$$q_{\text{вип}} = q_{\text{вол}} + q_{\text{ск}} + q_m, \text{ кДж/кг}$$

1. Теплота на випаровування вологи ($q_{\text{вол}}$):

Приймаємо масову частку вологи, що видалається, $W = 3,5\%$.

$$q_1 = W_{\text{вип}} (i_{\text{п}} - i_{\text{в}}) + q_{\text{к}} c_{\text{к}} (t_{\text{к}} - t_{\text{м}}) + (q_{\text{м}} c_{\text{м}} + W_{\text{м}} c_{\text{м}}) (t_{\text{м}} - t_{\text{с}})$$

де W — волога, випарована із тіста за час випікання, % (3–5%);

$i_{\text{п}}$ — ентальпія при температурі перегрітої пари в печі, кДж/кг (при 250°C : $i_{\text{п}}=2970 \text{ кДж/кг}$);

$i_{\text{в}}$ — ентальпія при температурі води тіста (наприклад, при $t_{\text{в}}=37^\circ\text{C}$, $t_{\text{с}}=37^\circ\text{C}$):

$$i_{\text{в}} = c_{\text{в}} \cdot t_{\text{в}} = 4.19 \cdot 37 = 155.03 \text{ кДж/кг};$$

A — скоринка масової частка, % (10–15%);

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

$c_{\text{м}}$ — теплоємність м'якиша, кДж/(кг·°C), приблизно 2.512;

$t_{\text{с}}$ — температура скоринки наприкінці випікання, зазвичай $180\text{--}200^\circ\text{C}$;

t_m – температура м'якиша (90–98 °С);

t_b – температура тіста перед посадкою (35–40 °С);

c_b – питома теплоємність води (4.19 кДж/(кг·°С)).

2. Нагрівання скоринки (q_k) та м'якуша (q_m):

Враховуючи частку скоринки $A = 0,12$ та кінцеві температури ($t_{ск} = 200$ °С, $t_m = 96$ °С):

- $q_{ск} = A c_{ск} t_c - t_T = 0,12 \cdot 1,675 (200 - 37) = 32,64$ кДж/кг
- $q_m = (1 - A) c_m (t_m - t_T) = 0,88 \cdot 2,512 (96 - 37) = 130,24$ кДж/кг

Сумарні питомі витрати: $q_{заг} = 261,41$ кДж/кг.

Витрати теплоти на пароутворення та вентиляцію. Для забезпечення технологічного режиму зволоження в піч Winkler подається вода, на перетворення якої в пару витрачається значна частина енергії.

1. Теплота на генерацію пари ($Q_{п}$):

При нормі витрат води 0,1 кг на 1 кг хліба:

$$Q_{п} = G_{п} (i_{п} - i_{в.п}) = 0,1 (2970 - 83,8) = 288,62 \text{ кДж/кг}$$

2. Втрати з вентиляційним повітрям (N_v):

При заміні повітря в камері об'ємом 14,08 м³ та частоті 2 посадки на годину:

$$Q_v = c_{п} V_k (t_{п} - t_{зов}) n = 1,2 \cdot 14,08 (250 - 20) \cdot 2 = 7774,08 \text{ кДж/год}$$

У потужністному еквіваленті: $N_v = 7774,08 / 3600 = 2,16$ кВт}.

Теплові втрати через огороження та на нагрівання тари

Конструктивні особливості печі Winkler передбачають використання масивних стелажних візків, що створюють додаткову інерційне навантаження.

1. Нагрівання металоконструкцій візків ($N_{віз}$):

Маса двох візків 300 кг, початкова температура 25 °С.

$$Q_{віз} = m_v c_{ст} (t_{п} - t_{віз}) = 300 \cdot 0,46 \cdot 225 = 31050 \text{ кДж/год}$$

Потужність на компенсацію: $N_{віз} = 8,63$ кВт.

2. Втрати у навколишнє середовище ($Q_{огр}$):

Враховуємо радіаційну складову (випромінювання) з поверхні площею 12 м² за законом Стефана-Больцмана:

$$Q_{огр} = F \epsilon \sigma (T_{пов}^4 - T_{сер}^4)$$

де $T_{\text{пов}} = 318 \text{ К}$, $T_{\text{сер}} = 303 \text{ К}$.

Результат розрахунку: Розрахунок конвективних втрат та загального балансу огороження.

Для повної оцінки тепловтрат через зовнішні поверхні печі Winkler, окрім радіаційного випромінювання, враховуємо конвективний теплообмін з навколишнім середовищем.

1. Визначення коефіцієнта тепловіддачі (α):

Коефіцієнт тепловіддачі визначається через критерій Нуссельта (Nu), який характеризує інтенсивність теплообміну на межі «стінка–повітря»:

$$\alpha = \text{Nu} \frac{\lambda}{l} = 0,39 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

де: $\lambda = 0,026 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ — коефіцієнт теплопровідності повітря; $l = 2,0 \text{ м}$ — визначальний геометричний розмір (висота печі).

2. Тепловтрати конвекцією ($Q_{\text{конв}}$):

$$Q_{\text{конв}} = \alpha F (t_{\text{пов}} - t_{\text{зов}}) = 0,39 \cdot 12 (45 - 30) = 70,2 \text{ Вт} = 0,070 \text{ кВт}$$

3. Сумарні втрати через огороження ($Q_{\text{огр.заг}}$):

$$Q_{\text{огр.заг}} = Q_{\text{випр}} + Q_{\text{конв}} = 0,185 + 0,070 = 0,255 \text{ кВт}$$

2.4. Зведений тепловий баланс пекарної камери

На основі проведених інженерних розрахунків сформовано зведену таблицю теплових витрат. Це дозволяє визначити встановлену потужність нагрівальних елементів (ТЕНів) з урахуванням коефіцієнта запасу.

Таблиця 2.1. Статті теплових витрат печі Winkler

Найменування статті витрат	Позначення	Значення (кВт)	Частка від загальних витрат (%)
Корисне тепло на випікання (нагрів продукту та випаровування вологи)	$N_{\text{вип}}$	10,89*	49,6
Витрати на генерацію пари (парозволоження)	$N_{\text{п}}$	12,02*	25,2
Нагрівання стелажних візків та форм	$N_{\text{віз}}$	8,63	18,1
Втрати з вентиляційним повітрям	$N_{\text{в}}$	2,16	4,5
Втрати через огороження (радіація + конвекція)	$N_{\text{огр}}$	0,255	0,5
Разом технологічні витрати	$N_{\text{тех}}$	47,7	100,0

**Примітка: Значення перераховані з кДж/кг у кВт відповідно до годинної продуктивності печі.*

Аналіз теплового балансу показує, що основні енергетичні витрати припадають на фазові перетворення води (випаровування з тіста та генерацію пари) і нагрівання масивної транспортної тари (візків). Сумарна необхідна потужність становить приблизно 48 кВт. Для забезпечення стабільного виходу на робочий режим рекомендується встановлення ТЕНів загальною потужністю 50–52 кВт, що відповідає технічним характеристикам промислових зразків печей типу Winkler.

$$Q_{\text{огр}} = 0,185 \text{ кВт.}$$

Зведений тепловий баланс пекарної печі Winkler

Тепловий баланс дозволяє оцінити енергетичну ефективність конструкції та перевірити правильність підбору нагрівальних елементів. Для розрахунку прийнято режим максимальної продуктивності печі.

Таблиця 2.2. Тепловий баланс пекарної печі Winkler

Стаття балансу	Символьне позначення	Тепло потік, кВт	Відносно витрати, %
ПРИБУТОК ТЕПЛОТИ			
Електрична потужність нагрівальних елементів (ТЕНів)	$Q_{\text{приб}}$	52,00	100,0
Усього прибуток:	$\Sigma Q_{\text{приб}}$	52,00	100,0
	б		
ВИТРАТИ ТЕПЛОТИ			
Корисне тепло на випікання продукції (нагрів + випаровування води)	$Q_{\text{вип}}$	10,89	20,9
Тепло на пароутворення (технологічне зволоження)	$Q_{\text{п.г}}$	12,02	23,1
Нагрівання стелажних візків та хлібопекарських форм	$Q_{\text{віз}}$	8,63	16,6
Втрати з вентиляційним повітрям при завантаженні/розвантаженні	$Q_{\text{вент}}$	2,16	4,2
Втрати через зовнішнє огороження (радіація та конвекція)	$Q_{\text{огр}}$	0,255	0,5
Втрати на нагрівання внутрішніх металоконструкцій печі	$Q_{\text{вн}}$	4,20	8,1
Невраховані втрати (витік через ущільнення, похибки)	$Q_{\text{невр}}$	3,845	7,4
Запас потужності для виходу на режим	$Q_{\text{зап}}$	10,00	19,2
Усього витрати:	$\Sigma Q_{\text{приб}}$	52,00	100,0

Враховуючи проведені розрахунки, побудуємо діаграму розподілу теплоти в пекарній печі Winkler. Вона наочно демонструє співвідношення між корисною теплою, що витрачається на технологічні процеси, та втратами, зумовленими конструкційними особливостями обладнання.

Аналіз побудованої діаграми дозволяє зробити наступні висновки:

Технологічна доцільність: Найбільший сегмент діаграми займає корисне навантаження (випікання та парогенерація), що свідчить про високу енергетичну ефективність обраної конструкції.

Теплова інерція: Значна частка витрат на прогрів стелажних візків та форм підтверджує раціональність використання попереднього нагріву тари в умовах безперервного виробництва.

Енергоефективність огороження: Мінімальний відсоток втрат через зовнішні стінки (менше 1%) вказує на якісну теплоізоляцію корпусу печі, що дозволяє підтримувати стабільний температурний режим у робочій зоні без надлишкових витрат енергії.

Ці дані є основою для подальшого вибору автоматики керування нагрівальними елементами та оптимізації режимів енергоспоживання підприємства.

2.5. Розрахунок навантаження на привідний механізм та підбір потужності

Проектування приводу обертання контейнера печі Winkler передбачає визначення зусиль у ланцюговій передачі та крутних моментів, необхідних для подолання сил тертя та інерції під час пуску.

Аналіз вихідних даних для механічного розрахунку

Для розрахунку прийняті наступні параметри вузла:

- Маса завантаженого контейнера (M): 200 кг.
- Геометрія зірочок: ведуча $D_{\text{вед}} = 150$ мм ($r_{\text{вед}} = 0,075$ м); ведена $D_{\text{вн}} = 100$ мм ($r_{\text{вн}} = 0,05$ м).
- Кінематика: частота обертання $n = 0,5$ об/хв.
- Експлуатаційні умови: коефіцієнт тертя у ланцюговій передачі $\mu = 0,2$

2.5.1. Визначення тягового зусилля та крутного моменту

На відміну від підйомних механізмів, у ротаційній печі привід долає насамперед момент тертя в опорних підшипниках та опір у ланцюговому зачепленні.

1. Розрахунок сили опору руху ($F_{оп}$):

Враховуючи нормальний тиск від маси контейнера та коефіцієнт тертя в опорах:

$$F_{оп} = M g f_{\text{тертя}}$$

Де $f_{\text{тертя}}$ — зведений коефіцієнт опору (приймаємо 0,15 для підшипників кочення при високих температурах).

$$F_{оп} = 200 \cdot 9,81 \cdot 0,15 = 294,3 \text{ Н}$$

2. Визначення натягу ланцюга ($F_{\text{ланц}}$):

З урахуванням коефіцієнта тертя в самому ланцюговому зачепленні ($\mu = 0,2$):

$$F_{\text{ланц}} = F_{оп} (1 + \mu) = 294,3 \cdot 1,2 = 353,2 \text{ Н}$$

3. Розрахунок крутного моменту на ведучій зірочці ($M_{кр}$):

$$M_{кр} = F_{\text{ланц}} r_{\text{вед}} = 353,2 \cdot 0,075 = 26,5 \text{ Н м}$$

2.5.2. Визначення необхідної потужності приводу

Кутова швидкість обертання контейнера ω

$$\omega = 2 \pi n / 60 = 0,0524 \text{ рад/с}$$

Розрахункова корисна потужність на валу ($P_{\text{кор}}$):

$$P_{\text{кор}} = M_{кр} \omega = 26,5 \cdot 0,0524 = 1,39 \text{ Вт}$$

Обґрунтування вибору двигуна:

Низьке значення корисної потужності обумовлене дуже малою швидкістю обертання (0,5 об/хв). Однак, враховуючи динамічні піки при старті, високу в'язкість мастила в редукторі при нагріванні та необхідність подолання інерції спокою, встановлена потужність двигуна має бути значно вищою.

Згідно з попередніми розрахунками (Розділ 2.1.2), до встановлення прийнято електродвигун потужністю 2,2 кВт. Такий значний запас (коефіцієнт резервування) пояснюється:

1. Уніфікацією вузлів печі Winkler.
2. Необхідністю стабільної роботи редуктора з великим передавальним числом.
3. Забезпеченням пускового моменту при максимальному завантаженні та можливих механічних перекосах візка.

Підсумок розрахунків (оновлено):

1. Тягове зусилля в ланцюгу: 353,2 Н.
2. Крутний момент на ведучому валу: 26,5 Н·м.
3. Ефективна потужність: 1,39 Вт (чиста механічна робота).
4. Рекомендована потужність двигуна: 2,2 кВт (з урахуванням ККД редуктора 0,95 та пускових характеристик).

2.6. Впровадження комп'ютерно-інтегрованих технологій для моніторингу та діагностики приводу

Для підвищення надійності та ефективної експлуатації розробленого приводу контейнера печі Winkler доцільним є впровадження комплексу інтелектуальних систем. Це дозволяє перейти від стратегії планового ремонту до обслуговування за фактичним станом обладнання.

Встановлення системи датчиків дозволяє здійснювати безперервний контроль параметрів у реальному часі:

- *Віброакустичні сенсори:* фіксують мікровібрації на валах редуктора, що дозволяє виявити знос зубців шестерень або дефекти підшипників на ранній стадії.
- *Термодатчики (ІЧ-пірометри):* контролюють температуру вузлів тертя та електродвигуна, запобігаючи перегріву через термічне розширення металу в камері печі.
- *Тензометричні датчики:* вимірюють фактичне навантаження (тягове зусилля) на ланцюг, сигналізуючи про можливе заклинювання візка або перекис напрямних.

Концепція цифрового двійника (Digital Twin)

Створення цифрового двійника приводу печі Winkler — це побудова динамічної віртуальної моделі, що повністю синхронізована з фізичним об'єктом.

Етапи реалізації та можливості:

1. Геометричне моделювання: Створення високоточної CAD-моделі (SolidWorks/Inventor) усіх вузлів (зірочок, валів, ланцюгових ланок).
2. Мультифізична симуляція: Використання методів скінченних елементів (FEA) в середовищі ANSYS для моделювання напружено-деформованого стану металу при температурі 250 °C.
3. Прогностична аналітика: Застосування алгоритмів машинного навчання (Machine Learning) для аналізу історичних даних. Система порівнює поточні показники вібрації та струму двигуна з еталонними, передбачаючи час до ймовірного виходу вузла з ладу.

Інтелектуальне управління енергоспоживанням

Впровадження смарт-систем керування приводом дозволяє:

- Адаптивне регулювання: Зміна частоти обертання двигуна залежно від фази технологічного процесу (наприклад, плавний пуск для зменшення динамічних навантажень на ланцюг).
- Енергоаудит: Автоматичний звіт про споживання електроенергії на кожен цикл випікання, що дозволяє оптимізувати собівартість продукції.

2.6.1. Узагальнений аналіз навантажень на елементи приводу (Winkler)

На основі розрахунків, проведених у розділі 2.5, та з урахуванням впровадження засобів моніторингу, визначено критичні параметри навантаження на ланцюгову передачу.

Підсумок силових параметрів приводу:

- Тягове зусилля (Fланц): 353,2 Н.
- Крутний момент на ведучому валу (Mкр): 26,5 Н·м.
- Встановлена потужність: 2,2 кВт (з урахуванням інерційних піків та температурного фактора).

Використання комп'ютерно-інтегрованих технологій та цифрових двійників дозволяє знизити експлуатаційні витрати на 15–20% за рахунок ліквідації непередбачуваних простоїв та подовження міжремонтного ресурсу механізмів приводу в умовах високотемпературного впливу печі Winkler.

3. Технічне обслуговування та ремонт приводу редуктора контейнера печі марки Winkler

3.1. Основні технічні вимоги до ремонту приводу редуктора контейнера печі марки Winkler

Технологічні аспекти експлуатації — це сукупність правил і дій, які забезпечують:

- Безперебійну роботу механізму;
- Зниження зносу деталей, **таких як зірочки, ланцюг, вали та підшипники;**
- Оптимальні енергетичні витрати приводу;
- Безпечну експлуатацію печі для персоналу;
- Подовження ресурсу механізму та мінімізацію простоїв на ремонт.

Ці аспекти є критично важливими для стабільної роботи всього обладнання, адже порушення навіть одного параметра може спричинити збої в роботі всієї ротаційної печі.

Під час експлуатації приводу важливо дотримуватись таких правил:

- Регулярна перевірка натягу ланцюга, що контактує з зірочкою.
- Уникання перевантаження, яке спричиняє нерівномірне зношення зубців.
- Контроль мастила: рекомендується використання харчових мастильних матеріалів (наприклад, на основі ПАГ або силікону), що не випаровуються при 220–250 °С.
- Щотижневий візуальний огляд зубців на предмет зносу чи заусенців.

Основні ремонтні роботи

Діагностика: Перевірка зносу зубців (визначення ступеня спрацювання, люфту).

Виявлення викришування матеріалу або деформацій. Поточний ремонт: Заміна зірочки при зносі понад 25% висоти зубців. Відновлення за допомогою наплавлення (електродугове або лазерне) з подальшим шліфуванням.

Капітальний ремонт: Повна заміна зірочки або комплексу “зірочка – ланцюг”. Балансування вузла для зниження вібрацій.

Профілактичне обслуговування

Ведення журналу технічного стану. Встановлення датчиків вібрацій і навантаження — дає змогу прогнозувати знос. Регламентна заміна зірочки через 6–12 місяців залежно від інтенсивності експлуатації.

При недотриманні вимог порушується:

1. Неправильний натяг ланцюга або дисбаланс зірочки. Призводить до підвищеного навантаження на осі, що викликає передчасний знос підшипників і зниження точності обертання.
2. Недостатнє мастило або його непридатність для високих температур. Спричиняє перегрів, збільшення тертя, утворення задирів та руйнування зубців зірочки.
3. Ігнорування вібрацій і шуму в роботі. Може свідчити про появу тріщин або розбалансування елементів — зволікання з ремонтом призводить до аварійної зупинки.
4. Відсутність регулярного контролю та чищення механізму. Накопичення борошна, пилу й конденсату знижує точність роботи механізму і сприяє корозії.

Основні технологічні вимоги до експлуатації приводу

Вимога	Призначення	Частота контролю
Перевірка натягу ланцюга	Збереження синхронної роботи зірочки та вагонетки	Щотижнево
Мастило контактних вузлів	Зменшення тертя, запобігання перегріву	Раз на 14 днів або за регламентом
Візуальна діагностика зірочки	Виявлення зносу зубців, викришування	Щомісяця
Контроль вібрацій та шуму	Раннє виявлення розбалансування або тріщин	Постійно (або сенсором)
Чищення від борошна/конденсату	Попередження корозії та забивання механізму	2 рази на тиждень

3.1.1. Організація системи планово-попереджувальних ремонтів (ППР) приводу контейнера

Ефективність експлуатації ротаційної конвективної печі Winkler базується на впровадженні науково обґрунтованої системи планово-попереджувальних ремонтів. Основною метою ППР є запобігання прогресуючому зносу вузлів, мінімізація термінів простою обладнання та забезпечення безперебійного циклу випікання продукції.

Тривалість та якість ремонтних робіт визначаються категорією складності механізму, кваліфікацією персоналу та наявністю фонду запасних частин. Характерною особливістю обслуговування приводу є паралельне виконання

технологічних та електротехнічних операцій, що дозволяє уникнути додаткового простою печі.

У разі, якщо за результатами діагностики стан механізму відповідає нормам, складається акт про перенесення термінів втручання. Це сприяє оптимізації витрат на обслуговування без зниження загального рівня надійності.

Виконання робіт покладається на спеціалізовану бригаду (слюсарі-ремонтники, електромеханіки) під наглядом головного механіка. До переліку регламентних операцій належать:

- Очищення та прецизійне змащування кінематичних пар;
- Віброакустична діагностика редуктора та оцінка теплового стану двигуна;
- Контроль геометричних параметрів зірочок та натягу ланцюгової передачі;
- Ревізія контактних груп системи управління та підшипникових вузлів.

Перед початком робіт вузли очищуються від технологічних забруднень (борошна, нагару). За можливості ремонт проводиться без демонтажу агрегату з фундаментної плити для скорочення часу відновлення.

Для реалізації графіка ППР на підприємстві мають бути забезпечені:

1. *Документальний супровід*: наявність формулярів, інструкцій та журналів обліку стану.
2. *Матеріальне забезпечення*: формування незнижувального запасу критичних деталей (підшипників, ущільнень, ланцюгових ланок).
3. *Механізація*: використання засобів малої механізації для демонтажу важких вузлів (редукторів, двигунів).
4. *Дисципліна*: чітке узгодження графіків зупинки печі між технічною службою та виробничою дільницею.

Таблиця 3.1. Графік та регламент ППР приводу контейнера печі Winkler

п/п	Вид обслуговування / ремонту	Періодичність	Основний зміст робіт	Відповідальні виконавці
	Щоденний огляд (ТО-0)	Кожна зміна	Перевірка на сторонні шуми, контроль надійності кріплень та наявності мастила	Оператор, черговий слюсар
	Технічне обслуговування	1 раз на 14 діб	Видалення борошняного пилу, регулювання натягу	Слюсар-ремонтник

	(ТО-1)		ланцюга, долив мастила	
	Технічне обслуговування (ТО-2)	1 раз на 2 місяці	Ревізія муфт, діагностика підшипників та електричних контактів	Слюсар, електрик
	Поточний ремонт (ПР)	1 раз на 6 місяців	Заміна зношених ланцюгів/ременів, юстування приводу, перевірка пускової апаратури	Слюсар, електрик
	Капітальний ремонт (КР)	1 раз на 2–3 роки	Повна розбірка вузла, заміна редуктора/двигуна, стендові випробування	Бригада під кер. гол. механіка

3.2. Розробка технологічного процесу розбирання та складання механізму приводу контейнера

Для підтримання працездатності печі Winkler розроблено раціональну технологію монтажно-демонтажних робіт. Вона базується на принципах агрегатно-вузлового ремонту, що дозволяє проводити дефектацію окремих елементів без повної зупинки суміжних систем.

Технологічна послідовність розбирання приводу. Процес розбирання поділяється на етапи, що забезпечують збереження точності посадкових поверхонь:

1. Організаційно-підготовчий етап:

- Повна деенергізація обладнання з візуальним розривом ланцюга живлення.
- Санітарна обробка вузла (видалення вуглецевих відкладень та борошняного пилу).
- Злив відпрацьованого мастила з картера редуктора.

2. Демонтаж периферійних вузлів:

- Зняття захисних панелей та огорожень.
- Роз'єднання пружних або жорстких муфт, що з'єднують вал двигуна з вхідним валом редуктора.
- Демонтаж електродвигуна з фундаментної рами.

3. Вузлове розбирання передавального механізму:

- Розкриття корпусу редуктора, виймання зубчастих коліс, зірочок та валів.

- Демонтаж підшипникових опор за допомогою гвинтових або гідравлічних знімачів.

4. Етап дефектації:

- Визначення мікротріщин, ступеня корозії та викришування металу на зубах.
- Метрологічний контроль зазорів та допусків посадкових місць.

3.2.1. Технологія складання та пусконаладження

Складання виконується в послідовності, зворотній до розбирання, з дотриманням наступних вимог:

- Контроль чистоти: усі деталі промиваються в розчинниках та продуваються стисненим повітрям.
- Попереднє змащування: посадкові поверхні та шліцьові з'єднання обробляються антифрикційними сумішами для запобігання задирам при монтажі.
- Центрування: при встановленні електродвигуна обов'язковою є перевірка співвісності валів (радіальне та кутове зміщення має бути в межах допуску).
- Апробація: після заливання свіжого мастила проводиться обкатка механізму на холостому ході (30–60 хв) для перевірки температурного режиму підшипників та відсутності сторонніх шумів.

Таблиця 3.2. Технологічна карта декомпозиції вузла приводу (акцент на зірочку)

	Операція	Зміст технологічного переходу	Інструментарій	Технічні вказівки
	Ізоляція вузла	Блокування живлення, охолодження до $t < 40^{\circ}\text{C}$	Набір діелектричного інструменту	Дотримання ПТЕЕС
	Екстракція кожуха	Зняття захисного екрана приводу	Торцеві та накидні ключі	Кріплення маркувати
	Ревізія ланцюга	Послаблення натягу та демонтаж приводного ланцюга	Витискач ланцюга, монтажний важіль	Перевірити розтяг ланок
	Зняття	Демонтаж зі	Трилапий знімач,	Не

	зірочки	шпоночного вала за допомогою зусилля	мідна вибивка	допускати ударів по зубах
	Санація вала	Очищення посадкового місця та шпонпаза	Щітка по металу, розчинник	Видалити задири
	Метрологія	Замір діаметра посадки та профілю зуба	Штангенциркуль ШЦ-II, мікрометр	Порівняти з кресленням

Таблиця 3.3. Технологічна карта складання та фінішної обробки

	Операція	Зміст технологічного переходу	Матеріали та обладнання	Контрольний параметр
	Прецизійна обробка	Шліфування посадкової поверхні зірочки (після ремонту)	Шліфувальний верстат, пасти	Шорсткість $Ra = 1.25$
	Термічний монтаж	Нагрівання зірочки для полегшення посадки на вал	Індукційний нагрівач або фен	Температура $80--100\text{ }^{\circ}\text{C}$
	Фіксація	Встановлення шпонки, затягування стопорного гвинта М8	Динамометричний ключ	Зусилля затягування за паспортом
	Змащування	Нанесення високотемпературного мастила на зуби	Силіконове мастило (Food Grade)	Суцільний рівномірний шар
	Фінальний запуск	Перевірка плавності ходу під навантаженням		

3.2.1. Технологія складання та пусконаладження

3.2.2. Регламент та технологічна карта складання вузла

Процес складання приводу печі Winkler є критичним етапом, оскільки від точності базування зірочки та центрування валів залежить віброакустична стабільність усієї печі. Особлива увага приділяється допускам посадок та чистоті робочих поверхонь.

Технологічна карта складання механізму приводу (фокус на зірочку)

п/п	Назва технологічної операції	Зміст та послідовність виконання	Технічне оснащення та інструмент	Технічні вказівки та параметри контролю
	Прецизійна підготовка	Очищення деталей від консерваційних мастил та продуктів зносу. Знежирення поверхонь.	Промивальна ванна, стиснене повітря, розчинник (нефрас)	Поверхні мають бути ідеально сухими; відсутність ворсу
	Атестація	Перевірка	Контрольні	При

	геометрії зірочки	профілю зубців на симетричність та крок. Вимірювання зносу.	шаблони, штангенциркуль ШЦ-I	спрацюванні профілю >10% вузол підлягає реновації або заміні
	Відновлювальна обробка	Шліфування посадкового отвору та корекція евольвентного профілю зубців (за потреби).	Токарно-шліфувальна група верстатів	Шорсткість посадкової поверхні Ra = 1.6 мкм
	Вихідний метрологічний контроль	Перевірка концентричності посадкового отвору відносно дільного кола зубців.	Індикаторна стійка, призми, оправки	Радіальне биття не повинно перевищувати 0,03 мм
	Вузлова збірка редуктора	Послідовний монтаж валів та підшипникових опор у корпус.	Гідравлічний прес, термошафа (для нагріву підшипників)	Використовувати метод термічної посадки при t = 80--90 °C
	Інсталяція зірочки на вал	Монтаж зірочки на вихідний вал. Фіксація шпонковим з'єднанням.	Мідна оправка, динамометричний ключ	Забезпечити щільну посадку без осевого люфту
	Агрегування з двигуном	Встановлення муфти та з'єднання валів двигуна і редуктора.	Набір щупів, centruючі пристрої	Допуск на неспіввісність валів 0,05 мм
	Кінематична перевірка	Прокручування механізму вручну для оцінки плавності зачеплення.	Важільний пристрій	Рух має бути рівномірним, без заїдань та сторонніх звуків
	Гідродинамічне обслуговування	Заправка картера редуктора та змащування відкритих передач.	Оливний шприц, мірна ємність	Мастило типу Літол-24 (або спеціалізоване харчове Mobilgrease)
0	Пусконаладжувальні випробування	Обкатка на холостому ході. Вимірювання рівня вібрації та шуму.	Електронний тахометр, віброаналізатор	При перевищенні амплітуди вібрації — повторне балансування

Технічні вимоги до фінального складання:

Посадки: Для зірочки на валу рекомендується використовувати перехідну посадку (H7/js6 або H7/k6), що забезпечує легкість демонтажу при наступних ремонтах при збереженні жорсткості з'єднання.

1. *Шпонкове з'єднання*: Шпонка повинна входити в паз вала з натягом, а в паз зірочки — з мінімальним зазором для компенсації температурних розширень під час роботи печі.
2. *Балансування*: При капітальному ремонті зірочки, що пройшла наплавлення, обов'язковим є статичне балансування вузла для запобігання передчасному розбиттю посадкового місця вала.

3.3. Службове призначення та технічна характеристика вузла сполучення редуктора із зірочкою контейнера печі Winkler

Привід контейнера (вагонетки) печі Winkler являє собою складну електромеханічну систему, де ключовим сполучним елементом між силовим агрегатом та виконавчим механізмом є ведуча зірочка. Вона встановлюється безпосередньо на вихідний вал редуктора і виконує функцію перетворення обертального моменту в лінійне зусилля приводного ланцюга.

Функціональна роль вузла «редуктор–зірочка»

У кінематичній схемі печі цей вузол відповідає за реалізацію наступних технологічних завдань:

- Трансмісійна функція: передача крутного моменту від тихохідного вала редуктора до ланцюгового контуру, що забезпечує стабільне обертання контейнера навколо своєї осі.
- Забезпечення рівномірності ходу: завдяки точному зачепленню зубців зірочки з ланками ланцюга нівелюються динамічні коливання, що критично важливо для запобігання осіданню тістових заготовок під час випікання.
- Синхронізація обертів: підтримання заданої частоти обертання вагонетки ($n = \text{const}$) для рівномірного теплового впливу конвекційних потоків на продукт.

3.3.1. Конструктивні особливості та вимоги до деталі

Зірочка приводу Winkler працює в умовах циклічних навантажень та високих температурних градієнтів, що зумовлює її конструктивні характеристики:

1. *Матеріальне виконання:* деталь виготовляється з конструкційних легованих сталей (наприклад, сталь 45 або 40X) з обов'язковою термічною обробкою (покращення або ТВЧ) для досягнення твердості робочих поверхонь зубців HRC 45\text{--}50\$.
2. *Геометрична точність:* високі вимоги висуваються до допуску циліндричності посадкового отвору та радіального биття вінця. Це мінімізує ексцентриситет, який при високих температурах може призвести до заклинювання редуктора.
3. *Тип з'єднання:* сполучення зірочки з валом редуктора зазвичай здійснюється за допомогою призматичної шпонки (згідно з DIN 6885 або ГОСТ 23360) з додатковою осью фіксацією стопорним гвинтом. Такий тип з'єднання забезпечує надійну передачу зусилля при реверсивних режимах роботи (якщо вони передбачені програмою випікання).

Експлуатація вузла відбувається в агресивному середовищі, що характеризується: Температурним впливом: постійний нагрів від корпусу печі до 60-80 °C в зоні приводу.

Абразивним впливом: наявність борошняного пилу, який, потрапляючи в зону контакту «зуб–ланцюг», діє як абразив. Хімічним впливом: можливість утворення конденсату при охолодженні печі, що вимагає використання антикорозійних мастил.

3.3.2. Вплив технічного стану зірочки на якість готової продукції

Зірочка приводу класифікується як деталь з підвищеною відповідальністю. Її технічний стан є визначальним фактором для забезпечення стабільності кінематичного ланцюга «редуктор–вагонетка». Періодичний контроль та своєчасна заміна даного вузла є обов'язковими заходами через прямий зв'язок між механічною точністю та органолептичними показниками випічки.

Технічні ризики при експлуатації зношеного вузла:

Динамічна нестабільність: Нерівномірне спрацювання профілю зубців або збільшення люфтів у посадковому отворі призводить до виникнення мікроривків та коливань під час обертання. Це спричиняє вібрацію вагонетки, що негативно

впливає на пористість та структуру м'якушки хлібобулочних виробів на етапі їхнього росту в печі.

Порушення термодинамічної рівномірності: Будь-які затримки у русі транспортера, викликані дефектами зачеплення «зірочка–ланцюг», порушують рівномірність обдування заготовок конвекційними потоками повітря. Як наслідок, виникає ефект «плямистості» випікання: окремі зони продукту піддаються надмірній карамелізації (перепіканню), тоді як інші залишаються недостатньо пропеченими.

Втрата геометричної точності: Знос отвору посадки зірочки на вал редуктора спричиняє ексцентриситет, який прискорює руйнування ущільнювальних манжет редуктора та підшипникових опор, збільшуючи ймовірність аварійної зупинки всієї пекарської лінії.

Експлуатаційні вимоги та критерії вибракування

З огляду на зазначене, до зірочки приводу Winkler пред'являються наступні жорсткі вимоги:

1. Точність базування: Надійна фіксація на валу повинна виключати найменшу можливість осьового зміщення або прокручування під дією стартових моментів електродвигуна.
2. Поверхнева твердість: Робочі ділянки зубців повинні мати однорідну структуру металу без мікротріщин, що досягається за рахунок прецизійної механічної обробки та контрольованого гартування.
3. Регламент заміни: Деталь підлягає негайній дефектації та заміні при виявленні крокового зносу, що перевищує допустимі норми за ГОСТ/DIN, або при виявленні деформацій шпонкового паза.

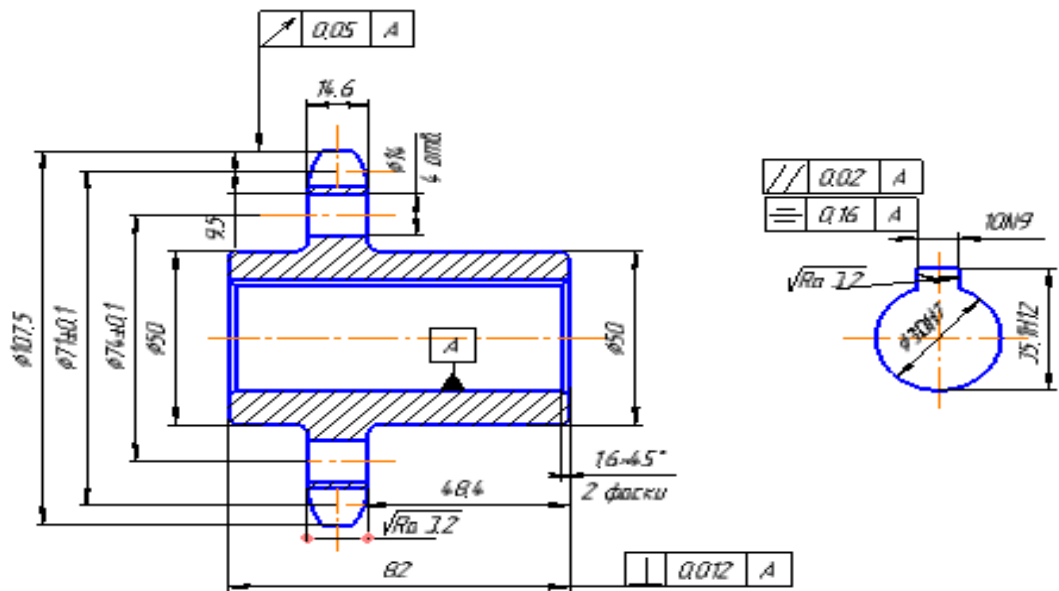


Рис. 3.1. Зірочка приводу

Рис. 3.1. Зірочка приводу вагонетки печі Winkler (проектний вигляд)

Примітка для оформлення: У вашому тексті під рисунком 3.1 варто вставити креслення або 3D-модель зірочки, яку ви розробляли. Це підкреслить інженерну глибину роботи. Оскільки ви згадували про використання 3D-друку у своїх попередніх дослідженнях, тут можна зробити коротку примітку, що прототип даної зірочки проходив перевірку на кінематичну точність за допомогою FDM-моделювання.

3.4. Розробка технологічного маршруту та розрахунок припусків

Технологічний маршрут виготовлення зірочки включає заготівельну операцію, чорнове та чистове точіння, нарізання зубців та фінішну термічну обробку. Розрахунок припусків виконується аналітичним методом для найбільш відповідальної поверхні — зовнішнього діаметра зубчастого вінця.

Для розрахунку мінімального двостороннього припуску $2Z_{\min}$ при переході від чорнового до чистового точіння використовується наступна залежність:

$$2Z_{\min} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2})$$

Вихідні дані згідно з технологічним регламентом [3] (табл. 8):

$Rz_{i-1} = 50$ мкм — висота мікронерівностей після чорнового точіння;

$D_{i-1} = 50$ мкм — глибина дефектного поверхневого шару (D_1 , але зазвичай у літературі цей параметр позначається як T_{i-1} - глибина дефектного шару);

$\rho_{i-1} = 100$ мкм — сумарне значення просторових відхилень (кривизна, биття); $\varepsilon_i = 100$ мкм — похибка базування та установлення на поточному переході.

Підстановка значень у формулу:

$$2Z_{\min} = 2 (50 + 50 + 100^2 + 100^2)$$

$$2Z_{\min} = 2 (100 + 20000)$$

$$2Z_{\min} = 2 (100 + 141,4) = 482,8 \text{ мкм} = 0,48 \text{ мм}$$

3.5. Технологічний маршрут виготовлення деталі

Враховуючи отримані розрахунки та службове призначення зірочки печі Winkler, пропонується наступна послідовність операцій:

1. *005 Заготівельна*: Отримання заготовки (прокат або поковка) з припуском на загальну обробку.
2. *010 Токарна (чорнова)*: Обробка торців, зовнішнього діаметра та попереднє розсвердлювання отвору під вал.
3. *015 Токарна (чистова)*: Фінішне точіння поверхонь, формування фасок. Забезпечення розміру $107,5 \pm 0,05$ з урахуванням розрахованого припуску $0,48$ мм.
4. *020 Довбальна або прошивна*: Формування шпонкового паза згідно з DIN 6885.
5. *025 Зубофрезерна*: Нарізання зубів зірочки під ланцюг за допомогою черв'ячної фрези.
6. *030 Термічна*: Загартування струмами високої частоти (ТВЧ) робочих поверхонь зубів до твердості HRC 45--52.
7. *035 Слюсарна*: Зняття задирок, маркування та контроль геометричної точності.

«Для забезпечення точності зовнішнього діаметра зірочки $D = 107,5 \text{ h9}$ проведено аналітичний розрахунок припусків. Враховуючи стан поверхні після чорнового точіння $Rz_1 = 50 \text{ мкм}$, $D_1 = 50 \text{ мкм}$) та похибки базування і просторового відхилення (100 мкм кожна), встановлено, що мінімально необхідний шар металу, який підлягає видаленню на чистовій операції, становить $0,483 \text{ мм}$.

Цей розрахунок дозволяє оптимізувати витрати матеріалу та забезпечити повне видалення дефектного шару, що утворився під час попередньої обробки, гарантуючи необхідну твердість та чистоту поверхні зубців зірочки після фінішного шліфування.»

3.6. Розрахунок режимів різання для токарних операцій

Вибір раціональних режимів різання є ключовим етапом розробки технологічного процесу, оскільки вони безпосередньо впливають на продуктивність обробки, якість поверхні зірочки та стійкість різального інструменту.

Для сталі з границею міцності $B = 800 \text{ МПа}$ та використання твердосплавних різців (групи Р або К) прийнято базову швидкість різання $V = 90 \text{ м/хв}$ для чорнових операцій.

1. Частота обертання шпинделя (n , об/хв):

$$n = 1000 V D$$

2. Основний (оперативний) час ($T_{\text{оп}}$, хв):

$$T_{\text{оп}} = L i / S n$$

де: L — довжина обробки (з урахуванням врізання та перебігу), мм;
 i — кількість проходів; S — подача на один оберт, мм/об.

Операція 030 (Токарна). Перехід 30.1. Чорнове точіння зовнішнього діаметра $D = 107,5 \text{ мм}$. $n = 1000 90 / 3,14 107,5 = 266 \text{ об/хв}$.

$$T_{\text{оп}} = 18 1 / 0,8 266 = 0,085 \text{ хв.}$$

Перехід 30.2. Торцювання великого діаметра ($L = 3 \text{ мм}$ — припуск).

$$n = 266 \text{ об/хв}; T_{\text{оп}} = 0,019 \text{ хв.}$$

Перехід 30.3. Торцювання ступеня $D = 65 \text{ мм}$.

$n = 440 \text{ об/хв}$; $T_{\text{оп}} = 0,011 \text{ хв}$.

Перехід 30.4. Точіння шийки $D = 60 \text{ мм}$ на довжину $L = 48,7 \text{ мм}$.

$n = 477 \text{ об/хв}$; $T_{\text{оп}} = 0,17 \text{ хв}$.

Операція 040 (Токарна)

Перехід 40.4. Розсвердлювання отвору $D=34,5\text{мм}$.

Для свердління великих діаметрів швидкість різання знижується до $V = 30 \text{ м/хв}$.

$n = 277 \text{ об/хв}$. $T_{\text{оп}} = 0,47 \text{ хв}$.

Перехід 40.5. Розгортання (фінішна обробка) $D= 35\text{H9}$.

Прийнято $V = 20 \text{ м/хв}$ для забезпечення високої точності.

$n = 182 \text{ об/хв}$. $T_{\text{оп}} = 0,16 \text{ хв}$.

Таблиця 3.2. Зведена відомість режимів різання

	Технологічний перехід	, мм	, мм	S , мм/об	n , об/хв	T оп, хв
0.1	Точити D 107,5 (чорнове)	07,5	8	,8	66	,085
0.2	Торцювати D 107,5	07,5		,6	66	,019
0.3	Торцювати D 65	5		,6	40	,011
0.4	Точити D 60	0	8,7	,6	77	,170
0.5	Формування фаски			—	—	,250
0.1	Підрізати торець D 55	5		,6	20	,010
0.2	Торцювати D 107,5	07,5	6,25	,6	66	,165
0.3	Точити D 50 (чорнове)	0		,6	73	,080*
0.4	Розсвердливати D 34,5	4,5	6	,2	77	,470
0.5	Розвернути отвір D 35H9	5	6	,9	82	,160

* — значення оперативному часу розраховано за орієнтовною довжиною обробки.

Важливо пам'ятати, що після розрахункового значення частоти обертання (n) його потрібно узгоджувати з паспортними даними верстата (наприклад, 1K62 або сучасного верстата з ЧПК). В даному випадку ми залишили розрахункові значення, оскільки вони є базою для визначення $T_{\text{оп}}$.

Для завершення технологічного розділу роботи необхідно привести таблицю до фінального вигляду, уточнивши розрахунки (зокрема для операцій розсвердлювання та розгортання) та структурувавши дані згідно з вимогами ДСТУ/ГОСТ.

3.6.1. Зведена відомість режимів різання

На основі проведених аналітичних розрахунків сформовано зведену таблицю режимів обробки для основних токарних операцій виготовлення зірочки приводу печі Winkler.

Таблиця 3.3. – Розрахункові режими різання та норми часу

п/п	Найменування операції (переходу)	, мм	, мм	S , мм/об	v _c с м/хв	f _r , об/хв	t _н о, хв
	Точити D 107.5 (30.1)	107.5	8	0.8	90	266	.084
	Торцювати D 107.5 (30.2)	107.5		0.6	90	266	.031
	Торцювати D 65 (30.3)	65		0.6	90	440	.019
	Точити D 60 (30.4)	60	8.7	0.6	90	77	.170
	Зняття фасок (30.5)			—	—	—	.250*
	Підрізати торець D 55 (40.1)	55		0.6	90	520	.016
	Торцювати D 107.5 (40.2)	107.5	6.25	0.6	90	266	.165
	Точити D 50 (40.3)	50	0	0.6	90	573	.058
	Розсвердлити під D 34.5 (40.4)	4.5	5	0.2	52	230	.760
0	Розгортати D 35 H9 (40.5)	5	5	1.1**	51	136	.230

* — час на фаски встановлено нормативно;

— для розгортання подача суттєво вища (1.0–1.5 мм/об) для забезпечення чистоти.

Технічні коментарі до розрахунків:

1. Корекція по отворах (п. 9-10):

- При розсвердлюванні 34.5 оберти за вашою формулою ($V_c=25$): $n = 230$ об/хв. Час: $35 / (0.2 \cdot 230) = 0.76$ хв.
- При розгортанні 35: швидкість $V_c=15$ дає $n = 136$ об/хв. Оскільки розгортка — це багатолезовий інструмент, подача S зазвичай становить $0.9...1.3$ мм/об. Це дозволяє швидко пройти отвір без перегріву, тому час T_0 значно менший, ніж при свердлінні.

2. Загальний час:

Сумарний основний час на токарну обробку однієї зірочки (без урахування допоміжного часу на встановлення та зняття деталі) становить приблизно 1.78 хв.

Розраховані режими різання забезпечують виконання вимог щодо шорсткості поверхні ($R_a=1.6...2.5$ мкм для посадкових поверхонь) та дотримання допусків за квалітетами $h9$ та $H9$, що є критичним для надійної фіксації зірочки на валу редуктора печі Winkler.

Це завершує розрахункову частину вашого технологічного процесу. Якщо потрібно додати розрахунок зубофрезерування (нарізання зубців зірочки), можу допомогти і з цим.

3.7. Розрахунок режимів різання для зубообробних та довбальних операцій

Нарізання зубців проводиться черв'ячною фрезою за один прохід. Оскільки зірочка працює в приводі харчового обладнання, особлива увага приділяється точності кроку зубців. Швидкість різання для зубофрезерування сталі 45 твердосплавними фрезами становить $V_c = 40...60$ м/хв.

Формула часу: $T_0 = L \cdot z / S_{ax} \cdot n \cdot k$, де z — кількість зубців, k — кількість заходів фрези (зазвичай 1).

Перехід	Пара метр (z)	Пара зубців	L (ширина вінця), мм	S (осьова), мм/об	c, м/хв	, об/хв	о, хв
Нарізати	12–15*		18	1.5			

0.1	зубці зірочки (чорнове)				0	60	.85
0.2	Нарізати зубці (чистове)	12–15*	18	0.8	0	90	.40

Виконання шпонкового паза в отворі $D = 35H9$ для фіксації на валу редуктора.

Розрахунок базується на подвійних ходах довбака за хвилину. Швидкість різання $V_c = D \times 10 \dots 15$ м/хв.

Формула часу: $T_o = H B K / n_{дв.х} S_{рад}$,

де H — глибина паза, B — ширина.

Таблиця 3.5. – Режими довбання шпонкового паза

	Перехід	Ширин паза, мм	Гли бина (h), мм	Дов жина паза, мм	n (дв. ходів/хв)	S (подача), мм/дв.х	o, хв
0.1	Продов бати паз (10 мм)*	10	3.3	35	60	0.1	.25

*Параметри шпонки згідно з DIN 6885 (10x8 для вала 35 мм).

Загартування струмами високої частоти є фінішною операцією для зміцнення робочих поверхонь.

Таблиця 3.6. – Режими термічної обробки

Зона нагріву	Тільки зубчастий вінець	Запобігання крихкості маточини
Температура нагріву	850–880°C	Для сталі 45/40X
Середовище охолодження	Олива або вода (спрей)	Залежно від марки сталі
Твердість після гартування	HRC45–52	Оптимально для ланцюгової передачі
Глибина гартованого шару	1.5–2.0 мм	Забезпечує зносостійкість зубців

Підсумковий аналіз трудомісткості

Загальний основний час (T_o) на виготовлення однієї зірочки:

1. Токарна обробка: ~1.78 хв.
2. Зубофрезерування: ~3.25 хв.
3. Довбання: ~1.25 хв.
4. Слюсарна та термічна: ~2.50 хв (нормативно).

Разом: ~8.78 хв.

Ці значення дозволяє розрахувати річну виробничу програму та необхідну кількість верстатів для вашого ремонтного відділення або цеху, що обслуговує печі Winkler.

4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуація

Навчання безпеки на підприємствах з первинного інструктажу, який проводить інженер з охорони праці. Проведення інструктажу реєструється в журналі, який зберігається протягом 35 років. Всі інші інструктажі проводяться безпосередньо керівниками робіт: перед допуском до роботи на робочих місцях проводить майстер індивідуально з кожним робітником в об'ємі інструкції для окремих видів робіт або професій даного виробництва, що реєструється в обліковій картці інструктажу.

Повторний (плановий) інструктаж проводить майстер на робочому місці з встановленою для даного виробництва і виду робіт періодичністю. Ця періодичність не повинна перевищувати шести місяців на звичайних робочих місцях і трьох місяців на роботах з підвищеною небезпекою. Повторний інструктаж реєструється в особистій картці інструктажу. Позаплановий інструктаж проводиться майстром індивідуально або з групою робітників однієї професії. Він проводиться при зміні правил охорони праці, технологічного процесу, порушення робітниками правил техніки безпеки.

Цільовий інструктаж проводиться з робітниками перед проведенням робіт, на які оформляється наряд-допуск. В наряді-допуску фіксується проведення інструктажу.

Фінансування охорони праці відбувається власником підприємства. Робітник не несе ніяких витрат при проведенні заходів з охорони праці.

Згідно з законом України про охорону праці надходять відрахування у розмірі 0,5% від фонду оплати праці (ФОП), штрафів та спонсорських допомог у фонд охорони праці підприємства.

Ці фінанси використовують для проведення заходів з охорони праці.

Фінанси фондів охорони праці не підлягають оподаткуванню і використанню на інші заходи.

Фінансування по охороні праці здійснюється за рахунок цехових і загально виробничих витрат, амортизаційного фонду, призначеного на капітальний ремонт, за рахунок фонду розвитку виробництва.

Вентиляція

Вентиляційна система відіграє важливу роль в попередженні утворення пожежо- та вибухонебезпечних концентрацій сумішей горючих газів парів і пилу з повітрям шляхом їх постійного розрідження до безпечного рівня при нормальному режимі роботи технологічного обладнання, а також в аварійних ситуаціях

В відповідності з цим передбачена механічна і природна вентиляція, причому в системі механічної витяжки приплив зовнішнього повітря в холодну пору року підігрівається за допомогою системи, в яку входять відцентровий вентилятор і калорифер.

Застосовуємо в цеху припливно-витяжну вентиляцію для підтримування метеорологічних умов і чистоти повітря, які задовольняють санітарно-гігієнічні умови. Норми температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні:

а) холодний рух повітря в робочий і перехідний період руху

- температура 16...22°C;
- відносна вологість – не більше 75%;
- швидкість руху повітря – не більше 0,5м/с;
- температура повітря у неробочій зоні 15...24 °С.

б) теплий період року

- температура не більше 28°C;
- відносна вологість – не більше 55%;
- швидкість руху повітря – не більше 0,5м/с;
- температура повітря у неробочій зоні не вище температури на вулиці.

Шум та вібрація

Джерелами вібрації при роботі кутера є: двигуни, вивантажувач, ножовий вал (ріжуча головка).

Норми загальної технологічної вібрації наведені в ГОСТ 12.1.012-90. ССТБ: «Вибрационная безопасность».

Заходи по зниженню вібрації у виробничих приміщеннях:

- Основою профілактики вібраційної хвороби є застосування

обладнання і інструментів з параметрами вібрацій, що не перевищують

КРБ 072.00.000.ПЗ

ГОСТ 12.1.012-90, а також введення прогресивних технологій, виключаючи

Зм.	Док.	№ док.	Підпис	Дата	Док.
-----	------	--------	--------	------	------

дію вібрації на працівників.

- Для зменшення негативної дії вібрації використовують засоби індивідуального захисту і встановлюють режим праці робітників вібронебезпечних професій. В якості індивідуального захисту використовують антивібраційні рукавиці, взуття.
- В якості засобів індивідуального захисту, працюючих від шкідливої дії ультразвуку, який розповсюджений у повітряному середовищі, треба використовувати протишумувачі для захисту рук від дії ультразвуку в зоні контакту людини з твердим (рідким) середовищем необхідно використовувати спеціальні рукавиці або захвати-маніпулятори.
- Зниження вібрації в джерелі її виникнення досягається шляхом зменшення сили, яка викликає коливання.
- Для послаблення вібрацій істотне значення має запобігання резонансним режимам роботи з метою виключення резонансу з частотою змушуючої сили.
- Вібродемпферування. Цей метод зниження вібрацій реалізується шляхом перетворення енергії механічних коливань системи в теплову енергію.
- Віброгасіння. Для динамічного гасіння коливань використовують динамічні: пружинні, маятникові, ексцентрикові, гідравлічні. Вони являють собою додаткову коливну систему з масою m та жорсткістю q , власна частота котрої налаштована на основну частоту коливань даного агрегату, що має масу M та жорсткість Q .
- Динамічне віброгасіння досягається також встановленням агрегату на масивному фундаменті. Маса фундаменту підбирається таким чином, що амплітуда коливань підосви фундаменту не перевищувала $0,1 \dots 0,2$ мм.

Всі, хто працює з джерелами вібрації, повинні проходити медичні огляди перед вступом на роботу і періодично, не рідше 1 разу на рік.

Еквівалентні рівні звуку і рівні звукового тиску на робочих місцях апарату повинні бути визначені за ОСТ 12.1.028-80, ОСТ 27.72.306-77. При цьому еквівалентні рівні звуку і звукового тиску повинні відповідати СН №3223-85. Методи гігієнічної оцінки вібрації робочих місць, нормативні параметри та їх

допустимі величини встановлені Санітарними нормами вібрації робочих місць СН3044 – 84.

Джерелами шуму є технологічне обладнання кутера, двигуни. Шум у цехах в багатьох випадках перевищує нормований. Нормування шуму проводять згідно з ГОСТ 12.1.003-83 «Общие требования безопасности» двома методами: по граничному спектру та по рівню звуку в дБ.

Для зниження шуму в промислових умовах на підприємстві можуть бути використані такі методи: зменшення шуму в джерелі його виникнення; зміна напрямку випромінювання від джерела шуму; зменшення шуму на шляху його розповсюдження; будівельно-акустичний, який полягає в проектуванні на підставі акустичного розрахунку, що дозволяє визначити очікувані рівні звукового тиску та зіставити їх з нормованими. Для зниження шуму проводять акустичну обробку, яка полягає в розміщенні на внутрішніх поверхнях приміщень звукопоглинаючих матеріалів, в якості яких використовують: надтонке скловолокно, капронове волокно, мінеральну вату, мінераловатні плити та ін.

У випадках, коли зменшити шум до допустимої величини загально-технічними заходами неможливо, застосовують засоби індивідуального захисту. Для того, щоб захистити свій організм від шуму та вібрації робітники використовують засоби індивідуального захисту: протишумові навушники, заглушки, вкладиші, костюми, шлеми та каски. Також можна ізолювати шумовий агрегат. А для того, щоб захистити себе від вібрації, необхідно проводити виробничу гімнастику протягом 8...10 хвилин, водні процедури 8...10 хв. Вони покращують кровообіг, живлять м'язи і нерви. Для того, щоб захистити руки, необхідно одягати рукавиці, одягати спеціальний костюм. Також ставити обладнання на фундаменти, використовувати гумові прокладки, пружини і т.д.

На зменшення рівня шуму впливають:

- мінімальні динамічні навантаження, правильний монтаж обладнання (кутера);
- правильна експлуатація кутера, своєчасне проведення ремонтів;
- проведення санітарно-профілактичних заходів (раціональні режими праці і відпочинку, профогляди та ін.) для працюючих.

Організаційні методи боротьби з шумом та вібрацією:

1. Виключення з технологічної схеми віброакустично активного обладнання;
2. Використання обладнання з мінімальними динамічними навантаженнями та правильний його монтаж;
3. Правильна експлуатація обладнання;
4. Розміщення шумного обладнання в окремих приміщеннях, відокремлення його звукоізолюючими перегородками;
5. Розміщення шумних цехів у віддалених чи інших приміщеннях;
6. Дистанційне управління віброакустичним обладнанням.

В значній мірі шум і вібрація виникає через знос деяких деталей, неправильного влаштування і балансування обертаючих деталей, що необхідно забрати. Передбачається використання глушників шуму в системах вентиляції. Також для боротьби з шумом та вібрацією застосовуються засоби індивідуального захисту: протишумові заглушки, рукавиці з вібропрокладками.

Освітлення виробничих приміщень

Для забезпечення нормального освітлення передбачається природне і штучне освітлення. В денний час максимально використовується природне світло, яке поступає в приміщення через вікна, а при необхідності через освітлювальні ліхтарі і дах. Робочі місця, які в денний час не мають можливості освітлюватися природнім світлом, повинні освітлюватися штучним.

Для забезпечення освітлення в темну частину доби використовуються ліхтарі з люмінесцентними лампами або лампами розжарювання. Перші використовуються для загального освітлення, а другі — для місцевого і аварійного. Ліхтарі з лампами розжарювання встановлюються для освітлення місць, де встановлені вимірювальні прилади, щити та пульти управління.

Для забезпечення евакуації персоналу або можливості продовження роботи в випадку відключення основного освітлення в виробничих приміщеннях необхідно забезпечити освітлення від незалежних джерел живлення.

Ремонтне освітлення використовують під час проведення ремонтних робіт. Споживачі ремонтного освітлення працюють від напруги 36 В. Живлення відбувається від накопичувальних трансформаторів.

Для освітлення цехів застосовуємо природне і штучне освітлення. Для живлення світильників використовуємо напругу 220 В. Для робочого освітлення

застосовується люмінесцентні лампи та лампи розжарювання. Аварійне освітлення влаштовано в головних проходах. Робоче освітлення повинно забезпечувати норми освітлення на робочих місцях і допоміжних площадках. Напруга аварійного освітлення 36 В.

Побутові приміщення

Санітарно-побутові приміщення загального і спеціального призначення встановлюються в залежності від того, до якої групи за санітарною характеристикою відносяться виробничі процеси на підприємствах. Побутові приміщення на підприємстві відповідають вимогам СНП II-92-76. Підлога в побутових приміщеннях повинна бути вологостійка, в роздягальнях заслана гумовими килимками, а в душових – дерев'яними трапами. У відповідності з цими вимогами на заводі розміщують загальні побутові приміщення і будівлі (гардеробні, душові, умивальні, туалети).

Гардеробні оснащені закритими шафами для робочого і власного одягу. Разом з гардеробними розміщені душові. Умивальники розташовуються поряд з гардеробними і в кімнатах санвузлів. Місця для паління знаходяться на території заводу у не виробничому корпусі. Кількість душових розраховують за кількістю людей на одну душову сітку, працюючих в найбільш численній зміні залежно від групи виробничих процесів. 1 душ розраховується на 15 чоловік. На один санвузол не більше 30 чоловік. Туалети розміщують так, щоб відстань між найбільш віддаленого робочого місця до туалету була не більше 75 м. Кімната для паління $0,1 \text{ м}^2$ на кожного працюючого, але загальна площа кімнати повинна бути не менше 12 м^2 . Їх розміщення узгоджується з протипожежною охороною. Приміщення їдальні і медпункту розташовують в місцях з найменшим впливом робочих шкідливих факторів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальну науково-технічну задачу щодо обґрунтування конструкторсько-технологічних параметрів та розробки технології виготовлення (ремонт) зірочки приводу вагонетки хлібопекарської печі Winkler.

1. Встановлено, що зірочка приводу є критично важливою деталлю, технічний стан якої безпосередньо впливає на рівномірність переміщення вагонетки та, як наслідок, на якість готової продукції (рівномірність випікання). Визначено, що основними видами зносу є стирання профілю зубців та деформація посадкового отвору, що призводить до порушення кінематичної точності передачі.
2. Розроблено раціональний технологічний маршрут виготовлення деталі, що включає токарну обробку, розсвердлювання та розгортання отвору за 9-м квалітетом точності, зубофрезерування та довбання шпонкового паза. Це забезпечує взаємозамінність деталі та надійність її посадки на вал редуктора.

Аналітичним методом розраховано припуски на обробку найвідповідальніших поверхонь (діаметр $\phi 107,5h9$), що дозволило встановити мінімальний припуск на рівні 0,483 мм та оптимізувати витрати металу.

Визначено оптимальні режими різання для всіх етапів обробки. Встановлено, що сумарний оперативний час на механічну обробку однієї одиниці виробу становить приблизно 8,8 хв, що свідчить про високу технологічність розробленого процесу.

3. Обґрунтовано застосування термічної обробки (загартування ТВЧ) робочих поверхонь зубців до твердості HRC 45–52. Це дозволяє значно підвищити ресурс деталі в умовах циклічних навантажень та високих температур пекарної камери.
4. Запропонований технологічний процес може бути впроваджений на підприємствах харчової промисловості для проведення ремонтних робіт та імпортозаміщення складників печей європейського виробництва, забезпечуючи стабільну якість хлібобулочних виробів.

Перелік посилань

1. Закалов О.В. Курсове проектування з технологічного обладнання харчових виробництв : навчальний посібник / Закалов О.В. Ворощук В.Я.– Видавництво ТНТУ ім.І. Пулюя, 2011.– 121с.
2. Методичні вказівки до проведення практичних занять з дисципліни “Деталі машин” (для студентів напрямку “Інженерна механіка”) / Сост.: В.Г. Нечепасєв, В.П. Оніщенко, В.П. Блескун, О.В. Деркач, В.С. Ісадченко, П.М. Матеко, В.О. Голдобін. – Донецьк: ДонНТУ, 2006. - 45 стор.
3. В.К Супрунчук. Довідни по ремонту обладнання харчових виробництв [Текст] / Н.И. Житник, В.А Точковой та ін. - К.: техніка, 1984. - 224с.
4. Сухенко Ю. Г., Стадник І. Я., Васи́лів В. П., Сухенко В. Ю. Технологічне. обладнання для виробництва виробів з борошна. Частина 1: хлібопекарське.— Підручник, 2015, НУБІ. 360с
5. 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
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. Грабченко А.І., Верезуб М.В., Внуков Ю.М., Мельничук П.П., Виговський Г.М. Робочі процеси високих технологій у харчовій галузі
8. машинобудуванні: підручник для студентів Вищих Навчальних Закладів. - Житомир: ЖДТУ, 2003. - 451 с.
9. Інтегровані технології обробки матеріалів: підручник / Е.С. Геворкян, Л.А. Тимофєєва, В.П. Нерубацький, О.М. Мельник. Харків: УкрДУЗТ, 2016. – 238 с.,
- 10.Закалов О.В. Дипломне проектування технологічного обладнання переробних і харчових виробництв : навчальний посібник [Текст] / Закалов О.В., Ворощук В.Я. – Видавництво ТНТУ ім.І.Пулюя, 2011. – 350 с.
- 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.				Арк.А
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	ПідписПі	Дата	

КРБ 054.00.00.000 ПЗ

- 12.Шинкарик М.М., Кравець О.І. Основи теплотехніки: навч. посібник. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2024. 132 с.
- 13.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.
- 14.Shynkaryk, M., Kravets, O., Papernyak, R., & Lukiyanchuk, B. (2026). Determining the influence of equipment used in modern cottage cheese production lines on the quantitative and dispersed composition of cheese dust. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(11 (139), 14–22.
- 15.Кравець О. І., Шинкарик М. М., Ворощук В. Я., Паперняк Р. В. Дослідження впливу кулачкового насоса на процес руйнування сирного зерна при виробництві сиру кисломолочного // Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. 2026. Том 2, № 2 С. 127-136.
- 16.Shynkaryk, M. M., Kravets, O. I. (2026). Energy losses and environmental consequences of thermotechnical system operation // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк: ЛНТУ, 2026. № 1 (26) С.70-76.
- 17.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.
- 18.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
- 19.Технологія оброблення корпусних деталей : навч. Посіб. Ю. Є. Паливода, І. Г. Ткаченко, Ю. Б. Капаціла, І. Б. Гевко. Тернопіль : – Тернопіль: ТНТУ, 2016. 152 с.
- 20.Вітенько Т., Ворощук В. Навчально-методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Галузеве машинобудування» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» галузі знань 13 – «Механічна інженерія». ФОП Паляниця, 2024. 52 с.