

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня
бакалавр

(назва освітнього ступеня)
на тему: Розрахунок та ремонт приводу вагонетки ротаційної конвективної
хлібопекарської печі КЕП-400

Виконав(ла): студент(ка) 5 курсу, групи МО-41
спеціальності 133 галузеве машинобудування

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

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

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

Кафедра Обладнання харчових технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Вітенько Т.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 27 » січня 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)

студенту Стьопіну Олексію Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розрахунок та ремонт приводу вагонетки ротаційної конвективної
хлібопекарської печі КЕП-400

Керівник роботи _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

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

3. Вихідні дані до роботи

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Зміст. Вступ. 1. Аналіз стану питання та визначення задач кваліфікаційної роботи.

1.1. Аналіз патентних матеріалів та літературних джерел щодо ротаційних конвективних
хлібопекарських печей. 1.3. Постановка завдань кваліфікаційної роботи. 2. Обґрунтування
конструкції і розрахунки підйомно-обертового механізму стелажного вагонетки.

Проектування обертового механізму стелажного вагонетки. 2.1.1. Обґрунтування
конструктивних рішень обертового механізму вагонетки. Інженерні розрахунки механізму
приводу вагонетки для ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400. Розрахунок
продуктивності печі Тепловий розрахунок печі. Визначення розрахункової потужності на
обертання вагонетки. Розрахунок на міцність. Розрахунок і підбір підшипників. розрахунок.
приводу ланцюгової передачі Технологія експлуатації, технічного обслуговування та ремонту
механізму вагонетки Технологія виготовлення зірочки. Обґрунтування вибору та розрахунок
технологічно оснащення. Система планово-попереджувальних ремонту механізму приводу
вагонетки ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400. Службове призначення та
характеристика зірочки приводу вагонетки печі КЕП-400. Розрахунок режиму фрезерування
Розрахунок режиму свердління... Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях
Розробка режимів різання для токарних операцій виготовлення зірочки
Розробка технологічного маршруту виготовлення зірочки. Розрахунок похибки базування
Розробка технології розбирання та складання механізму приводу вагонетки печі КЕП-400

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

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

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Зміст.		
2	Вступ.		
3	Аналіз стану питання та визначення задач		
4	кваліфікаційної роботи		
5	1.1. Аналіз патентних матеріалів та літературних джерел		
6	щодо ротаційних конвективних хлібопекарських печей		
7	Постановка завдань кваліфікаційної роботи.		
8	Обґрунтування конструктивних рішень		
9	. Інженерні розрахунки механізму		
10	Розрахунок продуктивності		
11	Тепловий розрахунок печі		
12	Визначення розрахункової потужності		
13	Розрахунок на міцність		
14	Службове призначення та характеристика зірочки		
15	приводу вагонетки печі КЕП-400		
16	Розрахунок режиму свердління...		
17	Розробка режимів різання для токарних операцій		
18	виготовлення зірочки		
19	Розрахунок режиму фрезерування		
20	Розробка технологічного маршруту виготовлення		
21	зірочки. Розрахунок похибки базування		
22	Розробка технології розбирання та складання механізму		
23	приводу вагонетки печі КЕП-400		
24			
25			

--	--	--	--

Студент

Олексій СТЬОПІН

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Стадник І.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Зміст

Анотація.....	
Вступ.....	
1. Аналіз стану питання та визначення задач кваліфікаційної роботи	
1.1. Характеристика та особливості ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400.....	
1.2. Аналіз патентних матеріалів та літературних джерел щодо ротаційних конвективних хлібопекарських печей.....	
1.2.1. Аналіз технічних рішень щодо приводу вагонетки в ротаційних печах.....	
1.2.2. Тунельні хлібопекарські печі з конвективно-іонізуючим обігрівом (моделі А2-ХПК-16, А2-ХПК-25, А2-ХПК-50).....	
1.2.3. Опис конструкції та принципу роботи печі з рідкопаливним і газовим обігрівом.....	
1.3 Мета і задачі дипломної роботи.....	
2. Обґрунтування конструкції і розрахунки механізму приводу вагонетки ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400.....	
2.1. Проектування механізму приводу вагонетки для ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400.....	
2.2. Інженерні розрахунки механізму приводу вагонетки для ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400.....	
2.2.1. Розрахунок продуктивності печі.....	

2.2.2. Тепловий розрахунок печі.....	
2.3. Визначення розрахункової потужності на обертання вагонетки в печі	
2.3.1.Розрахунок і підбір підшипників.....	
2.3.2. Розрахунок ланцюгової передачі приводу.....	
2.3.3. Розрахуємо сили, що діють на зубці шестерень та зірочок у приводі вагонетки.....	
2.3.4. Розрахунок зірочки і навантаження на привід.....	
2.4. Використання смарт-технологій у ремонті та експлуатації механізму приводу вагонетки ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400.....	
2.4.1. Інтеграція смарт-технологій у систему ремонту та експлуатації приводу вагонетки печі КЕП-400.....	
3. Технологічні процеси виготовлення, експлуатації та ремонту механізму приводу вагонетки ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400.....	
3.1. Основні технічні вимоги до ремонту механізму приводу вагонетки ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400.....	
3.1.1. Система планово-попереджувальних ремонту механізму приводу вагонетки ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400.....	
3.1.2. Розробка технології розбирання та складання механізму приводу вагонетки печі КЕП-400.....	
3.2 Службове призначення та характеристика зірочки приводу вагонетки печі КЕП-400.....	
3.2.1. Розробка технологічного маршруту виготовлення зірочки.....	
3.2.2. Розробка режимів різання для токарних операцій виготовлення зірочки.....	
3.2.2.1. Розрахунок режиму фрезерування	
3.2.2.2. Розрахунок режиму свердління.....	

3.3. Розрахунок похибки базування.....	
4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	
4.1 Загальні положення	
Загальні висновки до дипломної роботи.....	
Перелік посилань.....	
Специфікації	

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота бакалавра на тему „Розрахунок та ремонт приводу вагонетки ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400” розроблений згідно виданого завдання. Проект передбачає розрахунок та ремонт вагонетки печі для виробництва хлібобулочних виробів, щоб забезпечити її безперебійну роботу.

Розділи кваліфікаційної роботи виконані у повному об’ємі згідно методичних вказівок і рекомендацій. Подано розрахунки та маршрути виготовлення зірочки приводу на відповідному обладнанні. Графічна частина дозволяє більш повно розкрити будову машин, показати виготовлення деталі, її розміщення, розміри і будову. Дотримання графіка планового та профілактичного обслуговування та інших вимог забезпечує надійну роботу печі та запобігає поломкам. Загальні висновки обґрунтували правильну організацію виконання ремонтних робіт.

This bachelor's qualification work on the topic "Calculation and repair of the trolley drive of the rotary convection bakery oven KEP-400" was developed in accordance with the issued task. The project involves the calculation and repair of the oven trolley for the production of bakery products to ensure its uninterrupted operation.

The sections of the qualification work are completed in full according to the methodological instructions and recommendations. Calculations and routes for manufacturing the drive sprocket on the appropriate equipment are provided. The graphic part allows you to more fully reveal the structure of the machines, show the manufacture of the part, its location, dimensions and structure. Adhering to the scheduled and preventive maintenance schedule and other requirements ensures reliable operation of the furnace and prevents breakdowns. The general conclusions justified the correct organization of repair work

					ДР 067.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Стьопін О.			Анотація	Літ.	Арк.
Перевір.		Стадник І.Я.					Аркуші
Консульт.							
Н. контр.		Ворощук В.Я.				ТНТУ, каф.ОХ,гр. МО-41	
Затверд.		Вітенько Т.М.					

Вступ

Напрямок прогресу технічного у харчовій промисловості є створення прогресивних технологій, потокових автоматизованих поточкових ліній із високою продуктивністю видів обладнання. Впровадження дозволить покращити якісні властивості продукції, підвищення продуктивності праці, а також загальноутворену культуру виробництва на харчових підприємствах.

Упродовж останніх років спостерігається активне зростання кількості нових підприємств, оснащених високотехнологічним устаткуванням. Збільшення виробничих потужностей зумовило необхідність підвищення надійності та довговічності як технологічного, так і загальнозаводського обладнання, оскільки від їх безперебійної роботи залежать ключові виробничо-економічні показники підприємств. Несправності або незаплановані зупинки обладнання призводять до порушення безперервності технологічного процесу, погіршення економічних результатів, зниження точності функціонування окремих механізмів і агрегатів, що, у свою чергу, негативно впливає на якість кінцевої продукції.

Забезпечення надійного технічного стану устаткування при мінімальних виробничих витратах досягається за рахунок якісного монтажу та ефективної організації системи технічного обслуговування і ремонту. Під монтажем розуміють сукупність операцій, спрямованих на збирання технологічного обладнання та його складових, установлення на фундамент, фарбування, запуск, регулювання і налаштування до штатної роботи.

Виконання монтажних робіт повинно базуватися на широкому застосуванні засобів механізації, впровадженні сучасної техніки, прогресивних технологій та раціональних форм організації праці. Однією з ефективних організаційних форм у процесі виконання монтажу є створення комплексних бригад. Такі бригади самостійно виконують повний цикл монтажних робіт, включаючи вантажно-такелажні операції, монтаж технологічного обладнання, обв'язку трубопроводами та інші супровідні процеси.

1. Аналіз стану питання та визначення задач кваліфікаційної роботи

1.1. Характеристика та особливості ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400

Технічний проект ротаційної хлібопекарської печі з конвективним обігрівом розроблений на основі науково-дослідних робіт, проведених по хлібопекарських печах та по наладці і експлуатації печей КЕП-400.

ПРИЗНАЧЕННЯ І ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ

Конвекційна піч КЕП-400 призначена для термічної обробки харчових продуктів — приготування, розігрівання страв, а також випікання хлібобулочних та кондитерських виробів у закладах громадського харчування. Нагрів здійснюється завдяки рівномірній циркуляції гарячого повітря в межах робочої камери.

Піч експлуатується у складі з розстійною шафою, стелажними візками та деками, що забезпечує повний цикл: розстійку, транспортування та випікання виробів без виймання їх з візка.

Конструктивні особливості:

- Корпус **печі** — зварна шафоподібна конструкція з отвором під двері на передній панелі.
- Робоча камера розміщена всередині корпусу й виготовлена з листової сталі. Вона містить:
 - відсік для аеродинамічного вентилятора;
 - бокові теплоізовані повітропроводи, закриті декоративними панелями;
 - фільтри повітря;
 - відсік для встановлення стелажного візка.

					КРБ 067.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Стьопін О.			Загально-технічна частина	Літ.	Арк.
Перевір.		Стадник І.Я.					Аркуші
Консульт.							
Н. контр.		Ворошук В.Я.				ТНТУ, каф. ОХ, гр. МО-41	
Затверд.		Вітенько Т.М.					

На задній стінці корпусу передбачені отвори для монтажу привідного вала, електродвигуна та кріплення підшипникового вузла. Отвір під колесо перекривається знімною перегородкою з всмоктуючим патрубком.

- Двері печі — зварна конструкція з листової сталі, встановлена на двох завісах і обладнана двома запірними механізмами. Вони мають термоізоляцію та ущільнювач із термостійкого силікону по всьому периметру прилягання до корпусу.

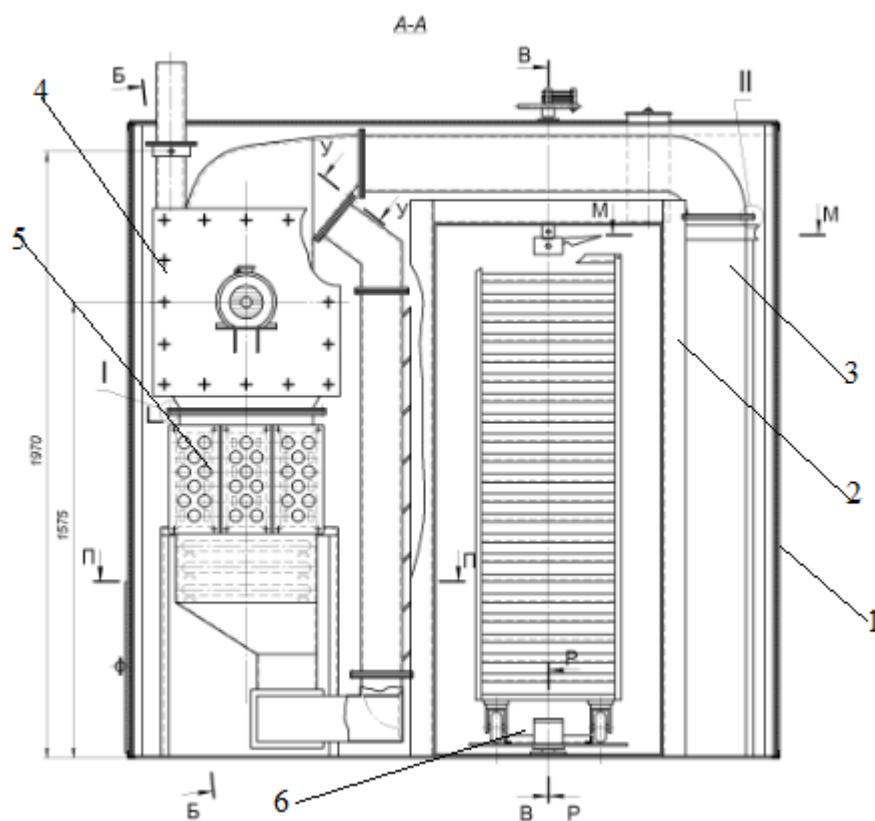


Рис.1.1. Розріз печі КЕП-400: 1 – металевий каркас; 2 – пекарна камера; 3 – короб подачі повітря; 4 – вентелятор; 5 – фільтр; 6 – механізм обертання вагонетки

Робоча камера печі 2 термічно ізольована від облицювальних панелей за допомогою теплоізоляційного шару. Конструктивно піч поділена на дві основні частини: ліва частина містить нагрівальні елементи 4, вентилятор 5, парогенератор, а також систему управління і сигналізації; права частина — це пекарна камера з дверима.

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ліва секція печі включає три окремі відсіки 2, кожен із яких має власні дверцята. У верхньому відсіку розміщено терморегулятор і вентилятор з електродвигуном для примусової циркуляції повітря 3. Середній відсік містить реле часу, вимикачі, сигнальні індикатори та елементи керування подачею води до парогенератора, а також електричний щит управління та сигналізації. У нижньому відсіку встановлено парогенератор, що працює на ТЕНах, живильний патрубок і трубопровід для відведення конденсату 3. Випікання хлібобулочних і кондитерських виробів відбувається на листах-подиках, які встановлюються на стелажний візок 6. Візок вкочується в пекарну камеру 2, де фіксується, центрується і з'єднується з обертальним механізмом, що забезпечує його обертання під час випікання.

Зволоження пекарної камери здійснюється паром, що утворюється у вбудованому парогенераторі з чавунними плитами, нагрітими ТЕНами. Процес випічки повністю автоматизований за допомогою інтегрованої системи керування і сигналізації. Тривалість циклу задається через реле часу, по завершенні якого вмикаються звукові та світлові сигнали.

Безпека експлуатації забезпечується електроблокуванням дверей — піч функціонує лише при щільно зачинених дверях. Для візуального контролю за процесом передбачено оглядове вікно, вмонтоване у дверцята камери. Освітлення пекарної камери під час роботи забезпечується двома лампами.

ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА

Продуктивність, кг/год, не менше, при виробітку:

батонів масой 0,5 кг - 89

хліба подового І кг з пшеничного борошна Іс -74

булочної дрібниці масою 0,1 кг -124

Питома витрата електроенергії при 0,5 кг, кВт.год/кг - 0,27

Встановлена потужність електронагрівачів, кВт - 43

Встановлена потужність електродвигунів, кВт - 2,05

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розміри печі, м: довжина

ширина - 2,27

висота - 2,55

Загальна площа подиків стелажного візка, м - 6,35

кількість подиків на стелажному візку - 26

Маса, кг, - 1950

Конструктивне виконання

- Піч має двосекційне компонування: ліва частина — технологічна, права — пекарна камера.
- Робоча камера теплоізольована від облицювання за допомогою сучасних теплоізоляційних матеріалів.
- Ліва частина поділена на три відсіки з індивідуальними дверцятами:
 - Верхній відсік — терморегулятор, вентилятор з електродвигуном.
 - Середній відсік — реле часу, вимикачі, сигнальні лампи, елементи управління, електрощит.
 - Нижній відсік — парогенератор, живильний та конденсатовідвідний патрубки.

Пекарна камера

- Оснащена дверцятами з оглядовим вікном і електричним блокуванням.
- Усередині встановлюється стелажний візок із листами-подиками.
- Візок автоматично центрується і з'єднується з обертальним механізмом.

Система нагріву

- Нагрівальні елементи (ТЕНи) розміщені в лівій частині печі.
- Примусова циркуляція повітря забезпечується вентилятором.
- Парогенератор працює на ТЕНах, утворюючи пару для зволоження пекарної камери.

Система управління і сигналізації

- Автоматичне регулювання температури та тривалості випікання.
- Після завершення процесу — звуковий і світловий сигнал.

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Керування подачею води в парогенератор здійснюється вручну або автоматично.

Освітлення

- Камера обладнана двома робочими лампами.

1.2. Аналіз патентних матеріалів та літературних джерел щодо ротаційних конвективних хлібопекарських печей

Ротаційні конвективні печі у хлібопекарській промисловості на сьогоднішній день є найпоширеніших, оскільки забезпечують пропікання рівномірне виробів, високу продуктивність, автоматизацію процесів і зручність експлуатації. В основі роботи циркуляція примусова гарячого повітря (конвекція) та обертання візка з продукцією в камері. Згідно з [1–3], основними перевагами ротаційних печей є:

- рівномірне теплоперенесення завдяки примусовій циркуляції повітря;
- автоматизація режимів випікання (температура, вологість, час);
- універсальність — можливість випікання широкого асортименту виробів;
- компактність та зручність обслуговування.

У працях В.Д. Головки, О.І. Красуліної, Ю.Я. Липчука досліджено конструктивні особливості ротаційних печей, зокрема вплив форми камери, розташування ТЕНів, способів подачі пари на якість випічки. Важливим чинником вважається ефективність теплоізоляції, що знижує тепловтрати і підвищує енергоефективність.

У роботах [4–6] підкреслюється значення вентиляційної системи для забезпечення однакової температури в усіх зонах камери. Запропоновано модернізації вентиляторів, а також комбіновані системи з реверсом потоку повітря для покращення однорідності пропікання.

Огляд патентів [UA, DE, CN] свідчить про активну модернізацію ротаційних печей. Наприклад: Патент UA 118765 описує піч з покращеною парозволожувальною системою, яка забезпечує контрольований рівень

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вологості протягом усього циклу випікання. Патент DE 202017005467 пропонує двоконтурну систему циркуляції повітря з зональним нагріванням, що дозволяє регулювати температуру по висоті пекарної камери. Патент CN 207064227 демонструє ротаційну піч з вбудованим теплоаккумулятором, що зменшує енергоспоживання.

Усі ці розробки спрямовані на:

- підвищення енергоефективності;
- поліпшення рівномірності випікання;
- зменшення втрат тепла;
- забезпечення точного регулювання температури та вологості;
- автоматизацію процесів.

На підставі аналізу літературних і патентних джерел можна зробити висновок, що напрямок удосконалення ротаційних конвективних печей зосереджується на:

- оптимізації циркуляції повітря і пари;
- підвищенні рівня автоматизації та точності керування;
- покращенні конструкційних матеріалів та теплоізоляції;
- зменшенні енерговитрат;
- забезпеченні гігієнічності та легкості обслуговування.

Актуальними залишаються задачі розробки моделей тепло- і масообміну в пекарній камері, впровадження адаптивних систем управління на основі сенсорних технологій та використання відновлювальних джерел енергії.

1.2.1. Аналіз технічних рішень щодо приводу вагонетки в ротаційних печах

Привід обертання вагонетки у ротаційній печі типу КЕП-400 виконує ключову функцію — забезпечує рівномірне випікання виробів за рахунок постійного обертання візка всередині пекарної камери. Його надійна робота має вирішальне значення для якості кінцевого продукту. Типова конструкція

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

такого приводу складається з електродвигуна, редуктора, зчіпного механізму, а також системи фіксації і центрування візка.

Згідно з технічною документацією [1] та обслуговчими інструкціями до КЕП-400, поширеними несправностями приводу є:

- зношення редуктора (особливо при порушенні змазування);
- несправність електродвигуна (перегрів, коротке замикання);
- деформація зчіпного вузла;
- збої у системі фіксації візка (внаслідок термічного впливу або механічного зносу).

У таких випадках рекомендується:

- заміна або ревізія редуктора (типово – черв'ячного типу);
- перевірка ізоляції і стану обмоток електродвигуна;
- регулювання позиціонування зчеплення візка з валом;
- перевірка блокування приводу, яке запобігає запуску при незакріпленому візку.

Патентні розробки з модернізації приводу вагонетки Патент UA 100432 пропонує вдосконалений механізм зчеплення обертового вала з вагонеткою з використанням пружинного затискача, що знижує ймовірність зносу деталей при високій температурі. CN 205367568 описує модульний привід для ротаційної печі, який дозволяє швидко демонтувати частини механізму без демонтажу всієї печі, що істотно зменшує час простою під час ремонту.

Згідно з публікаціями у профільних виданнях [2–4], сучасні підходи до приводу вагонетки включають:

- впровадження безредукторних електродвигунів з частотним регулюванням;
- застосування сенсорного контролю положення візка;
- сухі підшипники зі зносостійких композитів для роботи при високих температурах;
- використання індукційного приводу для безконтактного з'єднання із вагонеткою, що зменшує тертя та спрощує техобслуговування.

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дослідження технічних рішень, патентних джерел і експлуатаційної документації показує, що ефективна робота приводу вагонетки є критично важливою для ротаційної печі КЕП-400. Перспективними напрямками вдосконалення та обслуговування є:

- перехід до модульних і обслуговуваних без розбирання конструкцій;
- використання термостійких матеріалів;
- автоматизація систем контролю обертання і фіксації;
- впровадження систем діагностики стану приводу в реальному часі.

Відповідно оформили таблицю 1.1 з порівнянням патентів, схем приводу.

Таблиця 1.1 — Порівняння технічних рішень у патентах щодо приводу вагонетки

№	Номер патенту	Країна	Основна ідея	Переваги	Недоліки / Обмеження
1	UA 100432	Україна	Механізм зчеплення вала з вагонеткою через пружинний затискач	Зменшує знос, витримує термічне розширення	Механізм потребує точного налаштування при монтажі
2.	CN 205367568	Китай	Модульний привід з можливістю швидкого демонтажу без зупинки печі	Зменшує час простою, легке обслуговування	Висока вартість реалізації
3	DE 102013100921	Німеччина	Безредукторний привід з частотним регулюванням	Висока точність, плавний запуск	Високі вимоги до електроніки
4	US 20140060415	США	Індукційний привід із безконтактною передачею моменту	Без зносу, мінімум техобслуговування	Потребує специфічних матеріалів і дорогого контролера

1.2.2. Тунельні хлібопекарські печі з конвективно-іонізуючим обігрівом (моделі А2-ХПК-16, А2-ХПК-25, А2-ХПК-50)

Призначені для випікання широкого асортименту хлібобулочних та кондитерських виробів із пшеничного, житнього борошна та їхніх сумішей. Випікання може здійснюватися як безпосередньо на транспортері (подові вироби), так і в формах або на листах.

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У таких печах можна готувати не лише хліб, а й різноманітні борошняні кондитерські вироби: пряники, бісквіти, кекси, заготівки для тортів тощо. Гнучке налаштування температурних і вологісно-теплових режимів у різних зонах пекарської камери дозволяє адаптувати процес до конкретного виду продукції. Зокрема, для виробів з житнього або сумішевого борошна передбачено спеціальні режими типу "обсмаження".

Тривалість випікання регулюється шляхом зміни швидкості руху стрічкового конвеєра в широкому діапазоні. У якості палива використовується природний газ низького тиску або легке рідке паливо. Печі оснащені автоматизованими газовими пальниками німецької фірми *Dreizler*, що забезпечують повне згоряння палива з мінімальним рівнем шкідливих викидів. Головна перевага цих печей над зарубіжними аналогами полягає у використанні комбінованого джерела тепла — конвективного та іонізуючого, а також у застосуванні примусової рециркуляції пароповітряної суміші в пекарській камері. Завдяки цьому істотно знижуються витрати палива та технологічної пари. Наприклад, у печах типу ППП (Чехія) або Revent (Швеція) з площею поду 25,2 м² витрата газу становить 16–17 Нм³/год, а пари — 75–150 кг/год. Натомість у моделі А2-ХПК-25 з такою ж площею поду ці показники значно нижчі: не більше 12,5 Нм³/год газу та 40 кг/год пари.

Результати використання печі на хлібозаводі підтвердили високу якість випеченого хліба: за смаковими та органолептичними властивостями продукція не поступається виробам обласних підприємств. Хліб марки "Український", попри складну технологію виробництва, успішно виготовляється в умовах місцевого виробництва та користується стабільним попитом як серед міських, так і серед сільських споживачів. Це перший вдалий приклад випікання подового хліба такого типу на хлібозаводі районного рівня.

Двоярусні печі моделі А2-ХПК.2 за показниками теплотехнічної ефективності та якістю продукції не поступаються сучасним європейським аналогам. Зокрема, у порівнянні з чеськими двоярусними печами типу ППП,

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вони споживають приблизно в 1,5 раза менше палива й технологічної пари при випіканні хліба.

У хлібопекарських підприємствах з невеликою потужністю застосовуються печі, які обігріваються за рахунок спалювання рідкого, твердого або газоподібного палива. Технічні характеристики таких печей наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики хлібопекарських печей малої та середньої продуктивності

Показник	ХПК-50М2	ПХПГ-5	ФТЛ-20
Добова продуктивність, т	3,1	0,11–0,18	5–7
Загальна споживана потужність, кВт	0,87	—	1
Об'єм водяного бака, л	540	25	—
Площа пода пекарної камери, м ²	—	0,34	8,3
Кількість форм, шт.:			
– на одній люльці	12	—	8
– у всій печі	108	6	136
Габаритні розміри, мм:			
– довжина	4680	940	4140
– ширина	2140	834	2610
– висота	2440	1600	2700
Маса, кг	2225	196	35800

Аналіз технічних характеристик, наведених у таблиці 1.2, свідчить про значну різницю у продуктивності, габаритах та потужності хлібопекарських печей різних типів. Піч ХПК-50М2 має середню добову продуктивність (3,1 т/добу) та оснащена великою кількістю форм (108 шт.), що робить її придатною для підприємств із середнім обсягом випуску продукції. Піч ФТЛ-20 характеризується найвищою продуктивністю (до 7 т/добу),

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

найбільшою кількістю форм (136 шт.) і значними габаритами, тому вона орієнтована на великі хлібопекарські виробництва. У свою чергу, піч ПХПГ-5 з мінімальними розмірами та потужністю підходить для малих підприємств або індивідуальних пекарень, хоча її продуктивність не перевищує 0,18 т/добу.

Таким чином, вибір конкретної моделі печі залежить від масштабів виробництва, доступного простору та енергетичних можливостей підприємства.

1.2.3. Опис конструкції та принципу роботи печі з рідкопаливним і газовим обігрівом

Піч, що працює на рідкому паливі, оснащена автоматичною форсункою АФ-65 з керувальним пультом, паливним баком та насосом РНА-1А. Димові гази, що утворюються в топці, проходять через центральний конічний газохід, далі — у вертикальний і верхній газоходи, які ведуть до пекарної камери. Звідти вони відводяться в атмосферу через димар. У процесі руху гарячі гази передають тепло стінкам газоходів, нагріваючи пекарну камеру та воду у вбудованому водонагрівачі. Температурний режим в камері регулюється терморегулятором і підтримується автоматично, зазвичай не перевищуючи 300 °С.

Посадка і виїмка форм із тістом відбувається через спеціальне завантажувально-розвантажувальне вікно. Форми розміщуються на люльках конвеєра, що приводиться в рух електродвигуном через редуктор і ланцюгову передачу. Завантаження потрібно починати з правої частини люльки, щільно зсунувши першу секцію, після чого додавати наступні. Форми встановлюють акуратно, без перекосів, щоб уникнути їхнього падіння та зупинки конвеєра. Дверцята камери відкриваються лише на короткий час для виконання цих операцій.

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під час випікання житнього хліба надлишкову пару періодично випускають, відкриваючи спеціальний клапан. При випічці пшеничного хліба пара залишається в камері, оскільки сприяє поліпшенню якості продукції.

Виробником даної печі є Куйбишевський завод «Продмаш».

Портативна піч ПХПГ-5. Цей тип печі призначений для виготовлення формового житнього та пшеничного хліба, а також дрібних хлібобулочних і кондитерських виробів. Джерелом тепла слугує балонний газ, що згоряє у спеціальному інжекційному пальнику низького тиску, створюючи факельне полум'я.

Конструктивно піч складається з трьох основних частин: власне печі, расстійної (вистоювальної) шафи та водонагрівального бака. Основний корпус включає каркас із вогнетривкою коробкою, пекарну камеру з відкидними дверцятами, захисний екран, пристрій для зволоження, пальник і запальник.

Піч, що працює на рідкому паливі, укомплектована автоматичною форсункою АФ-65, пультом керування, паливним баком і насосом РНА-1А. Димові гази з топки проходять крізь систему газоходів (конусний, вертикальний, верхній), де передають тепло через стінки до пекарної камери та водонагрівача. Температура в камері регулюється терморегулятором, підтримується автоматично і не перевищує 300 °С.

Завантаження форм із тістом здійснюється через вікно завантаження. Конвеєр з люльками приводиться в рух електродвигуном з редуктором і ланцюговою передачею. Посадка форм проводиться обережно з правого краю люльки, уникаючи перекосів. Дверцята камери відкриваються лише на необхідний для операцій час.

При випіканні житнього хліба надлишок пари періодично випускають через паровипускний клапан. Для пшеничного хліба пар не випускається, бо сприяє покращенню структури і смаку.

Портативна піч ПХПГ-5. Це мобільна піч із газовим обігрівом, що використовується для випічки житнього, пшеничного формового хліба, а також дрібних і кондитерських виробів. Джерело тепла — балонний газ, який

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

згоряє в інжекційному пальнику низького тиску. До складу конструкції входить каркас, вогнетривка камера, дверцята, екран, зволожувальний пристрій, вистоявальна шафа та водонагрівач.

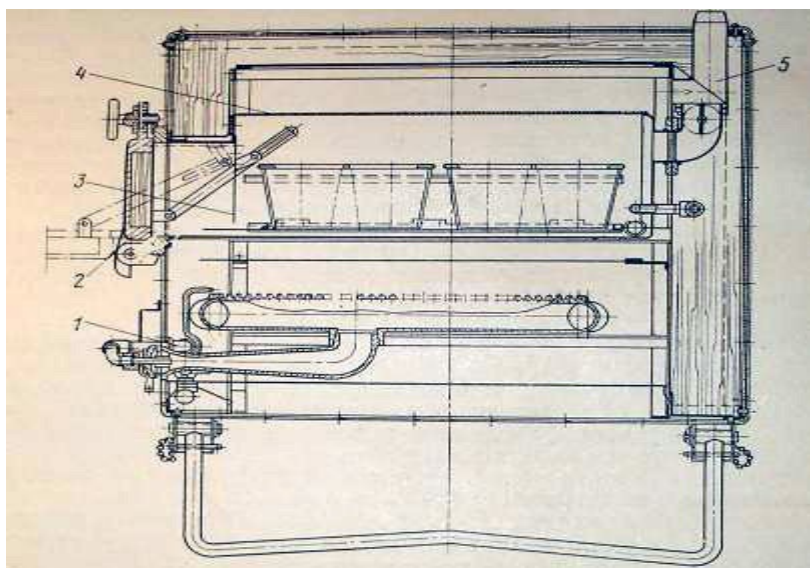


Рис. 1.1. Портативно хлібопечарна піч з газовим обігрівом ПХПГ-5

1- газовий інжекційний пальник, 2- дверцята, 3- екран, 4- пекарна камера, 5- паровипускна труба.

Ротаційна піч ZF-100 (Китай). Ротаційна піч ZF-100 (рис. 1.2) складається з наступних основних вузлів:

- кожух **1** з теплоізоляцією **2**,
- пальник **11** (дизельний або газовий),
- двері **9** з оглядовим вікном,
- механізм обертання **7** контейнера **10** (ротаційний візок),
- система парозволоження **6**,
- рециркулятор гарячого повітря **4**,
- витяжні вентилятори **5** і **8**,
- панель керування **3**.

Принцип роботи: На панелі керування задаються температура, тривалість випікання та час подачі води до парозволожувальної системи. Після цього зачиняють двері та заслінку витяжки, а перемикач «Нагрівання»

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлюється у положення «Автомат». Піч забезпечує рівномірне пропікання хлібобулочних виробів завдяки циркуляції гарячого повітря та обертанню візка всередині камери.

Технічні характеристики ротаційної печі ZF-100

Параметр	Значення
Продуктивність, кг/год	100–120
Джерело енергії	Газ або дизель
Потужність електрична, кВт	2,5
Температурний режим, °С	до 300
Парозволоження	Автоматичне
Ємність візка	до 16 дек (противенів)
Габарити, мм	прибл. 2200×1500×2500
Маса, кг	1200–1300
Матеріал камери	Нержавіюча сталь
Сфера застосування	Хлібобулочні та кондитерські вироби

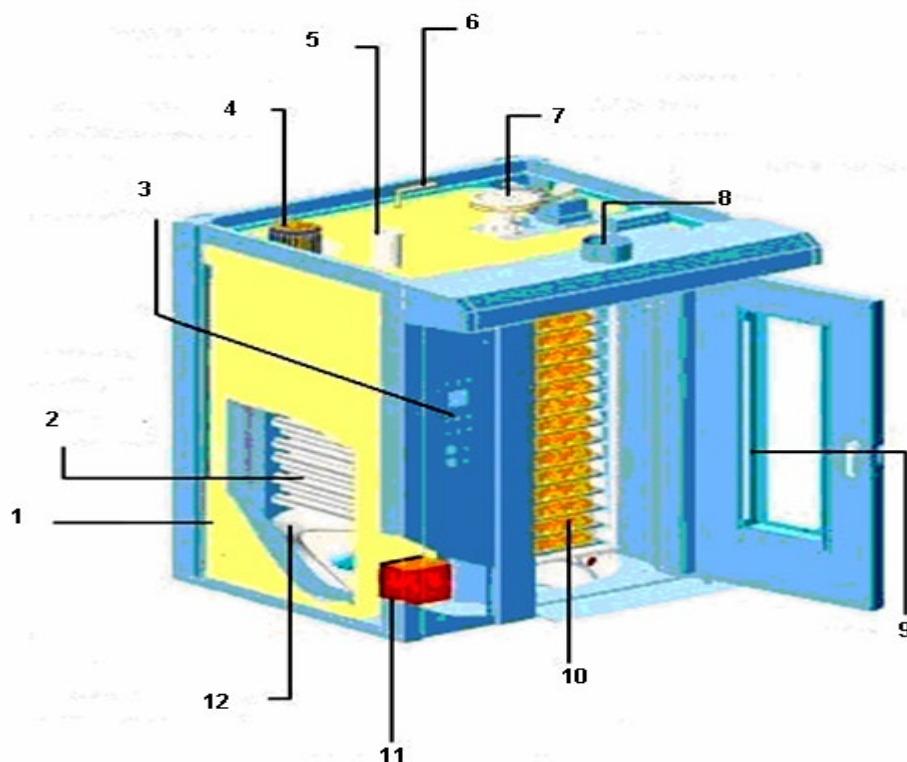


Рис. 1.2. Ротаційна піч ZF-100.

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Принцип роботи ротаційної печі ZF-100 (Китай). Після досягнення заданої температури в пекарній камері (до 300 °С), двері печі відкриваються, і контейнер (ротаційний візок) з тістовими заготовками вручну закривають на платформу всередині печі. Візок фіксується спеціальними замками. Потім двері зачиняються, і на панелі керування натискається кнопка «Випікання», яка активує реле часу випікання.

Для створення вологої атмосфери в пекарній камері в автоматичному режимі подається вода в систему парозволоження. **Електромагнітний клапан** подачі води відкривається за сигналом **лампи**, вбудованої у кнопковий вимикач.

Після завершення встановленого часу випікання спрацьовує **звуковий сигнал**, який вимикається відповідною кнопкою. Перемикач «Нагрівання» переводиться з положення «Автомат» у «Вимкнено», після чого відкривається заслінка та активується витяжний вентилятор.

Контейнер з готовою продукцією викочується, і замість нього встановлюється новий. Процес повторюється.

В автоматичному режимі приводи рециркуляційного вентилятора та обертання контейнера вмикаються при зачиненні дверей і вимикаються при їх відкритті. Обертання зупиняється в точно орієнтованому положенні, зручному для викочування візка.

Ротаційна піч ZF-100 працює в автоматизованому циклі, що включає точне регулювання температури, подачу пари для зволоження, автоматичне обертання контейнера, і витяжку гарячого повітря. Зручна система фіксації, сигналізації і керування забезпечує безпечну та ефективну випічку хлібобулочних виробів. Піч ідеально підходить для середнього хлібопекарського виробництва, забезпечуючи стабільну якість, рівномірність пропікання і економне енергоспоживання.

Загальна компоновка печі залишається незмінною. Зовнішній вигляд печі підлягають зміні відповідно до рекомендацій.

Піч КЕП-400М є металевою конструкцією, що складається з робочої камери, блоку електричного нагріву повітря, вентилятора з воздуховодами,

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

парогенератора, механізму обертання візка-стелажу і візка-стелажу з протвінями. Камера для випічки виконана у вигляді теплоізовованої шафи з дверцятами. Циркуляція нагрітого повітря здійснюється вентилятором.

Поза робочою камерою розташовано два блоки електронагрівачів. Вироби на листах-подах, що встановлюються на стелажний візок, укочуються в робочу камеру. Після закриття дверей включають систему обігріву і механізм обертання візка.

1.3. Постановка завдань кваліфікаційної роботи

Ротаційна конвективна хлібопекарська піч КЕП-400 є одним із найпоширеніших типів обладнання, яке використовується для випікання хлібобулочних та кондитерських виробів у малих і середніх пекарнях. Вона забезпечує рівномірне випікання завдяки примусовій циркуляції гарячого повітря та обертанню стелажного візка всередині пекарної камери. Привід обертання вагонетки — важливий функціональний вузол, який піддається значним навантаженням, особливо в умовах високої температури та вологості.

Однією з найбільш вразливих деталей приводу є зірочка — механічний елемент, що забезпечує передачу обертального моменту через ланцюгову передачу. Пошкодження чи зношення зубців зірочки призводить до зниження надійності механізму, прослизання, нерівномірного обертання візка, або й повної зупинки печі.

У зв'язку з цим, мета даної кваліфікаційної роботи — удосконалити процес технічного обслуговування та ремонту приводу вагонетки, зокрема розробити раціональну технологію відновлення або заміни зірочки у складі ротаційної конвективної печі КЕП-400.

Для досягнення мети були сформульовані наступні завдання:

1. Провести аналіз конструкції приводу обертання вагонетки ротаційної печі КЕП-400, визначити його основні елементи та вузли, з особливою увагою до зірочки.

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Дослідити характерні несправності та зноси зірочки, які виникають під час експлуатації обладнання в умовах високих термічних навантажень.
3. Виконати аналіз літературних та патентних джерел щодо конструктивних особливостей зірочок у подібних пекарських печах, методів їх ремонту, зміцнення або заміни.
4. Обґрунтувати метод ремонту або заміни зірочки, з урахуванням техніко-економічних показників, можливостей сервісного обслуговування та мінімізації часу простою.
5. Розробити технологічну карту ремонту зірочки, яка передбачає демонтаж, дефектацію, відновлення (або виготовлення нової), балансування та встановлення на місце.
6. Запропонувати технічні або конструктивні вдосконалення приводу, які дозволили б підвищити його надійність та подовжити строк служби в умовах пекарського виробництва.
7. Провести аналіз безпеки і надійності відремонтованого приводу, включаючи розрахунок допустимих навантажень на зірочку після відновлення.

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Обґрунтування конструкції і розрахунки механізму приводу вагонетки ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400

2.1. Проектування механізму приводу вагонетки для ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400

Ротаційна конвективна хлібопекарська піч КЕП-400 широко використовується для випікання хлібобулочних виробів. Вона забезпечує рівномірний розподіл тепла та якісне пропікання продукції. Одним із важливих елементів цієї печі є механізм приводу вагонетки, який забезпечує обертання випічної камери та рівномірне запікання виробів. Проте, під час експлуатації виявлено певні недоліки, пов'язані зі зношуванням елементів приводу. Проектована печі передбачає розрахунок та ремонт приводу вагонетки для виробництва хлібобулочних виробів, щоб забезпечити безперебійну роботу та задовольнити попит серед населення, що серійно випускаються марки КЕП-400.

При ремонті приводу вагонетки поліпшуються обертання із додержанням теплового і паро та зволожувального режиму випічки, внаслідок чого поліпшується якість виробів і підвищується продуктивність печі. Одним із недоліків обертального приводу печі є вплив підвищеної температури в робочій камері на механізм приводу вагонетки. Оскільки деякі види булочних та кондитерських виробів випікаються за короткий час при високих температурах, це створює додаткове теплове навантаження. У результаті на конструктивні елементи приводу, зокрема редуктор, діють змінні навантаження, що може призводити до їхнього перегріву та зношування

Виникаючі термічні розширення матеріалів, під дією високої температури, деталі розширюються, що може призводити до зміни зазорів у підшипниках і редукторі, підвищеного тертя та зносу. Відповідно нагрівання мастила, підвищена температура знижує його в'язкість. Це може призвести до

					ДР 067.00.00.000 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Конструкційні розрахунки			Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Стьопін О.								
Перевір.		Стадник І.Я.								
Консульт.										
Н. контр.		Ворошук В.Я.						ТНТУ,каф ОХ гр. МО-41		
Затверд.		Вітенько Т.М.								

погіршення змащування, збільшення тертя та зносу зубців шестерень. Особливо змінні навантаження – коли вагонетка рухається нерівномірно або змінює напрям, на редуктор діють періодичні навантаження. Якщо додати вплив тепла, метал стає менш міцним, що може спричинити мікротріщини чи деформації. Також перегрів підшипників, на яких обертається вал, можуть перегріватися, що зменшує їхній ресурс і може призводити до заклинювання. Через це конструкція приводу має бути термостійкою, можливо, з додатковими теплоізоляційними елементами або охолодженням.

Привід вагонетки повинен відповідати наступним вимогам:

- Забезпечення рівномірного обертання вагонетки з продукцією.
- Витримування навантаження, що створюється масою вагонетки та виробів.
- Надійність роботи в умовах високої температури (до 250°C) та вологості.
- Мінімізація шуму та вібрацій.
- Енергоефективність і простота обслуговування.
- Стійкість до зношування основних механічних елементів.

Під час експлуатації печі КЕП-400 було виявлено наступні проблеми:

- Прискорене зношування ланцюгової передачі через високу температуру та постійне навантаження.
- Зношення підшипників через недостатнє змащування та вплив високої вологості.
- Ослаблення натягу ремня або ланцюга через тривалу експлуатацію.
- Вібраційні навантаження, що призводять до розбалансування механізму.
- Термодеоформації корпусу приводу, що впливають на точність роботи.

Візок являє собою зварну конструкцію зі сталі, обладнану чотирма колесами, два з яких можуть обертатися навколо вертикальних осей. Каркас містить направляючі для піддонів або касет із формами. Для завантаження візка в піч використовується відкидний трап. Привідний вал встановлений у звареному корпусі та обертається на шарикопідшипниках. На одному його

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кінці розміщено шків клинопасової передачі, а на іншому – колесо. У місці входу валу в корпус встановлено ущільнювальне кільце.

Зварне колесо складається зі ступиці, суцільного диска та обідного кільця, з'єднаних між собою лопатками. На торці ступиці передбачені різьбові отвори для встановлення знімача під час ремонту.

Одним із недоліків обертального приводу печі є вплив підвищеної температури в робочій камері на механізм приводу вагонетки. Оскільки деякі види булочних та кондитерських виробів випікаються за короткий час при високих температурах, це створює додаткове теплове навантаження. У результаті на конструктивні елементи приводу, зокрема редуктор, діють змінні навантаження, що може призводити до їхнього перегріву та зношування.

Проблема в тому, що редуктор і привід вагонетки працюють у зоні високих температур. Під дією високої температури деталі розширюються, що може призводити до зміни зазорів у підшипниках і редукторі, підвищеного тертя та зносу. Якщо редуктор змащується оливою або мастилом, підвищена температура знижує його в'язкість. Це може призвести до погіршення змащування, збільшення тертя та зносу зубців шестерень. Коли вагонетка рухається нерівномірно або змінює напрямок, на редуктор діють періодичні навантаження. Якщо додати вплив тепла, метал стає менш міцним, що може спричинити мікротріщини чи деформації. Шарикопідшипники, на яких обертається вал, можуть перегріватися, що зменшує їхній ресурс і може призводити до заклинювання.

Через це конструкція приводу має бути термостійкою, можливо, з додатковими теплоізоляційними елементами або охолодженням. Конструктори печі обов'язково враховують вплив високих температур, але навіть із передбаченими заходами можуть виникати проблеми. У пекарських печах температура може коливатися залежно від режиму роботи, що створює циклічне розширення та стиснення деталей. Це може прискорювати втому матеріалів. Навіть якщо новий привід працює без проблем, з роками знос та термічні навантаження накопичуються, що може призводити до несподіваних

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поломок. Реальні умови можуть відрізнятися від розрахункових. Наприклад, недостатнє обслуговування, використання неоригінальних запчастин або порушення режимів експлуатації (наприклад, перегрівання печі понад норму) можуть погіршувати ситуацію.

Тому навіть добре спроектовані механізми можуть з часом стикатися з такими проблемами, особливо якщо піч працює інтенсивно та в екстремальних умовах.

2.1.1. Обґрунтування конструктивних рішень приводу вагонетки для ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400

Аналіз принципу особливого вдалого схематичного нагріву камер печі, а також патентів дозволяє вибрати перспективні прогресивні шляхи для проведення дослідження щодо приводу вагонетки. Велике значення має вивчення кінетики візка в конвективних печах. Виявлення впливу радіаційного та конвективного теплообміну на механізм приводу вагонетки в робочій камері печі. Особливий інтерес викликає конструкції приводу, де використовується принцип забезпечення надійної роботи. Але в таких умовах печі важко здійснити необхідну обробку зношених деталей, тому вони одержують більші знавантаження. Аналіз показує, що даний механізм можна удосконалити.. Отже, треба вибрати такий раціональний режим випічки, при якому досягається найбільш ефективне раціональне поєднання обслуговування й можна одержати найкращу можливість проведення заміни та змащування деталей. Для кожного асортименту продукції, що випікається, обирається раціональний режим шляхом зміни температури й вологості у камері та часу випічки.

Для підвищення надійності механізму приводу пропонуються наступні зміни:

- Використання термостійких та зносостійких матеріалів для ланцюгової передачі (наприклад, нержавіючої сталі з покриттям із карбіду титану).
- Встановлення герметичних підшипників із вбудованою системою змащування.

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Впровадження автоматичної системи натягу ланцюга або ременя.
- Додавання демпферних елементів для зменшення вібраційного впливу.
- Використання термостійких сплавів для корпусу приводу з кращими характеристиками теплового розширення.

Виявлені недоліки та аналіз зношування під час експлуатації печі КЕП-400.

Проведення розрахунків параметрів з урахуванням зношування прогнозованого терміну служби компонентів при номінальних навантаженнях. Також розрахунок теплових впливів на механічні елементи приводу із аналізом розподілу навантажень для зниження пікових значень.

Так, якщо виникають такі проблеми, варто переглянути конструкцію приводу та внести зміни для підвищення його надійності. **Шестерні та зірочки** можна виготовляти зі зносостійких легованих сталей, наприклад, 40Х або 38Х2МЮА, які мають кращу термостійкість і міцність. Для підшипників можна використовувати керамічні або жаростійкі сталеві варіанти, які витримують високі температури. Загартування та відпуск підвищать твердість і зносостійкість зубців шестерень та зірочок.

Зміна передавальних чисел або використання іншого типу передачі (наприклад, черв'ячної замість зубчастої) може зменшити навантаження. Якщо ці заходи впровадити, ресурс роботи приводу значно збільшиться, а ризик виходу з ладу через перегрів зменшиться.

Обслуговування та контроль стану приводу передбачає впровадження системи моніторингу стану зношування (сенсори температури, вібрації, натягу ременя); регулярна діагностика та профілактичне обслуговування; використання мастильних матеріалів із високою термостійкістю.

Внесення конструктивних змін у механізм приводу вагонетки дозволить значно зменшити його зношування, підвищити надійність та ефективність роботи печі КЕП-400. Запропоновані модифікації сприятимуть зменшенню експлуатаційних витрат і покращенню стабільності процесу випікання хлібобулочних виробів.

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Так, якщо виникають такі проблеми, варто переглянути конструкцію приводу та внести зміни для підвищення його надійності. Шестерні та зірочки можна виготовляти зі зносостійких легованих сталей, наприклад, 40Х або 38Х2МЮА, які мають кращу термостійкість і міцність. Для підшипників можна використовувати керамічні або жаростійкі сталеві варіанти, які витримують високі температури. Загартування та відпуск підвищують твердість і зносостійкість зубців шестерень та зірочок. Нітроцементация або азотування створюють зміцнений поверхневий шар, який зменшить тертя та підвищить довговічність.

У ротаційній конвективній печі КЕП-400 обертання стелажного візка (вагонетки), на якому розміщені дека з тістовими заготовками, здійснюється за допомогою електромеханічного приводу. Привід включає в себе такі основні елементи:

- Електродвигун з редуктором;
- Зірочка (ведуча), встановлена на вихідному валу редуктора;
- Ланцюгова передача, що з'єднує ведучу та ведену зірочки;
- Зірочка (ведена), яка передає обертання на механізм зчеплення з обертовим штирем вагонетки;
- Система кріплення і центрування візка, яка забезпечує його фіксацію під час обертання.

Обертання забезпечує рівномірне пропікання виробів у камері за рахунок постійного переміщення відносно гарячого повітря. Ефективна робота цього вузла безпосередньо впливає на якість готової продукції та продуктивність процесу.

2. Основні причини виходу з ладу приводу

Під час тривалої експлуатації привід вагонетки зазнає значного термічного, механічного та вібраційного навантаження, що призводить до зносу та поломок його складових. Основні причини несправностей:

- Зношення або викришування зубців зірочки через перегрів або забруднення;

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Розтягнення або прослизання ланцюга внаслідок зносу зірочок;
- Відсутність належного змащення, що спричиняє сухе тертя та швидкий знос;
- Корозія зірочки, особливо в умовах високої вологості через пароволоження;
- Неправильне центрування вагонетки, що створює додаткове навантаження на привід;
- Порушення кріплення або розбалансування вузла після тривалого використання.

3. Напрямки та обґрунтування проведення ремонту

З огляду на конструкцію і умови експлуатації, найпоширенішим вузлом, який потребує ремонту, є зірочка приводу вагонетки. Ремонт або заміна зірочки дозволяє:

- Відновити надійне зчеплення з ланцюгом;
- Усунути нерівномірне обертання і вібрації;
- Запобігти пошкодженню редуктора або ланцюга;
- Зменшити теплові втрати за рахунок оптимального режиму обертання.

Основні напрямки ремонту:

1. Діагностика та дефектація приводу, особливо зубців зірочки.
2. Ремонт зірочки шляхом наплавлення та обробки, або виготовлення нової.
3. Контроль осьового та радіального биття, балансування вузла.
4. Заміна ланцюга, якщо він втратив натяг або пошкоджений.
5. Модернізація матеріалу зірочки (наприклад, заміна на сталь з підвищеною зносостійкістю).
6. Профілактичне обслуговування — очищення, змащення, перевірка натягу.

Таким чином, своєчасне технічне обслуговування та якісний ремонт приводу обертання вагонетки є ключовими факторами безперебійної роботи печі та забезпечення стабільної якості випічки.

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2. Інженерні розрахунки механізму приводу вагонетки для ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400.

2.2.1. Розрахунок продуктивності печі

Продуктивність печі визначається виробами хліба подового з борошна вищого сорту масою 0,6 кг.

$$G = \frac{m \cdot n}{\tau_{\text{вип}} + \tau_{\text{доп}}}; \quad \frac{\text{кг}}{\text{с}},$$

де m - маса виробу, кг;

n - кількість хліба завантаженого в піч;

$\tau_{\text{вип}}$ - час випікання, $\tau_{\text{вип}} = 40$ хв;

$\tau_{\text{доп}}$ - допоміжний час витрачений на вивантаження та завантаження, $\tau_{\text{доп}} = 3$

хв

$$G = \frac{0,6 \cdot 72}{2400 + 180} = 2,2 \cdot 10^{-2}; \quad \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

$$G = 60,3 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

Продуктивність печі добова:

$$G_{\text{доб}} = p \cdot z \cdot G; \quad \frac{\text{кг}}{\text{добу}},$$

де p - робочі зміни;

z - робочі годин зміни

$$G_{\text{доб}} = 2 \cdot 7,4 \cdot 60,3 = 964,8 \frac{\text{кг}}{\text{добу}}$$

2.2.2. Тепловий розрахунок печі

Втрати тепла на випікання (тепловий баланс камери) складено на 1 кг хліба на виході із печі.

Втрати теплоти на випікання:

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

де $W_{\text{вип}}$ - кількість випару вологи з заготовки тіста при випічці – упікання, %;

$i_{\text{пп}}$ - ентальпія перегрітої пари, кДж/кг;

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$t_{нк} = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ – температура пекарної камери, $i_{nn} = 2970\text{ кДж/кг}$;

i_{ϵ} - ентальпія води в момент посадки тіста в камеру випічки, кДж/кг,

$$i_{\epsilon} = t_m \cdot c_{\epsilon}; \quad \text{кДж/кг},$$

де $t_m = 37\text{ }^{\circ}\text{C}$ - температура тіста;

c_{ϵ} - теплоємність води, кДж/(кг $^{\circ}\text{C}$)

$$i_{\epsilon} = 37 \cdot 4,187 = 155 \quad \text{кДж/кг},$$

q_{κ} - масова частина в хлібові скоринки, %;

$c_{\text{м}} = c_{\kappa}$ - теплоємність сухої речовини скоринки хліба, кДж/(кг $^{\circ}\text{C}$);

$$q_{\text{м}} = W_{\text{м}} = \frac{1 - 0,12}{2} = 0,44 \text{ - вміст сухої речовини м'якушки};$$

t_{κ} - температура скоринки, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{м}}$ - температура м'якушки, $^{\circ}\text{C}$

$$q_1 = 0,09(2970 - 155) + 0,12 \cdot 1,68(160 - 37) + (0,44 \cdot 1,68 + 0,44 \cdot 4,187)(98 - 37) = 435,6 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Втрати теплоти при утворенні пари в камері:

$$q_2 = D_n(i_{nn} - i'_{\epsilon}); \quad \text{кДж/(кг г.хл.)},$$

де D_n - втрати пари на зволоження середини камери, кг/кг;

i'_{ϵ} - ентальпія води, для утворення пари, кДж/кг;

i_{nn} - ентальпія перегрітої пари в пекарній камері, кДж/кг

$$q_2 = 0,05(2970 - 126) = 142 \quad \text{кДж/кг}$$

Втрати теплоти вентиляцією повітря розраховано в період завантаження печ, тобто об'єм викиду повітря за одної посадки викиду:

$$V_{\text{вик}} = a \cdot b \cdot h; \quad \text{м}^3$$

де a - довжина камери, м;

b - ширина камери, м;

h - висота камери, м

$$V_{\text{вик}} = 0,85 \cdot 0,85 \cdot 1,9 = 1,37 \quad \text{м}^3$$

Теплові втрати при виході повітря за одну посадку:

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q_3'' = c_p \cdot V_{\text{вик}} (t_{\text{нк}} - t_{\text{в}}); \quad \text{кДж}/(\text{кг гар.хліба}),$$

де c_p - ізобарна тепло. 1 м³ повітря, кДж/(м³К);

$V_{\text{вик}}$ - об'єм викиду повітря, м³;

$t_{\text{нк}}$ - температура камери, °С;

$t_{\text{в}}$ - температура води, °С

$$q_3'' = 1,3 \cdot 1,37(250 - 30) = 391,9 \text{ кДж}/(\text{кг гар.хліба})$$

При випіканні 40 хв, за год. виконано дві посадки (n=2). Тоді за 1 год втрати теплоти вентиляційним повітрям:

$$q_3' = n \cdot q_3'' \frac{1}{3600}; \quad \text{кВт},$$

де n - кількість виробів;

q_3'' - теплові втрати при виході повітря за 1 посадку, кДж

$$q_3' = 2 \cdot 391,8 \cdot \frac{1}{3600} = 0,22 \text{ кВт}$$

Втрати теплоти при нагріві транспортних засобів:

$$q_4 = \frac{1}{3600} n \cdot q_k \cdot c_k \cdot (t_k'' - t_k'); \quad \text{кВт},$$

де n - кількість візків у печі;

q_k - маса візка, кг;

c_k - теплоємність металу, кДж/(кг К);

t_k'' - температура в пекарній камері в кінці випікання; °С;

t_k' - температура візка на початку випічки, °С

$$q_4 = \frac{1}{3600} \cdot 1 \cdot 62 \cdot 0,46 \cdot (180 - 30) = 1,19 \text{ кВт}$$

Втрати теплоти в навколишнє середовище:

$$q_5' = f_n \cdot a_{\text{пр}} \cdot c_0 \left[\left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{нов}}}{100} \right)^4 \right] + \alpha(t_n - t_{\text{нов}}); \quad \text{кВт},$$

де f_n - площа огорожень печі, м²;

$a_{\text{пр}}$ - приведена ступінь чорноти;

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$c_0 = 5,7 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К}^4)$ – стала Стефана – Больцмана.

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією стін:

$$\alpha^{\text{вепт}} = Nu \frac{\lambda}{l}; \quad \text{Вт/(м}^2 \text{ К)},$$

де $Nu = c(Gr \cdot Pr)^n$ - критерій Нуссельта

Визначена температура

$$t_m = (t_n + t_{\text{нов}})$$

де t_n – середня темпер. поверхонь печі; $t_n = 45 \text{ }^\circ\text{C}$

$t_{\text{нов}}$ – температура повітря, $t_{\text{нов}} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$

$$t_m = (t_n + t_{\text{нов}}) / 2 = (45 + 30) / 2 = 37,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

При t_m для повітря:

$\lambda = 0,0269 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ – коефіцієнт теплопровідності;

$\nu = 16,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ – в'язкість кінематична;

$Pr = 0,72$ – критерій Прандля.

Критерій Грасгофа:

$$Gr = (\beta \cdot l^3 \cdot q \cdot \Delta t) / \nu^2$$

де l – висота печі, $l = 3,39 \text{ м}$

q – стала, $q = 9,81 \text{ кгм/с}^2$

Δt – різниця t_n і $t_{\text{нов}}$, $^\circ\text{C}$

ν – в'язкість кінематична, $\text{м}^3/\text{с}$

$$Gr = (2,39^2 \cdot 9,81(45 - 30)) / ((273 + 37,5)(16,3 - 10^{-6})^2) = 2,4 \cdot 10^{10}$$

$$Gr \cdot Pr = 2,4 \cdot 10^{10} \cdot 0,72 = 1,75 \cdot 10^{10}$$

Емпіричні коефіцієнти мають значення: $c=0,135$; $n=0,33$.

$$Nu = c(C_r Pr)^n = 0,135(1,75 \cdot 10^{10})^{0,33} = 324$$

$$\alpha^{\text{вепт}} = Nu \cdot \frac{\lambda}{l} = 324 \cdot \frac{0,0269}{2,39} = 3,65 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$$

Коефіцієнт від стін тепловіддачі конвекцією

$$\alpha_{\text{зоп}} = 1,3 Nu (\lambda / e)$$

Критерій Грасгофа:

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_r = (\beta \cdot l^3 \cdot q \cdot \Delta t) / \nu^2,$$

$$G_r = (1,6^3 \cdot 9,81(45 - 30)) / ((273 + 37,5)(16,3 \cdot 10^{-6})^2) = 7,3 \cdot 10^9,$$

$$G_r P_r = 7,3 \cdot 10^9 \cdot 0,72 = 5,26 \cdot 10^9$$

Критерії емпіричні значення: $c = 0,135$; $n = 0,33$.

Критерій Нусельта:

$$Nu = c(C_r P_r)^n = 0,135(5,26 \cdot 10^9)^{0,33} = 218$$

Коефіцієнт тепловіддачі конвективної:

$$\alpha_{\text{гор}} = 1,3 Nu (\lambda / e),$$

де Nu – критерій Нуссельта;

λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·К.

$$\alpha_{\text{гор}} = 1,3 \cdot 218(0,0269 / 1,6) = 4,76 \text{ (Вт/м·К)}$$

Площа вертикальних поверхонь печі:

$$f_{\text{верт}} = 2(a' + b')h',$$

де a' – довжина печі;

b' – ширина печі;

h' – висота печі

$$f_{\text{верт}} = 2(155 + 1,6)2,39 = 15,06 \text{ м}^2$$

Площа горизонтальних печі:

$$f_{\text{гор}} = a' \cdot b',$$

де a' – довжина печі;

b' – ширина печі

$$f_{\text{гор}} = 1,55 \cdot 1,6 = 2,48 \text{ м}^2$$

Тепловіддача поверхнями вертикальними:

$$Q_{\text{верт}} = f_{\text{верт}} \{ a_{\text{пр}} C_0 [(T_n / 100)^4 - (T_{\text{нов}} / 100)^4] + \alpha_{\text{верт}} (t_n - t_{\text{нов}}) \},$$

де $a_{\text{пр}}$ – приведена ступінь чорноти поверхні;

C_0 – стала Стефана – Больцмана, Вт/(м² К⁴);

$\alpha_{\text{верт}}$ – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/(м² К);

t_n – середня температура печі, °С

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$t_{\text{пов}}$ – температура повітря, °С

$$Q_{\text{верт}} = 15,06 \{ 0,82 \cdot 5,7 [((273 + 45) / 100)^4 - ((273 + 30 / 100)^4)] + 3,65 (45 - 30) \} = 2,09 \text{ кВт}$$

Загальна тепловіддача стінами:

$$q'_5 = Q_{\text{гор}} + Q_{\text{верт}} = 0,385 + 2,09 = 2,475 \text{ кВт},$$

де $Q_{\text{гор}}$ – тепловіддача горизонтальними, кВт;

$Q_{\text{верт}}$ – тепловіддача вертикальними, кВт;

Тепловіддача на 1 продукції:

$$q_5 = q'_5 / G,$$

де q'_5 – загальна тепловіддача, кВт;

G – продукт. печі за 1 секунду;

$$q_5 = \frac{2,475}{2,2 \cdot 10^{-2}} = 112,5 \text{ кДж/кг хл}$$

G – продуктивність за 1 сек.;

$$q_3 = \frac{0,22}{2,2 \cdot 10^{-2}} = 10 \text{ кДж/кг}$$

$$q_4 = q'_4 / G,$$

де q'_4 – втрати теплоти транспортних засобів, кВт;

$$q_4 = \frac{1,19}{2,2 \cdot 10^{-2}} = 54 \text{ кДж/кг}$$

Сумарна теплопередача в камеру на 1 продукції:

$$q_{\text{нк}} = \sum_{i=1}^7 q_i = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7,$$

де q_1 – втрати теплоти на випікання;

q_2 – втрати теплоти на утворення пари;

q_3 – втрати теплоти з повітрям;

q_4 – втрати теплоти транспортних засобів;

q_5 – втрати теплоти огороженням;

q_6 і q_7 – інші втрати теплоти

$$q_{\text{нк}} = 435,6 + 142 + 10 + 54 + 112,4 + 40 = 794 \text{ кДж/кг}$$

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

або за одиницю часу:

$$Q_{\text{заг}} = Q_i = G \cdot q_i = 2,2 \cdot 10^{-2} \cdot 794 = 17,5 \text{ кВт}$$

Визначення електронагрівачів:

$$n = Q'_{\text{заг}} / N_m,$$

де $Q'_{\text{заг}}$ – сумарна теплопередача за 1 часу, кВт;

$$Q'_{\text{заг}} = Q_{\text{заг}} \cdot k,$$

де $k = 1,2$ – коефіцієнт потужності

$$Q'_{\text{заг}} = 17,5 \cdot 1,2 = 21 \text{ кВт}$$

$N_m = 2 \text{ кВт}$ – потужність ТЕНа, кВт;

$$n = 21 / 2 = 10,5$$

Приймаємо кількість $n = 11$ шт.

2.3. Визначення розрахункової потужності на обертання вагонетки в печі

Необхідна потужність двигуна:

$$N_1 = (QV) / 1000\eta,$$

де $Q = 1200 \text{ Н}$ – сила, що діє на диск привода візка;

$V = (Z_3 n_3 t) / (60 / 1000)$ - швидкість обертання диска;

$Z_3 = 120$ – кількість зубів зірочки;

$n_3 = 11,4 \text{ об/хв.}$ – частота обертання диска;

$t = 12,7 \text{ мм}$ – крок ланцюга;

η - ККД привода

Величинами Z_3 , η та t задаємося для проектного розрахунку, згідно рекомендацій [6].

$$V = (120 \cdot 11,4 \cdot 12,7) / (60 \cdot 100) = 0,29 \text{ м/с}$$

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 0,96 \cdot 0,8 \cdot 0,99 = 0,76,$$

де $\eta_1 = 0,96$ - ККД ланцюгової передачі;

$\eta_2 = 0,8$ - черв'ячного редуктора;

$\eta_3 = 0,99$ - ККД муфти

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_1 = (1200 \cdot 0,29) / (1000 \cdot 0,76) = 0,46 \text{ кВт}$$

Вибираємо електродвигун 4А71АЧУЗ ГОСТ 19523-74 потужністю $N = 0,55 \text{ кВт}$, частотою обертання ротора $n = 1370 \text{ об/хв.}$

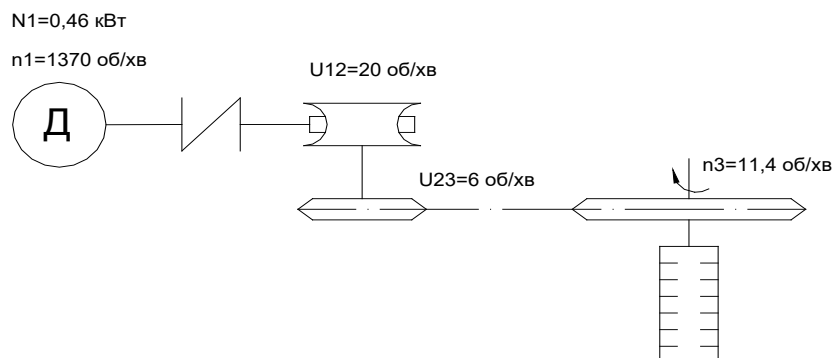


Рис. 2.1. Кінематична схема приводу

Загальне передаточне відношення приводу:

$$U_{13} = n / n_3,$$

де n – частота обертання ротора, об/хв.;

n_3 – частота обертання диска, об/хв.;

$$U_{13} = 1370 / 11,4 = 120;$$

приймаємо передаточне число ланцюгової передачі $U_{23} = 6$, тоді передаточне число редуктора:

$$U_{12} = U_{13} / U_{23},$$

де U_{13} – загальне передаточне відношення приводу

U_{23} – передаточне число ланцюгової передачі

$$U_{12} = 120 / 6 = 20$$

За визначеним передаточним числом підбираємо редуктор РЧУ-50-20-2-3-1 ГОСТ 13563-68 [2].

Визначення кінематичних характеристик приводу:

Крутний момент, що створюється редуктором:

$$T_1 = 9550 N_1 / n_1 \text{ Н·м},$$

де N_1 – потужність двигуна, кВт;

n_1 – частота обертання ротора, об/хв.

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_1 = 9550 \cdot 0,46 / 1370 = 3,2 \text{ Нм};$$

Крутний момент, що створюється редуктором:

$$T_2 = 9550 N_2 / n_2 \text{ Н·м},$$

$$N_2 = N_1 \eta_2 \eta_3,$$

де N_1 - потужність двигуна, кВт;

η_2 - ККД червячного редуктора;

η_3 - КККД муфти

$$N_2 = 0,46 \cdot 0,99 \cdot 0,8 = 0,36 \text{ кВт}$$

$$n_2 = n_1 / U_{12},$$

де n_1 - частота обертання ротора, об/хв.;

U_{12} - передаточне число редуктора;

$$n_2 = 1370 / 20 = 68,5 \text{ об/хв.};$$

$$T_2 = 9550 \cdot 0,36 / 68,5 = 50,2 \text{ Н·м},$$

Крутний момент диска:

$$T_3 = 9550 N_3 / n_3, \text{ об/хв}$$

$$N_3 = N_2 \eta_1, \text{ кВт},$$

де η_1 - коефіцієнт корисної дії ланцюгової передачі;

$$N_3 = 0,36 \cdot 0,96 = 0,345 \text{ кВт}$$

$$n_3 = n_2 / U_{23}, \text{ об/хв.},$$

де U_{23} - передаточне число ланцюгової передачі;

$$n_3 = 68,5 / 6 = 11,4 \text{ об/хв.}$$

$$T_3 = 9550 \cdot 0,345 / 11,4 = 288,5 \text{ Н м}$$

Кінематичні характеристики зводимо до таблиці 4.1

Кінематичні характеристики приводу

Таблиця 4.1.

№ вала	Потужність N, кВт	Крутний момент T, Н м	Частота обертання n, кВт	Передаточне відношення U
1	0,46	3,2	1370	20

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2	0,36	50,2	68,5	6
3	0,345	288,5	11,4	6

2.3.1. Розрахунок і підбір підшипників

Конічна шестерня точно і жорстко зафіксована на осі, тому приймаємо роликовий підшипник легкої серії: для I опори 7214; для II опори 7212 по ГОСТ 339-79.

Радіальне на підшипник I $F_{r1} = R_{ay} = 9976,2 \text{ Н}$.

Радіальне на підшипник II $F_{r2} = R_{by} = 3295,2 \text{ Н}$.

Осьове навантаження підшипника I $F_a = F_{ai} = 1696,2 \text{ Н}$.

Коефіцієнт обертання беремо $V = 1$.

Коефіцієнт легких поштовхах $K_\sigma = 1,2$.

Температурний коефіцієнт при менше 100°C беремо $K_T = 1$.

Стандарти для зубчастих редукторів $L_h = 20000 \text{ год}$ (при 90% надійності).

У підшипника 7214 динамічна вантажність $C = 95900 \text{ Н}$; кут контакту $\alpha = 14^\circ$; коефіцієнт $e = 0,37$. У підшипника 7212 динамічна вантажність $C = 72200$, кут нахилу $\alpha = 13^\circ$, коефіцієнт $e = 0,35$.

Для підшипника I:

Осьові складові радіального навантаження:

$$F_{sI} = 0,83 \cdot e \cdot F_r = 0,83 \cdot 0,37 \cdot 9976,2 = 3063,7 \text{ Н}$$

Для підшипника II:

$$F_{sII} = 0,83 \cdot e \cdot F_r = 0,83 \cdot 0,35 \cdot 3295,2 = 957,3 \text{ Н}$$

Розрахункове осьове $F_{sI} > F_{sII}$ і $F_a > 0$.

Для підшипника I

$$F_{aI} = F_{sI} = 3063,7 \text{ Н}$$

Для підшипника II

$$F_{aII} = F_{sI} + F_a = 3063,7 + 1696,2 = 4759,9 \text{ Н}$$

Знаходимо $\frac{F_a}{F_r}$ для підшипника II

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{F_{all}}{F_{rII}} = \frac{3063,7}{1,0 \cdot 9976,2} = 0,3 (e = 0,37)$$

Коефіцієнт радіального та осевого навантаження $X=1$; $Y=0$.

Коефіцієнт радіального та осевого навантаження $X=0,4$; $Y=1,46$, для підшипника II відношення

$$\frac{F_{all}}{F_{rII}} = \frac{4759,9}{1,0 \cdot 3295,2} = 1,44 > 0,35$$

Розрахункове навантаження підшипника I

$$P_1 = V \cdot F_{rI} \cdot K_\sigma \cdot K_T = 1 \cdot 9976,2 \cdot 1,2 \cdot 1 = 11971,4$$

Розрахункове навантаження підшипника II

$$P_2 = (0,4V \cdot F_{rII} + YF_{all}) K_\sigma K_T = (0,4 \cdot 1 \cdot 3295,2 + 1,46 \cdot 4263,1) \cdot 1,2 \cdot 1 = 9050,6 \text{ Н}$$

Відношення $c/p=7,3$ для підшипника III опори

$$c = 7,3p = 7,3 \cdot 11971,4 = 87391,2 \text{ Н},$$

менше динамічного навантаження ($c=95900 \text{ Н}$). При цьому робота підшипника вище 90%.

Для підшипника II опори $p=9050,6$

$$c = 7,3p = 7,3 \cdot 9050,6 = 66069,4 \text{ Н},$$

навантаження з таблиць ($c=72200 \text{ Н}$) і робота підшипника трохи вище 90%

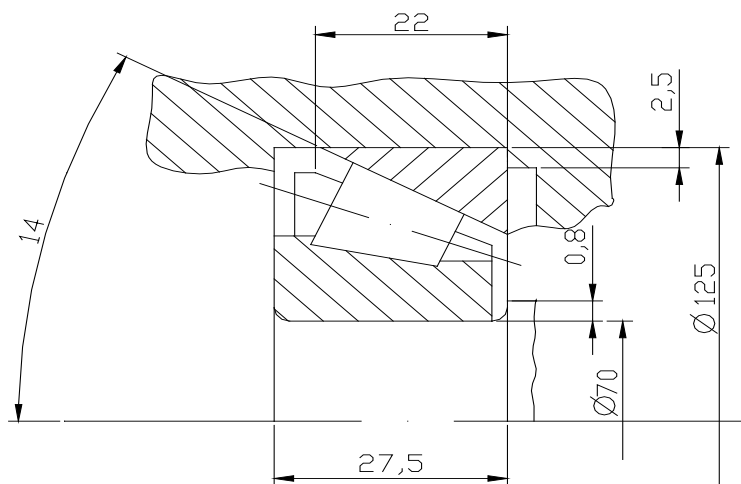


Рис. 2.3. Розріз підшипника

2.3.2. Розрахунок ланцюгової передачі приводу

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність валу редуктора $N_2 = 0,36$ кВт, частота обертів $n_2 = 68,5$ об/хв, перед. число $U_{23} = 6$.

Коефіцієнт передачі:

$$K_e = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6,$$

де $K_1 = 1,3$ - навантаження з поштовхом;

$K_2 = 1,1$ - регулювання натягу нажимним роликом;

$K_3 = 0,9$ - міжосьова відстань в проміжку (60...80)t;

$K_4 = 1$ - нахил ліній зірочок 0^0 ;

$K_5 = 0,8$ - змащення;

$K_6 = 1,5$ - робота у 2 зміни.

$$K_e = 1,3 \cdot 1,1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1,5 = 1,54$$

Число ведучої зірочки $z_2 = 20$.

Допустимий питомий тиск $[p] = 35$ МПа.

Крок ланцюга
$$t = 183 \sqrt[3]{\frac{N_2 \cdot K_e \cdot 10}{S_t \cdot [p] \cdot z_2 \cdot n_2 \cdot K_m}},$$

де N_2 - потужність валу редуктора, кВт;

K_e - коефіцієнт передачі;

$[p]$ - допустимий тиск в шарнірах, МПа;

z_2 - число зубів зірочки;

n_2 - частота обертання, об/хв.;

$$t = 183 \sqrt[3]{\frac{0,36 \cdot 1,54 \cdot 10}{0,28 \cdot 35 \cdot 20 \cdot 68,5 \cdot 1}}$$

Приймаємо ланцюг ПР-12,7-1820-1 ГОСТ 13568-75 [6], у якого $t = 12,7$ мм, $Q_{розр} = 18200$ Н, $S_{он} = 39,6$ мм², маса 1 погонного метра ланцюга $q = 0,65$ кг.

Колова швидкість ланцюга:

$$v = \frac{z_2 \cdot n_2 \cdot t}{60 \cdot 1000},$$

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де z_2 - число зубів ведучої зірочки;

n_2 - частота обертання, об/хв.;

t - розрахунковий крок ланцюга, мм

$$v = \frac{20 \cdot 68,5 \cdot 12,7}{60 \cdot 1000} = 0,29 \text{ м/с}$$

Колове зусилля:

$$F_t = \frac{1000 \cdot N_2}{v},$$

де N_2 - потужність на вихідному валу редуктора, кВт;

v - колова швидкість ланцюга, м/с;

$$F_t = \frac{1000 \cdot 0,36}{0,29} = 1240 \text{ Н}$$

Середній питомий тиск в шарнірах ланцюга:

$$p = \frac{F_t}{S_{on}},$$

де F_t - колове зусилля, Н

$$p = \frac{1240 F_t}{39,6} = 31,3 \text{ МПа},$$

менше допустимого питомого тиску $[p]=35 \text{ МПа}$.

$$\text{Термін служби: } T = 5200 \frac{\Delta t \cdot K_c \cdot \sqrt{z_2} \sqrt[3]{a_t \cdot u}}{p \sqrt[3]{v K_e}},$$

де $\Delta t \leq 3\%$ - допустиме кроку ланцюга;

K_c - коефіцієнт змащення;

z_2 - число ведучої зірочки;

a_t - між. відстань;

U - передаточне число;

p - середній тиск у шарнірах;

$$a_t = \frac{a}{t}; \quad a_t = \frac{995}{12,7} = 778$$

Коефіцієнт змащення:

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_c = \frac{K_{cn}}{\sqrt{v}},$$

де K_{cn} - коефіцієнт змащення

$$K_c = \frac{2,5}{\sqrt{0,29}} = 4,64$$

$$T = 5200 \frac{3 \cdot 4,64 \cdot \sqrt{20} \cdot \sqrt[3]{78 \cdot 6}}{31,3 \sqrt[3]{0,29} \cdot 1,54} = 78772 \text{ год},$$

строку служби .

$$T_{оч} = 4000 \cdot K_{cn},$$

де K_{cn} - коефіцієнт способу змащення.

$$T_{оч} = 4000 \cdot 2,5 = 10000 \text{ год}$$

Навантаження ланцюгової передачі.

Натяг від власної ваги:

$$F_f = K_f \cdot q \cdot g \cdot a,$$

де K_f - коефіцієнт провисання;

g - маса 1 метра ланцюга, кг;

a - величина між. відстані, м

$$a = (60 \dots 80)t = (60 \dots 80)12,7 = 995 \text{ мм}$$

$$F_f = 6 \cdot 0,65 \cdot 9,81 \cdot 0,995 = 38 \text{ Н}$$

Сумарний натяг ведучої та веденої віток будеб

$$F_{\Sigma b} = F_f + F_t K_1,$$

де F_f - коеф. провисання;

F_t - колове зусилля, Н;

K_1 - коефіцієнт переданого навантаження;

$$F_{\Sigma b} = 38 + 1240 \cdot 1,3 = 1650 \text{ Н}$$

Навантаження на вали:

$$R = (1,15 \dots 1,2)F_t,$$

де F_t - колове зусилля, Н;

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R = 1,2 \cdot 1650 = 1980 \text{ Н}$$

Перевірка міцності

$$n = \frac{Q_{розр}}{F_{\Sigma b}},$$

де $F_{\Sigma b}$ - сумарний натяг;

$$n = \frac{18200}{1650} = 11,$$

більше допустимого $[n]=10,2$

Геометричний розрахунок передачі.

Міжосьова відстань $a=995$.

Число веденої зірочки:

$$z_3 = z_2 \cdot U_{23},$$

де z_2 - число ведучої зірочки;

U_{23} - передаточне число

$$z_3 = 20 \cdot 6 = 120$$

Довжина ланцюга:

$$L_t = \frac{2a}{t} + \frac{z_2 + z_3}{2} + \left(\frac{z_3 - z_2}{2\pi} \right)^2 \frac{t}{a}$$

$$L_t = \frac{2 \cdot 995}{12,7} + \frac{20 + 120}{2} + \left(\frac{120 - 20}{2\pi} \right)^2 \cdot \frac{12,7}{995} = 230$$

Дійсна міжосьова становить $a=995$ мм, значення L_t виявилось цілим і парним числом.

Ділильних кіл зірочок:

$$d_{\partial 2} = \frac{t}{\sin \frac{180}{z_2}};$$

$$d_{\partial 3} = \frac{t}{\sin \frac{180}{z_3}},$$

де t - крок ланцюга;

z_2 - число зубів зірочки;

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

z_3 - число зубів зірочки

$$d_{\partial 2} = \frac{12,7}{\sin \frac{180}{20}} = 81,18 \text{ мм};$$

$$d_{\partial 3} = \frac{12,7t}{\sin \frac{180}{120}} = 485,16 \text{ мм}$$

Міжосьова відстань:

$$a_{\text{м}} = 0,996 \cdot a$$

$$a_{\text{м}} = 0,996 \cdot 995 = 991 \text{ мм}$$

2.3.3. Розрахуємо сили, що діють на зубці шестерень та зірочок у приводі вагонетки.

Вихідні дані: Крутний момент на вихідному валу редуктора: 294.3 Нм;

Діаметр ведучої шестірні: $d_1 = 0.2$ м (припустимо)

Діаметр веденої шестірні: $d_2 = 0.6$ м

Кількість зубців ведучої шестірні: $z_1 = 20$

Кількість зубців веденої шестірні: $z_2 = 60$

Крок зубців: $p = 12$ мм

Кут зачеплення: $\alpha = 20^\circ$

Визначаємо окружну силу на зубцях

Окружна сила на ведучій шестірні: $F_t = M/r$

де $r = d/2$

$$F_{t1} = 294.30.1 = 2943 \text{ Н}$$

Сила на веденій шестірні:

$$F_{t2} = M/r = 294.30.3 = 981 \text{ Н}$$

Визначаємо нормальні сили в зачепленні

Нормальна сила в зачепленні залежить від кута зачеплення:

$$F_n = F_t / \cos \alpha = 2943 / \cos 20^\circ = 3131 \text{ Н}$$

$$F_{n2} = 981 / \cos 20^\circ = 1044 \text{ Н}$$

Радіальні сили на валах

Радіальні сили визначаються як:

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha = 2943 \times \tan 20^\circ = 1071 \text{ Н}$$

$$F_{r2} = 981 \times \tan 20^\circ = 357 \text{ Н}$$

Сили на зубцях зірочок. Припустимо, що на зірочках використовується ланцюгова передача, а зірочки мають такі ж радіуси, як шестерні.

$$F_{\text{ланцюга}} = M_r = 294.30.1 = 2943 \text{ Н}$$

$$F_{\text{ведена зірочка}} = 294.30.3 = 981 \text{ Н}$$

Окружні сили на ведучій та веденій шестірні: 2943 Н та 981 Н. Радіальні сили в зачепленні: 1071 Н та 357 Н. Сили на ланцюгових зірочках аналогічні шестірням.

Маса вагонетки з вантажем: 200 кг; Радіус платформи: 0.5 м; Момент інерції вагонетки (наближено як диск):

$$J = \frac{1}{2} m r^2 = \frac{1}{2} \times 200 \times (0.5)^2 = 25 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

- Необхідна швидкість обертання: **10 об/хв** (наприклад)
- ККД редуктора: $\eta = 0.9$
- Коефіцієнт тертя опор: $f = 0.02$

2. *Визначаємо момент опору обертанню.* Сила тертя у підшипниках:

$$F_{\text{тертя}} = G \cdot f = 200 \times 9.81 \times 0.02 = 39.24 \text{ Н}$$

$$\text{Момент опору: } M_{\text{опору}} = F_{\text{тертя}} \cdot r = 39.24 \times 0.5 = 19.62 \text{ Нм}$$

3. *Визначаємо кутову швидкість платформи* $\omega = 2\pi n 60 = 2\pi \times 1060 = 1.05 \text{ рад/с}$

4. *Визначаємо необхідний крутний момент на приводі.* Крутний момент на валу редуктора: $M_{\text{привода}} = M_{\text{опору}} \times i$

При передаточному числі $i = 15$ (наприклад),

$$M_{\text{привода}} = 19.62 \times 15 = 294.3 \text{ Нм}$$

5. *Визначаємо потужність двигуна.*

$$P = M_{\text{привода}} \cdot \omega / \eta = 0.9294.3 \times 1.05 = 343 \text{ Вт} \approx 0.35 \text{ кВт}$$

Отже, потрібен двигун 0.4–0.5 кВт з редуктором $i \approx 15$.

Вагонетка має момент опору 19.62 Нм. Оптимальний двигун 0.4–0.5 кВт.

Передаточне число редуктора $i \approx 15$.

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для розрахунку навантаження на привід вагонетки ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400 необхідно враховувати кілька основних чинників, які впливають на роботу приводу: масу вагонетки з виробами; розмір і тип зірочок; коефіцієнт тертя в ланцюговій передачі; швидкість обертання вагонетки.

Крутний момент, що передається від приводу. Дано:

- Маса вагонетки з виробами $M = 200$ кг (наприклад, маса вагонетки та виробів).
- Діаметр ведучої зірочки $D_{\text{вед}} = 0.15$ м (припустимо).
- Діаметр веденої зірочки $D_{\text{ведена}} = 0.10$ м (припустимо).
- Швидкість обертання вагонетки $\omega = 0.5$ об/хв (наприклад).
- Коефіцієнт тертя між ланцюгом і зірочкою $\mu = 0.2$ (звичайне значення для металу по металу).
- Крутний момент $M_{\text{крут}}$

Розрахунок обертального моменту. Момент, який передається через зірочку, можна визначити за допомогою рівняння для крутного моменту:

$$M_{\text{крут}} = F_{\text{л}} \cdot r$$

де:

- $F_{\text{л}}$ — сила ланцюга на зірочці,
- r — радіус ведучої зірочки $r = D_{\text{вед}}/2$.

Сила ланцюга $F_{\text{л}}$ визначається за рівнянням:

$$F_{\text{л}} = M \cdot g$$

де M — сила, що діє на вагонетку через ланцюг.

Розрахунок сили ланцюга. Розрахуємо силу $F_{\text{л}}$, що діє на зірочку:

$$F_{\text{л}} = 200 \cdot 9.810.152 \approx 2640 \text{ Н.}$$

Розрахунок моменту на ведучій зірочці. Тепер, знаючи силу ланцюга, можемо знайти крутний момент на ведучій зірочці:

$$M_{\text{крут}} = 2640 \cdot 0.152 \approx 198 \text{ Н}$$

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок навантаження на привід. Враховуємо також коефіцієнт тертя μ між ланцюгом і зіркою, оскільки він впливає на загальне навантаження. Тому додатково можна визначити загальне навантаження на привід як:

$$F_{\text{тертя}} = \mu \cdot F_{\text{л}} \approx 0.2 \cdot 2640 \approx 528 \text{ Н.}$$

Крутний момент на електродвигун. З урахуванням коефіцієнта тертя та потрібної сили обертання електродвигун повинен створювати момент, рівний або більший за розрахунковий. Це забезпечить безперебійну роботу приводу, враховуючи втрати в терті.

Таким чином, загальний крутний момент, який повинен бути забезпечений на електродвигуні:

$$M_{\text{електродвигун}} \approx M_{\text{крут}} + F_{\text{тертя}} \cdot \text{радіус ведучої зірочки.}$$

$$M_{\text{електродвигун}} \approx M_{\text{крут}} + F_{\text{тертя}} \cdot \text{радіус ведучої зірочки.}$$

Цей розрахунок дає уявлення про навантаження на привід та дає змогу оцінити необхідну потужність і можливі втрати через тертя, що важливо для правильного вибору мотора та оптимізації ремонту.

2.3.4. Розрахунок зірочки і навантаження на привід

Для більш детального розрахунку зірочки та навантажень на привід вагонетки ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400 необхідно врахувати не лише масу і механічні характеристики, але й точні механізми передачі крутного моменту через ланцюг, що пов'язаний з динамічними навантаженнями. Ось більш точний розрахунок зірочки і навантаження на привід.

Вхідні дані для розрахунку:

- Маса вагонетки з виробами $M=200$ кг
- Діаметр ведучої зірочки $D_{\text{вед}}=0.15$ м
- Діаметр веденої зірочки $D_{\text{ведена}}=0.10$ м
- Швидкість обертання вагонетки $\omega=0.5$ об/хв
- Коефіцієнт тертя $\mu=0.2$
- Прискорення вільного падіння $g=9.81$ м/с²

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Кількість ланцюгових ланок і зірочок, що беруть участь у передачі, на даному етапі вважаємо одним ланцюгом.

Розрахунок сили, що діє на ланцюг (ліву частину передачі). Для визначення сили, яка діє на ланцюг, спочатку визначимо, яку силу потрібно прикладати, щоб забезпечити рух вагонетки. Маса вагонетки із виробами можна перевести у нормальну силу, яка діє на ланцюг через ланцюгову передачу. Враховуючи, що вагонетка обертається по колу, ми можемо застосувати рівняння для сили, що діє на ланцюг: $F_L = M \cdot g_{\text{вед}}$ — радіус ведучої зірочки.

Розрахуємо силу ланцюга: $g_{\text{вед}} = 0.152 = 0.075 \text{ м}$

$$F_L = 200 \cdot 9.81 \cdot 0.075 = 26120 \text{ Н}$$

Розрахунок моменту на ведучій зірочці. Момент, який передається через зірочку, можна розрахувати за формулою: $M_{\text{крут}} = F_L \cdot g_{\text{вед}}$ — сила ланцюга — радіус ведучої зірочки.

$$M_{\text{крут}} = 26120 \cdot 0.075 = 1959 \text{ Н}$$

Розрахунок навантаження на ланцюгову передачу. Ланцюг на зірочці має певний коефіцієнт тертя $\mu_{\text{тлц}}$, тому додатково необхідно врахувати тертя ланцюга в системі. Для цього розраховуємо силу тертя на ланцюгових зірочках, використовуючи коефіцієнт тертя μ :

$$F_{\text{тертя}} = \mu \cdot F_L = 0.2 \cdot 26120 = 5224 \text{ Н}$$

Це значення сили тертя впливає на ефективність роботи приводу, оскільки воно створює додаткові навантаження на мотор.

Розрахунок крутного моменту на веденій зірочці. Крутний момент на веденій зірочці можна розрахувати за аналогічною формулою:

$$M_{\text{ведена}} = F_L \cdot g_{\text{ведена}}$$

де $g_{\text{ведена}} = D_{\text{ведена}}$ — радіус веденої зірочки.

Розрахуємо момент на веденій зірочці:

$$g_{\text{ведена}} = 0.102 = 0.05 \text{ м}$$

$$M_{\text{ведена}} = 26120 \cdot 0.05 = 1306 \text{ Н}$$

Потужність привод. Для визначення потужності, яку необхідно передати через привід, можна використовувати формулу для механічної потужності:

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P = M_{\text{крут}} \cdot \omega$$

де ω — кутова швидкість. Якщо швидкість обертання вагонетки становить 0.5 об/хв, то переводимо це у рад/с:

$$\omega = 2\pi \cdot 0.560 = 0.05236 \text{ рад/с}$$

Тепер розрахуємо потужність приводу:

$$P = 1959 \cdot 0.05236 = 102.4 \text{ Вт}$$

З огляду на розрахункову потужність, вибір електродвигуна для такого приводу має бути орієнтований на зручну перевищення робочої потужності для врахування втрат, таких як тертя, інерційні навантаження, перепади напруги та інші фактори.

Підсумок розрахунків:

1. Сила, що діє на ланцюг, становить 26120 Н.
2. Крутний момент на ведучій зірочці складає 1959 Н·м.
3. Сила тертя на ланцюговій передачі — 5224 Н.
4. Крутний момент на веденій зірочці — 1306 Н·м.
5. Необхідна потужність приводу — 102.4 Вт.

Знаючи ці дані, можна вибирати привід та оцінювати його ефективність у роботі печі.

2.4. Використання смарт-технологій у ремонті та експлуатації механізму приводу вагонетки ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400

У сучасних умовах інтенсивного розвитку хлібопекарської промисловості важливим напрямом удосконалення обладнання є інтеграція смарт-технологій для забезпечення стабільної, енергоефективної та безпечної роботи. Особливої уваги потребує механізм приводу вагонетки ротаційної конвективної печі типу КЕП-400, оскільки він забезпечує обертання продукції в камері випікання та має вирішальне значення для рівномірного термічного оброблення.

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Інтеграція автоматизованих систем управління в конструкцію приводу вагонетки ротаційної печі КЕП-400 забезпечує більш точне та стабільне функціонування обладнання в умовах промислового навантаження. Ключовим елементом такої системи є програмований логічний контролер (PLC), який здійснює безперервний контроль за технічними параметрами приводу, такими як швидкість обертання вагонетки, час роботи в кожному циклі, положення механізмів і рівень навантаження.

Контролер здатен автоматично вносити коригування в роботу механізму на основі змін у зовнішніх або внутрішніх умовах — наприклад, коливань напруги в мережі або зміни маси завантаженого продукту. Завдяки цьому досягається стабільна якість випікання та зменшується знос елементів системи.

Інтерфейс оператора (HMI) забезпечує наочне відображення параметрів роботи в реальному часі. Оператор може легко відслідковувати температуру, крутний момент, швидкість обертання, а також отримувати повідомлення про стан датчиків, аварійні події чи необхідність обслуговування. Це значно підвищує оперативність реагування на відхилення та зменшує ризик помилок через людський фактор.

Системи автоматизації також дозволяють:

- налаштовувати режими роботи залежно від типу продукції (універсальність у випіканні різних видів хліба);
- здійснювати дистанційне керування та діагностику через мережеві протоколи (Modbus, ProfiNet тощо);
- вести архів даних про кожен цикл роботи, що корисно для аналітики та вдосконалення технологічного процесу;
- реалізувати автоматичний запуск/зупинку у заданий час або відповідно до умов навколишнього середовища.

Таким чином, автоматизація процесів обслуговування і керування не лише підвищує надійність та продуктивність роботи приводу вагонетки, а й створює

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

основу для повноцінного впровадження концепції розумного виробництва" (Smart Manufacturing) на хлібопекарському підприємстві.

Коротка таблиця переваг впровадження PLC та HMI в управління приводом вагонетки ротаційної конвективної хлібопекарської печі:

Компонент	Функції	Переваги для системи приводу вагонетки
PLC (Програмований логічний контролер)	- Автоматичне керування обертанням	✓ Підвищена точність і стабільність руху
	- Контроль часу циклу	✓ Швидка адаптація до змін у технології
	- Реакція на сигнали датчиків	✓ Зниження зносу механізмів
	- Візуалізація параметрів спеціальних навичок	✓ Зручне управління без
HMI (Людино-машинний інтерфейс)	- Оповіщення про аварії	✓ Зниження ймовірності помилок
	- Зміна налаштувань оператором	✓ Швидке реагування на відхилення
	- Автоматизація діагностики	✓ Економія часу на обслуговування
Система в цілому (PLC + HMI)	- Ведення журналу подій	✓ Прозорість роботи
	- Дистанційне обладнання налаштування (через мережу)	✓ Підготовка до інтеграції в Smart Factory

Застосування сенсорних систем та інтернету речей (IoT) дає можливість відстежувати в режимі реального часу навантаження на електропривод, температуру підшипників, вібрацію редуктора, а також наявність сторонніх шумів. Дані передаються на центральний пульт або хмарну платформу, де

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

алгоритми машинного навчання аналізують тренди та прогнозують можливі відмови ще до їх фактичного виникнення.

Сучасний підхід до технічного обслуговування механізмів ґрунтується на використанні концепції Predictive Maintenance (передиктивне обслуговування), яка передбачає перехід від періодичного до стану орієнтованого ремонту. Замість того, щоб виконувати технічні роботи за встановленим графіком, система проводить аналіз фактичного технічного стану вузлів приводу вагонетки.

Центральну роль у цій системі відіграють датчики, що встановлюються безпосередньо на ключових елементах приводу: двигуні, редукторі, підшипниках, муфтах. Вони фіксують зміну параметрів роботи — вібрації, температури, струмового навантаження, акустичних коливань. Зібрані дані передаються на обчислювальні модулі або в хмарну аналітичну платформу, де спеціалізоване програмне забезпечення виконує їхню обробку за допомогою алгоритмів машинного навчання або статистичних моделей.

На основі отриманих результатів система може автоматично:

- виявляти приховані дефекти ще до їх прояву;
- прогнозувати залишковий ресурс кожного елемента;
- формувати гнучкий графік технічного обслуговування;
- надсилати попередження про критичні відхилення оператору або технічному персоналу;
- оцінювати ефективність попередніх ремонтів і прийнятих рішень.

Таким чином, обслуговування дозволяє уникнути раптових зупинок обладнання, скоротити час простою, мінімізувати втрати сировини та забезпечити стабільну роботу хлібопекарської печі. Крім того, точний облік зносу компонентів дає змогу своєчасно планувати закупівлю запасних частин і краще розподіляти ресурси підприємства. У перспективі такі системи можуть бути інтегровані в загальну ERP- або MES-систему виробництва, забезпечуючи повний цифровий контроль за технічним станом устаткування.

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сучасні тенденції цифровізації виробництва передбачають активне впровадження технології цифрових двійників (Digital Twin) для забезпечення ефективного інженерного супроводу обладнання, зокрема приводу вагонетки ротаційної конвективної печі КЕП-400. Цифровий двійник — це віртуальна модель фізичного об'єкта, яка у реальному часі синхронізується з даними, отриманими від сенсорів та систем автоматизації.

Такий підхід дозволяє створити динамічну симуляційну модель приводу вагонетки, яка точно повторює всі його робочі процеси, навантаження, зноси та аномалії. Віртуальне тестування допомагає інженерам:

- прогнозувати поведінку приводу в різних експлуатаційних сценаріях (наприклад, під час пікового навантаження або аварійного зупинення);
- виявляти вузли з підвищеним зносом або неефективною роботою;
- оптимізувати траєкторію руху вагонетки, швидкість обертання, пускові режими;
- перевіряти оновлення програмного забезпечення та нові алгоритми керування без ризику для реального обладнання.

Цифровий двійник також сприяє інтеграції з Predictive Maintenance: він виявляє приховані тренди зниження ефективності та дозволяє приймати рішення на основі точного моделювання, а не припущень. Крім того, така система може бути використана для навчання персоналу, моделювання аварійних ситуацій і тестування варіантів модернізації без зупинки виробництва. Таким чином, цифрові двійники стають ключовим інструментом для реалізації концепцій Industry 4.0 у хлібопекарській галузі, підвищуючи рівень керованості, точності та безпеки роботи печі.

Сценарій: Виявлення нестабільної роботи приводу вагонетки за допомогою цифрового двійника

1. Вхідні умови:

- У печі КЕП-400 встановлено сенсори для вимірювання температури двигуна, струму споживання, швидкості обертання та положення вагонетки.

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Дані зчитуються в реальному часі та передаються до цифрового двійника, створеного в спеціалізованому програмному середовищі (наприклад, Siemens NX, TwinCAT, або Ansys Twin Builder).

2. Аналіз поведінки віртуальної моделі:

- У цифровому двійнику моделюється звичний цикл обертання вагонетки.
- При імітації запуску виявлено затримку на старті у порівнянні з нормою, а також аномально високий пусковий струм.
- На віртуальній траєкторії виявлено локальне перевантаження на одному з підшипників механізму.

3. Прогноз і оптимізація:

- На основі симуляції цифровий двійник розраховує ймовірність виходу з ладу електродвигуна через 200 годин роботи.
- Система пропонує оновити алгоритм плавного запуску (Soft Start) у контролері PLC для зменшення пускового навантаження.
- Також на основі виявлених деформацій рекомендовано провести заміну або регулювання кріплення напрямного вузла.

4. Результат:

- Після впровадження рекомендацій цифрового двійника у реальну систему, показники пускового струму знизилися на 15%, а час виходу вагонетки на робочу позицію стабілізувався.
- Виявлення та усунення потенційної несправності дозволило уникнути незапланованого простою печі.

Цей сценарій демонструє, **як** використання цифрового двійника допомагає у ранньому виявленні дефектів, зменшенні енерговитрат і плануванні обслуговування, підвищуючи загальну надійність виробництва (рис.2.6).

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

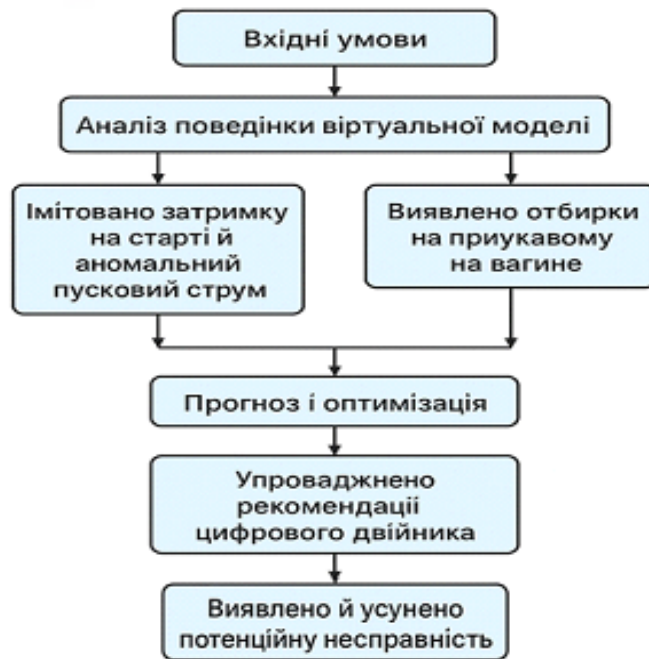


Рис. 2.5. Виявлення нестабільної роботи приводу вагонетки за допомогою цифрового двійника

2.4.1. Інтеграція смарт-технологій у систему ремонту та експлуатації приводу вагонетки печі КЕП-400

Інтеграція смарт-технологій у систему ремонту та експлуатації приводу вагонетки печі КЕП-400 дає змогу перейти від реактивного до проактивного обслуговування, знижує ризики простоїв, покращує якість випікання продукції й дозволяє раціонально використовувати енергетичні ресурси.

У вашому випадку, з огляду на те, що проводимо розрахунками приводу вагонетки для печі, а також з урахуванням вимог до надійності та ефективності експлуатації, найбільш доцільними є такі комп'ютерно-інтегровані технології:

Інтернет речей (IoT) та моніторинг в реальному часі. Для забезпечення надійності та оптимальної роботи приводу вагонетки, можна встановити сенсори для моніторингу температури, вібрацій та навантажень в реальному часі. Це дозволить своєчасно виявляти проблеми з

механізмами (наприклад, перегрів або підвищене навантаження на зубці шестерень), що критично для запобігання аваріям.

Сенсори можуть передавати дані в систему моніторингу, де спеціалізоване програмне забезпечення аналізує дані та сповіщає про необхідність обслуговування або ремонт.

Збір даних через сенсори дозволяє створювати **прогнознi моделі** для оцінки стану обладнання. Це допоможе прогнозувати, коли і які частини приводу можуть вийти з ладу (наприклад, зубці шестерень), на основі історичних даних та параметрів роботи.

Використовуючи алгоритми машинного навчання, можна створювати моделі для прогнозування збоїв, що дозволить запобігати неочікуваним поломкам і планувати технічне обслуговування.

Створення цифрової копії приводу вагонетки дозволить симулювати роботу системи в різних умовах (наприклад, при змінному навантаженні або температурі). Це дасть змогу перевірити різні конструктивні рішення (наприклад, вибір матеріалу для зубців шестерень чи зірочок) без необхідності фізичних тестів.

Цифровий двійник моделює реальний механізм і дозволяє провести симуляції на комп'ютері, передбачаючи, як система реагуватиме на зміни умов експлуатації.

Для системи приводу вагонетки, з урахуванням того, що температура в робочій камері печі може змінюватися, важливо оптимізувати споживання енергії. Встановлення інтелектуальних систем для моніторингу та управління енергоспоживанням дозволить скоротити витрати на енергію та збільшити загальну ефективність.

Інтелектуальні системи можуть регулювати енергоспоживання приводу в залежності від реальних умов роботи, що дасть змогу зменшити непотрібні витрати та підвищити ефективність. Використання смарт-систем для обслуговування на основі даних про стан приводу дозволить автоматизувати

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

процеси технічного обслуговування. Такі системи можуть інформувати про необхідність заміни деталей або коригування параметрів роботи.

Система буде аналізувати показники роботи (температура, навантаження, вібрації) і подавати рекомендації щодо технічного обслуговування або ремонту в залежності від стану обладнання.

ІоТ та моніторинг в реальному часі допоможуть своєчасно реагувати на зміни в роботі приводу, забезпечивши безперервність і безпеку експлуатації.

- Прогнозна аналітика та машинне навчання дозволить уникнути аварійних ситуацій, даючи змогу планувати обслуговування до того, як виникне проблема.
- Цифрові двійники допоможуть протестувати різні варіанти конструкції та оцінити їх ефективність в реальних умовах, перш ніж втілювати їх у життя.

Ці технології сприятимуть підвищенню надійності системи приводу вагонетки та зменшенню витрат на експлуатацію і обслуговування.

Цифрові двійники (digital twins) — це віртуальні моделі фізичних об'єктів або систем, що дозволяють здійснювати їх моніторинг, аналіз і оптимізацію в реальному часі. Для випадку (привід вагонетки в північній системі) застосування цифрових двійників може бути надзвичайно корисним для підвищення надійності, ефективності та передбачуваності системи.

Створення цифрової копії фізичного об'єкта: Спочатку створюється 3D-модель механічних частин приводу вагонетки (шестерні, зірочки, вал, корпус, колеса тощо). Ця модель може бути створена за допомогою програмного забезпечення для CAD-моделювання (наприклад, SolidWorks, Autodesk Inventor).

Якщо є сенсори або інші дані про стан обладнання, їх можна інтегрувати в модель для отримання точного цифрового представлення реального об'єкта.

Встановлюються сенсори (температури, тиску, вібрації, навантаження) на фізичні компоненти системи приводу. Дані з цих сенсорів передаються в систему для моніторингу і аналізу. Ці дані використовуються для оновлення

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

цифрового двійника в реальному часі, що дозволяє відображати актуальний стан системи.

Симуляція та аналіз поведінки системи:

- Зібрані дані використовуються для проведення **симуляцій**, де можна вивчати поведінку системи в різних умовах:
 - Зміна температури в камері печі.
 - Зміни навантаження на привід через робочі умови.
 - Визначення можливих точок зносу чи поломок, таких як перегрів чи знос зубців шестерень.
- За допомогою **методів кінцевих елементів (FEM)** можна проводити моделювання механічних навантажень на компоненти, перевіряти їх стійкість та безпеку.

2. Прогнозування та оптимізація: Цифровий двійник дозволяє провести прогнозування збоїв та оптимізацію процесів. Наприклад, можна прогнозувати, коли певна частина приводу, наприклад, зірочка чи зубець шестерні, потребуватиме обслуговування чи заміни. Моделювання допомагає знайти оптимальні умови експлуатації та зменшити знос, а також оптимізувати енергоспоживання.

Аналіз різних варіантів конструктивних змін: Використовуючи цифрові двійники, можна тестувати різні конструктивні зміни без необхідності фізичного прототипування. Наприклад, змінюючи матеріал зубців шестерні або їхню форму, можна віртуально перевірити, як це вплине на знос чи ефективність роботи приводу.

Аналіз швидкості обертання, навантаження і температури допомагає виявити слабкі місця в конструкції приводу.

Інтеграція з іншими системами: Цифрові двійники можуть бути інтегровані з іншими системами управління виробництвом **або** управління енергоспоживанням для більш ефективного планування технічного обслуговування, ремонту і заміни частин.

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З цифровим двійником можна передбачити поломки до того, як вони стануть критичними. Визначення точного часу для обслуговування або заміни частин приводу, що дозволяє уникнути непередбачених простоїв. Ви можете тестувати нові конструкції чи матеріали без необхідності будувати фізичні прототипи, що заощаджує час і кошти.

Підвищення надійності: Проведення детального аналізу навантажень та умов роботи приводу дозволяє виявити потенційні проблеми на ранніх етапах.

Створити точну 3D-модель усіх елементів приводу (шестерні, зірочки, вал, корпус і т.д.) з допомогою CAD-системи. Встановити сенсори для збору даних про температуру, вібрацію, навантаження та інші критичні параметри. Використовувати програми для механічного аналізу (наприклад, ANSYS) і симуляцій (наприклад, MATLAB або Simulink), щоб відслідковувати реальний стан системи в онлайн-режимі.

Використовувати аналітичні інструменти для виявлення потенційних проблем, прогнозування збоїв і оптимізації обслуговування. Цифрові двійники дозволяють покращити проектування, експлуатацію і обслуговування системи приводу вагонетки, що працює в пiчних умовах. Вони допомагають проводити симуляції, прогнозувати збої, оптимізувати навантаження та підвищити ефективність і надійність роботи обладнання.

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Технологічні процеси виготовлення, експлуатації та ремонту механізму приводу вагонетки ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400

3.1. Основні технічні вимоги до ремонту механізму приводу вагонетки ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400

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.

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 ланцюга	натягу	Збереження роботи зірочки та вагонетки	синхронної	Щотижнево
Мастило вузлів	контактних	Зменшення тертя, запобігання перегріву	Раз на 14 днів або за регламентом	
Візуальна зірочки	діагностика	Виявлення зносу зубців, викришування	Щомісяця	
Контроль шуму	вібрацій та	Раннє розбалансування або тріщин	виявлення Постійно (або сенсором)	

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вимога	Призначення	Частота контролю
Чищення борошна/конденсату	від Попередження корозії та забивання механізму	2 рази на тиждень

3.1.1. Система планово-попереджувальних ремонту механізму приводу вагонетки ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400

Ефективне функціонування механізму приводу вагонетки ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400 значною мірою залежить від своєчасного технічного обслуговування і проведення планово-попереджувальних ремонтів (ППР). Ця система покликана запобігти аварійним зупинкам, зменшити простої, продовжити ресурс механізму та забезпечити безперебійний виробничий процес.

Тривалість простою обладнання у разі ремонту визначається категорією складності несправності, рівнем технічної підготовки ремонтної бригади, наявністю запасних частин та якістю організації ремонтного процесу. При цьому технічне обслуговування електрообладнання зазвичай здійснюється паралельно з технологічним, без виділення окремого часу простою.

Якщо за результатами огляду встановлено, що обладнання в поточному місяці не потребує втручання, складається відповідний акт, на підставі якого термін ремонту переноситься. Це дозволяє уникнути зайвих зупинок і підтримувати виробничу ефективність.

На практиці ремонт механізму приводу вагонетки виконується кваліфікованими слюсарями-ремонтниками, електромеханіками та зварниками під керівництвом головного механіка або енергетика підприємства. До складу ремонтних робіт входять:

- очищення й змазування рухомих вузлів;
- перевірка редуктора та мотор-редуктора на шум, вібрації та перегрів;
- контроль натягу й зносу ланцюгової чи зубчастої передачі;
- діагностика електродвигуна та контактної групи управління;

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- заміна зношених підшипників, ущільнень або муфт.

Перед передачею в ремонт привід вагонетки ретельно очищується від залишків тіста, борошна й мастила, щоб забезпечити безпечний доступ до вузлів. Якщо обсяг ремонтних робіт невеликий, їх виконують на місці, без демонтажу з фундаменту, із попереднім очищенням робочої зони.

Для забезпечення високої якості обслуговування необхідно:

- мати технічну документацію та інструкції з експлуатації обладнання;
- організувати склад з комплектом основних запасних частин;
- передбачити механізацію трудомістких процесів, зокрема підйому, зняття й переміщення важких агрегатів;
- чітко розподілити відповідальність між членами ремонтної бригади;
- розробити й дотримуватися графіка ППР.

Графік ППР узгоджується між службою головного механіка та керівництвом відповідної виробничої ділянки. Рішення про зупинку механізму приймається начальником ділянки, який передає агрегат у ремонт після завершення всіх підготовчих процедур.

Таким чином, система ППР забезпечує стабільну роботу механізму приводу вагонетки печі КЕП-400, зменшує ймовірність непередбачених збоїв та сприяє продовженню терміну служби обладнання.

таблиця планово-попереджувального ремонту (ППР) механізму приводу вагонетки ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400 з орієнтовною періодичністю та видами робіт:

Таблиця 3.1.– Графік ППР механізму приводу вагонетки КЕП-400

№	Вид обслуговування/ремонту	Періодичність	Перелік робіт	Виконавці
1	Щоденний технічний огляд (ТО-0)	Щодня, перед запуском	- Огляд механізму на наявність пошкоджень та шумів - Перевірка кріплень - Візуальна оцінка	Оператор, черговий слюсар

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

№	Вид обслуговування/ремонту	Періодичність	Перелік робіт	Виконавці
2	Планове технічне обслуговування (ТО-1)	1 раз на 2 тижні	мастила - Очищення приводу від пилу та тіста - Перевірка натягу Слюсар- ланцюга / ременя ремонтник - Долив або заміна мастила - Перевірка редуктора, муфти та підшипників	
3	Періодичне технічне обслуговування (ТО-2)	1 раз на 2 місяці	- Тестування електродвигуна - Перевірка контактної групи - Заміна зношених вузлів (ремінь, підшипники)	Слюсар, електрик
4	Поточний ремонт	1 раз на 6 місяців	- Регулювання приводу - Перевірка роботи пускової апаратури - Повний демонтаж приводу - Заміна редуктора або електродвигуна (за потреби)	Слюсар, електрик
5	Капітальний ремонт	1 раз на 2–3 роки (або за потреби)	- Реставрація/заміна зношених елементів - Випробування після збирання	Бригада під керівництвом головного механіка

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1.2. Розробка технології розбирання та складання механізму приводу вагонетки печі КЕП-400

Для забезпечення надійної роботи механізму приводу вагонетки в ротаційній конвективній печі КЕП-400 необхідно розробити раціональну технологію його розбирання та зворотного складання. Ці операції проводяться під час поточних і капітальних ремонтів для усунення зношення, дефектів або заміни несправних вузлів.

Основні етапи розбирання механізму:

1. Підготовчі роботи:

- Відключення електроживлення від двигуна та блокування пускової апаратури.
- Встановлення захисних огорожень і попереджувальних знаків.
- Витікання залишків мастила (якщо система мастила автономна).
- Очищення приводу від забруднень (борошно, тісто, пил).

2. Зняття захисних кожухів і кріплень:

- Демонтаж зовнішніх кришок та кожухів редуктора.
- Від'єднання електродвигуна від опорної рами.
- Від'єднання муфти (жорсткої або пружної) між валами електродвигуна та редуктора.

3. Розбирання редуктора та передач:

- Зняття шестерень і валів редуктора.
- Виймання підшипників, перевірка їх стану.
- Перевірка шліців, посадкових місць і змащувальних каналів.

4. Огляд, дефектація, вимірювання зносу:

- Візуальний контроль поверхонь тертя.
- Вимірювання зазорів у підшипниках, люфтів у передачах.
- Оцінка ступеня корозії, наявності тріщин, змінань.

Основні етапи складання механізму:

1. Підготовка до складання:

- Очищення всіх деталей від старого мастила та бруду.

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Обробка деталей змащувальними матеріалами (вузли тертя, посадкові поверхні).
- Перевірка справності нових або відремонтованих деталей.

2. Монтаж редуктора:

- Послідовне встановлення валів, шестерень і підшипників.
- Установлення кришок і ущільнень.
- Заливання мастила до контрольного рівня.

3. Монтаж електродвигуна і муфти:

- Встановлення двигуна на раму з вирівнюванням співвісності валів.
- З'єднання валів муфтою, перевірка жорсткості з'єднання.
- Підключення до мережі згідно з електросхемою.

4. Контрольне випробування:

- Пробний запуск без навантаження, перевірка рівномірності роботи, шуму, вібрації.
- За потреби – регулювання натягу ремня/ланцюга, кріплень, балансування.

Техніка безпеки:

- Роботи виконуються лише при повному відключенні електроживлення.
- Заборонено проводити демонтаж без опорних домкратів або фіксації елементів.
- Усі операції здійснюються із застосуванням спеціального інструменту та ЗІЗ (засобів індивідуального захисту).

Розроблена технологія дозволяє мінімізувати час ремонту, знизити ризики аварій після складання, забезпечити високу якість з'єднань і довговічність роботи механізму приводу вагонетки печі КЕП-400. Технологічну карту розбирання механізму приводу вагонетки печі КЕП-400, оформлену у вигляді таблиці з указанням послідовності операцій, інструменту та заходів безпеки:

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технологічна карта розбирання вузла приводу з фокусом на демонтаж зірочки КЕП-400

№	Назва операції	Зміст роботи	Інструмент обладнання	/ Примітки
		Від'єднати привід від мережі		
1	Підготовка до розбирання	до живлення. Дочекатися охолодження вузла до рукавички безпечної температури.	Електрозахист, до рукавички	Безпека перш за все
2	Демонтаж кожуха	Зняти захисний кожух приводу вагонетки.	Гаєчні викрутки	Відкласти гвинти у підписану тару
3	Візуальний огляд	Оцінити стан вузла, наявність мастила, зношування зірочки	Ліхтар, лупа	Зробити фотофіксацію дефектів
4	Зняття ланцюга	Демонтувати ланцюг з зірочки	натягнутий Монтування, викрутка	Зафіксувати положення ланцюга
5	Відкручування фіксуючих елементів	Відкрутити гвинт М8 та зняти притискну шайбу (якщо є)	Ключі, викрутки	Перевірити стан різьби
6	Демонтаж зірочки	Зняти зірочку з вала за допомогою знімача	Знімач, молоток мідний	Можливий легкий нагрів фена
7	Очищення посадкової поверхні	Очистити вал та шпонку від Ганчір'я, залишків мастила, іржі, нагару розчинник, щітка		Підготувати до огляду
8	Контроль геометрії зірочки	Виміряти діаметр посадки, наявність зносу зубців	Мікрометр, штангенциркуль	За ГОСТ
9	Упакування для обробки	Упакувати зірочку для транспортування на мех. обробку	Контейнер, бирка	Підписати та задокументувати

технологічну карту складання механізму приводу вагонетки печі КЕП-400, оформлену в форматі, який зручно перенести в креслення або виробничу документацію — з акцентом на обробку деталей, зокрема зірочки (шестерні).
Окремо вказано обробку, контроль і змащування:

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технологічна карта складання механізму приводу вагонетки КЕП-400 (з акцентом на зірочку)

№ п/п	Назва операції	Зміст операції	Інструмент і пристрої	Примітка
		Очищення всіх		
1	Підготовка деталей	деталей від залишків Ганчір'я, старого мастила та повітряний пістолет забруднень	щітка, бензин,	Усі деталі обдуги, промити, просушити
2	Контроль зірочки	Перевірка геометрії зірочки: кількість зубців, симетричність, шаблони, мікрометр зношення	Штангенциркуль,	При зносі >10% — заміна або механічна обробка
3	Механічна обробка зірочки	Відновлення профілю зубців (за потреби), шліфування отвору посадки	Токарний/фрезерний верстат, шліфувальні круги	Дотримання техвимог креслення, шерсткість $\leq Ra 1.6$
4	Проміжна перевірка	Контроль допусків: співвісність отвору, биття, концентричність	Індикатор годинникового типу, призми	Биття не більше 0,03 мм
5	Збірка редуктора	Монтаж валів, шестерень, підшипників у корпус	Прес, нагрівання/охолодження (термонасадка)	Застосовувати графітове або трансмісійне мастило
6	Установлення зірочки на вал	Посадка зірочки на вал з фіксацією (шпонка, гвинт)	Прес, молоток з мідним бойком	Посадка — натяг або перехідна; шпонкове з'єднання з контролем зазору
7	Монтаж муфти двигуна, встановлення замикаючих елементів	З'єднання з валом	Шестигранник, ключі	гайкові Співвісність не більше 0,05 мм
8	Контроль обертання	Обертання вала вручну, перевірка	Рукою, пристрій	Не допускається заїдання чи люфт

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

№ п/п	Назва операції	Зміст операції	Інструмент і пристрої	Примітка
		плавності ходу		
9	Заповнення мастилом	Заправка редуктора і підшипників мастилом відповідно до карти змащування	Шприц, лійка	Тип мастила — Літол-24 або інше рекомендоване
10	Пробний запуск	Короткочасне включення навантаження, контроль вібрацій	без Пульт керування, тахометр, шумомір шуму,	При вібраціях — повторне центрування

3.2. Службове призначення та характеристика зірочки приводу вагонетки печі КЕП-400

Зірочка приводу вагонетки ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400 є основним елементом ланцюгової передачі, що забезпечує поступально-обертальний рух вагонетки всередині пекарної камери. Вона передає крутний момент від електроприводу на ланцюг транспортного механізму, забезпечуючи точну синхронізацію переміщення вагонетки з технологічним процесом випікання.

Деталь виготовлена зі сталі з подальшою механічною обробкою з дотриманням високих вимог до геометричної точності. Має:

- посадкове глухе отвір Ø25H8, що гарантує щільне з'єднання з валом приводу;
- шпонкове з'єднання 8h9, яке виключає провертання зірочки під навантаженням;
- різьбовий отвір М8–7Н для фіксації притискним гвинтом;
- зовнішній діаметр Ø60 мм, що відповідає стандарту для 10-зубих зірочок під ланцюг типу 10Н (розмір ланцюгової передачі);

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- фаски $2 \times 45^\circ$ і $16 \times 45^\circ$ на відповідальних краях для зменшення напружень і полегшення складання.

Зірочка підлягає періодичному огляду та заміні в разі зношування зубців або втрати точності отворів. Являється деталлю з підвищеною відповідальністю, оскільки її знос напругу впливає на рівномірність переміщення вагонетки та рівномірність випікання продукції.

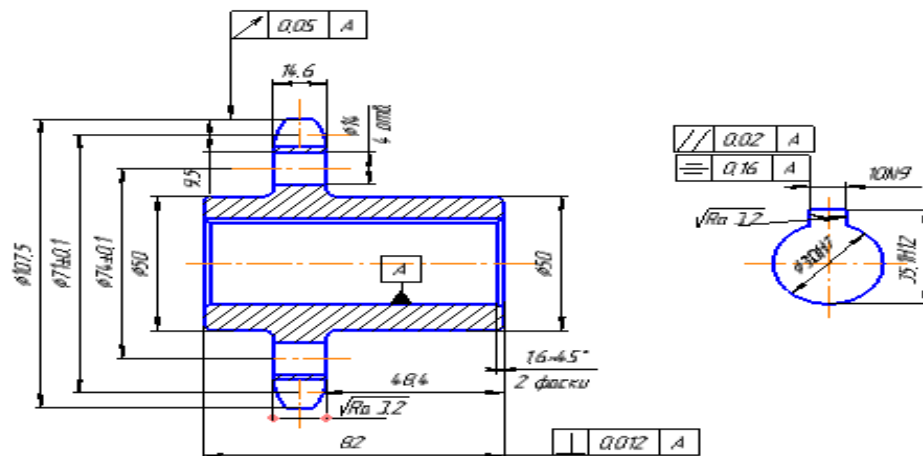


Рис. 3.1. Зірочка приводу

Нерівномірне обертання зірочки або збільшення люфтів у ланцюговій передачі може призвести до ривків або затримок у русі транспортера, що, в свою чергу, викликає перепікання одних ділянок і недопікання інших, знижуючи якість кінцевої продукції. Тому до зірочки пред'являються високі вимоги щодо точності виготовлення, твердості поверхні зубців, а також надійної фіксації на валу для запобігання зміщення або прокручування.

3.2.1. Розробка технологічного маршруту виготовлення зірочки

Розрахунок припусків

Найточніший розмір $\phi 107,5 \pm 0,09$. Мінімальний припуск на точіння $2 Z_{1min}$

$$= 2 (R_{z1} + D_1 + \sqrt{(T_{np1}^2 + \epsilon_{y2})})$$

де R_{z1}, D_1, T_{np1} – висота мікронерівності, дефектного шару та просторова похибка чорнового точіння; ϵ_{y2} – похибка установлення при точінні.

$R_{z1} = 50$ мкм, $D_1 = 50$ мкм, $T_{np1} = 100$ мкм – (табл.8).

$\epsilon_{y2} = 100$ мкм

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\text{Тоді } 2 Z_{I\min} = 2 (50 + 50 + \sqrt{(900^2 + 100^2)}) = 2011 \text{ мкм}$$

$$2 Z_{2\max} = 2 Z_{I\min} + T_1 - T_2$$

де T_1 – допуск точінні, T_2 – допуск точінні

$$T_1 = IT_{13} = 390 \text{ мкм};$$

$$T_2 = IT_{11} = 160 \text{ мкм};$$

$$2 Z_{2\max} = 2011 + 390 - 160 = 2241$$

$$2 Z_{2\text{nom}} = 2126 \text{ мкм}$$

$$\text{Чорнове точіння: } 2 Z_{I\min} = 2 (Rz_0 + D_0 + \sqrt{(T_{\text{пр}0}^2 + \epsilon y_1^2)}),$$

де Rz_0 , D_0 , $T_{\text{пр}0}$ – висота мік. нерівності, глибина дефшару та просторова похибка.

Заготовок маси від 2,5 до 4 кг (табл.6) $Rz_0 = 160 \text{ мкм}$, $D_0 = 200 \text{ мкм}$, $T_{\text{пр}0} = 400 \text{ мкм}$ (табл.7)

$\epsilon y_1 = 100 \text{ мкм}$ – похибка установлення при чорновому точінні.

$$2 Z_{I\min} = 2 (160 + 200 + \sqrt{(400^2 + 100^2)}) = 1544 \text{ мкм}$$

Загальний припуск

$$2 Z_{\text{сум}} = \sum 2 Z_{i\text{nom}} = 2126 + 1544 = 3670 \text{ мкм}$$

Приймаємо $Z = 4 \text{ мкм}$.

Техмаршрут виготовлення зірочки

Номер переходу	Назва переходу	обладнання, пристрої, інструменти, контрольний
10 10.1	Заготівельна, У33 Відрізати з прокату (заготовку) $L = 223 \text{ мм}$ $d = 110 \text{ мм}$	Відрізний верстат, -Лещата 3-х кулачковий
20 20.1	Відштампувати заготовку, із припуском	Поковка спецформи
30. 30,1	Токарна У33 Точ. $\phi 107,5$ чорно, $L = 18 \text{ мм}$	верстат 16К20 3-х патрон прохідний правий різець $V \cdot H \cdot L = 16 \cdot 25 \cdot 140 \text{ мм}$, $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\phi = 45^\circ$, T_1
30,2	Торцювання $\phi 107,5$	Штангель ШЦ1
30,3	Торцювання $\phi 65$	прохідний правий упорний $V \cdot H \cdot L = 16 \cdot 25 \cdot 140 \text{ мм}$, $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\phi = 90^\circ$, T_1
30,4	Точіння $\phi 60$ на чорно $L = 48.7 \text{ мм}$	Штангель ШЦ1
30,5	Точіння фаску $1,6 \cdot 45$ на $\phi 60$	прохідний правий $V \cdot H \cdot L = 16 \cdot 25 \cdot 140 \text{ мм}$, $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\phi = 45^\circ$, T_1

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

40.	ТокарнаУЗЗ	Токарний верстат 16К20
40,1	Торцювання $\phi 55$	3-х патрон кулачковий прохідний, $B \cdot H \cdot L = 16 \cdot 25 \cdot 140 \text{ мм}$, $\alpha = 8^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, T15K6
40,2	Торцювати $\phi 107,5$	Штангельциркуль ШЦ1 Різець прохідний упорний правий $B \cdot H \cdot L = 16 \cdot 25 \cdot 140 \text{ мм}$, $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\varphi = 90^\circ$, T1
40,3	Точіння $\phi 50$ начорно $L = 18.7 \text{ мм}$	Штангель ШЦ1 Різець прохідний упорний правий $B \cdot H \cdot L = 16 \cdot 25 \cdot 140 \text{ мм}$, $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\varphi = 90^\circ$, T1
40,4	отвір під $\phi 34.5$	Штангель ШЦ1 Свердло P18, $\phi 34,5 \text{ мм}$
40,5	Розвернути отвір під $\phi 35 \text{ Н9}$	Цанга, Штангель ШЦ1 Розвиртка $\phi 35 \text{ Н9}$, Цанга, Штангель ШЦ1
50	Протяжка УЗЗ	Вертикально – протяжний верстат 7Б710 Лещата
50,1	Протядка шпоночного пазу 10N9	Протяжка 10N9
60	Зубофрезерна УЗЗ	Зубофрезерний 5К324А Спец. пристрій
60,1	Нарізка зуба зірочки $\phi 107,5$	Дискова фреза
70	Свердління УЗЗ	свердлильний верстат 2Н118 Кондуктор
70,1	Свердління отвору під М8	Свердло $\phi 6,7$
70,2	Нарізання різби М8 – 7Н	Метчик М8 – 7Н

3.2.2. Розробка режимів різання для токарних операцій виготовлення зірочки

Зробимо розрахунок режимів різання для токарних операцій, з урахуванням поданих переходів, прийнятих подач (S) та припущень щодо глибини різання (t) і швидкості різання (V). Для повного режиму потрібно розрахувати:

1. Швидкість різання V (м/хв)
2. Частоту обертання шпинделя n (об/хв)
3. Подачу S (мм/об)
4. Глибину різання t (мм)
5. Оперативний час $T_{\text{оп}} T_{\text{оп}} = \{ \text{оп} \} T_{\text{оп}}$

Основні формули:

1. Частота обертання:

$$n = 1000 \cdot V / \pi \cdot D$$

2. Оперативний час (точіння):

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{\text{оп}} = L \cdot i / S \cdot n$$

де:

- L – довжина обробки (мм)
- i – кількість проходів (як правило, 1 при чорновому точінні)
- S – подача (мм/об)
- n – об/хв

Вхідні дані для обчислень (припущення):

- Матеріал – сталь $\sigma \leq 800$ МПа
- Використаємо рекомендовану швидкість різання $V = 90$ м/хв для чорнкової обробки сталі звичайними твердосплавними різцями.
- Всі обробки начорно – глибина різання $t=2-3$ мм

Перехід 30.1 – Точити $\varnothing 107.5$ начорно, $l=18l = 18l=18$ мм

Чорнове точіння зовнішньої поверхні великого діаметра. Глибина різання до 5 мм. Подача вибрана – **0,8 мм/об** для сталі.

$D=107.5$ мм, $L=18$ мм, $S=0.8$ мм/об

Перехід 30.2 – Торцювати $\varnothing 107.5$ начорно Чорнове торцювання торця великого діаметра. Враховується сталь і глибина різання до 5 мм. Подача – 0,6 мм/об.

$D=107.5$, $S=0.6$, $V=90$

Перехід 30.3 – Торцювати $\varnothing 65$

орцювання поверхні малого діаметра. Глибина до 3 мм. Подача – 0,6 мм/об.

$D=65$, $S=0.6$, $V=90$

Перехід 30.4 – Точити $\varnothing 60$, $l=48.7l = 48.7l=48.7$ мм

- Чорнове точіння середнього діаметра. Глибина різання до 3 мм. Подача – 0,6 мм/об. $D=60$, $S=0.6$, $V=90$

Перехід 30.5 – Точити фаску

- Короткотривала операція для формування фаски. Оперативний час визначається довідково (без розрахунку подачі). Час на зняття фаски зазвичай береться 0.2–0.3 хвилини вручну, або розраховується залежно від довжини фаски та подачі. Візьмемо 0.25 хв (15 с)

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перехід 40.1 — Підрізати торець $D=55$

Підрізання торця на малому діаметрі. Глибина різання до 3 мм. Подача – 0,6 мм/об. $D=55$, $S=0.6$, $V=90$

Перехід 40.2 — Торцювати $D=107.5$, $l=26.25$ $l=26.25$ мм

- Обробка торця великого діаметра на задану довжину. Глибина різання до 3 мм. Подача – 0,6 мм/об. $D=107.5$, $S=0.6$, $V=90$

Перехід 40.3 — Точити $D=50$ начорно

- Точіння зовнішньої поверхні малого діаметра. Глибина до 3 мм. Подача – 0,6 мм/об. $D=50$, $S=0.6$, $V=90$

Перехід 40.4 — Розсвердлити $D=34.5$

Попереднє свердління під розмір 35Н9. Припуск на обробку – половина діаметра свердла. Подача вибирається згідно з матеріалом (сталь ≤ 800 МПа). Приблизно: свердління $\varnothing 34.5$ отвору глибиною 26 мм

- Подача $S=0.2$ мм/об, $V=30$ м/хв,

Перехід 40.5 — Розвернути отвір $D=35$

Чиста обробка отвору після свердління для досягнення точності Н9. Подача – 0,9–1,3 мм/об. $S=0.9$ мм/об, $V=20$ м/хв,

Підсумок операцій на токарному станку зводимо у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. – Операції на токарному станку

№	Перехід	D (мм)	L (мм)	S (мм/об)	n (об/хв)	Топ (хв)
30.1	Точити $\varnothing 107.5$	107.5	18	0.8	266	0.085
30.2	Торцювати $\varnothing 107.5$	107.5	3	0.6	266	0.019
30.3	Торцювати $\varnothing 65$	65	3	0.6	440	0.011
30.4	Точити $\varnothing 60$	60	48.7	0.6	477	0.17
30.5	Фаска	—	—	—	—	0.25
40.1	Підрізати торець $\varnothing 55$	55	3	0.6	520	0.01
40.2	Торцювати $\varnothing 107.5$	107.5	26.25	0.6	266	0.165

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

№	Перехід	D (мм)	L (мм)	S (мм/об)	n (об/хв)	Топ (хв)
40.3	Точити Ø50	50	20	0.6	573	0.058
40.4	Розсвердлити Ø34.5	34.5	26	0.2	277	0.47
40.5	Розвернути Ø35	35	26	0.9	182	0.158

Нижче подано зведену таблицю 3.3 розрахунків режимів різання для токарних операцій: швидкість різання (V_c), оберти (n) та основний оперативний час (T_o).

Вихідні припущення:

- Матеріал: сталь $\sigma \leq 800$ МПа (типова конструкційна)
- Різець: непокритий твердосплавний
- Для чорнового точіння: $V_c \approx 90$ м/хв (можна адаптувати при потребі)
- Для торцювання – аналогічно
- Для розсвердлювання – $V_c \approx 25$ м/хв;
- Для розгортання – $V_c \approx 15$ м/хв;
- Формула для обертів:

$$n = 1000 \cdot V_c / \pi \cdot D.$$
- Формула для основного часу:

$$T_o = L / S \cdot n$$

Таблиц 3.3. – Розрахунки режимів різання

№ Операція	Ø,	L,	S,	V_c ,	n,	T_o ,
	мм	мм	мм/об	м/хв	об/хв	хв
1 Точити Ø107.5 (30.1)	107.5	18	0.8	90	266	0.084
2 Торцювати Ø107.5 (30.2)	107.5	5	0.6	90	266	0.031
3 Торцювати Ø65 (30.3)	65	5	0.6	90	440	0.019
4 Точити Ø60 (30.4)	60	48.7	0.6	90	477	0.170
5 Фаска (30.5)	—	—	—	—	—	—
6 Підрізати торець Ø55 (40.1)	55	5	0.6	90	520	0.016
7 Торцювати Ø107.5, 1 = 26.25	107.5	26.25	0.6	90	266	0.165

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

№ Операція	Ø, мм	L, мм	S, мм/об	Vc, м/хв	n, об/хв	To, хв
(40.2)						
8 Точити Ø50 (40.3)	50	20	0.6	90	573	0.058
9 Розсвердлити під Ø34.5 (40.4)	20	35	0.2*	25	398	0.44
10 Розгортати Ø35 Н9 (40.5)	35	35	0.15*	15	136	1.71

3.2.2.1. Розрахунок режиму фрезерування

Зробимо розрахунок режиму фрезерування для перехід 60.1 – нарізання зубів модульною фрезою.

Вхідні параметри:

- Кількість зубів шестерні (z) = 36
- Подача на зуб (S_z) = 0,05 мм/зуб
- Тип фрези: дискова, з пластинками з швидкорізальної сталі (HSS)
- Оброблюваний матеріал: сталь, $\sigma \approx 600\text{--}800$ МПа
- Кількість зубців фрези (Z_f): приймемо 10 (стандарт для модульної фрези)
- Модуль фрези m : припустимо, $m = 2$ (можна уточнити) → діаметр фрези $D_f \approx 50$ мм (або надам точніше, якщо відомо)

1. Швидкість різання (V_c):

Для HSS фрез, сталі з $\sigma \approx 800$ МПа, подача $S_z \leq 0,1$ мм/зуб:

$V_c = 25$ м/хв (довідкове значення з таблиці 28)

2. Оберти фрези (n):

$n = 1000 \cdot V_c / \pi \cdot D_f = 1000 \cdot 25 / 3,14 \cdot 50 \approx 159$ об/хв

n — частота обертання фрези, об/хв

V_c — швидкість різання, м/хв

D_f — діаметр фрези, мм

$\pi \approx 3,14$

1000 — коефіцієнт для переведення міліметрів у метри

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Подача на хвилину (S):

$$S = S_z \cdot Z_f \cdot n = 0.05 \cdot 10 \cdot 159 \approx 79.5 \text{ мм/хв}$$

S — подача на хвилину, мм/хв

S_z — подача на один зуб, мм/зуб

Z_f — кількість зубів фрези (не шестерні!), шт

n — частота обертання фрези, об/хв

4. Основний час обробки (T_o):

Припустимо, що довжина обробки $L = z \cdot m = 36 \cdot 2 = 72$ мм (повний прохід по всій довжині зуба)

$$T_o = L/S = 72/79.5 \approx 0.91 \text{ хв}$$

L — довжина обробки (наприклад, довжина зуба на шестерні), мм

S — подача на хвилину, мм/хв

Дані розрахунки зводимо в таблицю 3.4.

Таблицю 3.4. – Підсумкова таблиця

Показник	Значення
Кількість зубів (z)	36
Модуль фрези (m)	2 (припущення)
Подача на зуб (S_z)	0,05 мм/зуб
Діаметр фрези (D_f)	50 мм (припущення)
Швидкість різання (V_c)	25 м/хв
Оберти фрези (n)	159 об/хв
Подача (S)	79,5 мм/хв
Основний час (T_o)	0,91 хв

3.2.2.2. Розрахунок режиму свердління

Зробимо повний розрахунок режиму свердління для переходу 70.1 — свердління отвору Ø8 мм свердлом Ø6,7 мм на сталі з межею міцності $\sigma_v > 800$

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

МПа. Верстат: 2Н118, свердло з швидкорізальної сталі (Р6М5), нормальна заточка.

- $d_{св}$ – діаметр свердла = 6,7 мм
- t – глибина обробки = $6,7 / 2 = 3,35$ мм
- S – подача на оберт = 0,1 мм/об (середнє значення з 0,09...0,11)
- Матеріал – сталь $\sigma_v > 800$ МПа
- Матеріал свердла – Р6М5
- Тип заточки – нормальна
- Верстат – 2Н118

1. Швидкість різання V_c

Для свердла з HSS (Р6М5) при $\varnothing = 6...10$ мм і сталі $\sigma_v > 800$ МПа

Рекомендоване $V_c = 12$ м/хв

Частота обертання шпинделя (n):

$$n = 1000 \cdot V_c / \pi \cdot d = 1000 \cdot 123.14 \cdot 6.7 \approx 570 \text{ об/хв}$$

Подача на хвилину (S):

$$S_m = S \cdot n = 0.1 \cdot 570 = 57 \text{ мм/хв}$$

Основний оперативний час T_o :

$$T_o = L / S_m = 3.3557 \approx 0.0588 \text{ хв} \approx 3.5 \text{ сек}$$

Підсумкова таблиця:

Показник	Значення
Діаметр свердла d	6,7 мм
Глибина свердління L	3,35 мм
Швидкість різання V_c	12 м/хв
Частота обертання n	~570 об/хв
Подача на оберт S	0,1 мм/об
Подача на хвилину S_m	57 мм/хв
Час свердління T_o	~3,5 сек (0,059 хв)

Розглянемо розрахунок зусиль затискання (Q) для оправки з торцевим затисканням — щоб заготовка не проверталась під дією сили різання P_z .

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умова нерухомості (баланс моментів): $M_1 \geq M_2$

де:

- M_1 – момент сили тертя (що утримує заготовку),
- M_2 – момент сили різання (що намагається повернути заготовку).

2. Момент утримання (від сили тертя):

$$M_1 = Q \cdot f \cdot \frac{D + d}{4}$$

3. Момент від сили різання:

$$M_2 = P_z \cdot \frac{D_1}{2}$$

Загальна умова:

$$Q \cdot f \cdot \frac{D + d}{4} \geq P_z \cdot \frac{D_1}{2}$$

5. Звідси — розв'язок щодо Q:

Розшифровка символів:

Позначення Значення

Q	Сила затискання (Н)
f	Коефіцієнт тертя (безрозмірний)
D	Зовнішній діаметр контактної поверхні (мм)
d	Внутрішній діаметр контактної поверхні (мм)
P _z	Сила різання (Н)
D ₁	Діаметр прикладання сили різання (мм)

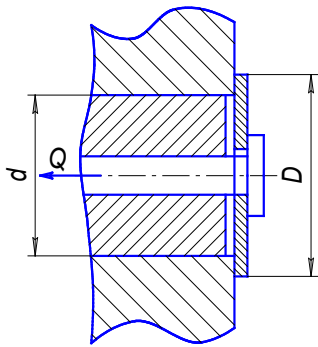
Підставимо дані:

- $P_z = 119.14 \text{ Н}$ $P_{z_1} = 119.14 \text{ Н}$
- $D_1 = 60 \text{ мм}$ $D_{1_1} = 60 \text{ мм}$
- $f = 0.12$
- $D = 50 \text{ мм}$
- $d = 35 \text{ мм}$

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мінімальне зусилля затискання Q повинно бути не менше ніж 1401.65 Н — щоб уникнути повертання заготовки під дією сили різання.

Похибка базування у даному випадку використовується різьба М8 – 7Н, а клас



точності різі становить $\Delta 7H$. Поле допуску для різі складає $TD=0.085$ мм.

Базування зірочки здійснюється за допомогою оправки із посадкою Н9/г7. Граничні відхилення для цієї посадки наступні:

- Максимальний зазор для нашого випадку

$\Delta \Delta$ визначається як:

$$\Delta = TD_{\max} + TD_{\min} = 0.062 + 0.025 = 0.087 \text{ мм}$$

- Похибка базування, або ексцентриситет ε , обчислюється за формулою:

$$\varepsilon = \Delta / 2 = 0.087 / 2 = 0.0435 \text{ мм}$$

Це значення похибки базування повинно відповідати вимогам точності виготовлення отвору. Перевіримо, чи задовольняє це умову:

$$TD > \varepsilon \text{ (де } TD = 0.085 \text{ мм і } \varepsilon = 0.0435 \text{ мм)}$$

Отже, $0.085 > 0.0435$, що підтверджує, що вибране базування задовольняє умови точності виготовлення отвору.

3.3. Розрахунок похибки базування

Посадка отвору $\varnothing 14 \Delta 7H$ – Клас точності різі: 0,075 мм– Поле допуску для різі 7Н: $TD = 0,085$ мм

Базування зірочки здійснюється по оправці з посадкою Н7/г7.

Граничні відхилення для отвору $\varnothing 30$:

- Отвір $\varnothing 30$ Н7:
 - Поле допуску $TD = 0,062$ мм
 - Граничні відхилення: $0 \dots -0,009$ мм
- Вал $\varnothing 30$ г7:
 - Поле допуску $Td = 0,025$ мм

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Граничні відхилення: $-0,034 \dots -0,034$ мм

Максимальний можливий зазор при посадці:

$$\Delta = TD_{\max} + Td_{\min} = 0,062 + 0,025 = 0,087 \text{ мм}$$



Рис. 3.2. Схема базування

Похибка базування (ексцентриситет)

$$\varepsilon = \Delta/2 = 0,087/2 = 0,0435 \text{ мм}$$

Перевірка умови точності

$$TD > \varepsilon \Rightarrow 0,085 > 0,0435.$$

Вибране базування задовольняє умову точності виготовлення отвору.

Після аналізу умов експлуатації зірочки з точки зору її надійності та зносостійкості можна зробити висновок, що основними факторами, які впливають на роботу деталі, є локальні навантаження під час передачі крутного моменту.

Матеріал, з якого виготовляється шків — сталь 45 — має низку переваг, що забезпечують стабільну й довготривалу експлуатацію зірочки. Зокрема, сталь 45 характеризується:

- високою границею текучості відносно до межі міцності на розтяг;
- здатністю поглинати вібраційні навантаження;
- стабільністю механічних властивостей при нормальних температурних коливаннях.

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ці характеристики дозволяють зменшити ризик передчасного зносу та забезпечити надійність роботи у тривалому режимі експлуатації.

Оскільки зірочка не контактує з агресивними середовищами, а також не стикається безпосередньо з харчовими продуктами чи сировиною, немає необхідності у використанні матеріалів з підвищеною корозостійкістю, таких як нержавіючі сталі. З економічної точки зору доцільно використовувати доступні та ефективні за вартісними характеристиками конструкційні сталі.

Беручи до уваги всі наведені фактори — механічні навантаження, умови роботи, вартість матеріалу та його фізико-механічні властивості — можна стверджувати, що сталь 45 є оптимальним вибором для виготовлення зірочки.

У процесі розроблення технологічного маршруту було обґрунтовано методи оброблення, вибрано способи кріплення та базування заготовки, які забезпечують її надійне закріплення та необхідну точність виготовлення.

Базування здійснювалося на необробленій поверхні з урахуванням наступних вимог:

- обрана поверхня має просту геометричну форму та достатні розміри для стійкого положення заготовки під час оброблення;
- конструкція кріплення виключає можливість деформації заготовки в процесі фіксації;
- в якості чорнових баз використано поверхні, які не підлягають подальшій обробці, що відповідає принципу технологічної доцільності.

Таким чином, прийняті технічні рішення дозволяють забезпечити як точність виготовлення деталі, так і ефективність її оброблення на всіх етапах технологічного процесу.

4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

Шкідливі та небезпечні фактори при експлуатації ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400М

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Залежно від призначення й умов експлуатації в хлібопекарських печах повинен бути передбачений захист обслуговуючого персоналу від впливу наступних небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

- підвищеної температури повітря робочої зони;
- високі вологість і швидкість руху повітря;
- підвищеного змісту шкідливих речовин, зокрема клітинами мікроорганізмів, у повітрі робочої зони;
- небезпечних значень електричного току й високих потенціалів статичної електрики;
- підвищеного рівні шуму, вібрації, ультразвуку і різних випромінювань – теплових, електромагнітних та ін.;
- зіткнення персоналу з гарячими частинами апаратів;
- травмування при попаданні рук на рухомі частини печі;
- враження електричним струмом;
- опіки при доторканні до нагрівачів і нагрітих деталей;

Найбільш раціональними методами боротьби з шкідливими та небезпечними факторами та для підтримки робітників на високому професійному рівні необхідно:

- Своєчасно забезпечувати працівників необхідною літературою з питань охорони праці.
- Постійно ознайомлювати працівників з новими законодавчими документами з питань охорони праці.

В випадку перевodu робочого на іншу роботу, а також поручення йому роботи на новому обладнанні, пристосібленнях, інструменті він повинен бути заново проінструктований про безпечні способи роботи на них. Про це Для запобігання виникнення вібрації встановити амортизатори;

- Встановити систему механічної вентиляції, з метою очищення повітря;
- Забезпечити приміщення первинними засобами пожежогасіння;
- Заземлення всіх металевих конструкцій електричного обладнання;
- Забезпечити працівників більш якісними засобами особистої гігієни;

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

-На видному місці розмістити план евакуації з виробничого персоналу в разі виникнення надзвичайних ситуацій.

Техніка безпеки при обслуговуванні хлібопекарської печі - персонал по обслуговуванню хлібопекарської печі повинен бути ознайомлений з роботою хлібопекарської печі, навчений роботі на ній та проінструктований за правилами безпечної роботи з піччю;

- до обслуговування, ремонту та налагодженню повинні допускатися робітники, які мають кваліфікацію та право для проведення таких робіт;

- забороняється користуватися незаземленою хлібопекарською піччю;

- не допускається залишати підключену до мережі живлення піч без нагляду;

- при завантаженні та розвантаженні печі та переміщенні стелажних візків необхідно використовувати рукавиці з теплоізоляцією;

- перед прибиранням печі, зупинкою на ремонт та оглядом, електроживлення повинно бути відключено;

- перше початкове включення печі під напругою повинно проводитись після детальної перевірки всіх електричних підключень.

Надзвичайні ситуації. Під час експлуатації ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400М можливе виникнення надзвичайних ситуацій, які можуть призвести до аварій, травмування персоналу або матеріальних збитків. Найпоширеніші з них:

- Пожежа, викликана коротким замиканням, перегрівом нагрівальних елементів, витоком олії або борошняного пилу;
- Ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції або необережному контакті з відкритими струмопровідними частинами;
- Викид пари або перегрітого повітря, що може призвести до опіків;
- Поломка рухомих частин, що може спричинити механічні травми;
- Витік газу (у випадку, якщо піч працює на газу), який може призвести до вибуху;

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Зупинка подачі електроенергії або відмова автоматики, що може спричинити збій у роботі всього технологічного процесу.

Основні дії персоналу при виникненні надзвичайних ситуацій:

При пожежі: негайно знеструмити піч і суміжне обладнання;

- Повідомити керівництво та пожежну службу;
- Розпочати гасіння вогню первинними засобами пожежогасіння (вогнегасниками, ковдрами тощо);
- Провести евакуацію персоналу згідно з планом евакуації.

2. При ураженні електричним струмом:

- Вимкнути живлення;
- Надати першу медичну допомогу потерпілому;
- Викликати медичних працівників.

3. При витоку газу або підозрі на нього:

- Негайно перекрити подачу газу;
- Провітрити приміщення;
- Уникати використання відкритого вогню та електрообладнання;
- Повідомити відповідні служби.

4. При опіках від гарячих поверхонь або пари:

- Негайно припинити контакт із джерелом опіку;
- Охолодити уражену ділянку водою;
- Надати долікарську допомогу;
- За потреби викликати швидку допомогу.

5. При механічних травмах:

- Зупинити обладнання;
- Надати першу допомогу;
- Повідомити про випадок відповідальну особу.

Профілактичні заходи для запобігання надзвичайним ситуаціям:

- Проведення регулярного технічного огляду і профілактичного обслуговування обладнання;

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Перевірка справності пожежогасників, сигналізації, вентиляції та аварійного освітлення;
- Постійне навчання персоналу діям при надзвичайних ситуаціях;
- Проведення навчальних евакуаційних тренувань;
- Своєчасне оновлення планів евакуації та схем розміщення пожежної техніки.

Загальні висновки

У ході виконання дипломної роботи було досліджено технічний стан і особливості обслуговування ротаційної конвективної хлібопекарської печі КЕП-400, яка є важливою ланкою у виробництві хлібобулочних виробів. Надійність її функціонування значною мірою залежить від своєчасного і якісного ремонту, тому в межах проєкту було запропоновано низку заходів для вдосконалення ремонтної та сервісної систем.

Основними завданнями, що були вирішені в роботі, стали: обґрунтування методики ремонту зірочки приводного механізму; розробка раціонального циклу технічного обслуговування і профілактичних ремонтів; впровадження організаційних рішень щодо ефективного проведення технічного обслуговування; а також оцінка ризиків і впливу виробничих факторів на умови праці персоналу.

У процесі аналізу конструкції зірочки було враховано умови її експлуатації, види навантажень і специфіку роботи в середовищі підвищеної температури. Встановлено, що найбільший вплив на знос та довговічність деталі мають локальні механічні навантаження, тертя та вібраційні впливи.

З метою підвищення ресурсу деталі запропоновано використання сталі 45, яка поєднує високу міцність, здатність протистояти втомним навантаженням і термічну стабільність при нормальних робочих температурах. Враховуючи, що зірочка не зазнає дії агресивного середовища або контакту з харчовою продукцією, використання дорожчих корозійностійких сплавів є недоцільним, що дозволяє оптимізувати витрати.

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під час розробки технології виготовлення деталі було запропоновано способи надійного базування та закріплення заготовки, що забезпечують точність і стабільність у процесі обробки. Базування здійснювалося по необроблених поверхнях, що не впливають на точність готової деталі, що мінімізує ймовірність її деформації.

Таким чином, у роботі запропоновано технічно обґрунтоване рішення для відновлення зірочки приводу печі КЕП-400, яке поєднує економічну доцільність з високою якістю та надійністю виконання.

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік посилань

1. 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.

2. Мельник С. В. *Технічне обслуговування та ремонт хлібопекарського обладнання.* — Харків: ХДУХТ, 2018.

3. Коваленко І. П. Механіка та експлуатація харчових машин. — Київ: НУХТ, 2017.

4. STADNYK Igor, PIDDUBNYI Volodymyr, CHAHADA Andrii, FEDORIV Viktor, HUSHTAN Tetiana, KRAIEVSKA Svitlana, KAHANETS-HAVRYLKO Lesia, OKIPNYI Ihor ENERGY SAVING THERMAL SYSTEMS ON THE MOBILE PLATFORM OF THE MINI-BAKERY. Contents of Journal of Mechanical Engineering - Strojnicky časopis, 2023, Volume 73, No. 1: pp. 169 - 186.

5. Федоренко С.О., Голуб О.Ю. "Технічний аналіз та вибір матеріалів для деталей машин в умовах агресивних середовищ" — Книга,

6. Патент UA 103725 U, 2016. Спосіб охолодження маслоутворювача з гвинтовими каналами для теплоносія / Винахідники: І. І. Чабан, М. М. Горбатюк.

7. Патент UA 130944 U, 2019. Маслоутворювач із функціонально розділеними зонами охолодження / І. В. Паламарчук, О. С. Клименко.

8. Інтегровані технології обробки матеріалів: підручник / Е.С. Геворкян, Л.А. Тимофєєва, В.П. Нерубацький, О.М. Мельник. Харків: УкрДУЗТ, 2016. – 238 с.,

9. Грабченко А.І., Верезуб М.В., Внуков Ю.М., Мельничук П.П., Виговський Г.М. Робочі процеси високих технологій у машинобудуванні: підручник для студентів Вищих Навчальних Закладів. - Житомир: ЖДТУ,

		2008. - 451 с.			ДР 067.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Перелік посилань		
Розроб.		Стьопін О.					
Перевір.		Стадник І.Я.					
Консульт.							
Н. контр.		Ворощук В.Я.					
Затверд.		Вітенько Т.М.					
					Літ.	Арк.	Аркуші
					ТНТУ, каф ОХ гр. МО-41		

10. Головка О. І., Беспалова Л. А. Технологічне обладнання для виробництва маргарину та спредів. — К.: Центр навчальної літератури, 2018. — 280 с.

6. Гаврилко П., Піддубний В., Стадник І., Гуштан Т., Краєвська С., Каганець-Гаврилко Л. Визначення розрахункових навантажень виробничих механізмів і машин та технологічні розрахунки виробництва борошняних виробів /навч.методичний посібник:/. Ужгород: РІК-У, 2023. 468 с..

7. Патент № UA 7654321 – Конструкція диспергатора з вали, що має спеціальні вкладиші для зменшення тертя та збільшення терміну служби обладнання при високих навантаженнях.

8. Andriy Derkach, Igor Stadnyk, Volodymyr Piddubnyi. Andrii Chahaida., Iurii Radchenko (2024). Achievements and problems in studying the mechanism of thermal potential transfer regulation between liquids/ Machinery & Energetics. Vol. 15, No. 1 Vol. 15, No. 1. 2024 104-117p

9. I. Stadnyk, V. Piddubnyi, O. Kolomiets, A.Chahaida, O.Kravets et. al. (2025). Determining the influence of drum mixer parameters on the change in dough components concentration at the initial mixing stage. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 2 No. 11(134), 6–15.

10. Improvement of environmental sustainability of milk processing enterprises / Oleh Kravets, Mariia Shynkaryk, Viktor Kravets // Scientific Journal of TNTU. — Tern.: TNTU, 2024. — Vol 114. — No 2. — P. 111–118.

11. Piddubnyi, V., Stadnyk, I., Kravets, O., Chahaida, A., Hushtan, T., Kahanets-Havrylko, L., Karpovych, I., Tupitska, O., Kostiuk, T., & Rozbytska, T. (2023). Characteristics of mucous-forming polysaccharides extracted from flax seeds. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences, 2023. Vol. 17, P. 677–693.

12. Лобур Д.Ю. Шляхи зниження енергоємності процесів сушіння дисперсних матеріалів / Д.Ю. Лобур, О.І. Кравець // зб. тез доп. XIII Міжн. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сучасних технологій», 11-12 грудня 2024 р. Тернопіль : ТНТУ, 2024. С. 335-336.

13. Шинкарик М.М. Фільтраційно-компресійне сушіння технічного казеїну / М.М. Шинкарик, О.І. Кравець // Збірник тез Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» – Тернопіль: – 2018. – 295 с.

14. Шинкарик, М. М., & Кравець, О. І. (2024). Основи теплотехніки: навч. посібник. Тернопіль: ФОП Паляниця ВА.

15. Кравець О.І. Особливості фільтраційно-компресійного сушіння харчових мас / О.І. Кравець, М.М. Шинкарик // матеріали Міжн. наук.-техн. конф. «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», 14-15 трав. 2020 р. Тернопіль : ТНТУ, 2020. С. 223.

16. Shynkaryk, M., Kravets, O., & Venhrynovych, S. (2021). Features of pressing the juice from viburnum berries. Вісник Тернопільського національного технічного університету, 101(1), 94-101.

17. Кравець, О. І., Шинкарик, М. М., Кравець, В. І., & Стадницький, М. А. (2024). Дослідження компресійно-фільтраційних властивостей казеїну-сирцю. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, (4), 227-236.

18. Кравчук В.І., Шевченко О.В. "Технологія і техніка виготовлення металевих виробів для харчової промисловості" — Підручник

19. В.К Супрунчук. Довідни по ремонту обладнання харчових виробництв [Текст] / Н.И. Житник, В.А Точковой та ін. - К.: техніка, 1984. - 224с.

20. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки: навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.

21. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І.,

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с.

22. 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

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

					ДР 067.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		