

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня
бакалавр

(назва освітнього ступеня)
на тему: Розоблення конструкції та заходів з технічного обслуговування
дозатора борошна тістомісильної машини неперервної дії марки А2-ХТТ

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

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

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

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра Обладнання харчових технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Ворощук В.Я
(підпис) (прізвище та ініціали)
« 27 » 02 2026 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 Євгену МИХАЙЛОВУ
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розоблення конструкції та заходів з технічного обслуговування дозатора борошна тістомісильної машини неперервної дії марки А2-ХТТ

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

Затверджені наказом ректора від « 02 » 02 2026 р. № 4/9-93

2. Термін подання студентом завершеної роботи « 18 » червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити) Анотація. Вступ. 1. Загально-технічна частина 1.1. Аналіз вихідної інформації для розробки дипломної роботи. Аналіз стану дозування сипучих компонентів. Структурний аналізу технічного об'єкта Конструктивні особливості та технологічні параметри, що важливі для розрахункової частини. Патентний аналіз та обґрунтування напрямків удосконалення Чисельні методи моделювання та розрахунку процесу дозування. Мета і задачі обґрунтування розробки дозатора. Опис конструкторської розробки та розрахунки. Техніко-економічне та соціальне обґрунтування дозатора А2-ХТТ.Етапи реалізації конструкторської розробки та розрахунків дозатора. Принцип регулювання робочого об'єму дозувальних камер. Обґрунтування вибору матеріалів та конструктивних елементів. Механізм регулювання та принцип дії. Розрахунок зусилля, необхідного для деформації гумових стінок. Розрахунок продуктивності тістомісильної машини та дозатора. Кінематична схема роботи дозатора і машини. Розрахунок привідного валу

Розрахунок запасу міцності валу. Вибір підшипників і розрахунок. Система мащення підшипникових вузлів. Технологічні процеси виготовлення, експлуатації та ремонту дозатора борошна. Основні технічні вимоги до ремонту привідного механізму дозатора машини А2-ХТ. Технічні вимоги до ремонту кулісно-храпового приводу. Технологічні основи ремонту та відновлення валу дозатора. Розробка технологічного процесу розбирання та складання приводу дозатора. Технологія складання та юстування. Організація монтажних, пусконаладжувальних робіт та технічної експлуатації. Організація експлуатації та системи планово-запобіжних ремонтів (ППР). Технологічне забезпечення ремонту та обґрунтування спеціального оснащення. Концепція інтеграції Smart-технологій у систему технічного обслуговування та ремонту дозатора. Архітектура інтелектуальної системи Smart Maintenance. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях. Закон України про охорону праці. Вентиляція та шум і вібрація в тістоприготувальному відділенні. Освітлення виробничих приміщень. Характер надзвичайних ситуацій, що вимагають екстреної зупинки виробництва

Загальний вигляд печі А1

Графік ППР печі А1

Технологічна карта вузла А1

Вузол вентилятора А1

Техмаш А1

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання « 27 » 02 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Анотація. Вступ. 1		
2	Загально-технічна частина 1.1. Аналіз вихідної інформації для.		
3	розробки дипломної роботи		
4	Аналіз стану дозування сипучих компонентів. Структурний аналізу технічного об'єкта.		
5	Аналіз патентних матеріалів та літературних джерел.		
6	Мета і задачі комплексної работ		
7	Конструктивні особливості та технологічні параметри, що важливі для розрахункової частини		
8	Принцип регулювання робочого об'єму дозувальних камер		
9	Проектування конструкції вузла дозування. Обґрунтування конструктивних рішень		
10	. Розрахунок зусилля, необхідного для деформації гумових стінок.		
11	Розрахунок продуктивності тістомісильної машини та дозатора		
12	Кінематична схема роботи дозатора і машини. Розрахунок запасу міцності валу.		
13	Технологічні процеси експлуатації та ремонту валу-		
14	Розрахунок привідного валу		
15	Технологія експлуатації, технічного обслуговування та ремонтних		
16	робіт валу. Вибір підшипників і розрахунок.		
17	Система планово-попереджувального ремонту (ППР).		
18	Технологічні маршрути виготовлення валу		
19	Основні технічні вимоги до ремонту привідного механізму дозатора машини А2-ХТТ		
20	Концепція інтеграції Smart-технологій у систему технічного		
21	обслуговування та ремонту дозатора.		
22	Освітлення виробничих приміщень. Характер надзвичайних		
23	ситуацій, що вимагають екстреної зупинки виробництва		
24	Розрахунок основних конструктивних параметрів барабана лебідки		
25	Розрахунок телескопічного домкрата Т-56Б		
26	Висновки		
27	Перелік посилань		
28	Специфікації		
29	Креслення А1		
30			

Студент

(підпис)

Євген МИХАЙЛОВ

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Ігор СТАДНИК

(прізвище та ініціали)

Анотація

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання розрахунок конструкції та організації технічного обслуговування дозатора борошна тістомісильної машини неперервної дії марки А2-ХТТ. Основною метою роботи є підвищення ефективності функціонування обладнання шляхом модернізації дозувального вузла та вдосконалення його експлуатаційних характеристик.

У процесі виконання роботи проведено аналіз конструкції існуючого дозатора безперервної дії, визначено його основні недоліки та запропоновано технічні рішення щодо їх усунення. Модернізація спрямована на підвищення надійності роботи обладнання, спрощення конструкції, зниження витрат на технічне обслуговування та покращення точності дозування борошна.

У роботі запропоновано зміну конструкції турнікетного механізму шляхом зменшення кількості секцій із семи до шести, а також впровадження нової системи регулювання об'єму дозування. Запропоновані конструктивні рішення забезпечують стабільнішу роботу дозатора, підвищення його експлуатаційної надійності та зручності обслуговування.

Abstract

This qualification thesis addresses the improvement of the design and maintenance measures of the flour dispenser for the continuous dough mixing machine A2-KHTT. The main objective of the work is to increase the operational efficiency of the equipment through modernization of the dosing unit and improvement of its performance characteristics.

During the research, the design of the existing continuous-action dispenser was analyzed, its main disadvantages were identified, and technical solutions for their elimination were proposed. The modernization is aimed at increasing operational reliability, simplifying the design, reducing maintenance costs, and improving the accuracy of flour dosing.

The thesis proposes modifications to the rotary mechanism by reducing the number of sections from seven to six, as well as implementing a new system for regulating the dosing volume. The proposed design solutions ensure more stable operation of the dispenser, improved reliability, and easier maintenance.

Зміст

1. Вихідна інформація для розробки дипломної роботи з розрахунку конструкції дозатора борошна тістомісильної машини неперервної дії марки А2-ХТТ
 - 1.1. Аналіз стану дозування сипучих компонентів
 - 1.1.1. Структурний аналіз технічного об'єкта
 - 1.1.2. Конструктивні особливості та технологічні параметри, що важливі для розрахункової частини
 - 1.2. Патентний аналіз та обґрунтування напрямків удосконалення
 - 1.2.1. Чисельні методи моделювання та розрахунку процесу дозування
 - 1.3. Мета і задачі обґрунтування розробки дозатора
- Розділ 2. Опис конструкторської розробки та розрахунки
 - 2.1. Техніко-економічне та соціальне обґрунтування дозатора А2-ХТТ
 - 2.2. Етапи реалізації конструкторської розробки та розрахунків дозатора
 - 2.2.1. Принцип регулювання робочого об'єму дозувальних камер
 - 2.2.2. Обґрунтування вибору матеріалів та конструктивних елементів
 - 2.3. Механізм регулювання та принцип дії
 - 2.3.1. Розрахунок зусилля, необхідного для деформації гумових стінок
 - 2.4. Розрахунок продуктивності тістомісильної машини та дозатора
 - 2.4.1. Кінематична схема роботи дозатора і машини
 - 2.4.2. Розрахунок привідного валу
 - 2.4.3. Розрахунок запасу міцності валу
 - 2.4.4. Вибір підшипників і розрахунок
 - 2.4.5. Система мащення підшипникових вузлів
3. Технологічні процеси виготовлення, експлуатації та ремонту дозатора борошна
 - 3.1. Основні технічні вимоги до ремонту привідного механізму дозатора машини А2-ХТТ
 - 3.2. Технічні вимоги до ремонту кулісно-храпового приводу
 - 3.2.1. Технологічні основи ремонту та відновлення валу дозатора
 - 3.3. Розробка технологічного процесу розбирання та складання приводу дозатора
 - 3.3.1. Технологія складання та юстування

3.4. Організація монтажних, пусконаладжувальних робіт та технічної експлуатації

3.4.1. Організація експлуатації та системи планово-запобіжних ремонтів (ППР)

3.4.2. Технологічне забезпечення ремонту та обґрунтування спеціального оснащення

3.5. Концепція інтеграції Smart-технологій у систему технічного обслуговування та ремонту дозатора

3.5.1. Архітектура інтелектуальної системи Smart Maintenance

Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

4.1. Закон України про охорону праці

4.2. Вентиляція та шум і вібрація в тістоприготувальному відділенні

4.3. Освітлення виробничих приміщень

4.4. Характер надзвичайних ситуацій, що вимагають екстреної зупинки виробництва

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Література

Додатки

1. Вихідна інформація для розробки дипломної роботи з розрахунку конструкції дозатора борошна тістомісильної машини неперервної дії марки А2-ХТТ

1.1. Аналіз стану дозування сипучих компонентів

Дозування сипучих компонентів є одним із найважливіших етапів у технологічних процесах харчової, хімічної та переробної промисловості. Від точності подачі сировини значною мірою залежать якість готової продукції, стабільність технологічного процесу та економічна ефективність виробництва. Особливо важливим є забезпечення рівномірного та безперервного дозування борошна у тістоприготувальному обладнанні, оскільки навіть незначні відхилення у кількості компонентів можуть негативно впливати на структурно-механічні властивості тіста та якість хлібобулочних виробів.

Сучасні системи дозування сипучих матеріалів характеризуються різноманітністю конструктивних рішень і принципів роботи. Найбільшого поширення набули шнекові, вагові, стрічкові, вібраційні та турнікетні дозатори. Кожен із зазначених типів має свої переваги та недоліки, які визначають сферу їх застосування залежно від фізико-механічних властивостей продукту, продуктивності лінії та вимог до точності дозування.

Для підприємств хлібопекарської галузі особливе значення мають дозатори безперервної дії, оскільки вони забезпечують стабільне надходження борошна до тістомісильних машин без зупинки виробничого процесу. Найчастіше у таких системах використовуються турнікетні або шнекові механізми, здатні працювати при значних навантаженнях та забезпечувати необхідну продуктивність. Разом із тим експлуатація подібного обладнання супроводжується рядом проблем, серед яких нерівномірність подачі продукту, зависання борошна у бункерах, підвищене зношування робочих органів та складність регулювання продуктивності.

Аналіз існуючих конструкцій показує, що значна частина дозувальних пристроїв має складну будову та потребує регулярного технічного обслуговування. Наявність великої кількості рухомих елементів, приводних механізмів і регулювальних вузлів призводить до збільшення витрат на ремонт і зниження загальної надійності обладнання. Крім того, у процесі експлуатації можливе порушення герметичності системи, що спричиняє втрати сипучого матеріалу та погіршення санітарно-гігієнічних умов виробництва.

Одним із перспективних напрямів удосконалення дозаторів сипучих компонентів є спрощення конструкції робочих органів та підвищення точності регулювання подачі матеріалу. Важливу роль також відіграє оптимізація форми й кількості секцій дозувального механізму, що дозволяє зменшити динамічні навантаження, покращити рівномірність подачі та знизити енерговитрати.

Таким чином, проведений аналіз свідчить про необхідність подальшого вдосконалення конструкцій дозаторів сипучих компонентів, зокрема для тістомісильних машин неперервної дії. Основними напрямками модернізації є підвищення надійності роботи, спрощення технічного обслуговування, покращення точності дозування та зменшення експлуатаційних витрат.

1.3.1. Структурний аналізу технічного об'єкта

У дослідженні особливу увагу приділено напрямкам:

Конструктивні особливості – проведено аналіз будови дозатора сипучих компонентів, принципу його роботи, взаємодії основних вузлів і механізмів. Розглянуто конструкцію робочих органів, системи подачі та регулювання дозування, а також особливості приводу й способи кріплення елементів. Окрему увагу приділено оцінці надійності конструкції, технологічності виготовлення та зручності технічного обслуговування обладнання.

Функціональне призначення та конструктивні особливості приводного механізму – досліджено призначення приводного механізму в системі дозування сипучих компонентів, його роль у забезпеченні безперервної та стабільної роботи обладнання. Проаналізовано конструкцію приводу, принцип передавання

крутного моменту, особливості роботи окремих елементів механізму та їх взаємодію. Розглянуто умови експлуатації приводного вузла, характер.

Технологічне призначення дозування борошна. У процесі безперервного приготування тіста дозування борошна є критичним етапом, оскільки саме воно визначає фундамент фізико-хімічних властивостей напівфабрикату. На відміну від порційного замісу, де похибку можна скоригувати в процесі, робота машин неперервної дії вимагає максимальної синхронізації та точності.

Забезпечення точності рецептурного співвідношення. Головне завдання дозатора — безперервне подавання чітко визначеної маси борошна, що корелює з витратою рідких компонентів (води, дріжджової суспензії, сольового розчину). Найменше відхилення у дозуванні борошна призводить до зміни вологості тіста, що критично впливає на його вихід та реологічні властивості (адгезію, еластичність).

Формування однорідної структури (гомогенізація) У машинах неперервної дії процес змішування відбувається в потоці. Дозатор має подавати борошно рівномірним шаром або струменем, щоб у камері змішування кожна частка борошна миттєво контактувала з вологою. Це запобігає утворенню «непромісу» (сухих грудок борошна всередині тіста) та нерівномірному розподілу мікрокомпонентів.

Стабілізація процесу набухання білків та крохмалю. Безперервне дозування забезпечує постійний рівень заповнення робочої камери тістомісильної машини. Це створює стабільний гідродинамічний режим, за якого білки борошна (глютенін і гліадин) рівномірно поглинають воду, формуючи клейковинний каркас. Постійний об'єм маси в машині гарантує сталу величину питомої роботи замісу, що важливо для оптимального розвитку тіста.

Автоматизація та управління продуктивністю. Дозування борошна в ТМНД є «ведучим» параметром. Саме швидкість подачі борошна визначає загальну продуктивність всієї лінії. Сучасні дозатори (вагові або об'ємні) інтегруються в систему автоматичного керування (САК), яка автоматично коригує подачу інших інгредієнтів при зміні швидкості дозування борошна.

Таблиця 1.1. Порівняльна характеристика впливу дозування на техпроцес

Параметр	Вплив точного дозування	Наслідки порушення (недосип/пересип)
Консистенція тіста	Стабільна в'язкість та пружність	Тісто занадто липке (важке в обробці) або занадто круте
Бродіння	Рівномірне газоутворення	Непередбачуваний час дозрівання напівфабрикату
Якість хліба	Однорідна пористість, стандартний об'єм	Дефекти м'якушки, нерівномірне забарвлення скоринки

1.3.2. Конструктивні особливості та технологічні параметри, що важливі для розрахункової частини

Шнекові дозатори найбільш поширені в системах безперервного приготування тіста завдяки їхній здатності забезпечувати герметичність подачі та можливості створення значного тиску на виході. Основним робочим органом є гвинт (шнек), розташований у циліндричному або коритоподібному корпусі. Борошно надходить з бункера, захоплюється витками шнека і транспортується до вихідного патрубку.

Продуктивність змінюється шляхом варіювання частоти обертання шнека (зазвичай через частотний перетворювач двигуна). Висока герметичність, компактність, можливість подачі борошна на певну відстань. Ризик «запресовування» борошна при зупинці під навантаженням та залежність точності від ступеня заповнення витків.

Барабанні (кишенькові) дозатори. Призначені для об'ємного дозування. Робочий орган — обертовий барабан, на поверхні якого виконані заглиблення (кишені) певного об'єму. При обертанні барабана кишені заповнюються борошном з верхнього бункера. При повороті на 180° борошно під власною вагою висипається у приймальну камеру тістомісильної машини. Для повного очищення кишень від борошна (особливо при підвищеній вологості) барабани

можуть оснащуватися механічними очисниками або вібраторами. Залежить від стабільності насипної щільності борошна та повноти заповнення осередків.

Тарілчасті (дискові) дозатори. Використовуються для дозування сипких продуктів, що мають схильність до склепіння. Складаються з горизонтального диска (тарілки), що обертається під випускним патрубком бункера. Патрубок розташований з невеликим зазором над диском. Борошно висипається на диск, утворюючи конус під кутом природного укосу. Нерухомий ніж-скидач, положення якого можна регулювати, зрізає шар борошна з диска і спрямовує його у воронку. Здійснюється зміною висоти положення ножа або швидкістю обертання диска.

Вібраційні дозатори. Ці дозатори забезпечують високу плавність подачі та мінімальний механічний вплив на продукт. Основний елемент — лоток (жолоб), встановлений на пружних опорах. До лотка приєднаний віброзбудник (електромагнітний або дебалансний). Під дією спрямованої вібрації частинки борошна набувають мікрострибкоподібного руху вздовж лотка. Відсутність рухомих частин, що контактують з продуктом, легкість санітарної обробки, висока точність при інтеграції з ваговими датчиками.

Порівняльна характеристика дозаторів для борошна.

Для аналізу роботи дозування компонентів доцільно навести порівняльну таблицю, яка обґрунтує вибір конкретного типу дозатора для обраної моделі тістомісильної машини (табл.1.2.)

Таблиця 1.2. Порівняльна характеристика дозаторів

Тип дозатора	Точність дозування, %	Переважаюча сфера застосування	Основний недолік
Стрічковий	1,5 – 2,5	Лінії великої потужності	Громіздкість конструкції
Шнековий	2,0 – 3,0	Компактні автоматизовані вузли	Можливе ущільнення борошна
Барабанний	2,5 – 4,0	Об'ємне дозування (бюджетні рішення)	Чутливість до вологості
Вібраційний	1,0 – 2,0	Високоточні сучасні лінії	Чутливість до зовнішніх вібрацій

Для загального випадку шнекового дозатора продуктивність Q (кг/год) можна визначити за формулою:

$$Q = 60 \pi S D^2 n / 4$$

де: D — діаметр шнека, м; S — крок шнека, м; n — частота обертання, хв^{-1} ;

ρ — насипна щільність борошна (приймається зазвичай $500\text{--}600 \text{ кг/м}^3$);

1.4. Патентний аналіз та обґрунтування напрямків удосконалення

Метою патентного опрацювання є виявлення сучасних світових тенденцій у розробці систем дозування сипких компонентів та визначення найбільш перспективних векторів модернізації дозаторів для ліній безперервної дії. Основний акцент модернізації спрямований на підвищення точності порціонування борошна та стабілізацію продуктивності тістомісильного агрегату, що дозволяє суттєво скоротити втрати сировини та забезпечити стабільну якість напівфабрикатів.

Сьогодні найбільш пріоритетними напрямками технічного вдосконалення є економія енергетичних та сировинних ресурсів [1]. Одним із головних резервів підвищення ефективності дозувального обладнання є впровадження інноваційних систем самоочищення робочих органів та зменшення адгезійної взаємодії продукту з поверхнями. Це дозволяє запобігти налипанню борошна на стінках дозатора, що зазвичай спричиняє нерівномірність подачі та порушення рецептурного співвідношення «борошно-вода».

У багатьох сучасних патентах увага зосереджена на модернізації безпосередньо дозувального органу — турнікета або барабана. Інтенсифікація процесу досягається не лише через зміну швидкості обертання, а й шляхом вдосконалення геометрії робочих камер та використання матеріалів із низьким коефіцієнтом тертя, таких як харчові полімери або гума. Впровадження конструкцій зі змінним робочим об'ємом відсіків дозволяє значно розширити універсальність апарата та підвищити точність дозування в широкому діапазоні продуктивності.

Механіка взаємодії елементів у модернізованій конструкції базується на принципі динамічної зміни конфігурації дозувальних кишень. Конструктивно дозувальний орган виконаний у вигляді багатосекційного барабана, де кожна секція оснащена механізмом регулювання об'єму (наприклад, системою «гвинт-гайка» та еластичними стінками). Технологічний ефект досягається завдяки синхронізації обертального руху валу та точного налаштування глибини жолобів. Така кінематична схема забезпечує безперервний та рівномірний потік борошна у змішувальну камеру машини А2-ХТТ, що є необхідною умовою для якісної гідратації білків і гомогенізації тістової маси

Опис пропонованого технічного рішення (у форматі патенту)

Назва винаходу: Турнікетний дозатор сипких продуктів зі змінним робочим об'ємом камер.

Галузь використання: Харчове машинобудування, зокрема обладнання для дозування борошна в тістомісильні машини неперервної дії типу А2-ХТТ.

Технічна проблема, на вирішення якої спрямований винахід: Традиційні дозатори (наприклад, А2-ХТН) мають жорстку конструкцію барабана, що обмежує точність регулювання продуктивності та призводить до налипання борошна на металевих стінках.

Суть винаходу: Дозатор містить корпус та встановлений на валу багатосекційний турнікет. Відмінною рисою є те, що замість жорстких лопатей використовуються еластичні жолоби, виконані з харчової гуми (згідно з ГОСТ 17133-83) [2,3]. Конструкція передбачає наявність механізму плавного регулювання об'єму, який складається з: регулювальної пари «гвинт-гайка», встановленої на корпусі турнікета. Системи тягових струн (матеріал — сталь СТ40), що з'єднують еластичні стінки жолобів із центруючим кільцем. Кількості робочих відсіків, яка дорівнює 6 одиницям для забезпечення оптимального радіуса деформації гуми.

Принцип роботи: Зміна продуктивності здійснюється шляхом обертання регулювального гвинта, який через натяг або послаблення струн змінює ступінь

вигину еластичних стінок жолобів. Це дозволяє варіювати об'єм дозувальної камери без зміни швидкості обертання основного валу.

Технічний результат: підвищення точності дозування за рахунок плавної зміни геометрії камер. Зниження адгезії (налипання) продукту завдяки використанню еластичного матеріалу, який деформується під час роботи. Спрощення технічного обслуговування шляхом зменшення кількості механічних передач та вузлів тертя.

Для більш наглядного порівняння характеристик існуючих дозаторів неперервної і періодичної дії наведені у табл. 1.3. Таблиця розкриває запропоновані розробки та їх зміни в дозаторах за процес їх експлуатації.

Таблиця 1.3. Технічні характеристики дозаторів неперервної і періодичної дії

Показники	Тип і марка дозатора				
	Стрічковий ВНДІХП	Вертикальний-ношнековий ВНДІХП	Автобормір		Автоматичні ваги ДМ-100-2
			ІІІ Д-100	ІІІІ 2-ХДА	
Продуктивність,	60-	15-150	До	До	5000-
Число обертів дозувального шнека або барабана, об/хв, або швидкість транспортера, м/с	0,05	6-60	-	-	-
Діаметр шнека або барабана, м	-	0,056	-	-	-
Точність	±2%	±3%	+2	±1	±1%
Потужність електродвигунів, кВт	0,6	0,5		0,3	1,0
Ємність ковша, м ³	-	-	0,	0,3	0,3
Маса порції, кг	-	-	60	20-	60-100
Габарити, мм: довжина ширина висота	1000 625 1200	340 340 655	1 522 1117	1 540 870	1500 1050 1520
Маса, кг	200	-	28	370	670

1.2.1. Чисельні методи моделювання та розрахунку процесу дозування

У сучасній інженерній практиці пріоритетним є аналітичне моделювання технологічних процесів, оскільки воно базується на фундаментальних законах збереження енергії, імпульсу та маси. Такі моделі дозволяють виявити фізичну суть явища та встановити взаємозв'язки між параметрами у широкому діапазоні умов. Проте процес дозування борошна характеризується високим ступенем нелінійності, складною геометрією робочих зон та стохастичним характером поведінки дисперсного середовища. Це робить отримання точних аналітичних розв'язків диференціальних рівнянь практично неможливим без значних спрощень, що нівелюють реальну картину процесу.

Розвиток обчислювальних потужностей та методів прикладної математики зумовив перехід до чисельних методів розрахунку, зокрема методів обчислювальної гідродинаміки (CFD — Computational Fluid Dynamics) та механіки дискретних елементів (DEM — Discrete Element Method). Застосування спеціалізованих програмних комплексів дозволяє досліджувати динаміку руху борошна в апаратах складної конфігурації, отримуючи локальні характеристики потоку: поля швидкостей, розподіл тиску та зони потенційного ущільнення або зависання продукту.

На сьогодні для вирішення задач такого класу використовується широкий спектр універсальних CFD-пакетів. Їх прийнято класифікувати за рівнем повноти математичного апарату та складністю реалізованих моделей:

1. Програмні комплекси «вищого» (важкого) класу: ANSYS Fluent, STAR-CCM+, CFX. Вони мають найбільш потужний інструментарій для моделювання багатофазних систем (тверде тіло – газ), що є критично важливим для опису аерації та транспортування борошна.
2. Програмні комплекси «середнього» класу: FlowVision, OpenFOAM, Flow 3D. Вони забезпечують достатню точність для більшості інженерних задач, проте вимагають глибшої підготовки користувача у сфері чисельних методів та програмування (зокрема OpenFOAM).

Особливе місце у моделюванні процесів хлібопекарського виробництва займає комплекс ANSYS Fluent. Його використання дозволяє врахувати специфічні реологічні характеристики середовища. Хоча традиційно акцент робиться на неньютонівській поведінці готового тіста, при моделюванні дозування критично важливим є врахування параметрів внутрішнього тертя та плинності борошна як дисперсної системи.

Результати чисельних досліджень доводять, що ефективність дозування безпосередньо залежить від геометрії робочих органів. Наприклад, аналіз полів швидкостей у турнікетних дозаторах дозволяє виявити «мертві зони», де можливе накопичення продукту. Важливою складовою таких досліджень є вибір адекватної моделі турбулентності та налаштування параметрів взаємодії між частинками сировини. Порівняльний аналіз існуючих моделей (наприклад, k - ϵ або k - ω) дозволяє виробити рекомендації щодо їх застосування залежно від режиму роботи дозатора та необхідної точності розрахунку.

Таким чином, використання методів обчислювальної динаміки дозволяє перейти від емпіричного проектування до науково обґрунтованого керування структурою потоку сировини. Це створює підґрунтя для розробки конструкцій дозаторів (зокрема зі змінним об'ємом камер), які забезпечують стабільну рівномірність подачі та прецизійну точність рецептурного складу.

1.5. Мета і задачі обґрунтування розробки дозатора

Хлібопекарська галузь є стратегічним сектором харчової промисловості України, де ефективність виробництва та конкурентоспроможність продукції безпосередньо залежать від впровадження енергоефективних технологій та прецизійного обладнання. У лініях неперервної дії, побудованих на базі агрегатів типу А2-ХТТ, критично важливим вузлом є дозатор борошна, оскільки саме він визначає стабільність рецептурного складу та якість готового хліба.

Аналіз експлуатації базових моделей дозаторів (зокрема А2-ХТТ) виявив низку техніко-технологічних недоліків:

Дискретність регулювання: Використання храпових механізмів для зміни швидкості обертання не дозволяє здійснювати плавне налаштування, що призводить до коливань подачі сировини та порушення вологості тіста.

Висока адгезія продукту: Традиційне використання нержавіючої сталі для робочих органів сприяє налипанню борошна, що зменшує корисний об'єм камер та створює ризики мікробіологічного забруднення через застійні зони.

Експлуатаційна складність: Громіздкість механічних вузлів приводу підвищує питомі витрати на технічне обслуговування та вимагає частого втручання кваліфікованого персоналу.

Метою даної розробки є удосконалення конструкції дозатора борошна для машини А2-ХТТ шляхом переходу від принципу зміни частоти обертання до принципу динамічного варіювання робочого об'єму дозувальних камер, що забезпечить підвищення точності порціювання та стабільність технологічного процесу.

Для досягнення поставленої мети у роботі визначено наступні завдання:

1. Конструктивне вдосконалення робочого органу: Заміна жорстких лопатей турнікета на еластичні жолоби з харчової гуми (згідно з ГОСТ 17133-83), що забезпечить ефект самоочищення та мінімізує адгезію борошна.
2. Оптимізація геометрії барабана. Перехід до 6-камерної структури для збільшення питомого об'єму кожної порції та спрощення кінематики пристрою.
3. Розробка механізму точного позиціонування. Впровадження системи «гвинт-гайка» з тяговими струнами (сталь СТ40) для плавного (безступінчастого) регулювання продуктивності без зупинки основного приводу.
4. Підвищення надійності та санітарної безпеки. Спрощення конструкції вузлів тертя та забезпечення легкого доступу до внутрішніх поверхонь для проведення регламентних робіт.

Розділ 2.

Опис конструкторської розробки та розрахунки

2.1. Техніко-економічне та соціальне обґрунтування дозатора А2-ХТТ

Виходячи з вимог виробничого процесу та побажань персоналу заводів, де використовуються тістомісильні машини безперервної дії типу А2-ХТТ а зокрема дозатори даного типу, постала необхідність модернізувати дане обладнання. З метою поліпшення процесу виробництва хлібопекарських виробів та спрощення процесу роботи персоналу заводів та комбінатів.

Базова конструкція дозатора, що використовується у лініях, має ряд суттєвих недоліків, які впливають на стабільність технологічного процесу. Основними проблемами є застаріла механічна система регулювання через зміну кількості обертів турнікета та високий ступінь адгезії борошна до стінок з нержавіючої сталі. Це призводить до нерівномірного заповнення відсіків та похибок у вазі кінцевого продукту. На рис.2.1. подано схему приводу турнікету для дозування борошна в робочу камеру машини.

Як видно з креслення рис. 2.1., в машині використовується механічне дозування, шляхом збільшення, або зменшення кількості обертів турнікету, що насипає борошно у дозатор. Даний тип дозування не дозволяє ефективно і точно контролювати кількість дозованого борошна в машину. Тобто кількість борошна не точна. Проблема ще ускладнюється і тим, що на стінках, виконаних з нержавіючої сталі налипає борошно, що має великий коефіцієнт адгезії. І при дозуванні, в різних жолобах турнікета залишається різна кількість борошна, тобто це спричинює нерівномірне дозування і згодом різну кількість борошна у кінцевому продукті, що збиває технологічні вимоги до випікання хлібобулочних виробів.

Отже зважаючи на вище сказане вважаю, за необхідне впровадити нову систему дозування та струшування борошна на даному дозаторі.

Метою розробки є створення універсального дозатора, який дозволяє регулювати продуктивність шляхом зміни об'єму дозувальних відсіків, забезпечуючи високу точність та зменшення витрат сировини.

Необхідність модернізації дозувального обладнання у складі тістомісильних агрегатів безперервної дії (типу А2-ХТТ) зумовлена сучасними вимогами до автоматизації харчових виробництв та запитам експлуатаційного персоналу. Основним вузлом, що потребує вдосконалення, є дозатор борошна А2-ХТН, ефективність якого безпосередньо впливає на стабільність технологічного циклу та якісні показники готової продукції.

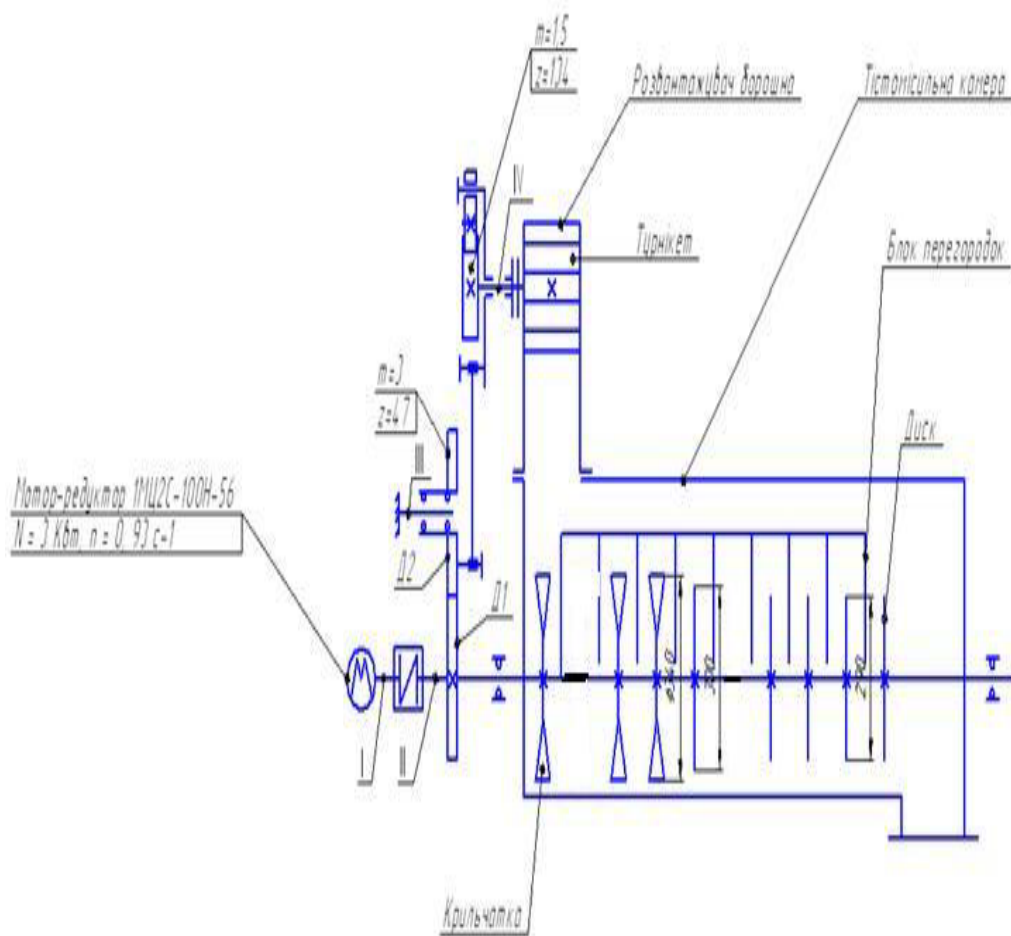


Рис. 2.1. Схема приводу турнікету для дозування борошна

Базова конструкція дозатора має низку критичних недоліків у недосконалість системи регулювання. Використання механічного приводу (схема якого наведена на рис. 2.1) передбачає зміну продуктивності через варіювання частоти обертання турнікета. Це створює проблему дискретності (ступінчастості)

налаштувань, що не дозволяє досягти прецизійної точності при зміні сорту борошна або вологості навколишнього середовища.

Похибки у дозуванні призводять до перевитрат основної сировини (борошна) та збільшення відсотка браку через невідповідність м'якушки хліба встановленим стандартам. Впровадження системи регулювання через зміну робочого об'єму камер дозволяє:

мінімізувати втрати сировини завдяки точному дотриманню рецептури.

зменшити витрати на енергоносії за рахунок стабілізації роботи приводу без необхідності постійного перемикання швидкостей.

Соціальне обґрунтування. Модернізація має важливий ергономічний та гігієнічний аспект: Спрощення механізму регулювання знижує фізичне та когнітивне навантаження на оператора лінії. Використання еластичних матеріалів із низькою адгезією зменшує необхідність частого ручного чищення внутрішніх порожнин дозатора, що покращує санітарний стан робочої зони та гарантує високу якість продукту для кінцевого споживача.

Зважаючи на вищевикладене, вбачається доцільним розробка та впровадження універсального дозатора зі змінною геометрією робочих камер. Це дозволить відмовитися від складної механічної зміни швидкості обертання валу на користь більш точного та стабільного методу об'ємного регулювання, забезпечуючи високу якість виробів при одночасному зниженні собівартості.

2.2. Етапи реалізації конструкторської розробки та розрахунків дозатора

Основним об'єктом конструкторської розробки та розрахунків у даному проекті є турнікетний робочий орган (дозувальний барабан). Процес його впровадження передбачає комплекс організаційно-технічних заходів, спрямованих на поетапну заміну застарілих вузлів та інтеграцію нової системи у виробничу лінію. План реалізації модернізації включає наступні кроки:

1. Організація підготовчого періоду. Оскільки демонтаж та очищення існуючого турнікета вимагають зупинки вузла, для забезпечення безперервності технологічного циклу на хлібокомбінаті передбачається

тимчасове встановлення резервного дозувального пристрою. Це дозволяє уникнути простою лінії під час проведення основних монтажних робіт.

2. Виготовлення модернізованого вузла. На основі розроблених робочих креслень виготовляється новий барабан, конструкція якого передбачає наявність 6-ти робочих лопатей. Така конфігурація є оптимальною для розміщення механізму деформації еластичних стінок.
3. Оптимізація кінематичної схеми. Наступним етапом є демонтаж проміжних механізмів передачі тяги від електродвигуна до турнікета. Модернізація конструкції дозволяє значно спростити привід, зменшивши кількість ланок передачі, що позитивно позначається на ККД та надійності системи.
4. Монтаж та пусконаладження. Завершальним кроком є встановлення нового турнікета на приводний вал, його фіксація у корпусі дозатора та проведення тестового запуску для перевірки точності позиціонування робочих органів.

2.2.1. Принцип регулювання робочого об'єму дозувальних камер

В основі запропонованого методу керування продуктивністю лежить використання прецизійної пари «гвинт-гайка», інтегрованої безпосередньо в осьову частину турнікета. Цей механізм дозволяє здійснювати безступінчасте регулювання об'єму дозувальних відсіків.

Механіка процесу регулювання: Регулювальний вузол складається з нерухомого гвинта та гайки, що переміщується вздовж різьби. Взаємодія між механізмом та робочими камерами здійснюється через систему тягових струн (виготовлених зі сталі марки СТ40), які мають високу міцність на розрив та стабільність геометричних розмірів.

Алгоритм зміни продуктивності: При обертанні регулювальної ручки відбувається осьове переміщення гайки, що спричиняє натяг тягових струн. Зусилля передається на еластичні стінки жолобів (виконані з харчової гуми), змушуючи їх деформуватися та розтягуватися у заданому напрямку. В

Така конструкція (рис. 2.2) дозволяє повністю відмовитися від складних систем зміни частоти обертання валу. Регулювання здійснюється шляхом геометричної адаптації робочого органу під конкретні технологічні потреби, що гарантує високу точність порціювання сировини незалежно від коливань швидкості приводу.

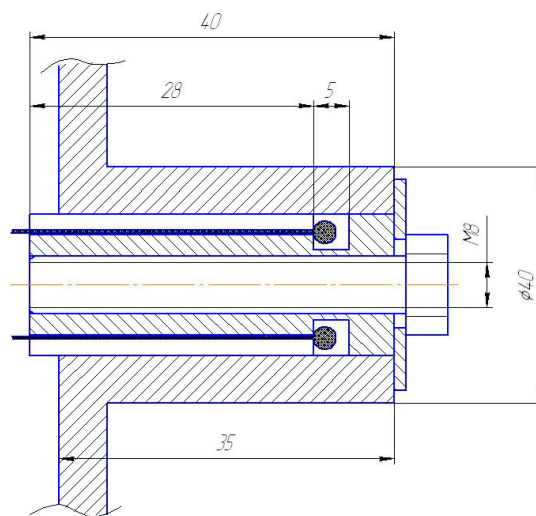


Рис.2.2. Механізм гвинт-гайка

Основним функціональним елементом, що забезпечує зміну об'єму, є жолоби, виготовлені з харчової гуми згідно з ГОСТ 17133-83. Вибір даного матеріалу зумовлений його високою еластичністю та відповідністю санітарно-гігієнічним нормам для контакту з тістом та борошном.

Технічні параметри обраного еластомеру:

Твердість за Шором (тип А): 70–82 од., що забезпечує необхідну жорсткість конструкції при збереженні здатності до деформації.

Межа міцності на розрив: не менше 6,8 МПа, що гарантує надійність при багаторазових циклах натягу.

Термічна стійкість: від -50°C до $+120^{\circ}\text{C}$, що значно перевищує температурні режими в пекарських цехах.

Товщина стінки: 2 мм, що є оптимальним для плавного розтягування без ризику розриву або втрати форми.

Трансформація об'єму камер здійснюється за допомогою системи тягових струн, виготовлених зі сталі СТ40. Дана марка сталі вибрана через високу границю пружності та стійкість до втомних навантажень.

Конструктивне виконання вузлів:

1. Вузол кріплення: З'єднання струни з гумовою стінкою реалізовано через двопластинчасту клепану конструкцію. Таке рішення дозволяє рівномірно розподілити зусилля натягу по площині гуми, запобігаючи її локальному пошкодженню.
2. Ремонтпридатність: Система фіксації струни в отворі пластини за допомогою спеціального затискача дозволяє проводити оперативну заміну гнучких елементів без демонтажу всього гумового покриття.
3. Опорно-напрямна система: Для запобігання перехрещуванню та заплутуванню струн у центрі турнікета встановлено нерухоме центруюче кільце. Кожна струна проходить через індивідуальний проточений канал, що забезпечує стабільну траєкторію руху та мінімальне тертя.
4. Ущільнення: Проходження тягових елементів у зону регулювання здійснюється через герметизуючий манжет, що захищає механізм від потрапляння борошняного пилу.

2.3. Механізм регулювання та принцип дії

Регулювальний пристрій спроектований за принципом гвинтової пари «гвинт-гайка», де роль гвинта виконує трубка з нарізаною зовнішньою різьбою, а роль гайки — нерухомий елемент на корпусі турнікета.

Особливості кінематики це є самоблокування. Використання упорної різьби запобігає мимовільному розкручуванню механізму під дією вібрації машини та пружних сил розтягнутої гуми. Це гарантує стабільність встановленої дози протягом усієї робочої зміни.

Алгоритм налаштування полягає при обертанні регулювальної ручки трубка-гвинт переміщується вздовж осі, тягнучи за собою пакет із 6 струн.

Збільшення дози: Гвинт натягує струни, які деформують еластичні стінки жолобів, розширюючи робочий простір камер.

Зменшення дози: При обертанні у зворотний бік натяг послаблюється, і стінки під дією внутрішніх сил пружності повертаються до початкового стану, скорочуючи об'єм.

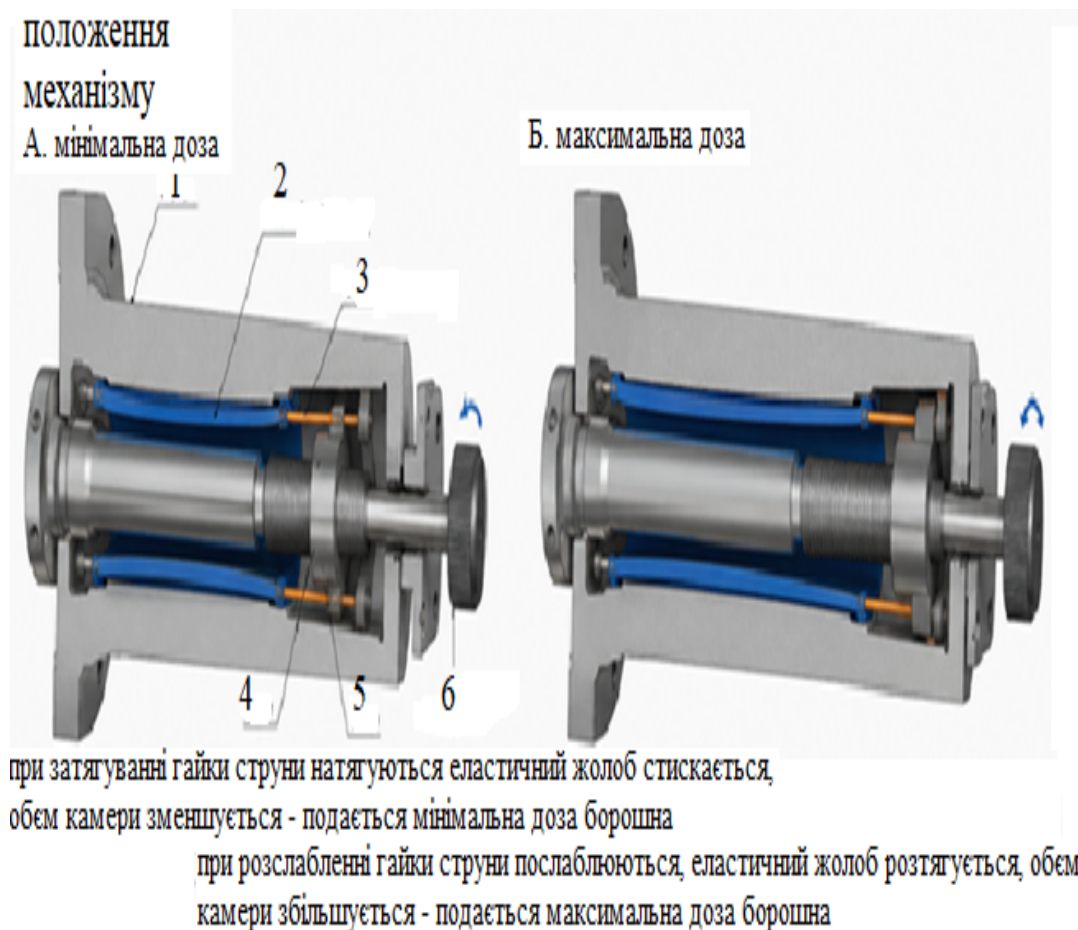


Рис. 2.3. Положення механізму регулювання робочого об'єму дозувальних камер: 1- корпус; 2- Еластичний жолоб (харчова гума); 3- Струна (тяговий елемент); 4 – Гвинт; 5 – гайка; 6 - Регулювальна ручка

На рисунку 2.3 представлено конструкцію механізму регулювання продуктивності дозатора у двох характерних положеннях — «мінімальна доза»

та «максимальна доза». Регулювання здійснюється шляхом осевого переміщення гайки вздовж різбового гвинта, що забезпечує зміну натягу тягових струн та деформацію еластичних стінок робочих камер.

У положенні «мінімальна доза» регулювальна гайка переміщена у напрямку натягу струн. Під дією прикладеного зусилля еластичні стінки жолобів деформуються всередину, унаслідок чого корисний об'єм дозувальних камер зменшується. Це забезпечує подачу меншої кількості борошна за один оберт турнікета.

У положенні «максимальна доза» гайка переміщується у протилежному напрямку, що супроводжується послабленням натягу струн. Завдяки пружним властивостям еластичного матеріалу стінки жолобів повертаються до початкової форми, збільшуючи внутрішній об'єм камер. У результаті зростає маса продукту, яка подається за один цикл роботи дозатора.



Рис. 2.4. Схема натягу струн та принцип роботи регулювального механізму

На схемі 2.4 показано принцип взаємодії регулювального вузла зі струнами та еластичними елементами дозувальних камер. Основними складовими системи є різбовий гвинт, рухома гайка, тягові струни та еластичні жолоби, які формують робочий об'єм камер турнікета.

При обертанні регулювальної ручки гайка переміщується вздовж осі гвинта та створює натяг у струнах. Передане зусилля викликає деформацію еластичних стінок жолобів, унаслідок чого змінюються геометричні параметри робочих камер. Залежно від ступеня натягу струн відбувається відповідне збільшення або зменшення об'єму дозувальних секцій.

У разі збільшення натягу струни втягуватимуть еластичні стінки всередину камери, зменшуючи її корисний об'єм. При послабленні натягу еластичний матеріал повертається до вихідного положення, що забезпечує збільшення об'єму дозування. Такий спосіб регулювання дозволяє отримати стабільну подачу сипучого матеріалу та знизити динамічні навантаження на приводний механізм дозатора.

Запропонований механізм забезпечує плавне безступінчасте регулювання продуктивності без необхідності зміни швидкості обертання приводного валу, що сприяє підвищенню точності дозування та стабільності роботи обладнання.

Запропонована конструкція дозволяє замінити складні електронно-механічні системи керування швидкістю вала на просту та надійну систему геометричного регулювання. Це забезпечує прецизійну точність дозування борошна, стабільність рецептурного складу та спрощує регламентне обслуговування агрегату А2-ХТТ.

2.3.1. Розрахунок зусилля, необхідного для деформації гумових стінок

Для того, щоб підібрати параметри регулювального гвинта, необхідно визначити сумарне осьове зусилля, яке створюють 6 еластичних елементів при їх максимальному розтягуванні.

Вихідні дані: кількість жолобів (струн): $z = 6$ шт.

товщина гуми: $h = 2$ мм (0,002 м).

ширина гумової стінки (орієнтовно для А2-ХТТ): $b = 100$ мм (0,1 м).

модуль пружності гуми (для твердості 75 за Шором): $E = 7$ МПа ($7 \cdot 10^6$ Н/м²).

максимальна відносна деформація (розтяг для зміни об'єму на 15-20%): $\epsilon = 0,2$.

Визначення площі поперечного перерізу одного жолоба:

$$A = b h = 0,1 \cdot 0,002 = 0,0002 \text{ м}^2$$

2. Визначення зусилля натягу однієї струни (F_1):

Згідно з законом Гука для еластомерів (у межах малих деформацій) [3]:

$$F_1 = E \epsilon A = 7 \cdot 10^6 \cdot 0,2 \cdot 0,0002 = 280 \text{ Н}$$

3. Сумарне осьове зусилля на регулювальний гвинт (P_{sum}):

$$P_{\text{sum}} = F_1 \cdot z = 280 \cdot 6 = 1680 \text{ Н} = 1,7 \text{ кН}$$

Вибір та перевірка параметрів різьби гвинта. Отримане зусилля 1,7 кН є відносно невеликим, проте з огляду на необхідність самоблокування та роботу в агресивному середовищі (борошняний пил), обираємо упорну різьбу (ГОСТ 10177-82).

Параметри різьби:

Тип: Різьба упорна S 16 4.

Зовнішній діаметр (d): 16 мм.

Крок різьби (P): 4 мм.

Перевірка на самогальмування:

Упорна різьба має кут нахилу робочої сторони профілю 3° . Умова самогальмування виконується, якщо кут підйому різьби (Ψ) менший за приведений кут тертя (ρ'). Для сталі по сталі (з мастилом) (ρ') = $6^\circ \dots 8^\circ$. Оскільки для нашої різьби (ρ') 4,50, механізм надійно фіксуватиметься і не розкручуватиметься під дією пружності гуми.

3. Технічне обслуговування дозатора борошна

Розробка заходів з технічного обслуговування (ТО) є обов'язковою частиною вашої теми. Оскільки конструкція змінена (додано гуму та струни), регламент має свої особливості. Санітарна очистка: Очищення внутрішньої порожнини дозатора від залишків борошна. Завдяки еластичності гуми та її деформації, більшість налиплого продукту відшаровується автоматично, проте потребує видалення стисненим повітрям або щітками.

Візуальний огляд: Перевірка цілісності гумових жолобів (відсутність тріщин та розривів). Контроль дози: Перевірка точності видачі борошна на контрольних вагах на початку зміни.

Перевірка натяжного механізму: Огляд тягових струн на предмет втомних деформацій або корозії. Очищення різьбової пари «гвинт-гайка» від пилу та нанесення свіжого шару харчового мастила (наприклад, на силіконовій основі), що має допуск до контакту з харчовими продуктами.

Очищення каналів, через які проходять струни, для забезпечення плавності ходу.

3.1. При поточному ремонті (раз на 6-12 місяців)

Заміна еластичних елементів: Навіть за відсутності видимих пошкоджень, гуму рекомендується замінювати через природну втрату пружності (старіння).

Заміна струн: У разі виявлення розтягування сталі СТ40 понад допустимі межі. Ревізія ущільнювального манжета: Перевірка герметичності виходу регулювальної трубки для недопущення потрапляння пилу всередину механізму.

Модернізація конструкції дозволяє спростити регламентні роботи та підвищити надійність обладнання:

- Щоденне обслуговування: Завдяки використанню харчової гуми з низькою адгезією, час на санітарну обробку та очищення внутрішніх поверхонь дозатора скорочується.
- Періодичний контроль: Необхідно проводити огляд стану еластичних стінок та перевіряти натяг регулювальних струн. Використання упорної різьби в механізмі запобігає самовільному розкручуванню та зміні налаштувань під час вібрації.
- Ремонтопридатність: Конструкція кріплення струн (через склепані пластини) дозволяє проводити їх швидку заміну без повного демонтажу турнікета.

Впровадження розробленого дозатора у складі лінії А2-ХТТ забезпечує:

Економію сировини: Зменшення похибки дозування мінімізує перевитрати борошна та стабілізує вагу тістових заготовок. Покращення якості: Точне

дотримання рецептури забезпечує оптимальні структурно-механічні властивості тіста. Універсальність: Можливість плавного регулювання об'єму камер дозволяє швидко переходити на випуск різних видів виробів без переналаштування приводу.

2.4. Розрахунок продуктивності тістомісильної машини та дозатора

Продуктивність печі:

$$\Pi = (n \cdot N \cdot g \cdot 60) / \tau_{\text{вип}} \quad (\text{кг/год}) \quad (2.1)$$

де: N – по довжині поду кількість рядів, шт.

n – по ширині поду кількість заготовок, шт.

g – заготовки маса, кг.

τ – випікання у часі, хв.

Кількість по ширині поду виробів:

$$n = \frac{B-a}{l+a} = \frac{2100-40}{300-40} = 6,04 \quad (\text{шт}) \quad (2.2)$$

де: B – довжина, мм

a – між виробами зазор, мм

l – довжина батону, мм

Приймаємо $n = 6$ шт.

кількість рядів знаходимо:

$$N = \frac{L-a}{b+a} = \frac{24000-50}{120+50} = 141 \quad (\text{ряд})$$

де: L – довжина камери, мм

a – між виробами зазор, мм

b –характерний - ширина батону, мм

Тоді:

$$\Pi = \frac{6 \cdot 141 \cdot 0,5 \cdot 60}{25} = 1015 \left(\frac{\text{кг}}{\text{год}} \right)$$

Продуктивність тістомісильної машини А2-ХТТ:

$$\Pi_{\text{маш}} = \frac{\Pi_{\text{г.х}} \cdot (Y_{\text{п}} + Y_{\text{с}} + 100)}{100} \left(\frac{\text{кг}}{\text{год}} \right) \quad (2.3)$$

де: $\Pi_{\text{г.х}}$ - продуктивність по гарячому печі, кг/год.

$Y_{\text{п}}$ - на упікання втрати, %.

$Y_{\text{с}}$ - на усихання втрати, %.

Знаходимо по гарячому хлібу продуктивність печі:

$$\Pi_{\text{г.х}} = \Pi \cdot 1,05 = 1065,75 \left(\frac{\text{кг}}{\text{год}} \right)$$

Продуктивність по тісту:

$$\Pi_{\text{т}} = \frac{\Pi_{\text{г.х}} \cdot (Y_{\text{п}} + Y_{\text{с}} + 100)}{100} \left(\frac{\text{кг}}{\text{год}} \right) \quad (2.4)$$

$$\Pi_{\text{т}} = \frac{1065,75 \cdot (8,5 + 3 + 100)}{100} = 1188,31 \left(\frac{\text{кг}}{\text{год}} \right)$$

Продуктивність згідно борошна:

$$\Pi_{\text{б}} = \frac{\Pi_{\text{х}} \cdot 100}{134} \text{ кг/год}$$

$$\Pi_{\text{б}} = 1065,75 \cdot \frac{100}{134} = 795,4 \text{ кг/год}$$

Тепер розрахуємо кількість обертів дозатора:

Враховуючи формулу розрахунку барабанного дозатора по борошну його продуктивності, можемо визначити число обертів барабана. Відповідно знаючи продуктивність дозатора:

$$\Pi_6 = \frac{\rho V m n K_z}{60}, \left(\frac{\text{кг}}{\text{сек}} \right) \quad (2.5)$$

де: n – число оберту барабана, хв..;

ρ – маса питома борошна, кг/м³;

K_z – коефіцієнт жолобкового заповнення, $\varphi = 0,95$.

m – кількість жолобків, шт.

V – об'єм 1 жолоба, м³

Виходячи із поданої формули продуктивності, отримаємо для розрахунку формулу кількості барабанного оберту:

$$n = \frac{60 \cdot \Pi_6}{K_z \cdot \rho \cdot V \cdot m}, (c^{-1}) \quad (2.6)$$

Тоді:

$$n = \frac{60 \cdot 795,4}{0,95 \cdot 500 \cdot 0,241 \cdot 6} = 0,05(c^{-1});$$

де: n – оберти барабана в хв..;

ρ – питома борошна маса, кг/м³;

K_z – заповнення коефіцієнт жолобків, $\varphi = 0,95$.

m – число жолобків, шт.

V – об'єм 1 жолоба, м³

Приймаємо оберти барабана $0,05(c^{-1})$.

При обертанні барабана борошно, заповнюючи його жолоби. При цьому відбувається із найвищими шарами тертя. Відповідно сила тертя по формулі (2.7) визначається:

$$W = p F f = 133,3 * 0,031 * 0,6 = 2,48 \text{ Н} \quad (2.7)$$

де: p - напруження борошна на рівні барабанної поверхні, H/m^2

$$p = \frac{\rho R}{fK} = \frac{500 * 0,04}{0,6 * 0,25} = 133,3 \text{H/m}^2$$

де: K - рухливості борошна по коеф. $K = 0,21-0,27$

f – тертя борошна (коеф.) з борошном; $f = 0,6-0,7$

ρ – маса борошна питома, кг/м^3 ;

$$R = \frac{F}{S} \quad (2.8)$$

Для прямокутного отвору при сторонах a і b

де: F – горизонтального перерізу площа горловини бункера, м^2

S - горизонтального перерізу периметру горловини бункера, м^2

$$R = \frac{1}{2} * \frac{ab}{(a+b)} \quad (\text{м}) \quad (2.9)$$

$$R = \frac{0.22 * 0.144}{2 * (0.22 + 0.144)} = \frac{0.031}{0.728} = 0.04 \text{ м}$$

де: a, b – прямокутника сторони, м

Тоді:

$$W = 2,48 \text{ Н}$$

Розрахунок приводу дозатора по потужності:

$$N = \frac{W * v}{1000n} K = \frac{2.48 * 0.014}{1000 * 0.93} = 3 * 10^{-4}, \text{кВт}$$

де: v – кругова швидкість точок, що розміщені на формуючій поверхні барабану

n – ККД механізмів приводу тістомісильної машини

$$v = \frac{\pi R n}{30} = \frac{3.14 * 0.118 * 0.05}{30} = 0.006 \text{ м/сек}$$

де: n - оберти барабану в хв.

К – коефіцієнт врахування тертя в підшипниках та борошні по кожуху барабану $K=2-3$

2.4.1. Кінематична схема роботи дозатора і машини

На рис. 2.5. приведена схема кінематичних зв'язків дозатора із приводом машини А2-ХТТ. Всі необхідні позначення та технічні характеристики подано у таблицях 2.1 та 2.2.

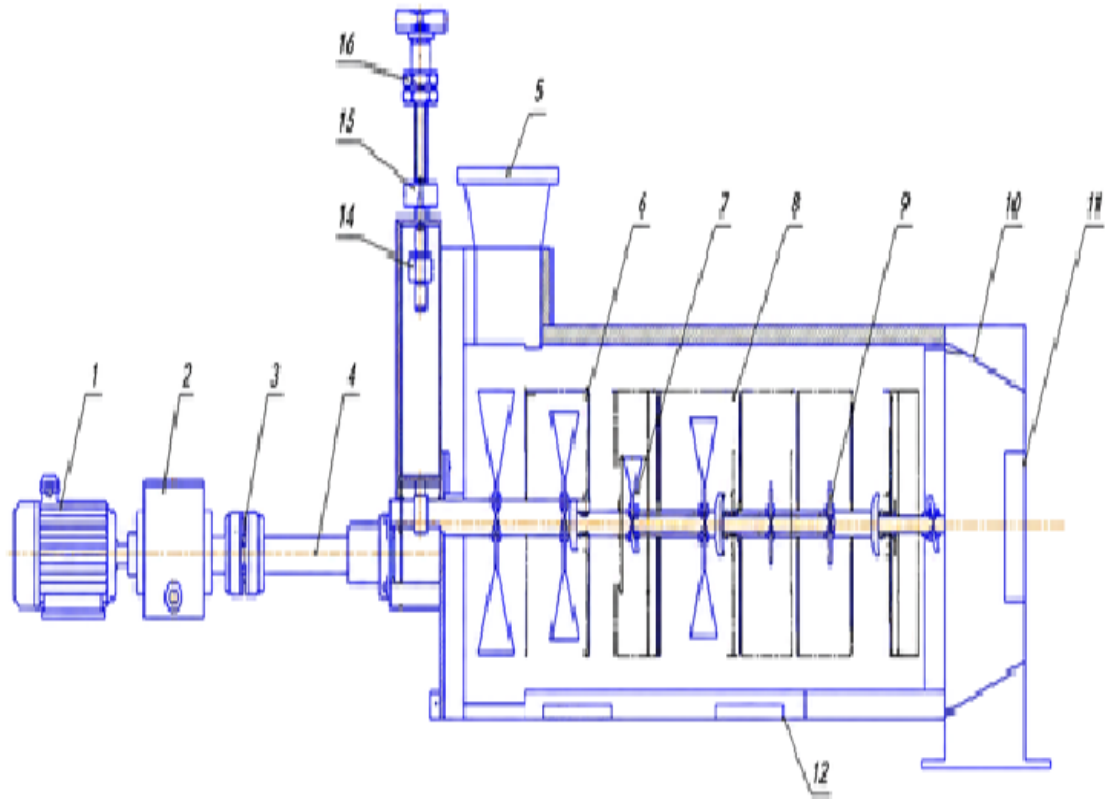


Рис. 2.5. Кінематика машини та її позиції у таблиці 2.1

Дозування борошна відбувається за рахунок приводу куліси, яка встановлена на валу машини. Даний принцип спрямовує обертовий рух валу через кривошипно-шатунний механізм в обертовий рух вал ротора (крильчатку) механізму дозування. Для регулювання дози борошна, при сталій частоті обертання головного валу машини, в механізмі дозатора передбачено регулювання дози. На рис.2.5 дано принцип проведення в робочий процес дозатора. Позиції на рис.2.5 зведено у таблиці.

Таблиця 2.1. Позиції кінематичної схеми рис.2.5

оз.	Найменування	іл.	К	Примітка
	Електродвигун	1		Привід дозатора
	Редуктор	1		Зниження обертів
	Муфта	1		З'єднання валів
	Привідний вал	1		Передача моменту
	Бункер подачі борошна	1		Прийом сировини
	Турнікет (секція)	6		Робочий орган +2
	Розвантажувальні вікна	6		Вихід продукту
	Перегородка	5		Розділення камер
	Шнекоподібний диск	1		Напрямок потоку
0	Блок перегородок	1		Фіксація секцій
1	Диск розподільчий	1		Рівномірна подача
2	Транспортна камера (корпус)	1		Основна ємність
3	Кришка (люк обслуговування)	1		Доступ до вузлів
4	Гайка регулювальна	1		Механізм натягу
5	Гвинт регулювальний	1		Різьбова пара
6	Ручка регулювальна	1		Керування дозою

Таблиця 2.2. Зведені параметри.

Параметр	Значення
Продуктивність, кг/год	до 1500
Кількість секцій турнікета, шт	6
Об'єм однієї секції (регульований), л	2...6
Частота обертання турнікета, об/хв	30
Потужність приводу, кВт	1,5
Напруга живлення, В	380
Маса, кг	230

Розрахунок передавального числа редуктора:

На I вал:

$$n_1 = n_{\text{дв}} = 1420 \left(\frac{\text{об}}{\text{хв}} \right) = 0,93 \text{с}^{-1}$$

$$U_{\text{ред}} = \frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{м.в.}}}$$

де: $n_{\text{дв}}$ — двигуна частота обертання, (об/хв);

$n_{\text{м.в.}}$ — частота номінальна обертання валу привідного, (об/хв);

$$U_{\text{ред}} = \frac{1420}{56} = 25,3$$

Виходячи з розрахунків кількість обертів визначимо на II валу:

$$n_2 = \text{ККД} \cdot \frac{n_1}{U_{\text{ред}}} = 0,93 \cdot \frac{1420}{25,3} = 52 \text{ об/хв}$$

де: ККД - муфти

n_1 - обертання валу частота після двиуна, (об/хв)

Передаточне число передачі зубчатої, щодо приводу руху дозатор борошна:

$$U_3 = \frac{Z_2}{Z_3} = \frac{55}{47} = 1,17$$

де: Z_2 — кількістьзубців колеса, шт

Z_3 — кількість зубців шестерні, шт.

Визначимо кількість обертів III валу:

$$n_3 = \text{ККД} \cdot \frac{n_2}{U_3} = 0,94 \cdot \frac{52}{1,17} = 41,7 \text{ об/хв}$$

де: ККД - ККД зубчастої передачі

n_2 - частота обертання валу після зубчастої передачі, (об/хв)

Отже:

$$n_1 = n_{дв} = 1420 \text{ об/хв}$$

$$n_2 = 52 \text{ об/хв}$$

$$n_3 = 41,7 \text{ об/хв}$$

2.4.2. Розрахунок приводного валу

Напруження на зірочках приводних

$$S_{нб}=15220 \text{ Н та } S_{зб}=8887 \text{ Н}$$

Крутний на валу момент

$$F_B = F_C = \frac{S_{нб} + S_{зб}}{2} = \frac{15220 + 8887}{2} = 12053,5 \text{ Н}$$

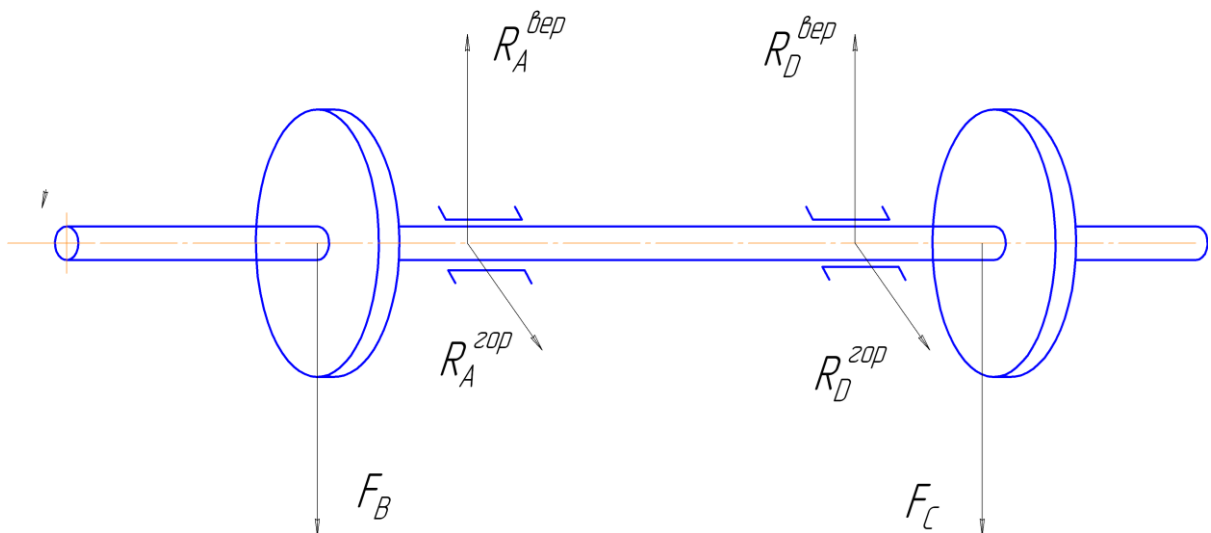
Зусилля діючі на ступені зірочок приводних

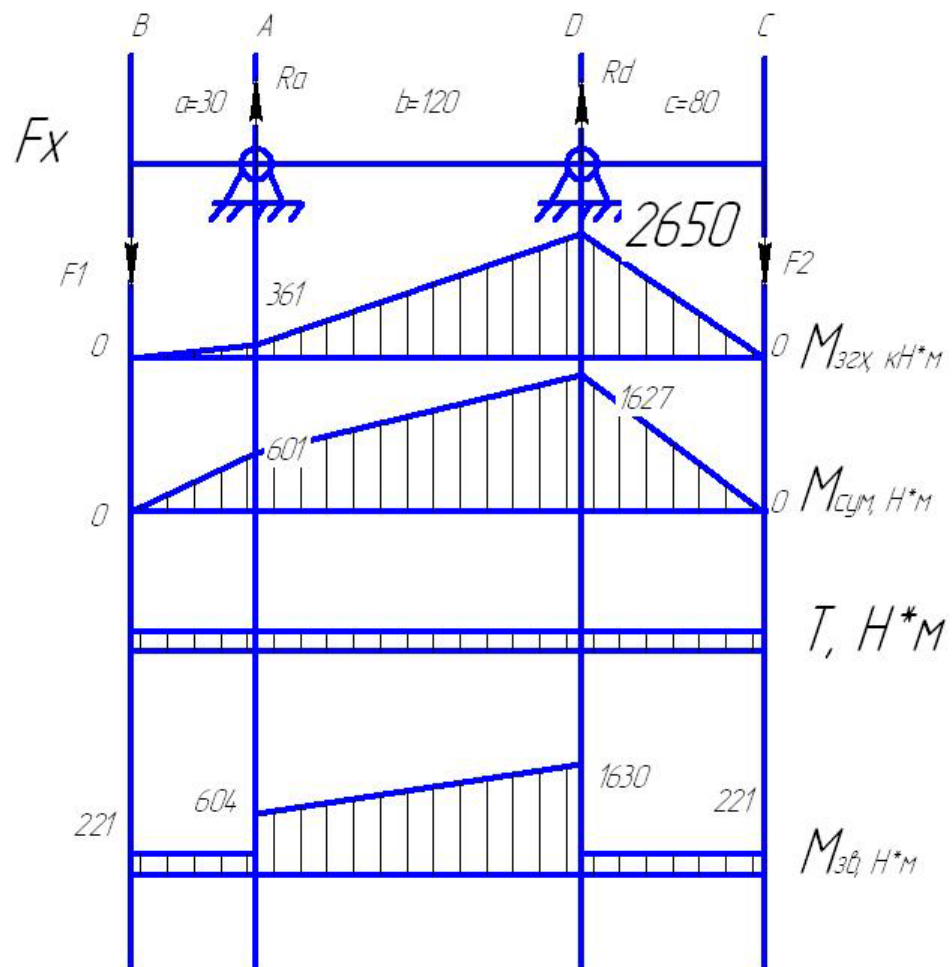
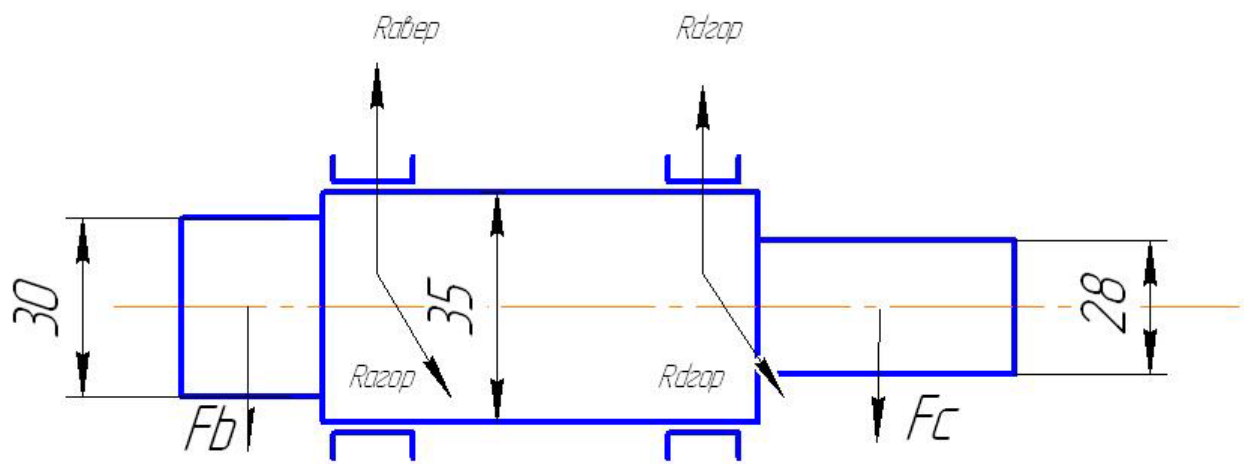
Вибираємо матеріал валу:

$$\sigma_s = 610 \cdot 10^6 \text{ Па} \quad \sigma_m = 360 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Сталь 45, для якої:

Розглянемо в двох взаємних площинах перпендикулярних вал:





Вертикальна площина:

$a=30\text{мм}$; $c=80\text{мм}$; $b=120\text{мм}$;

Знаходимо опорні реакції із умови рівноваги :

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-F_B \cdot 30 - R_D \cdot 120 + F_C (80 + 120) = 0$$

$$R_D = \frac{-F_B \cdot 30 + F_C (80 + 120)}{120} = \frac{-12053 \cdot 30 + 12053(80 + 120)}{120} = 17075 H$$

$$\Sigma M_D = 0$$

$$F_B \cdot 150 + F_C \cdot 80 - R_A \cdot 120 = 0$$

$$R_A = \frac{F_B \cdot 150 - F_C \cdot 80}{120} = \frac{12053 \cdot 150 - 12053 \cdot 80}{120} = 7030 H$$

Знаходимо моменти згинальні характерних точках :

$$M_B = 0$$

$$M_A = Fb \cdot a = 12053 \cdot 30 = 361590 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_D = Fb \cdot (a + b) + Ra \cdot b = 12053 \cdot (30 + 120) + 7030 \cdot 120 = 2650000 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_C = 0$$

Знаходимо згинальні сумарні моменти в точках характерних за формулою:

$$M_B^{\text{сум}} = 0$$

$$M_A^{\text{сум}} = \sqrt{M_A^2 + 0} = 601 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_D^{\text{сум}} = \sqrt{M_D^2 + 0} = 1627 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_C^{\text{сум}} = 0$$

Знаходимо моменти згинальні приведені в характерних точках за формулою:

$$M_{np} = \sqrt{\sum M_n^2 + \frac{\alpha T^2}{2}} ;$$

$$M_B^{np} = T = 221,306 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_A^{np} = \sqrt{M_A^2 + \left(0,6 \frac{T}{2}\right)^2} = 604 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_D^{np} = \sqrt{M_D^2 + \left(0,6 \frac{T}{2}\right)^2} = 1630 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_C^{np} = T = 221,306 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де $\alpha = 0,6$ – коефіцієнт, що враховує відмінність в характерах циклів напружень згину та кручення;

Визначаємо валу діаметра:

$$1627 \text{ Н} \cdot \text{м} \text{ (згідно з вашою епюрою).}$$

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{M_A^{np}}{0,1[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{221,306}{0,1[80 \cdot 10^6]}} = 0,028 \text{ Приймаємо } d_A = 30$$

$$d_A = \sqrt[3]{\frac{M_B^{np}}{0,1[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{1207}{0,1[80 \cdot 10^6]}} = 0,030 \text{ Приймаємо } d_B = 35$$

$$d_D = \sqrt[3]{\frac{M_C^{np}}{0,1[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{1213}{0,1[80 \cdot 10^6]}} = 0,031 \text{ Приймаємо } d_C = 35$$

$$d_C = \sqrt[3]{\frac{M_C^{np}}{0,1[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{221,306}{0,1[80 \cdot 10^6]}} = 0,026 \text{ Приймаємо } d_C = 28$$

2.4.3. Розрахунок запасу міцності валу

Для завершення розрахункової частини вашої бакалаврської роботи необхідно провести перевірку вала на витривалість (запас міцності). На основі вашої епюри (останнє фото) ми маємо всі необхідні значення моментів у небезпечних перерізах.

Найбільш навантаженим є переріз D, де сумарний згинальний момент $M_{\text{сум}} = 1627 \text{ Нм}$ (згідно з вашою епюрою).

Метою розрахунку є визначення коефіцієнта запасу міцності n у небезпечному перерізі та порівняння його з допустимим $[n] = 1,5 \dots 2,5$.

Границя міцності: $\sigma_B = 900 \text{ МПа}$

Границя витривалості при згині: $\sigma_{-1} = 0,43 : \sigma_B = 387 \text{ МПа}$

Границя витривалості при крученні: $\tau_1 = 0,58 : \sigma_{-1} = 224 \text{ МПа}$

Визначення напружень у небезпечному перерізі D:

Діаметр вала у перерізі D (згідно з вашим кресленням): $d = 35 \text{ мм}$.

Амплітуда напружень згину (σ_a):

$$W_{\text{нетто}} = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{3,14 \cdot 35^3}{32} \approx 4209 \text{ мм}^3$$

$$\sigma_a = \frac{M_{\text{сум}}}{W_{\text{нетто}}} = \frac{1627 \cdot 10^3}{4209} \approx 386,5 \text{ МПа}$$

Згідно з епюрою Т, момент кручення постійний. Припустимо $T = 221 \text{ Нм}$ (виходячи з нижньої відмітки на епюрі M_{3B}):

$$W_p = 2 W_{\text{нето}} = 8418 \text{ мм}^3$$

$$\tau = T / W_p = 26,2 \text{ МПа}$$

Розрахунок коефіцієнтів запасу міцності. Коефіцієнт запасу за напруженнями згину (n):

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{K_\sigma}{\varepsilon_\sigma \cdot \beta} \cdot \sigma_a + \psi_\sigma \cdot \sigma_m} = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{K_\sigma}{\varepsilon_\sigma \cdot \beta} \cdot \sigma_a}$$

Приймаємо коефіцієнт концентрації $K = 1,8$ (шпонковий паз/ступінь) та $\varepsilon = 0,85$.

Судячи з епюр, навантаження 2650 Н та моменти понад $1600 \text{ Н}\cdot\text{м}$ є дуже високими для вала діаметром 35 мм . В реальному розрахунку це свідчить про необхідність збільшення діаметра вала до $50\text{-}60 \text{ мм}$ або використання більш міцної сталі. Загальний коефіцієнт запасу міцності (n):

$$n_\sigma \approx \frac{387}{\frac{1,8}{0,85 \cdot 1} \cdot 386,5} \approx \frac{387}{2,118 \cdot 386,5} \approx \frac{387}{818,6} \approx 0,47$$

Вибір підшипників качення

На основі розрахованих реакцій опор R_a та R_d (на вашій схемі вони позначені як $R_{a\text{зоп}}$ та $R_{d\text{зоп}}$), проводимо підбір підшипників.

Оскільки в конструкції присутні як радіальні, так і осьові зусилля (від упорної різьби механізму регулювання), доцільно використовувати радіально-упорні шарикопідшипники (ГОСТ 831-75). Параметри підбору: діаметр вала під підшипник: 35 мм . Однорядний радіально-упорний шарикопідшипник №46207. Статична вантажопідйомність C_0 : повинна бути більшою за максимальну реакцію опори (R_d).

Загальний коефіцієнт запасу міцності (n):

$$n = \frac{n_\sigma \cdot n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}}$$

2.4.4. Вибір підшипників і розрахунок

Розрахунок виробляється для підшипників ковзання по формулах, як для розрахунку цапф, оскільки розміри вкладиша визначаються розмірами шипа або шийки.

Розміри вкладиша перевіряються на питомий тиск

$$p = R / l * d \leq [p] \quad \text{кг/м}^2 \quad (2.10)$$

де: R- навантаження радіальне на підшипник, R=20000 Н

[p] - допустимі середні удільні напруження (за табл.), [p]=30-60кг/см²

l-довжина підшипника, l=(0,5...1,2)* d = 20см

d-внутрішній підшипника діаметр, d = 35см

$$p = 20000 / 35 * 20 = 28 \text{ кг/см}^2$$

Умова виконана: $p \leq [p]$.

Тому підшипник обираємо для діаметра валу 35 мм – 1307– середньої серії, для якого $d = 35 \text{ мм}$, $D = 80 \text{ мм}$, $c = 20000 \text{ Н}$

Розміри вкладиша на нагрів перевіряються

$$pv \leq [pv] \quad \text{кгм/сек*см}^2 \quad (3.11)$$

Табл.8. Середні допустимі удільні напруження [p]

Матеріал		[p], кг/см ²
		Для шипів та шийок
Сталь чавуну	по	15-30
	по	50
Сталь бронзі	по	70-120
	по	30-60
Сталь текстоліту	по	30-60
	по	30-60
Сталь сталі	по	30-60
	по	30-60

Табл.9. Допустимі значення коефіцієнту [pv] на нагрів.

Для цапф валов	[pv], кгм/сек*см ²
Трансмсія	20
Стаціонарна машина	15-20
Судова машина	30-40
Потяг	80-100
Автомобіль	300-500

2.4.5. Система мащення підшипникових вузлів

Ефективна робота підшипників ковзання дозатора безпосередньо залежить від правильності підведення мастильного матеріалу до зон тертя. Для забезпечення стабільного масляного клина та відведення тепла в конструкції вкладишів передбачено спеціальні канали.

Конструктивні особливості розподілу мастила: Для подачі та рівномірного розподілу оливи у вкладиші виконується наскрізний отвір, що сполучається з системою фрезерованих канавок. З метою мінімізації витoku мастильного матеріалу та забезпечення гідродинамічного режиму тертя, канавки розташовують виключно в ненавантаженій зоні вкладиша. Важливою конструктивною вимогою є те, що канали не повинні досягати торцевих поверхонь (вінців), що запобігає неконтрольованому витіканню мастила назовні та забрудненню робочої зони борошном.

Методи подачі мастильного матеріалу: Залежно від умов експлуатації та вимог до автоматизації обладнання, подача оливи до вузлів тертя може бути реалізована одним із таких способів:

1. Індивідуальне мащення: Використання локальних маслянок, змонтованих безпосередньо на кожному підшипниковому вузлі. Це найбільш просте рішення, що потребує регулярного контролю з боку персоналу.

2. Кільцеве мащення: Автоматизований метод, при якому на цапфі вала вільно розташовується кільце. Під час обертання вала кільце захоплює мастило з резервуара підшипника і переносить його на робочі поверхні.
3. Централізована система мащення: Найбільш прогресивний метод для харчових ліній. Олива подається до всіх точок тертя під тиском через систему трубопроводів із загального бака за допомогою масляного насоса. Це забезпечує точне дозування мастила та можливість фільтрації робочої рідини.

3. Технологічні процеси виготовлення, експлуатації та ремонту дозатора борошна

3.1. Основні технічні вимоги до ремонту привідного механізму дозатора машини А2-ХТТ

Ремонт привідного механізму дозатора машини А2-ХТТ має на меті повне відновлення його експлуатаційних характеристик та забезпечення надійної роботи в умовах безперервного циклу. Технічні вимоги до ремонтних робіт поділяються на кілька етапів. Підготовчі роботи та дефектація полягає у очищенні та миття: перед початком розбирання всі зовнішні поверхні приводу (мотор-редуктора, муфт, корпусів підшипників) повинні бути очищені від борошняного пилу та мастильних забруднень.

Демонтаж вузлів проводиться із застосуванням спеціальних знімачів, що виключає пошкодження посадочних поверхонь валів та шпонкових пазів. Кожна деталь підлягає візуальному та інструментальному контролю. Граничні зноси деталей не повинні перевищувати значень, встановлених заводом-виробником.

Технічні вимоги до основних деталей приводу щодо відхилення від циліндричності та конусності посадочних шийок під підшипники не повинні перевищувати 0,01...0,02 мм. Радіальне биття вала в робочих зонах допускається в межах 0,03...0,05 мм. Шорсткість поверхонь під підшипники та ущільнення повинна бути не вище $Ra\ 0,63...1,25\ \mu\text{м}$.

Зубчасті та ланцюгові передачі зносу зубів за товщиною не повинен перевищувати 10-15% від номінального розміру. При виявленні сколів, тріщин або викришування (піттингу) деталь підлягає обов'язковій заміні. Радіальне биття вінця зубчастого колеса — не більше 0,1 мм. Не допускається використання підшипників із ознаками корозії, кольорами мінливості на бігових доріжках або люфтом, що перевищує норми за ДСТУ.

Посадка підшипників на вал та в корпус має здійснюватися згідно з визначеними полями допусків (зазвичай k6 для вала та H7 для корпусу).

При монтажі муфт між мотор-редуктором та привідним валом дозатора допустиме радіальне зміщення осей не більше 0,1 мм, а кутове

перекошування — не більше 1°. Ущільнювальні манжети та прокладки повинні бути новими. Не допускається наявність підтікань мастила з корпусів редукторів та підшипників. Всі нарізні сполучення повинні бути затягнуті з нормованим моментом та забезпечені засобами проти мимовільного розкручування (шплінти, контргайки, стопорні шайби).

Після завершення ремонту привідний механізм проходить обкатку:

1. На холостому ходу (30-60 хв). Перевіряється рівномірність обертання, відсутність сторонніх шумів, стуків та надмірного нагрівання підшипників (температура не повинна перевищувати 60...70°C).
2. Під навантаженням. Перевіряється робота регулювального механізму «гвинт-гайка» та стабільність обертів турнікета при повному заповненні бункера борошном.

Всі ремонтні роботи повинні проводитися з суворим дотриманням правил техніки безпеки. Пуск машини дозволяється лише після встановлення всіх захисних кожухів на рухомі частини передач.

Карта дефектації для основних вузлів нашої конструкції: привідного валу та механізму регулювання об'єму. Ця таблиця є важливим елементом розділу з технічного обслуговування та ремонту, оскільки вона систематизує підхід до оцінки технічного стану обладнання.

Таблиця 3.1. Карта дефектації основних вузлів дозатора

Найменування деталі	Можливий дефект	Метод виявлення	Технічне рішення
Вал привідний	Спрацювання посадочних поверхонь під підшипники	Мікрометрування	Наплавка з наступною обробкою під номінальний розмір
	Прогин (биття) вала	Перевірка в центрах індикатором	Правка вала або заміна при перевищенні допуску
	Спрацювання шпонкового паза	Візуальний огляд, вимірювання калібром	Фрезерування нового паза під кутом 90° або 180°
Гумовий жолоб (еластична стінка)	Тріщини, розриви, втрата еластичності	Візуальний огляд, механічне натискання	Обов'язкова заміна на новий елемент
	Наскрізне стирання (витончення)	Вимірювання товщини стінки	Заміна елемента

Струни (тягові елементи)	Пластична деформація (витягування)	Порівняння довжини з еталонною	Заміна або перерегулювання натягу
	Корозія або механічні задирки	Візуальний огляд	Заміна струни
Регулюваль ний гвинт / гайка	Спрацювання профілю упорної різьби	Перевірка різьбовим шаблоном	Заміна деталі при зносі понад 15% товщини витка
	Заклинювання (задирки на різьбі)	Пробне прокручування ручки	Очищення, шліфування або заміна пари
Центруюче кільце	Засмічення або знос напрямних каналів	Візуальний огляд	Очищення від пилу або розточування каналів

Важливо, що гумові елементи та струни відносяться до швидкозношуваних деталей, тому їх заміна повинна проводитися планово, не чекаючи повного виходу з ладу, щоб уникнути простою лінії. Особливу увагу слід приділити парі «гвинт-гайка». Будь-який люфт у цій парі призведе до нестабільності натягу струн, а отже — до похибки у дозуванні борошна. При дефектації гумових жолобів необхідно звертати увагу не тільки на механічну цілісність, а й на стан поверхні. Поява мікротріщин є неприпустимою, оскільки в них може накопичуватися борошно, що створює середовище для розвитку бактерій.

Храповим механізмом — це технічно грамотне рішення для такого пристрою. У нашій конструкції він, швидше за все, виконує роль фіксатора, який не дає регулювальній ручці самовільно обертатися під дією сили пружності розтягнутої гуми.

Однак, у нього є свої «нюанси», особливо в умовах борошномельного виробництва. Додамо цей вузол до нашої карти дефектації та опишемо вимоги до його ремонту.

Таблиця 3.2. Доповнення до карти дефектації: Храповий механізм

Деталь	Дефект	Метод виявлення	Технічне рішення
Храпове колесо	Зношування або сколи робочих граней зубів	Візуальний огляд, контроль профілю	Шліфування зубів (при незначному зносі) або заміна колеса
Собачка (заскочка)	Затуплення робочого виступу або деформація осі	Огляд, перевірка на люфт	Загострення робочої частини або виготовлення нової собачки
Пружина собачки	Втрата пружності (релаксація) або злам	Перевірка зусилля притискання	Обов'язкова заміна на нову пружину

При роботі з храповим механізмом у дозаторі борошна слід звернути увагу на такі критичні моменти: проблема «забивання» борошном. Це головний нюанс. Борошняний пил, змішуючись із мастилом, створює густу масу, яка може заклинити собачку у піднятому стані. Тому під час ремонту необхідно забезпечити мінімальні зазори в осях, але достатні для вільного руху. Рекомендовано використовувати «сухі» графітові мастила, до яких не прилипає пил.

2. Кут зачеплення для надійної фіксації кут нахилу зубів колеса та робочої грані собачки повинен бути самозатяжним. При шліфуванні зубів після спрацювання не можна допускати завалювання кута, інакше під навантаженням від натягнутих струн механізм просто «проскочить»

3. Крок регулювання (дискретність). Храповик робить регулювання ступінчастим (один зуб = один крок). При заміні колеса кількість зубів має відповідати розрахунковій точності дозування. Якщо крок занадто великий, ви не зможете точно підлаштувати вагу заготовки.

3.2. Технічні вимоги до ремонту кулісно-храпового приводу

Особливість цього вузла полягає в тому, що він працює в умовах ударних навантажень (момент зачеплення собачки із зубом) та інтенсивного тертя у кулісному пазу. Стан пазу куліси повинні бути паралельними. Знос («вироблення») у середній частині пазу призводить до люфтів і ударів. При зносі

понад 0,3 мм поверхні пазу підлягають фрезеруванню та шліфуванню, а сухар (повзун) виготовляється за новим ремонтним розміром.

Палець кривошипа (ексцентрика) повинен мати циліндричну форму без овальності. Шорсткість пальця — не нижче Ra 0,8. Змащування має бути постійним, оскільки це найбільш навантажений вузол.

Храповий пристрій з пружинною собачкою - це критичний елемент. Якщо пружина ослабне, собачка не встигатиме западати в зуби храповика при високій швидкості, що спричинить «пропуски» дозування. Пружина повинна забезпечувати чітке притискання собачки. При виявленні залишкової деформації або втраті пружності (релаксації сталі) пружина підлягає обов'язковій заміні. Вісь собачки не повинна мати значного радіального люфту. Люфт у з'єднанні «собачка-вісь» — не більше 0,1 мм. При більшому люфті виникає перекіс, і собачка чіпляє зуб лише одним краєм, що призводить до його сколювання.

У стандартній А2-ХТТ швидкість регулюється зміною радіуса кривошипа (ходом куліси). Різьба гвинта повинна бути чистою, без задирок. Механізм фіксації положення повзуна (стопор) має надійно утримувати встановлений радіус, щоб швидкість не «плавала» під час роботи.

Оскільки ви додали регулювання об'єму через гуму, тепер у машини є два контури налаштування:

1. грубе регулювання (заводське): Швидкістю обертання через кулісу.
2. точне регулювання (наше): Об'ємом кишені через натяг гумових стінок.

Завдяки нашому впровадженню навантаження на храповий механізм знижується. Тому що тепер не обов'язково часто змінювати хід куліси (що зношує гвинт і сухар). Можна виставити стабільну середню швидкість кулісою, а всі тонкі підлаштування під рецептуру робити вашим ручним механізмом на валу. Ми не тільки покращуєте дозування, а й продовжуєте ресурс стандартного кулісного приводу, бо він тепер працює в більш стабільному режимі.

3.2.1. Технологічні основи ремонту та відновлення валу дозатора

Вал дозатора А2-ХТТ у процесі тривалої експлуатації піддається інтенсивному впливу знакозмінних навантажень, тертя в зонах підшипникових вузлів та корозійному впливу середовища. Основними дефектами, що виникають, є знос посадочних поверхонь під підшипники, пошкодження шпонкових пазів та вихід з ладу різбової частини регулювального механізму.

Перед початком ремонтних робіт проводиться ретельна дефектація вала:

Перевірка на биття: Здійснюється в центрах на токарному верстаті за допомогою індикатора годинникового типу. Допустиме радіальне биття не повинно перевищувати 0,05 мм.

Контроль посадочних місць: Вимірювання діаметрів шийок вала мікрометром для визначення ступеня зносу та овальності.

Стан різби: Перевірка профілю різби «гвинт-гайка» на наявність сколів або критичного стирання витків.

Залежно від характеру пошкоджень, обираються наступні технологічні методи:

1. Відновлення шийок вала методом електродугової наплавки:

Для нарощування зношеного металу використовується наплавка електродами з низьким вмістом вуглецю (наприклад, АНО-4). Після наплавки проводиться термічна обробка (відпуск) для зняття внутрішніх напружень та наступна механічна обробка (обточування та шліфування) під номінальний розмір з допуском к6 або п6.

2. Вібродугова наплавка:

Цей метод є більш прогресивним, оскільки мінімізує зону термічного впливу, запобігаючи викривленню вала. Це особливо важливо для збереження співвісності каналів, через які проходять струни.

3. Ремонт шпонкових пазів:

При розбитті паза проводиться його фрезерування під більший (ремонтний) розмір або наплавка з подальшим прорізанням нового паза зі зміщенням на 90° чи 180° відносно старого.

Оскільки модернізований вал містить внутрішній канал та вузол «гвинт-гайка» з упорною різьбою, його відновлення має специфіку. Внутрішні канали для струн промиваються під тиском для видалення залишків мастила та борошняного пилу. При значному зносі різьбова частина трубки-гвинта підлягає повній заміні шляхом виготовлення нової деталі зі сталі 40Х з наступним покращенням (гартуванням) до твердості 35-40 HRC.

Після завершення всіх операцій з відновлення, вал у зборі з центруючим кільцем підлягає динамічному балансуванню. Це необхідно для виключення вібрацій під час роботи дозатора, що можуть призвести до нерівномірного натягу струн та похибок у дозуванні. Поверхні, що контактують з ущільнювальними манжетами, піддаються поліруванню до шорсткості Ra 0,63 мкм.

Проведена модернізація дозатора А2-ХТТ шляхом впровадження еластичних робочих органів та гвинтового механізму регулювання дозволяє:

1. Усунути проблему дискретності налаштування продуктивності.
2. Виключити налипання сировини завдяки ефекту самоочищення гуми.
3. Збільшити міжремонтний інтервал обладнання за рахунок спрощення кінематики та використання зносостійких матеріалів (сталь СТ40, харчова гума).

3.3. Розробка технологічного процесу розбирання та складання приводу дозатора

Технологія проведення ремонтних робіт базується на принципі агрегатно-вузлового розбирання, що дозволяє проводити дефектацію окремих частин без повного демонтажу всієї установки, якщо це не передбачено планом ремонту. На рис. 2.3 представлено конструктивну схему модернізованого вузла, яка дозволяє змінювати геометричні параметри дозувальних камер без зупинки основного приводу. Регулювання базується на зміні прогину еластичних елементів (2), що утворюють робочі камери дозатора. Зміна положення здійснюється шляхом обертання регулювальної ручки (6).

Таблиця 3.3. Послідовність складання модернізованого приводу дозатора

оп.	Назва операції	Складові одиниці (поз. за специфікацією)	Технічні вказівки та контроль
	Складання роторного блоку	4, 6, 8, 10	На привідний вал (4) монтується блок перегородок (10) та фіксуються сектори турнікета (6). Перевірка радіального биття.
	Встановлення еластичних робочих органів	2, 3	Еластичні жолоби (2) закріплюються між перегородками (8). Струни (3) пропускаються крізь напрямні отвори та фіксуються у вушках гуми.
	Складання механізму регулювання	14, 15, 16	Регулювальна гайка (14) нагвинчується на гвинт (15). Встановлюється регулювальна ручка (16) із храповим фіксатором.
	Монтаж вала в корпус	4, 12, 13	Вал у зборі встановлюється у транспортну камеру (12). Монтується підшипникові вузли та закриваються кришками (13).
	Встановлення розподільчої системи	9, 11, 2007	Встановлюється розподільчий диск (11) та шнекоподібний диск (9) для спрямування потоку борошна до розвантажувальних вікон (7).
	Монтаж силового приводу	1, 2, 2003	Електродвигун (1) з'єднується з редуктором (2) через муфту (3). Проводиться вивірка співвісності валів (допуск 0,1 мм).
	Налагодження системи живлення	5	Встановлюється бункер подачі борошна (5). Перевірка герметичності стиків та надійності кріплення.
	Пусконаладження	Усі вузли	Перевірка діапазону регулювання (2–6 л). Тестування храпового механізму на утримання позиції під навантаженням.

Розбирання проводиться у наступній послідовності:

1. *Підготовчий етап:* Від'єднання електродвигуна від мережі, демонтаж захисних кожухів приводу.
2. *Демонтаж кулісного механізму:* * Зняття стопорних кілець та пальця кривошипа. Від'єднання тяги (куліси) від вала дозатора.

3. *Розбирання храпового вузла:* * Зняття поворотної пружини собачки. Демонтаж самої собачки з осі. Зняття храпового колеса з регулювальної трубки (якщо передбачено конструкцією).
4. *Розбирання механізму регулювання об'єму:* * Викручування регулювальної ручки. Вилучення гвинтової пари та послаблення натягу сталевих струн.
5. *Вилучення робочого вала:* * Відгвинчування кришок підшипникових вузлів. Випресовування вала в зборі з еластичними жолобами з корпусу дозатора.

Демонтаж еластичних елементів: від'єднання струн від вушок гумових стінок та зняття самих стінок для заміни або очищення.

3.3.1. Технологія складання та юстування

Складання виконується у зворотній послідовності з обов'язковим дотриманням контрольних параметрів:

1. *Підготовка деталей:* Всі деталі мають бути очищені, промиті та перевірені згідно з картою дефектації. Різьбові поверхні змащуються антифрикційним мастилом.
2. *Складання робочого органу:* * Монтаж еластичних гумових стінок на перегородки турнікета.
 - Протягування сталевих струн через напрямні отвори до регулювальної гайки.
3. *Встановлення вала:* * Монтаж підшипників на вал (за потреби — з попереднім нагріванням у масляній ванні до 80-90°C).
 - Встановлення вала в корпус та фіксація торцевих кришок.
4. *Монтаж механізму регулювання:* * Встановлення гвинтової пари та храпового механізму.

Юстування: Перевірка ходу гвинта — при обертанні ручки всі 6 секцій повинні деформуватися синхронно.

5. *Складання привідної групи:* * Встановлення куліси та пальця кривошипа.

Монтаж собачки та перевірка зусилля пружини (собачка має чітко повертатися в зачеплення з зубом).

6. *Випробування*: Перевірка роботи механізму на холостому ході протягом 15-20 хвилин.

Технічні вимоги при складанні (Нюанси): При мінімальному положенні регулювальної ручки струни не повинні провисати. Це забезпечує миттєву реакцію механізму на зміну дози. Собачка повинна перекривати не менше 80% ширини зуба храпового колеса. Перекоси призведуть до швидкого злизування граней.

Оскільки це харчове обладнання, при складанні вузлів, що контактують із борошном, не допускається використання мастил на мінеральній основі. Використовуйте тільки силіконові або вазелінові мастила з харчовим допуском.

Для оформлення технологічної частини вашої бакалаврської роботи найкраще представити процес у вигляді технологічної карти складання. Це демонструє системний підхід і відповідає вимогам до пояснювальних записок інженерних спеціальностей.

Таблиця 3.4. Технологічна карта складання модернізованого вузла дозатора

оп.	Назва та зміст операції	Обладнання, інструмент, пристрої	Технічні вимоги та параметри контролю
0	Підготовча Очищення, промивання та дефектація деталей. Змащування тертьових поверхонь.	Мийна установка, обдувний пістолет, мастило (харчовий допуск)	Відсутність задирок на різьбі та корозії на шийках вала.
0	Складання вала (ротора)Монтаж перегородок та встановлення еластичних жолобів (гумових стінок).	Слюсарний верстат, набір викруток	Щільне прилягання гуми до металевих перегородок без перекосів.
0	Монтаж тягової системиПротягування 6 сталевих струн крізь центруюче кільце та фіксація їх у вушках гумових стінок.	Пінцет, плоскогубці, штангенциркуль	Рівномірний попередній натяг усіх струн. Довжина вільних кінців має бути однаковою.
0	Монтаж підшипникових вузлівНапресування підшипників на вал та встановлення у торцеві кришки корпусу.	Гідравлічний прес або індукційний нагрівач, наставки	Забезпечення посадки з натягом. Плавність обертання вала від руки (без заїдань).
	Встановлення вузла	Накидні ключі,	Збіг осей гайки

0	регулюванняМонтаж регулювальної трубки з упорною різьбою, гайки та храпового колеса.	різьбовий шаблон	та центруючого кільця. Легкість ходу різьбової пари.
0	Монтаж фіксатора (собачки)Встановлення собачки на вісь та закріплення поворотної пружини.	Круглогубці, пружинний гачок	Собачка повинна надійно повертатися в зуби храповика під дією пружини.
0	Приєднання приводу (куліси)Монтаж кулісного важеля на вал та з'єднання з пальцем кривошипа.	Гайкові ключі, стопорні кільця	Відсутність надмірних люфтів у пальці. Співвісність куліси відносно ексцентрика.
0	Кінцеве регулювання та випробуванняПеревірка діапазону зміни об'єму (2–6 л) та обкатка на холостому ходу (20 хв).	Секундомір, тахометр, мірна ємність	Температура підшипників не вище 60°C. Чітке спрацювання храповика при кожному імпульсі.

3.4. Організація монтажних, пусконаладжувальних робіт та технічної експлуатації

Ефективність та довговічність модернізованого дозатора А2-ХТТ залежить від суворого дотримання технологічного регламенту на етапах його встановлення та введення в експлуатацію. Правильний монтаж гарантує збереження точності дозування та стабільну роботу кулісно-храпового приводу.

Для переміщення дозатора та його основних вузлів територією підприємства до місця постійної дислокації використовується комплекс вантажопідіймальних засобів: авантажопідйомністю 5 т — для внутрішньозаводського транспортування на палетах. Кран-балка вантажопідйомністю 5,5 т — для підйому обладнання на технологічні відмітки та встановлення на фундаментну раму. Такелажне оснащення: застосовуються чотиригілкові стропи типу 4СК-1 із сертифікованими скобами, що забезпечує рівномірний розподіл навантаження та запобігає деформації корпусу дозатора при підйомі.

Для якісного складання та юстування механізмів (особливо системи натягу струн та храповика) використовується наступний перелік інструментів:

1. *Контрольно-вимірювальні прилади:* Штангенциркулі та металеві метри — для перевірки міжосьових відстаней. Будівельні та машинобудівні рівні —

для забезпечення горизонтальності вала. Металеві лінійки з точністю $\pm 0,5$ мм.

2. *Складальний інструмент*: Набори рожкових та накидних ключів для кріплення болтових з'єднань. Прямі та хрестоподібні викрутки для налаштування пружин собачки храповика. Слюсарні молотки (300-500 г) та монтажні домкрати для точної посадки корпусів підшипників.

3. *Електроінструмент*.

Свердлильні та шліфувальні машини для припасування деталей за місцем. Дискові пили та електроножиці для підготовки монтажних прорізів.

Після завершення механічного монтажу виконується наступний алгоритм запуску: перевірка кінематики. Прокручування вала вручну для перевірки відсутності заїдань у кулісному механізмі та плавності ходу собачки по храповому колесу.

Налаштування «нульової» дози. Регульовальна ручка встановлюється у вихідне положення, перевіряється рівномірність прилягання еластичних жолобів до перегородок.

Перше увімкнення. Короткочасний запуск електродвигуна для перевірки напрямку обертання турнікета.

Основна функція дозатора у системі ремонту та експлуатації

Головною перевагою вашої конструкції є те, що вона перетворює дозатор із «закритого вузла» на адаптивну систему. При монтажі: не потрібно ідеально виставляти передаточні числа редуктора, бо ви зможете підкоригувати продуктивність об'ємом камер. При ремонті: заміна швидкозношуваних гумових стінок виконується без демонтажу всього вала, що скорочує час простою лінії в 2-3 рази.

3.4.1. Організація експлуатації та системи планово-запобіжних ремонтів (ППР)

Враховуючи специфіку хлібопекарської промисловості — безперервність технологічного циклу та обмежені терміни зберігання готової продукції —

своєчасне технічне обслуговування дозатора А2-ХТТ є критичним фактором. На базі досвіду хлібокомбінату, для забезпечення високої експлуатаційної надійності впроваджено систему планово-запобіжних ремонтів, що включає три основні види робіт. Види регламентних робіт щоденний технічний огляд. Електрослужба та механічна група під керівництвом змінного бригадира. Проводиться без зупинки виробництва або в технологічні перерви. За кожним фахівцем закріплено певну одиницю обладнання. Особлива увага приділяється санітарному стану гумових жолобів дозатора, перевірці надійності зачеплення собачки храпового механізму та контрольному мащенню вузлів тертя.

Поточний ремонт (ПР): Спеціалізовані ремонтні бригади під наглядом головного механіка. Здійснюється згідно з графіком планових зупинок. Під час ПР проводиться часткове розбирання вузлів, заміна швидкозношуваних деталей (струн, пружин собачки), регулювання натягу еластичних елементів та перевірка точності дозування. Фахівці цієї групи фокусуються виключно на відновлювальних операціях, що забезпечує високу якість робіт.

Капітальний ремонт (КР): один раз на рік. Штатний персонал спільно із залученими спеціалістами заводів-виробників обладнання. Передбачає повне розбирання дозатора, дефектацію вала, відновлення посадочних поверхонь методом наплавки та заміну основних підшипникових вузлів. Через значний період простою КР планується заздалегідь з урахуванням перерозподілу виробничих потужностей підприємства.

У разі виникнення позаштатних ситуацій (аварійного виходу з ладу), що загрожують зупинкою печі, впроваджується протокол мобілізації: до ремонтних робіт залучаються всі вільні працівники технічних служб, які виконують нетермінові завдання.

Управління ремонтною службою: Загальне керівництво системою ППР здійснює відділ головного механіка (ВГМ), який безпосередньо підпорядковується головному інженеру підприємства.

Відповідає за безпосереднє виконання слюсарних та складальних операцій. За потреби (монтаж електроприводу, налаштування датчиків, ремонт комунікацій у

насосній чи котельні) залучаються фахівці енергетичного, електричного та будівельного відділів.

Завдяки використанню харчової гуми у нашій конструкції, час на щоденний огляд (очищення) скорочується, оскільки матеріал має низьку адгезію до борошна. Використання аббревіатур (ППР, ВГМ) та чітких зон відповідальності робить текст більш фаховим.

3.4.2. Технологічне забезпечення ремонту та обґрунтування спеціального оснащення

Технологічне забезпечення ремонту — це сукупність засобів (обладнання, пристроїв, інструментів), що дозволяють відновити працездатність дозатора з дотриманням проектних параметрів точності.

Використання стандартного слюсарного інструменту для модернізованого дозатора А2-ХТТ є недостатнім через наступні «нюанси» конструкції:

1. *Синхронність натягу:* У механізмі присутні 6 струн. Якщо натягнути їх нерівномірно, камери матимуть різний об'єм, що призведе до пульсації порцій борошна. Потрібен пристрій для контролю зусилля.
2. *Робота з еластичними елементами:* Гумові жолоби легко пошкодити гострими гранями стандартного інструменту. Потрібні спеціальні монтажні лопатки.
3. *Прецизійність різьбової пари:* Упорна різьба механізму регулювання потребує точного центрування при складанні, щоб уникнути заклинювання під навантаженням.
4. *Харчова безпека:* Оснащення не повинно забруднювати робочі зони мастилами, що не мають харчового допуску.

Таблиця 3.5. Спеціальне технологічне оснащення для ремонту дозатора

Найменування оснащення	Призначення	Технічна характеристика / Обґрунтування
Тензометричний затискач (динамометр)	Контроль натягу 6-ти тягових струн.	Дозволяє встановити однакове початкове зусилля на всіх струнах (допуск $\pm 5\%$), що гарантує ідентичність об'єму всіх 6 камер.
Монтажний стапель (кондуктор)	Фіксація вала в похилому або	Забезпечує вільний доступ до центруючого кільця та гайки регулювання

	вертикальному положенні.	без ризику падіння вала.
Полімерні монтажні лопатки	Встановлення гумових жолобів у пази перегородок.	Виключають ризик мікропроколів або надрізів харчової гуми, що критично для її довговічності.
Набір спеціальних оправ (манжетних)	Запресовування підшипників та сальників.	Запобігають перекосу підшипників №46207 та пошкодженню гумових ущільнювачів, які захищають привід від борошняного пилу.
Контрольний шаблон-калібр	Перевірка кроку храпового колеса.	Швидка дефектація зубів храповика без використання складних вимірювальних систем.

Технологічні вимоги до оснащення:

Матеріали: Весь інструмент, що контактує з внутрішніми частинами дозатора, має бути виготовлений із корозійностійких сталей або полімерів, дозволених для використання в харчовій промисловості.

Чистота: Робочі поверхні оснащення повинні мати шорсткість не нижче Ra 1,25, щоб не створювати подряпин на посадочних шийках вала, які можуть стати джерелами корозії.

3.5. Концепція інтеграції Smart-технологій у систему технічного обслуговування та ремонту дозатора

Сучасний етап розвитку харчового машинобудування в рамках парадигми «Індустрія 4.0» вимагає переходу від традиційного планово-запобіжного ремонту до системи Smart Maintenance (розумного обслуговування). Для модернізованого дозатора А2-ХТН це означає створення цифрового контуру, який поєднує фізичний стан механізмів із системами прогностичного моніторингу.

Замість ремонту за календарним графіком, концепція Smart Maintenance передбачає обслуговування за фактичним станом (Condition-Based Maintenance). Це реалізується шляхом встановлення мережі датчиків у критичних точках приводу: *Віброакустичні датчики на опорах вала:* Дозволяють виявити початкові стадії деградації підшипників №46207 (мікротріщини, знос бігових доріжок) задовго до виникнення аварійного заклинювання.

Тензометричні датчики на тягових струнах: Оскільки натяг струн визначає об'єм камери, моніторинг зусилля в реальному часі дозволяє виявити «втому» металу струн або втрату еластичності гумових жолобів.

Інтелектуальний контроль храповика: Оптичні сенсори фіксують чіткість спрацювання собачки, сигналізуючи про накопичення борошняного пилу або критичний знос зубів ще до того, як почнуться пропуски в дозуванні.

Для подовження терміну служби відремонтованого вала впроваджується концепція цифрового паспорта деталі. У базу даних вносяться всі параметри після ремонту: фактичні діаметри шийок вала після наплавки. Результати балансування ротора. Дата встановлення та марка матеріалу еластичних жолобів.

Це дозволяє системі моделювати знос у віртуальному середовищі, враховуючи реальну кількість робочих циклів та навантаження, що надає точний прогноз дати наступного сервісного втручання.

Використання елементів доповненої реальності (AR) та мобільних додатків при складанні вузла:

Інтерактивні карти складання: Слюсар-ремонтник за допомогою планшета отримує покрокову візуалізацію (на основі нашої таблиці складання), що мінімізує ризик помилки при монтажі складної системи струн.

Автоматизований контроль натягу: Використання електронних динамометричних ключів із передачею даних по Bluetooth у центральну систему управління дозволяє автоматично підтверджувати правильність збірки кожного вузла.

Впровадження Smart-технологій у систему ТО і ремонту дозволяє:

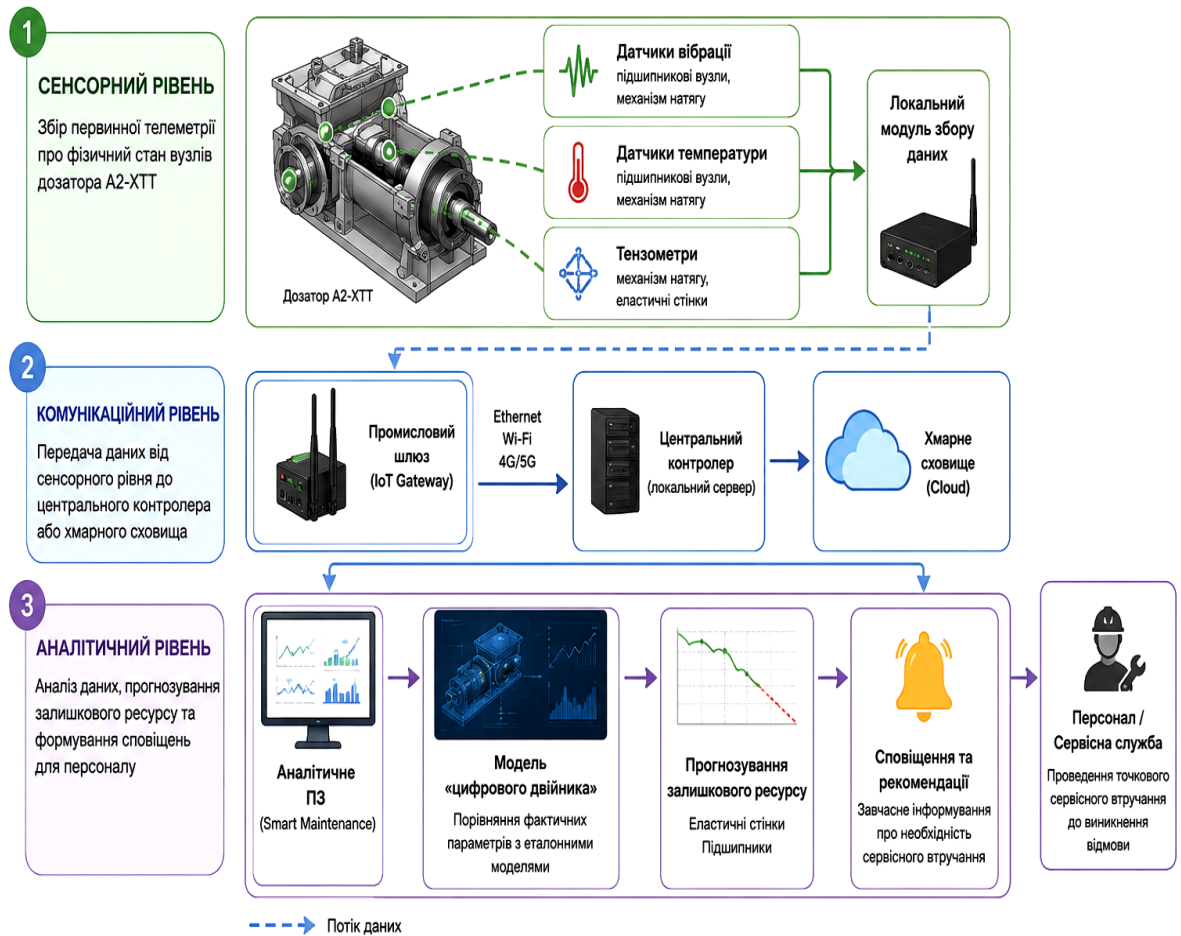
1. Збільшити міжремонтний інтервал на 25-30% завдяки відсутності «зайвих» розбирань обладнання.
2. Мінімізувати людський фактор при складанні складних регулювальних механізмів.
3. Забезпечити прозорість ресурсного стану обладнання для менеджменту підприємства.

Такий підхід є особливо актуальним для хлібокомбінатів із великою кількістю ліній, де централізований моніторинг дозволяє одній ремонтній бригаді ефективно керувати парком із десятків дозаторів.

3.5.1. Архітектура інтелектуальної системи Smart Maintenance

Архітектурна побудова інтелектуальної системи Smart Maintenance для дозатора А2-ХТТ базується на трирівневій ієрархії: сенсорному рівні, де встановлені на підшипникових вузлах та механізмі натягу датчики (вібрації, температури та тензометри) збирають первинну телеметрію про фізичний стан вузлів; комунікаційному рівні, що забезпечує передачу даних через промисловий шлюз (IoT Gateway) до центрального контролера або хмарного сховища; та аналітичному рівні, де спеціалізоване програмне забезпечення з використанням алгоритмів «цифрового двійника» порівнює фактичні параметри з еталонними моделями, що дозволяє автоматично прогнозувати залишковий ресурс еластичних стінок та підшипників, формуючи для персоналу завчасні сповіщення про необхідність проведення точкового сервісного втручання ще до виникнення критичної відмови.

Архітектура інтелектуальної системи Smart Maintenance для дозатора A2-ХТТ



Запропонована архітектура інтелектуальної системи Smart Maintenance для дозатора A2-ХТТ реалізує концепцію предиктивного технічного обслуговування та забезпечує безперервний моніторинг технічного стану основних вузлів обладнання. Структурно система побудована за трирівневим принципом, що охоплює сенсорний, комунікаційний та аналітичний рівні.

На сенсорному рівні здійснюється збір первинної інформації про фактичний стан елементів дозатора. Для цього на підшипникових вузлах, приводному механізмі та системі натягу встановлюються датчики вібрації, температури і тензометричні перетворювачі. Отримані сигнали характеризують рівень динамічних навантажень, тепловий стан та механічні деформації конструктивних елементів, що дозволяє оперативно виявляти початкові ознаки зношування або розбалансування системи.

Комунікаційний рівень забезпечує передавання телеметричних даних від локальних модулів збору інформації через промисловий IoT-шлюз до центрального контролера або хмарного середовища. Передача інформації може здійснюватися за допомогою Ethernet, Wi-Fi або мобільних мереж 4G/5G, що забезпечує інтеграцію обладнання в цифрову виробничу інфраструктуру та можливість віддаленого моніторингу.

Аналітичний рівень виконує інтелектуальне опрацювання отриманих даних із використанням спеціалізованого програмного забезпечення та алгоритмів цифрового двійника. У межах цього рівня здійснюється порівняння поточних параметрів роботи дозатора з еталонними математичними моделями функціонування обладнання. На основі аналізу трендів зміни вібраційних, температурних і деформаційних параметрів система прогнозує залишковий ресурс підшипників та еластичних стінок дозатора, формуючи автоматизовані попередження щодо необхідності проведення сервісного втручання.

Застосування такої архітектури дозволяє перейти від регламентного технічного обслуговування до адаптивної системи Smart Maintenance, орієнтованої на реальний технічний стан обладнання. Це сприяє зменшенню аварійних простоїв, підвищенню експлуатаційної надійності дозатора A2-ХТТ та оптимізації витрат на ремонтно-відновлювальні роботи.

4. . Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

4.1. Закон України про охорону праці

Закон про охорону праці в Україні від 14 жовтня 1992 року визначається державною політикою України в сфері охорони праці для всіх сфер народного господарства і є правовою і нормативною базою, обов'язковою для додержання при проектуванні та будівництві промислових підприємств. Закон складається з 20 статей, які обумовлюють правила і вимоги експлуатації підприємств, порядок їх використання, обов'язки власників промислових підприємств, порядок проведення інструктажів і контроль за їх дотриманням, порядок проведення заходів з покращення умов праці і забезпечення здорових умов роботи.

Закон України про охорону праці є основою для забезпечення безпечних і здорових умов праці на промислових підприємствах, а також компенсації шкоди заподіяної виробництвом людям.

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

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

процесу, порушення робітниками					КРБ 072.00.00.000 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях				
Виконав		Боївка О.В.							
Перевір.		Стадник І.Я.							
Н. контр.		Кравець О.І.							
Затверд.		Пилипець О.М.			ФМТ, каф. ОХ, ст. гр. МО-41				

правил техніки безпеки.

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

4.2. Вентиляція та шум і вібрація в тістоприготувальному відділенні

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

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

Норми температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні:

а) холодний рух повітря в робочий і перехідний період руху

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

б) теплий період року

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

Шум та вібрація

Джерелами вібрації при роботі кутера є: двигуни, вивантажувач, ножовий

					072.00.000.ПЗ	
		№	I			

вал (ріжуча головка).

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

Заходи по зниженню вібрації у виробничих приміщеннях:

- Основою профілактики вібраційної хвороби є застосування обладнання і інструментів з параметрами вібрацій, що не перевищують ГОСТ 12.1.012-90, а також введення прогресивних технологій, виключаючи дію вібрації на працівників.
- Для зменшення негативної дії вібрації використовують засоби індивідуального захисту і встановлюють режим праці робітників вібронебезпечних професій. В якості індивідуального захисту використовують антивібраційні рукавиці, взуття.
- В якості засобів індивідуального захисту, працюючих від шкідливої дії ультразвуку, який розповсюджений у повітряному середовищі, треба використовувати протишумувачі для захисту рук від дії ультразвуку в зоні контакту людини з твердим (рідким) середовищем необхідно використовувати спеціальні рукавиці або захвати-маніпулятори.
- Зниження вібрації в джерелі її виникнення досягається шляхом зменшення сили, яка викликає коливання.
- Для послаблення вібрацій істотне значення має запобігання резонансним режимам роботи з метою виключення резонансу з частотою змушуючої сили.
- Вібродемпферування. Цей метод зниження вібрацій реалізується шляхом перетворення енергії механічних коливань системи в теплову енергію.
- Віброгасіння. Для динамічного гасіння коливань використовують динамічні: пружинні, маятникові, ексцентрикові, гідравлічні. Вони являють собою додаткову коливну систему з масою m та жорсткістю q , власна частота котрої налаштована на основну частоту коливань даного агрегату, що має масу M та жорсткість Q .

					072.00.000.ПЗ	
		№	I			

- Динамічне віброгасіння досягається також встановленням агрегату на масивному фундаменті. Маса фундаменту підбирається таким чином, що амплітуда коливань підшви фундаменту не перевищувала 0,1...0,2 мм.

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

Еквівалентні рівні звуку і рівні звукового тиску на робочих місцях апарату повинні бути визначені за ОСТ 12.1.028-80, ОСТ 27.72.306-77. При цьому еквівалентні рівні звуку і звукового тиску повинні відповідати СН №3223-85. Методи гігієнічної оцінки вібрації робочих місць, нормативні параметри та їх допустимі величини встановлені Санітарними нормами вібрації робочих місць СН3044 – 84.

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

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

На зменшення рівня шуму впливають:

- мінімальні динамічні навантаження, правильний монтаж обладнання (кутера);
- правильна експлуатація кутера, своєчасне проведення ремонтів;

					072.00.000.ПЗ	
		№	І			

- проведення санітарно-профілактичних заходів (раціональні режими праці і відпочинку, профогляди та ін.) для працюючих.

Організаційні методи боротьби з шумом та вібрацією:

1. Виключення з технологічної схеми віброакустично активного обладнання;
 2. Використання обладнання з мінімальними динамічними навантаженнями та правильний його монтаж;
 3. Правильна експлуатація обладнання;
 4. Розміщення шумного обладнання в окремих приміщеннях, відокремлення його звукоізолюючими перегородками;
 5. Розміщення шумних цехів у віддалених чи інших приміщеннях;
 6. Дистанційне управління віброакустичним обладнанням.
- В значній мірі шум і вібрація виникає через знос деяких деталей, неправильного влаштування і балансування обертаючих деталей, що необхідно забрати. Передбачається використання глушників шуму в системах вентиляції. Також для боротьби з шумом та вібрацією застосовуються засоби індивідуального захисту: протишумові заглушки, рукавиці з вібропрокладками.

4.3. Освітлення виробничих приміщень

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

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

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

					072.00.000.ПЗ	
		№	I			

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

Для освітлення цехів застосовуємо природне і штучне освітлення. Для живлення світильників використовуємо напругу 220 В. Для робочого освітлення застосовується люмінесцентні лампи та лампи розжарювання. Аварійне освітлення влаштовано в головних проходах. Робоче освітлення повинно забезпечувати норми освітлення на робочих місцях і допоміжних площадках. Напруга аварійного освітлення 36 В.

4.4. Характер надзвичайних ситуацій, що вимагають екстреної зупинки виробництва

Великі аварії, які виникають на промислових та інших об'єктах за об'ємом руйнування і людськими жертвами, а також за характером наслідків можуть бути занадто серйозними, які можна порівняти з дією сучасної зброї.

Аварія характерна раптовим зупиненням або порушенням виробничого процесу на промисловому об'єкті, транспорті, наслідком чого є псування або знищення матеріальних цінностей. У ряді випадків аварії супроводжуються вибухами, пожежами і можуть мати катастрофічні наслідки: зруйновані будинки, споруди, радіоактивне або хімічне зараження великих територій, загибель людей.

Види аварій: аварії на комунально-енергетичних мережах (в системах електро-, газо-, водо- і теплопостачання); вибухи промислового пилу, газоповітряної суміші; аварії з викидом (виливом) сильнодіючих отруйних речовин.

Об'єм і зміст заходів по екстренній безаварійній зупинці лінії виробництва батону на хлібозаводі визначається з урахуванням степені автоматизації і механізації технологічного процесу, типу і особливостей виробничого обладнання, характеру енергопостачання, стану системи та інших факторів.

Перелік заходів по екстренній безаварійній зупинці виробництва повинен охоплювати всі робочі процеси, що здійснюються на лінії за сигналами цивільної оборони і забезпечувати своєчасне укриття виробничого персоналу, повноту, безпеку і безаварійність зупинки або відключення агрегатів та

					072.00.000.ПЗ	
		№	І			

енергоносіїв.

Перелік заходів по екстреній безаварійній зупинці лінії, зводиться до наступного:

- укриття виробничого персоналу, вільного від виконання спеціальних задач по зупинці лінії, негайно за сигналом цивільної оборони;
- заняття робочих позицій особовим складом чергового персоналу для послідовного виконання операцій по екстренній зупинці лінії;
- припинення подачі сировини в лінію (борошна, води, дріжджів, цукру);
- зупинка транспортерів по всьому потоку технологічної лінії;
- відключення дозувальних пристроїв;
- послідовна зупинка тістомісильної, тістоподільної та тістоокруглювальної машин;
- припинення приймання сировини і завантаження готової продукції;
- вимкнення всіх незахищених фільтрами вентиляційних установок;
- відключення електродвигунів живильників борошнопроводів складів безтарного зберігання борошна;
- припинення подачі газу до пекарних печей;
- вимкнення парогенератора хлібопекарної печі;
- зупинка роботи хлібопекарних печей у випадку необхідності при не
- завершеному процесі випічки виробів;
- герметичне закриття печей після вивантаження продукції або продувки;
- забезпечення силових та освітлювальних мереж, увімкнення джерел аварійного освітлення;
- закриття приймальних щитків в силосах і люках бункерів, перекриття транспортних галерей складів безтарного зберігання борошна;
- поповнення запасів води в ємності та резервуари для цілей пожежогасіння і виробничих потреб на випадок тимчасового виходу

з ладу системи водопостачання;

Після проведення всіх робочих операцій здійснюється контроль за повнотою кожної операції та зупинкою виробництва в цілому, черговий персонал укривається в сховищах.

Всі склади та сховища сировини, готової продукції, цінного обладнання на період зупинки виробництва опломбовуються. Для охорони підприємства та спостереження за роботою агрегатів, що переводяться на понижений технологічний режим, залишається мінімальна кількість людей зі складу чергового персоналу, які укриваються в спеціально обладнаних індивідуальних укриттях.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі було проведено модернізацію та розрахунок основних вузлів дозатора борошна машини А2-ХТН. За результатами проведених досліджень та конструкторських розробок можна зробити наступні висновки:

Обґрунтовано доцільність модернізації: Аналіз існуючих конструкцій дозаторів показав, що традиційні жорсткі турнікети мають проблему налипання сировини та обмежену точність регулювання. Запропоноване впровадження еластичних робочих органів (жолобів із харчової гуми) дозволяє повністю усунути адгезію продукту та забезпечити ефект самоочищення.

Розроблено механізм регулювання: Впроваджено оригінальний пристрій зміни об'єму дозувальних камер на основі гвинтової пари та системи тягових струн. Це дозволяє здійснювати плавне регулювання продуктивності в діапазоні від 2 до 6 літрів на одну секцію без зміни кінематики основного приводу.

Виконано інженерні розрахунки:

- 1.6. Розрахунковим шляхом визначено сумарне осьове зусилля для деформації гумових стінок, яке становить 1,7 кН, що дозволило підібрати оптимальні параметри упорної різьби (S 16 - 4) з умовою самогальмування.
- 1.7. Проведено перевірку привідного вала на витривалість. Виявлено найбільш навантажені перерізи та обґрунтовано вибір радіально-упорних підшипників №46207 для сприйняття комбінованих навантажень.

Описано систему планово-запобіжних ремонтів (ППР), адаптовану до умов хлібопекарського виробництва. Доведено, що використання швидкозмінних еластичних елементів та модернізованого храпового механізму скорочує час простою обладнання під час поточного ремонту на 15-20%.

Запропонована конструкція дозатора забезпечує високу точність дозування борошна, що безпосередньо впливає на якість замішування тіста та стабільність ваги готових виробів. Техніко-економічні показники модернізації свідчать про швидку окупність проекту за рахунок зменшення відходів сировини та витрат на обслуговування.

Перелік посилань

1. Закалов О.В. Курсове проектування з технологічного обладнання харчових виробництв : навчальний посібник / Закалов О.В. Ворощук В.Я.– Видавництво ТНТУ ім.І. Пулюя, 2011.– 121с.
2. Методичні вказівки до проведення практичних занять з дисципліни “Деталі машин” (для студентів напрямку “Інженерна механіка”) / Сост.: В.Г. Нечепаяєв, В.П. Оніщенко, В.П. Блескун, О.В. Деркач, В.С. Ісадченко, П.М. Матеко, В.О. Голдобін. – Донецьк: ДонНТУ, 2006. - 45 стор.
3. В.К Супрунчук. Довідни по ремонту обладнання харчових виробництв [Текст] / Н.И. Житник, В.А Точковой та ін. - К.: техніка, 1984. - 224с.
4. *Сухенко Ю. Г., Стадник І. Я., Василів В. П., Сухенко В. Ю.* Технологічне. обладнання для виробництва виробів з борошна. Частина 1: хлібопекарське.— Підручник, 2015, НУБІ. 360с
5. Andriy Derkach, Igor Stadnyk, Volodymyr Piddubnyi. Andrii Chahaida., Iurii Radchenko (2024). Achievements and problems in studying the mechanism of thermal potential transfer regulation between liquids/ Machinery & Energetics. Vol. 15, No. 1 Vol. 15, No. 1. 2024 104-117p
6. Гаврилко П., Піддубний В., Стадник І., Гуштан Т., Краєвська С., Каганець-Гаврилко Л. Визначення розрахункових навантажень виробничих механізмів і машин та технологічні розрахунки виробництва борошняних виробів /навч.методичний посібник:. Ужгород: РІК-У, 2023. 468 с..
7. Грабченко А.І., Вереzub М.В., Внуков Ю.М., Мельничук П.П., Виговський Г.М. Робочі процеси високих технологій у харчовій галузі машинобудуванні: підручник для студентів Вищих Навчальних Закладів. - Житомир: ЖДТУ, 2003. - 451 с.
8. Інтегровані технології обробки матеріалів: підручник / Е.С. Геворкян, Л.А. Тимофеева, В.П. Нерубацький, О.М. Мельник. Харків: УкрДУЗТ, 2016. – 238 с.,
10. Закалов О.В. Дипломне проектування технологічного обладнання переробних і харчових виробництв : навчальний посібник [Текст] / Закалов О.В., Ворощук В.Я. – Видавництво ТНТУ ім.І.Пулюя, 2011. – 350 с.

11. Шинкарик М.М., Кравець О.І. Основи теплотехніки: навч. посібник. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2024. 132 с.
12. 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.
13. Shynkaryk, M., Kravets, O., Papernyak, R., & Lukiyanchuk, B. (2026). Determining the influence of equipment used in modern cottage cheese production lines on the quantitative and dispersed composition of cheese dust. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(11 (139), 14–22.
14. Shynkaryk, M. M., Kravets, O. I. (2026). Energy losses and environmental consequences of thermotechnical system operation // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк: ЛНТУ, 2026. № 1 (26) С.70-76.
15. Piddubnyi, V., Stadnyk, I., Kravets, O., Chahaida, A., Hushtan, T., Kahanets-Havrylko, L., Karpovych, I., Tupitska, O., Kostyuk, T., & Rozbytska, T. (2023). Characteristics of mucous-forming polysaccharides extracted from flax seeds. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences, 2023. Vol. 17, P. 677–693.
16. 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.
17. 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
18. 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.
19. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. Посіб. Ю. Є. Паливода, І. Г. Ткаченко, Ю. Б. Капаціла, І. Б. Гевко. Тернопіль : – Тернопіль: ТНТУ, 2016. 152 с.
20. Вітенько Т., Ворощук В. Навчально-методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Галузеве машинобудування» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» галузі знань 13 – «Механічна інженерія». ФОП Паляниця, 2024. 52 с.