

Міністерство освіти і науки України  
Гернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій  
(назва факультету)

Кафедра обладнання харчових технологій  
(повна назва кафедри)

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи

магістр

(освітній рівень)

на тему:

**Модернізація вузла замішування машини неперервної дії  
марки Х-26**

Виконав: студент VI курсу, групи МО<sub>м</sub>-61,  
спеціальності: 133 «Галузеве машинобудування»  
(шифр і назва спеціальності)

Ворончак Д.В.  
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник

Стадник І.Я.  
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Нормоконтроль

Ворощук В.Я.  
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Завідувач кафедри

Вітенько Т.М.  
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

(підпис)

м. Тернопіль – 2023

## Анотація

Автор кваліфікаційної роботи освітнього рівня «магістр» – Ворончак Дмитро Володимирович.

Тема кваліфікаційної роботи магістра: Модернізація вузла замішування неперервної дії машини марки Х-26.

Кваліфікаційну роботу виконано в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя в 2023 році.

Кваліфікаційна робота освітнього рівня «магістр» складається із розрахунково-пояснювальної записки обсягом 68 сторінок (28 рисунків, 3 таблиці) та графічної частини: 8 креслень формату А1.

У кваліфікаційній роботі пропонуються заходи з модернізації вузла замішування неперервної дії тістомісильної машини марки Х-26.

В ході виконання даної роботи виконуються наступні задачі:

аналіз особливостей конструкцій технологічного обладнання для замішування тіста;

розрахунок потужності, необхідний для привода;

розрахунок сальникового вузла;

кінематичний розрахунок привода;

розрахунок зубчастої циліндричної передачі;

створення 3Д моделі вузла замішування та проведення досліджень з використанням комплексу SolidWorks;

систематизація та аналіз отриманих при числових дослідженнях робочого органу результатів.

Запропоновано заходи з монтажу і експлуатації тістомісильної машини марки Х-26, заходи з охорони праці та техніки безпеки.

**Ключові слова:** машина, місильний орган, лопатка.

## Зміст

Анотація .....	4
Abstract .....	5
Вступ.....	8
1. Аналіз сучасного стану об'єкту дослідження, вибір і обґрунтування основних напрямків дослідження.....	10
1.1. Огляд технологічного обладнання для замішування харчових компонентів.....	10
1.2. Аналіз та короткий опис об'єкту дослідження .....	15
1.3. Мета та задачі кваліфікаційної роботи .....	16
2. Методи та методики досліджень .....	18
2.1. Обґрунтування теоретичних і експериментальних методів і засобів досліджень .....	18
2.2. Алгоритм і методики проведення математичного моделювання (чисельного експерименту) .....	20
2.3. Методи аналізу похибок теоретичних й експериментальних досліджень.....	22
3. Розроблення нових проектно-технологічних і технічних вирішень вдосконалення об'єкта дослідження .....	24
3.1. Опис технологічної лінії та апаратурної схеми обладнання для виробництва хліба .....	24
3.1.1. Основні технологічні етапи у виробництві хлібобулкових виробів, різновиди використовуваної сировини та її характеристики .....	24
3.1.2. Технологія приготування дрібноштучної хлібопекарської продукції.....	27
3.2. Опис будови і роботи тістомісильної машини.....	30

3.3. Кінематичний аналіз тістомісильної машини X-26.....	32
3.4. Конструктивні розрахунки тістомісильної машини.....	34
3.4.1. Розрахунок сальникового вузла [19].....	34
3.4.2. Розрахунок зубчастої циліндричної передачі .....	36
3.5. Технологічний розрахунок тістомісильної машини.....	41
3.5.1. Розрахунок продуктивності місильної машини.....	41
3.5.2. Розрахунок потужності, необхідної для привода .....	41
3.6. Відомості про монтаж, експлуатацію та ремонт обладнання .....	46
3.6.1. Порядок та терміни проведення ППР та налагодження обладнання .....	46
3.6.2. Монтаж, ремонт і експлуатація тістомісильної машини .....	47
4. Комп'ютерне моделювання робочого органу замішування тістомісильної машини неперервної дії .....	49
4.1. Моделювання робочого органу з використанням комп'ютерної програми.....	49
4.2. Моделювання та вплив навантажень компонентів робочого органу.....	50
4.3. Аналіз і обґрунтування результатів .....	57
5. Заходи з охорони праці та техніки безпеки.....	59
Висновки .....	65
Перелік посилань.....	66
Додатки	

## Вступ

Ефективність виробництва, рівень технічного прогресу та якість продукції нерозривно пов'язані із станом технологічного обладнання, впровадження сучасних методик техніко-економічного аналізу, які визначають ключові фактори у прийнятті рішень з питань технічного розвитку. Хлібобулочна продукція є невід'ємною складовою для раціону харчування кожної людини. Забезпечення надійності виробництва та оптимізація собівартості пекарських виробів визначають не лише асортимент та цінову політику, але й важливі аспекти економічної ефективності. Отже, дослідження конструкції робочих органів замішувальних машин під час замішування тіста, визначається як ключова інженерно-наукова задача для оптимізації процесу виробництва хлібобулкових виробів.

Дана кваліфікаційна робота спрямована для вирішення таких завдань:

аналіз особливостей конструкцій технологічного обладнання для замішування тіста;

розрахунок потужності, необхідний для привода

розрахунок сальникового вузла;

кінематичний розрахунок привода;

розрахунок зубчастої циліндричної передачі;

створення 3Д моделі вузла замішування та проведення досліджень з використанням комплексу SolidWorks;

систематизація та аналіз отриманих при числових дослідженнях робочого органу результатів;

розроблення заходів з монтажу і експлуатації, заходи з охорони праці та техніки безпеки.

**Об'єкт дослідження.** Напруження та деформації, що виникають в місильному органі в процесі роботи машини.

**Предмет дослідження.** Тістомісильна машина Х-26.

**Методи досліджень.** Експериментальні та теоретичні методики і засоби досліджень.

**Наукова новизна кваліфікаційної роботи.**

створено 3d модель місильної лопатки в компонуванні з валом робочого органу місильної машини Х-26 для виконання дослідження і розрахунку конструкції, а також модель в зборі місильного корита;

встановлено вплив конструктивних параметрів місильної лопатки та вала робочого органу в процесі роботи за рівнем напруження за фон Мізесом, статичних переміщень та залишкових деформацій, а також запасу міцності (FOS).

Отримані результати дослідження місильної лопатки можуть бути корисні для аналізу будь-яких існуючих робочих органів замішувальних агрегатів на виробництві. Крім того, ці результати можуть служити основою для розробки нових конструктивних рішень у галузі замішування тіста.

**Структура та обсяг кваліфікаційної роботи.** Робота складається із розрахунково-пояснювальної записки обсягом 80 сторінок (40 рисунків, 3 таблиці) та графічної частини: 7 креслень формату А1.

# 1. Аналіз сучасного стану об'єкту дослідження, вибір і обґрунтування основних напрямків дослідження

## 1.1. Огляд технологічного обладнання для замішування харчових компонентів

Місильна машина Т-512 (рис. 1.1) призначена для замішування тіста із пшеничного та житнього борошна.

Її виробляють у двох варіантах – з підкатними діжами та п'ятидіжовою каруселлю. Складається машина з корпусу, шнека, кронштейна, діжі з кареткою, приводу та основи.

Основним вузлом місильної машини є корпус, у якому розміщується привід місильного органу на консольній частині. Привід складається з електродвигуна і черв'ячного редуктора, що з'єднані між собою клинопасовою передачею. Цапфа місильного органу кріпиться на вихідний вал редуктора, а на цапфу монтується кришка за допомогою фторопластового шарикового підшипника. Три пружини 8, розташовані в гільзі 9, гарантують щільне закривання діжі під час замішування.

Діжа представляє собою циліндричну поверхню із ручками, яка розміщена на кронштейнах.

У корпусі машини розташований бак для води з електрообігрівом, що є ємністю з водомірним склом і термореле. Нижня частина бака містить ТЕН. Штанга, закріплена болтами до фланця корпусу, на іншому кінці якої розташована бронзова гайка, з'єднана із валом-гвинтом приводу. Обертаючись вал-гвинт виконує підйом та опускання корпусу та місильного органу, що виконаний у вигляді стрічкового шнека.

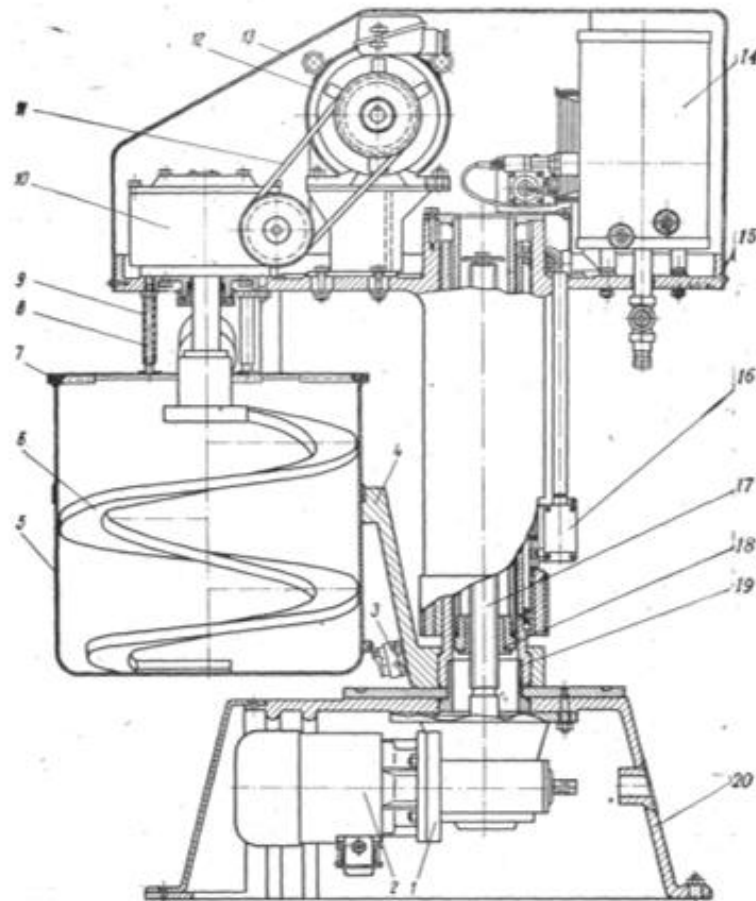


Рисунок 1.1 – Тістомісильна машина Т-512:

- 1, 10 – черв'ячний редуктор; 2, 12 – електродвигун; 3, 16 – кінцеві вимикачі;  
 4 – кронштейн у зборі; 5 – діжа; 6 – місильний орган; 7 – кришка;  
 8 – пружина; 9 – гільза; 11 – клинопасова передача; 13 – накриття в зборі;  
 14 – бак для води; 15 – корпус; 17 – вал-гвинт; 18 – бронзова гайка;  
 19 – колона; 20 – основа

Машина для замішування тіста «Стандарт» призначена для перемішування як сипких, так і рідких або пластичних продуктів (рис. 1.2). Вона складається з чавунного корпусу 1, розміщеного на фундаментній плиті, місильного органа 9 і підкатної діжі 11.

Місильний орган має форму зігнутого під кутом важеля, при цьому його робочий кінець обладнаний фігурною лопаткою, яка відповідає профілю діжі. Важіль місильного органа опирається на шарнірну вилку 8 і встановлений в підшипник 7, який запресований в корпус черв'ячного колеса.



Місильний орган приводиться в рух електродвигуном ( $P = 4,5$  кВт,  $\omega = 1440$  об/хв) через клинопасову передачу 3, черв'яка 4 і черв'ячне колесо 6, яке вільно насаджене на палець 5. При обертанні черв'ячного колеса пряма ділянка важеля описує коло, а зігнута – складну просторову криву. Кількість коливань місильного важеля становить 23,5 об/хв.

Діжа є сталюю штампованою ємністю, центральна цапфа 10 якої встановлена у втулку трьохколісної карети 13. Під днищем діжі закріплене черв'ячне колесо 12, яке входить в зачеплення з черв'яком 18. Діжа приводиться в рух від вала черв'яка 4 через клинопасову передачу 19 і обертається з частотою 5,9 об/хв. Об'єм діжі складає 330 л.

Для замішування тіста діжа піднімається на фундаментну плиту 15, каретка 13 фіксується важелем 17, і після цього кришка 10 закривається, а машина вимикається.

Після завершення замішування вимикається електродвигун 2, піднімається ковпак 10, перевіряється положення лопаті місильного важеля 9. Якщо важіль зупинився в нижньому положенні, його необхідно підняти вгору. Потім, натиском на педаль 14, діжа вільно відсікається і тягнеться назад до тих пір, поки діжа не скотиться вниз по нахилу під впливом власної ваги.

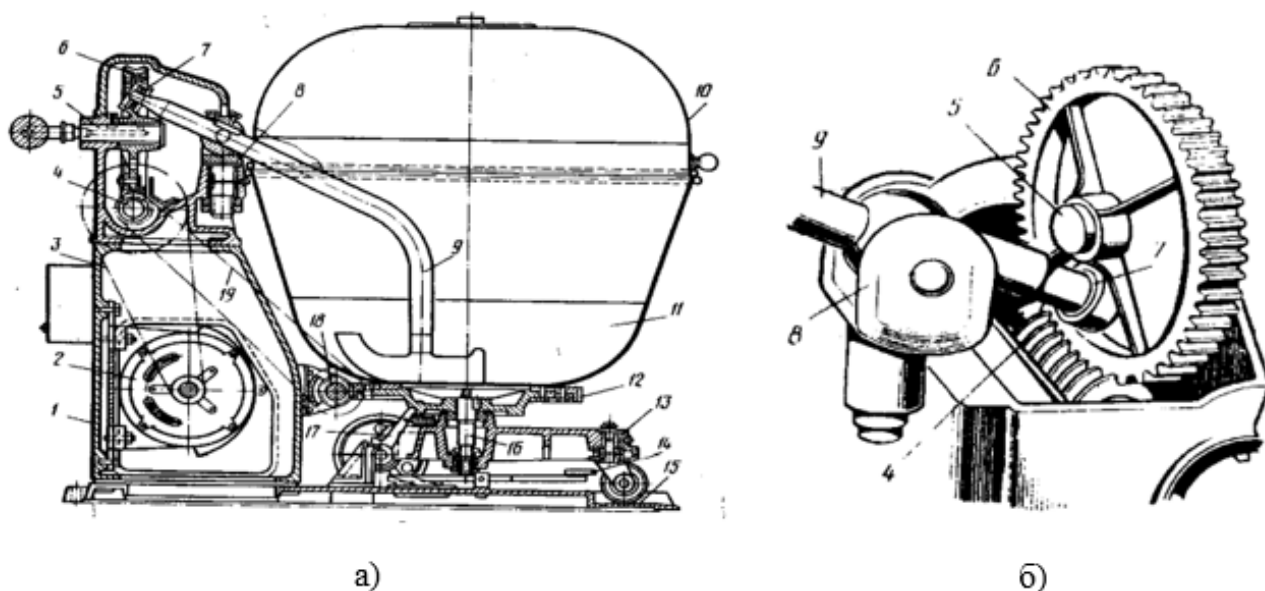


Рисунок 1.2 – Тістомісильна машина «Стандарт»:

а – загальний вигляд; б – механізм приводу місильного органу

Тістомісильна машина А2-ХТН із місильним коритом Х-12 призначена для замішування тіста із пшеничного борошна І сорту та житнього (рис. 1.3).

Цей пристрій відноситься до машин безперервної дії із лопатевими місильними органами.

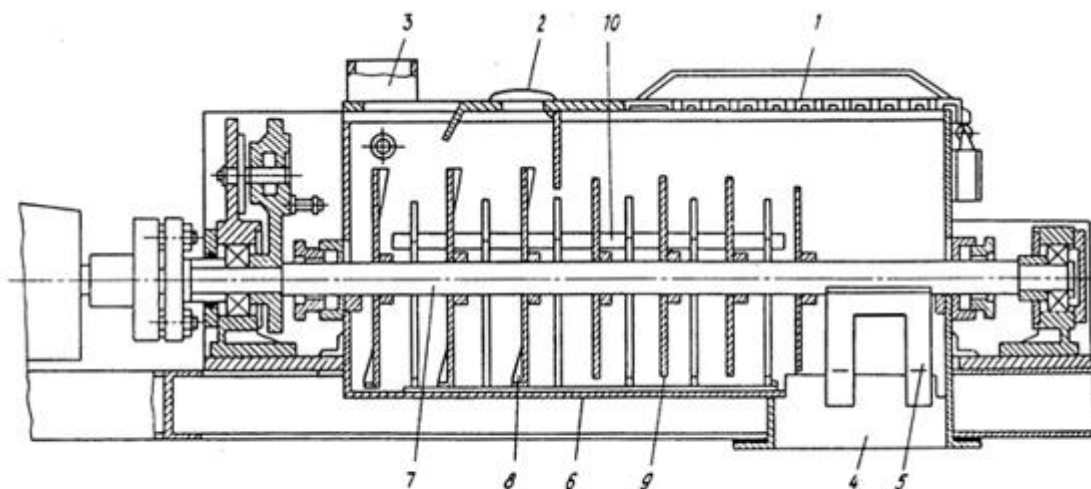


Рисунок 1.3 – Місильна машина А2-ХТН з місильним коритом Х-12

Основні компоненти машини включають місильну ємність 11, де в центрі розміщений вал 6 з лопатками 7, розташованими під кутом одна до одної. Зверху корпус закривається відкидною кришкою, яка регулює рівень борошна при піднятті або опусканні дозатора. Тісто виходить із машини через патрубок 8 за допомогою нерухомого скребка 9.

Процес роботи машини полягає в подачі всіх компонентів малими порціями з дозаторів в передню частину корита, де вони переміщуються лопатками та прощтовхуються вздовж корита. Під час просування маси до патрубку 8 вона ефективно переміщується і пластифікується.

Накопичувач тіста марки І8-ХТА-12/3 складається з плити 1, привода 2 із муфтою 3, насоса 5 і накриття муфти 4 (рис. 1.4).

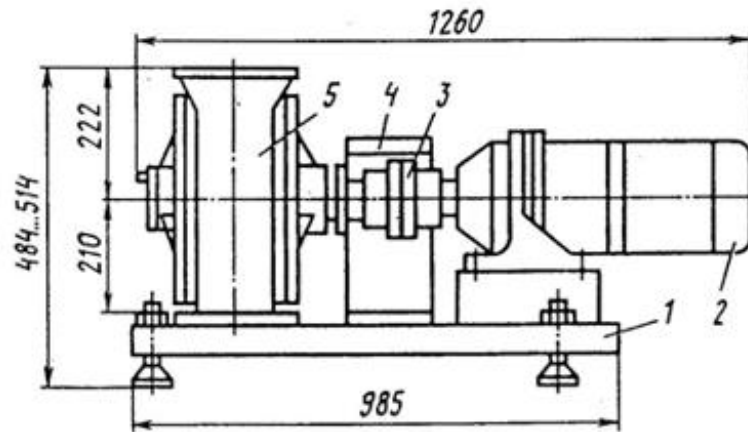


Рисунок 1.4 – Накопичувач тіста марки І8-ХТА-12/3

Насос складається із бронзового корпусу, в середині якого обертається ротор із ексцентриком.

Привід включає двигун-редуктор марки МП-32-50-22, 4КЗУ, який передає обертання валу ротора насоса через пружну муфту.

Плита, на якій розташоване все обладнання, має висувні опори, що дозволяють регулювати висоту розташування фланця приймального патрубку нагнітача від 484 мм до 514 мм.

Тісто надходить в бункер завантаження зверху і заповнює внутрішню частину корпусу насоса, захоплюється шибером ротора і випускається через випускний патрубок. Частота обертання ротора залишається сталою.

Управління машиною для замішування тіста включається та вимикається за допомогою пульта керування.

Місильна машина ТМ-63 з Z-подібними лопатями складається із станини 1, місильного корита 2, двоподібних місильних органів 3, кришки 4, приводу місильних органів і механізму для повороту місильного корита.

Механізм привода місильних органів включає електродвигун 6, який передає рух через клинопасову передачу 7 і дві пари циліндричних косозубих шестерень 8 і 9 місильним органам, що обертаються з однаковою частотою.

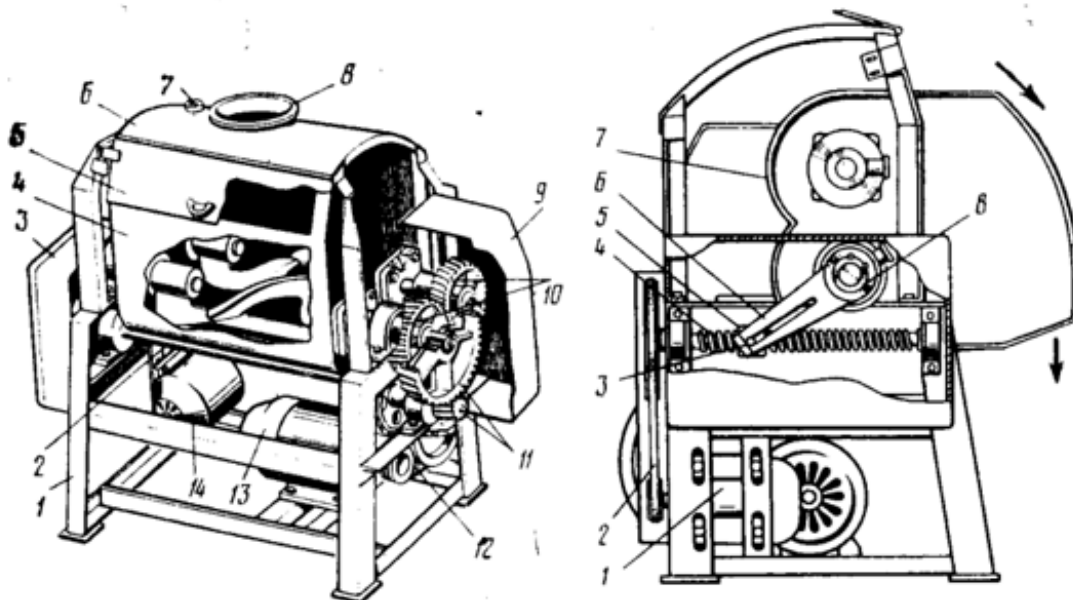


Рисунок 1.5 – Місильна машина марки ТМ-63 з Z - подібними лопатями

Для вивантаження тіста місильне корито повертається на  $90^{\circ}$  навколо осі переднього місильного органу за допомогою електродвигуна 10 через клинопасову передачу 11, циліндричну передачу 12, черв'яка 13 і сектора 5. Зверху корито закривається кришкою 4, яка складається з двох частин: нерухомої та прикріпленої до осі на петлях відкидної.

## 1.2. Аналіз та короткий опис об'єкту дослідження

Тістомісильна машина неперервної дії марки Х-26 призначена для проведення замісу опари, а також для формування тіста з використанням пшеничного і житнього борошна. Ця машина ідеально підходить для виробництва хлібобулкових виробів на підприємствах хлібопекарської промисловості.

Мета цього обладнання полягає в ефективному проведенні процесу замісу, який є важливим етапом у виробництві високоякісних хлібних виробів. Машина дозволяє досягти оптимального результату при приготуванні тіста,

забезпечуючи необхідну консистенцію та однорідність структури, що впливає на якість та смак кінцевого продукту.

#### Технічні характеристики

Продуктивність, кг/год, не менше	1300
Місткість місильної камери, дм <sup>3</sup>	240
Маса замішуваного тіста, кг	100
Межа вологості замішуваного тіста, %	33 – 54
Встановлена потужність електродвигуна, кВт	4
Частота обертання місильного вала, с <sup>-1</sup>	1 – 1,3
Тривалість замісу, хв	12 – 15
Розвантажувач	одноканальний/ двоканальний
Габаритні розміри, мм	
дожвина	1865
ширина	555
висота	2135
Маса, кг	600

### 1.3. Мета та задачі кваліфікаційної роботи

Мета роботи – вдосконалення місильної машини марки Х-26 із вивченням технічних аспектів її робочих органів з метою оптимізації експлуатаційних параметрів, а також впровадження механізованого процесу роботи даного обладнання.

Об'єкт дослідження. Напруження та деформації, що виникають в місильному органі в процесі роботи машини.

Предмет дослідження. Тістомісильна машина Х-26.

Дана кваліфікаційна робота спрямована для вирішення таких завдань:

- аналіз особливостей конструкцій технологічного обладнання для замішування тіста;
- розрахунок потужності, необхідний для привода
- розрахунок сальникового вузла;
- кінематичний розрахунок привода;
- розрахунок зубчастої циліндричної передачі;
- створення 3Д моделі вузла замішування та проведення досліджень з використанням комплексу SolidWorks;
- систематизація та аналіз отриманих при числових дослідженнях робочого органу результатів;
- розроблення заходів з монтажу і експлуатації, заходи з охорони праці та техніки безпеки.

## 2. Методи та методика досліджень

### 2.1. Обґрунтування теоретичних і експериментальних методів і засобів досліджень

Проведення інженерних досліджень під час виконання проектних завдань є надзвичайно важливим кроком в покращенні функціональності наявного обладнання і розробці нових технологічних рішень. Цей процес дозволяє інженерам не лише удосконалювати існуючі моделі обладнання, але і створювати інноваційні зразки, що відповідають сучасним вимогам і стандартам.

Solidworks Simulation є однією з передових систем для проведення конструктивного аналізу, і вона впроваджена в систему Solidworks настільки глибоко, що дозволяє забезпечувати інженерні рішення в широкому спектрі областей. Ця система дозволяє виконувати наступні завдання:

- Моделювання і аналіз лінійних і нелінійних процесів;
- Дослідження частотних характеристик;
- Аналіз стійкості систем;
- Вивчення теплових процесів;
- Дослідження втомних процесів;
- Вивчення міцності під впливом тиску та вакууму;
- Оцінка впливу ударних механічних навантажень;
- Дослідження лінійних і нелінійних динамічних процесів;
- Оптимізація конструктивних рішень

Наявність високоякісних та ефективних модулів у Solidworks Simulation дозволяє інженерам здійснювати інтуїтивний пошук рішень для серйозних проблем у проектуванні. Використання обчислювальної системи Solidworks Simulation дозволяє значно скоротити тривалість проектного циклу завдяки оптимізації використання людських та машинних ресурсів під час розв'язання конкретних інженерних завдань.

Для даного програмного пакета, в якому реалізовано метод кінцевих елементів, буде застосовано декілька етапів числових досліджень, продемонстрованих на рисунку 2.1:

- 1) Створення 3D моделі деталі;
- 2) Створення математичної моделі, яка включає в себе:
  - Застосування типу аналізу (різні завдання можуть вимагати різних математичних підходів);
  - Застосування властивостей матеріалу;
  - Застосування закріплень;
  - Застосування навантажень.
- 3) Розбиття та створення моделі на кінцево-елементну сітку;
- 4) Розрахунок.

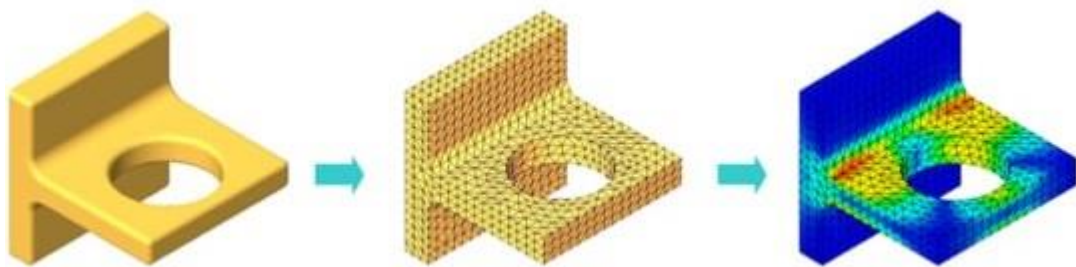


Рисунок 2.1 – Етапи числових досліджень SolidWorks Simulation

За допомогою параметричних компонентів, пов'язаних зі змінними, інженери отримують потужний інструмент для втілення своїх ідей як під час проектування, так і під час оптимізації. SolidWorks Simulation і SolidWorks Motion - це ефективні інженерні інструменти для проведення досліджень.

Використання параметрів для фіксації залежностей між різними значеннями дозволяє контролювати поточні значення різних елементів за допомогою цих параметрів.

Під час досліджень запасу міцності в процесі оцінювання стійкості деталі, вузла або агрегата, оператор користується показниками руйнування. Він встановлює значення запасу міцності для всієї моделі, спираючись на такі критерії:



- максимальних напруг за Мізесом;
- максимальних нормальних напруг;
- максимальних зсувних напруг;
- Мора-Кулонових напруг.

## 2.2. Алгоритм і методики првоедення математичного моделювання (чисельного експерименту)

Після створення моделі, інженер повинен переконатися у її ефективності та якості шляхом проведення експлуатаційної перевірки. Якщо немає доступу до спеціального обладнання для аналізу, реальне вирішення проблеми може вимагати виготовлення інженерного зразка, що є дорогим і часовим заходом. Етапи створення інженерного зразка включають:

Створення моделі.

Виготовлення експериментального прототипу.

Проведення експлуатаційних тестів прототипу.

Аналіз результатів тестів.

Вдосконалення технічного рішення на основі результатів тестів.

Ці кроки продовжуються, поки не буде досягнуто задовільного результату. Оцінюючи прототип, інженери можуть досягти наступних цілей:

1. Зменшити вартість прототипа, використовуючи комп'ютерне моделювання замість дорогих експлуатаційних випробувань.
2. Скоротити час виготовлення інженерних зразків, знижуючи кількість проектних етапів.
3. Підвищити якість інженерного зразка, аналізуючи багато інженерних припущень і виробничих технологічних процесів одночасно перед прийняттям кінцевого рішення.

На прототипі зазвичай проводять тестування в різних робочих середовищах і при різних умовах, що включає комплексну перевірку різних

навантажень. Також важливо тестувати різні конструкційні матеріали для забезпечення оптимальної технологічності та вартості кінцевої конструкції.

Необхідно тестувати різні конструкційні матеріали для забезпечення оптимальності інженерного рішення за мінімальної собівартості виготовлення кінцевої конструкції.

Тестування прототипу залежить від таких факторів:

- конструктивних особливостей прототипу;
- виду тестування та впливу супутніх чинників на його хід;
- матеріалів, що використовуються у конструкції;
- способу та характеристик прикладення силових впливів.

Тестування прототипів використовують для оцінки довговічності як існуючих, так і нових інженерних рішень, що плануються до впровадження.

Пакет програми Solidworks Simulation дозволяє проводити тестування різних аспектів інженерних рішень, таких як аналіз нелінійностей, динамічних силових впливів, гідродинамічних та електромагнітних явищ у прототипах.

Аналіз існуючого інженерного зразка включає в себе дослідження технічних параметрів при різних умовах експлуатації та можливості покращення технічної продуктивності або зменшення витрат на конструкційні матеріали.

При проектуванні нового інженерного зразка рекомендується використовувати різні геометричні рішення та матеріали для аналізу силових впливів з різними умовами використання.

Процес тестування прототипу включає такі етапи:

- Визначення типу та початкових даних для тестування.
- Параметри тестування можуть бути встановлені, включаючи геометрію, конструкційні матеріали та силові фактори.
- Встановлення параметрів конструкційних матеріалів, якщо необхідно.
- Задавання граничних умов та силових факторів.

- Автоматичне формування розрахункової сітки для елементів прототипу.
- Встановлення взаємозв'язків між складовими частинами конструкції та вибір контактних пар.
- Запуск розрахунків.
- Аналіз отриманих результатів.

Під час тестування конструктивний елемент піддається деформації, і дія силового фактора розповсюджується по всьому об'єму цього елемента. Зовнішні силові фактори включають в себе внутрішні зусилля та реакції, які забезпечують рівноважний стан елемента.

Лінійний і статичний аналіз призначений для визначення силових факторів переміщень, напруг, навантажень та викликаних ними реакцій. В лінійному і статичному аналізі діють такі спрощення:

1. Спрощення статички, де всі силові фактори сумуються поетапно і фіксуються при досягненні фактичних значень.
2. Лінійність, коли зв'язок між активними і реактивними силовими факторами вважається лінійним.

Умови лінійності включають в себе опис матеріалів досліджуваних конструкцій законом Гука, незначні переміщення та сталі умови роботи.

### 2.3. Методи аналізу похибок теоретичних й експериментальних досліджень

Обробка статистичних результатів дослідження проводилась з використанням методів, що застосовуються в математичній статистиці. При обробленні результатів досліджень визначали:

середнє арифметичне:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2.1)$$

де  $X_i$  – значення одиничного елемента;

$n$  – кількість аналізованих елементів.

абсолютне відхилення від середнього значення:

$$\Delta X = \bar{X} - X_i \quad (2.2)$$

дисперсію  $S^2$ :

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n [\bar{X} - X_i]^2}{n-1} \quad (2.3)$$

середньоквадратичне відхилення :

$$\bar{S} = \sqrt{S^2} \quad (2.4)$$

середню квадратичну похибку:

$$S_{\bar{X}} = \frac{\bar{S}}{\sqrt{n}} \quad (2.5)$$

точність здійсненого визначення:

$$E_a = t_{a,f} \cdot S_{\bar{X}} \quad (2.6)$$

де  $t_{a,f}$  – значення критерію Стюдента, отримане з таблиць для конкретного рівня довіри, який дорівнює  $\alpha = 0,95$  та для певної кількості ступенів свободи  $f = n - 1$ .

інтервал довіри:

$$\bar{X} \pm E_a \quad (2.7)$$

відносну похибку:

$$\Omega = \left[ \frac{E_a}{\bar{X}} \right] \cdot 100\% \quad (2.8)$$

Якісна цінка вимірювань з  $n$  вимірів:

$$U_{\max} = \left| \frac{\bar{X} - X_i}{S} \right| \quad (2.9)$$

Достовірність експериментів була гарантована через багатократне (3...5) повторення експериментів. Отримані результати порівнювалися з табличними значеннями U – критерію для імовірності  $\beta' = 0,95$ . Коли  $U_{max} > U_{табл}$ , одиничні результати вимірювань не підлягали враховуванню.

### 3. Розроблення нових проектно-технологічних і технічних вирішень

#### вдосконалення об'єкта дослідження

#### 3.1. Опис технологічної лінії та апаратурної схеми обладнання для виробництва хліба

##### 3.1.1. Основні технологічні етапи у виробництві хлібобулкових виробів, різновиди використовуваної сировини та її характеристики

Виробничий процес для приготування різних виробів із борошна включає у себе декілька етапів: підготовка вихідних матеріалів, приготування тістової основи, формування та вистоювання тіста, випікання та охолодження виробів, а також збереження виготовленої продукції.

В хлібопекарному виробництві сировину розділяють на два види: основну та допоміжну. Основною сировиною є пшеничне та житнє борошно, хлібопекарські дріжджі, сіль та вода. Всі інші компоненти, такі як цукор, жир, молоко та інші, використовуються для поліпшення смакових та харчових характеристик продукції і вважаються допоміжною сировиною, їх використання залежить від рецептури кожного конкретного виду виробу.

Використана сировина повинна відповідати визначеним стандартам якості, щоб забезпечити високу якість готової продукції.

Щодо пшеничного борошна, його якість має відповідати нормам, визначеним у ГОСТ 26574-85. Оскільки борошно може варіюватися за хлібопекарськими властивостями, перед включенням його до виробництва ці партії змішують для покращення якостей борошна. Вода, використовувана при приготуванні тіста, є важливим компонентом, що може значно впливати на якість тіста та завершений виріб.

Вода, що використовується для приготування тіста, має відповідати стандартам, установленим у ГОСТ 2874-82. Вона повинна бути без аромату і смаку, а також безбарвною та вільною від будь-яких домішок.

Даний стандарт визначає, що кількість бактерій у 1 мілілітрі води, визначена зв кількістю колоній після 24-годинного культивування при 37

градусах Цельсія, повинна бути не більше 100, і кількість кишкових паличок у 1 літрі води не повинна перевищувати 3.

Під час процесу розпушування тіста застосовують такі інгредієнти, а саме: пресовані дріжджі (ГОСТ 171-81), дріжджове молоко (ОСТ 18-369-84) або сушені дріжджі (ОСТ 18-193-74).

Високоякісні пресовані дріжджі мають насичений сіруватий колір з відтінком жовтого та густу консистенцію, вологість не перевищує 75%, і час підйому тіста не перевищує 75 хвилин.

Харчова (поварена) сіль (NaCl) входить у склад хлібобулочних виробів у кількості від 1% до 2,5% ваги борошна, що повинна відповідати стандартам ГОСТ 13830-68.

У рецептурах здобних, булочних та інших хлібних виробів часто використовується цукор. Зазвичай використовують цукор-пісок (згідно з ГОСТ 21-78), рафінований цукор-пісок та рафіновану пудру (згідно з ГОСТ 22-78).

Крім цукру і жирів, в якості допоміжної сировини для виробництва хлібобулкових виробів можуть використовуватися молоко, молочні продукти, яйця, яечний порошок, горіхи, мед, ароматизатори, барвники та інші добавки. Кількість цих інгредієнтів визначається відповідно до конкретних рецептів для кожного виду виробів.

Усі ці матеріали повинні відповідати чинним нормативним документам, і необхідно дотримуватися вимог щодо зберігання і обміну цією сировиною.

Приготування тіста є ключовою операцією в технологічному процесі виробництва виробів із борошна. Від якості замісу тіста залежить подальший процес і якість готової продукції. Основною метою при замісі є ретельне змішування основної сировини і інших компонентів.

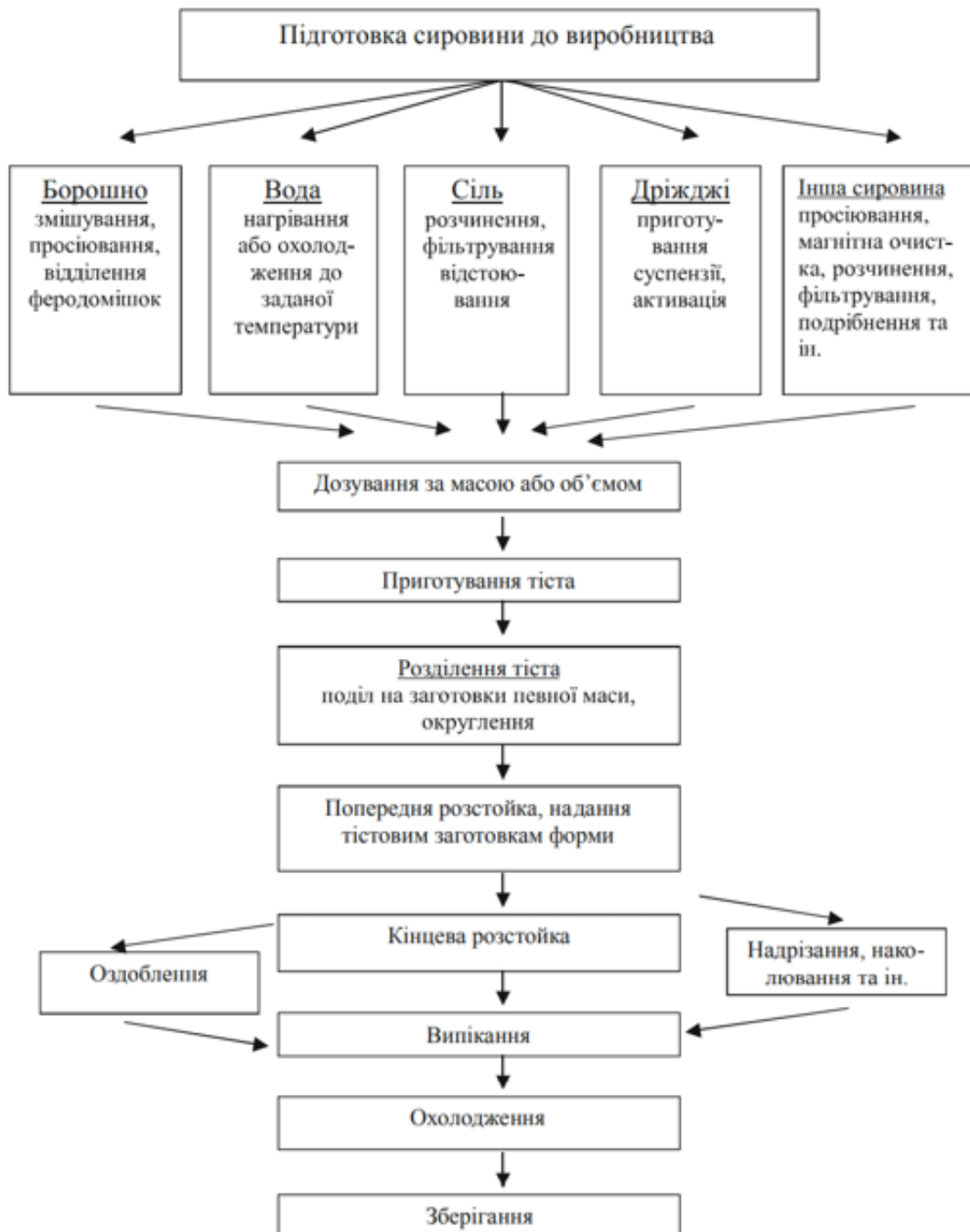


Рисунок 3.1 – Схема виробництва хлібобулочних виробів з пшеничного борошна

Ключовим етапом у процесі перетворення тіста в хліб є термічна обробка тістових заготовок, а саме їхнє випікання. Під час випічки в тістових заготівках відбуваються складні фізико-термічні, біохімічні, мікробіологічні та колоїдні процеси. Ці процеси відповідають за утворення хрусткої корки та ніжного м'якуша в хлібному виробі, а також визначають смак і аромат продукту.



Під впливом нагрівання об'єм тістових заготовок збільшується завдяки розширенню газів, які містяться в них. Поверхня тіста дегідратується, утворюється плівка, яка поступово перетворюється в хрустку корку, яка набуває все більш темного кольору під час випікання.

### 3.1.2. Технологія приготування дрібноштучної хлібопекарської продукції

Для транспортування борошна на хлібозаводі використовують спеціальний транспорт, такий як автоборошновози 15 і автомобільні цистерни 33 (рис. 3.2). Впровадження механізації, включаючи системи безтарного транспортування і зберігання борошна, є одним із пріоритетів на таких підприємствах. Це сприяє зменшенню необхідності ручного оброблення матеріалу, а також економії на тарі та зменшенню витрат сировини.

При операційній діяльності системи безтарного зберігання, транспортування борошна здійснюється за допомогою автоборошновозів об'ємом від 10 до 18 м<sup>3</sup> і вагою від 6 до 10 тонн. Ці вантажівки мають аерокомпресори і спеціальні конектори для мукопроводів, призначені для пневматичного розвантаження борошна. Після вимірювання ваги автоборошновози 15 направляються для розвантаження, а отримане борошно зберігається у бункерах 19. Система безтарного зберігання борошна включає різні бункери, розподіл яких керується багатопозиційним перемикачем 18. Борошно поміщається в контейнери для зберігання, а повітря, що проходить через них, очищується за допомогою спеціальних фільтрів.

Борошно, яке використовується для виробництва хлібобулочних виробів, вивантажується з нижньої частини контейнера 19 за допомогою розвантажувального пристрою. Потім воно подається в шлюзовий дозатор 13 та далі в дозатор 14. Після цього борошно проходить через циклон 20, використовуючи шлюзовий пристрій 21, і направляється до ситового просіювального елемента 22.

Після просіювання борошно проходить процес очищення від металевих домішок у магнітовловлювачах 41. Далі, відповідно до рецептури та технологічних вказівок, кілька партій борошна різних видів об'єднують у змішувачі 17.

Облік борошна проводиться за допомогою ваги 16, яке використовується для виготовлення хлібобулкових виробів. На всіх технологічних лініях встановлюють резервуари 23 і 28 для тимчасового зберігання борошна.

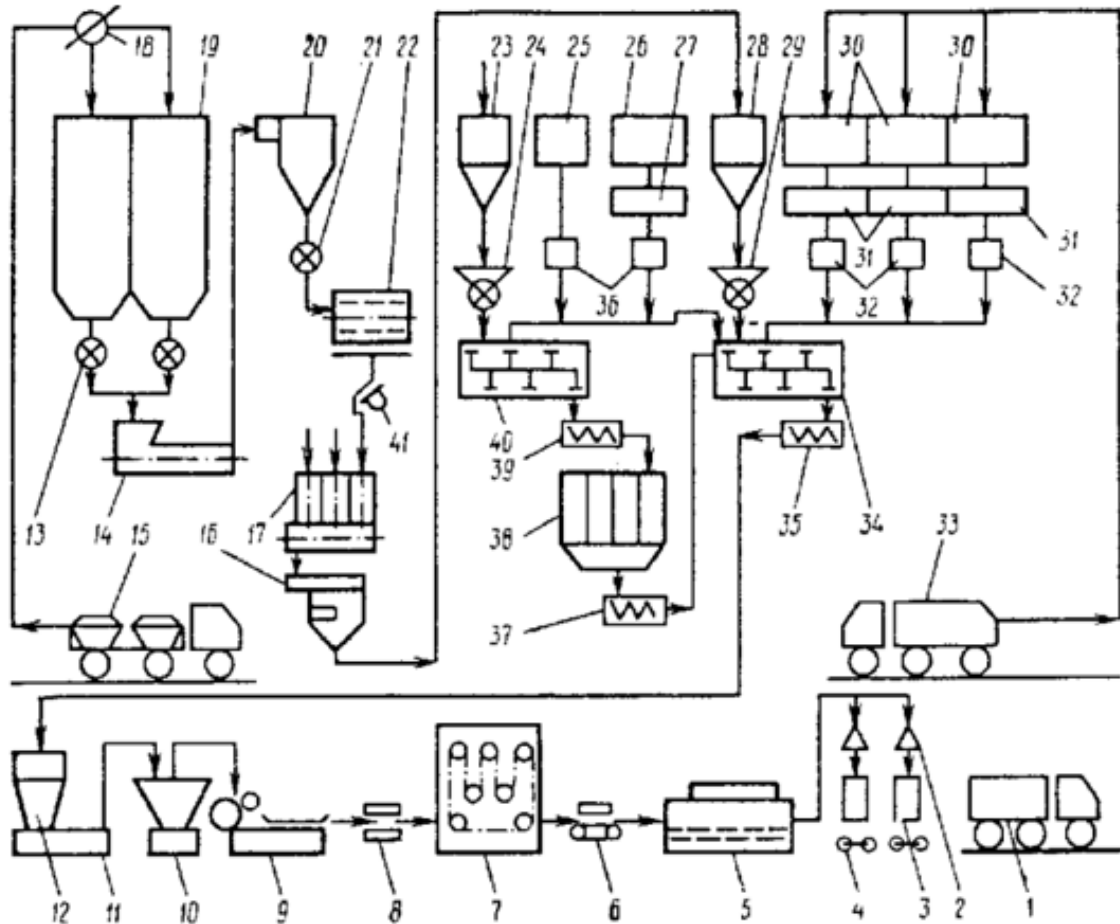


Рисунок 3.2 – Машино-апаратурна схема виготовлення хлібобулочних виробів

Під час переміщення та безтарного зберігання рідкої неосновної сировини, такої як дріжджі або олія, застосовують відцентрові або плунжерні насоси для транспортування до резервуарів 26 і 30, де вони зберігаються до моменту використання. У випадку постачання такої сировини у сухому стані, вона розчиняється у відповідних резервуарах. Всю неосновну сировину перекачують трубопроводами до резервуарів для зберігання 27 і 31. Після цього

цю рідину постачають у процес замісу тіста за допомогою дозаторів 32 і 36. Вода подається з витратного бачка 25.

Щоб досягнути високоякісний результат на хлібозаводах використовується двофазний метод замішування тіста. На першій фазі у тістомісильній машині 40 готується опара з води, борошна і дріжджів, яку потім постачають до машин 24 і 36. Кількість борошна для замішування опари зазвичай становить від 25% до 75% загальної кількості. Опара, що готова в бункері 38, передається за допомогою насоса 39 і переміщується до бункера 34 для замішування тіста (друга фаза). З резервуару 28 через спеціальний дозуючий механізм 29 подається необхідна кількість борошна відповідно до рецептури, а також рідкі складники.

Після замішування, яке триває 10-12 хвилин, тісто подається в приймальний бункер 12 дільильної машини 11 за допомогою шнекового насоса 35 і трубопроводу. Тут проводиться додаткове бродіння протягом 20-25 хвилин, після чого відбувається процес розділення тіста.

Ділильна машина 11 формує порції тіста заданої маси, які подаються до тістоокруглювальної машини 10 і, за потреби, до тістозакатувальної машини 9.

Після формування тістових заготовок вони направляються на процес вистоювання, де відбувається бродіння та закінчується формування структури самих заготовок.

Тістові заготовки досягають розстійної камери 7 через вкладача 8. В цій камері створено оптимальний мікроклімат для процесу бродіння, з температурою від 35°C до 40°C і вологістю від 80% до 85%. Тривалість розстоювання становить приблизно півтора години.

Перед введенням тістових заготовок до печі 5, вони піддаються надрізанню або проколам за допомогою механізму 6. Після завершення процесу випікання, хліб із печі 5 направляють в експедицію, де його охолоджують і упаковують у тару, таку як ящики, за допомогою спеціальних пристроїв 2. Далі ящики з хлібом поміщають у контейнери 3, які завантажуються в автотранспорт 1 за допомогою спеціальних візків.



### 3.2. Опис будови і роботи тістомісильної машини

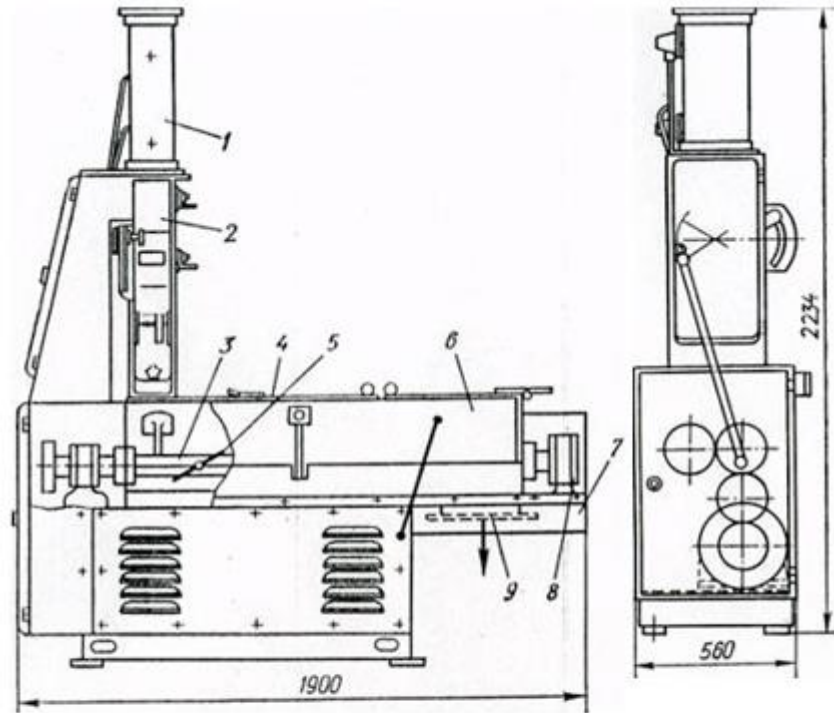


Рисунок 3.3 – Будова і габаритні розміри тістомісильної машини X-26:

- 1 - патрубок подачі борошна, 2 - дозатор борошна, 3 - місильні вали;
- 4 - кришка; 5 - місильна лопать; 6 - місильне корито; 7 – станина;
- 8 - підшипник; 9 - випускний патрубок

Машина для замішування тіста (рис. 3.3) володіє однокамерною конструкцією місильної машини, де працюють два паралельні вали на яких розміщені лопатки Т-подібної форми. Ці лопатки розташовані в прилеглих напівциліндричних камерах так, що лопаті одного вала проникають в простір між лопатями іншого вала.

Машина марки X-26 з двома паралельними валами забезпечує більш активний ефект на тісто під час замішування, порівняно з одновальними аналогами.

Тістомісильне корито 6, що розміщене на станині, складається з двох жолобів напівциліндричної форми. У кориті розміщені два вали 3 для замішування, які розташовані в підшипниках. На кінцях валів кріпляться дві прямозубі зубчасті колеса, що дають обертання валів в протилежних напрямків один від одного. До зубчастих коліс приєднана приводна шестерня, яка

забезпечує обертання. Усередині корита розташовані перегородки, а в задній частині встановлений патрубок для подачі опари та рідких компонентів. Верхня частина корита обладнана патрубком для підключення дозатора борошна 1 та двома кришками 4 із електроблокувальним пристроєм. Виведення тіста із корита здійснюється через випускний патрубок 9. На кожному валу закріплено одинадцять місильних лопатей 5, розташованих під різними кутами для оптимального замішування.

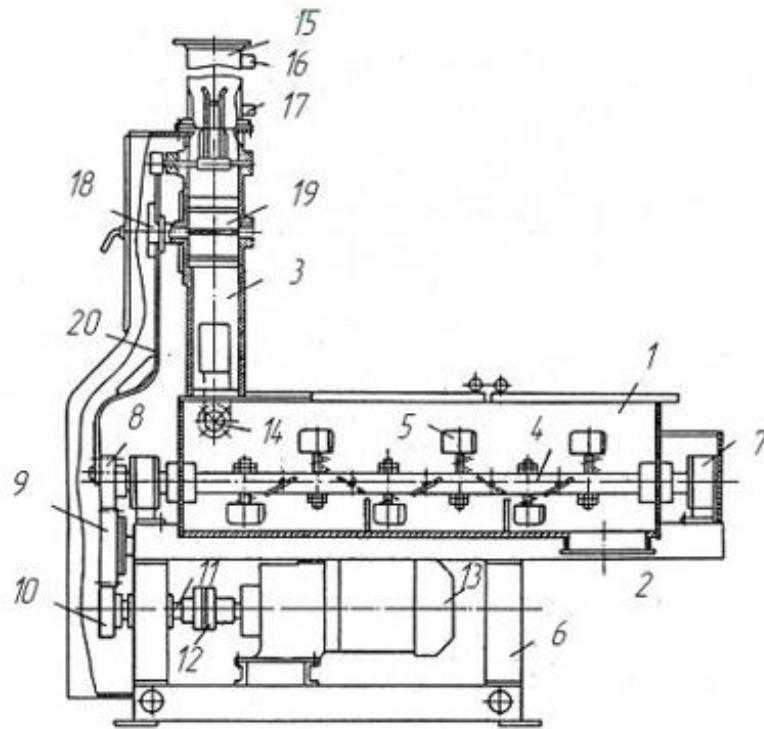


Рисунок 3.4 – Принцип дії тістомісильної машини X-26

Принцип роботи машини такий (рис. 3.4): у живильнику 15, за допомогою датчиків 16 і 17 підтримується необхідний рівень борошна. При кожному обертанні валу 4 штанга, завдяки храповому механізму 18, виконує обертання турнікетом 19, обладнаним кишенями для борошна. Під час цього процесу відбувається дозування та подача борошна в корито 1 для проведення замішування.

Рідкі складові потрапляють вкорито через трубу 14. Тісто, яке піддавалося замішуванню робочим валом, переміщується вздовжкорита завдяки лопаткам, що розташовані під кутом до осі вала. Після завершення процесу замішування, отримане тісто передається в наступний етап технологічного циклу через

розтруб 2. Для налаштування та фіксації кута на лопатках 5 відповідно до інтенсивності замішування, контргайку 24 і гайку 23 вільно повертають, відпускаючи стрижень лопатки. Після досягнення необхідного кута між віссю місильного валу і поверхнею лопатки, втулку 21 фіксують на валу 4, скориставшись торцевою криволінійною поверхнею. Стержень лопатки 5 вставляється у конічний отвір втулки, після того затягують гайку 23 і контргайку 24.

### 3.3. Кінематичний аналіз тістомісильної машини X-26

Кінематична схема місильної машини представлена на рис. 3.5, що включає в себе мотор-редуктор приводу, який передає рух через зубчасту передачу проміжного вала на перший робочий вал. Подальша передача руху відбувається через храповий механізм на турнікет подавання борошна.

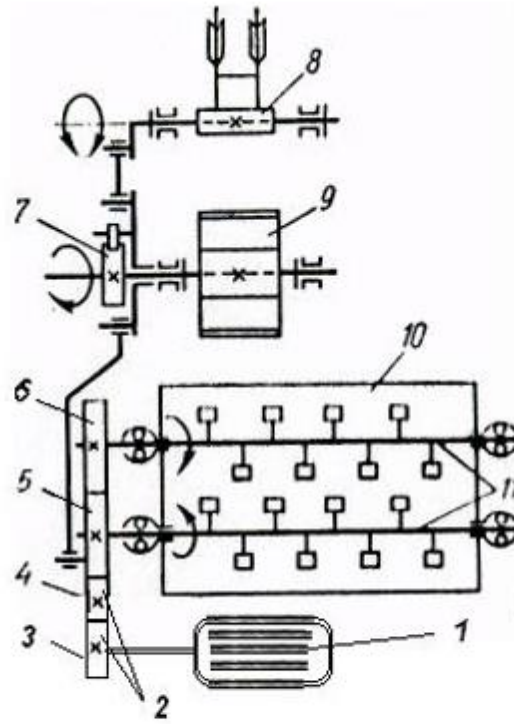


Рисунок 3.5 – Кінематична схема роботи тістомісильної машини Х-26:  
 1 - електродвигун, 2 - редуктор, 3, 4, 5, 6 - циліндричні зубчасті колеса;  
 7 - храповий механізм; 8 - замішувач; 9 - дозувальний турнікет;  
 10 - місильна ємність; 11 - місильні вали



## Кінематичний розрахунок привода

Передаточне число привода визначається за формулою:

$$u_0 = \frac{n_{mp}}{n_{np}}$$

$$u_0 := \frac{120}{60} \quad u_0 = 2$$

$$U_0 = u_{1-2} \cdot u_{2-3} = \frac{d_2}{d_1} \cdot \frac{d_2}{d_3}$$

$$U_0 := 1.4 \cdot 1.43 \quad U_0 = 2$$

де  $d_1, d_2, d_3$  - ділильні діаметри шестерень (на валу двигун-редуктора, на проміжному валу, на приводному валу).

Визначаємо оберталні моменти на валах привода:

а) на валу двигуна (двигун-редуктор)

$$T_{\partial} = 9550 \frac{P_{\partial\varepsilon}}{n_{\partial\varepsilon}}$$

$$T_{\partial} := 9550 \cdot \frac{4}{150} \quad T_{\partial} = 254.67 \quad \text{Н} \cdot \text{м};$$

б) на проміжному валу

$$T_1 = T_{\partial} \cdot u_{1-2} \cdot \eta$$

$$T_1 := 255 \cdot 1.4 \cdot 0.95 \quad T_1 = 339.15 \quad \text{Н} \cdot \text{м};$$

в) на приводному валу тістомісильної машини

$$T_2 = T_{\partial} \cdot u_{1-2} \cdot u_{2-3} \cdot \eta$$

$$T_2 := 255 \cdot 2 \cdot 0.96 \quad T_2 = 489.6$$

Визначимо частоти обертання валів привода:

Вал двигун-редуктор

$$N_{ex} = n_{\partial\varepsilon} = 150 \quad \text{об/хв.}$$

Вал проміжний

$$N_{\text{пром}} = \frac{n_{\text{ex}}}{u_{1-2}}$$

$$N_{\text{пром}} := \frac{150}{1.4} \quad N_{\text{пром}} = 107.14 \text{ об/хв.}$$

Вал приводний тістомісильної мшини

$$N_{\text{пр}} = \frac{n}{u_0}$$

$$N_{\text{пр}} := \frac{150}{2} \quad N_{\text{пр}} = 75 \text{ об/хв.}$$

### 3.4. Конструктивні розрахунки тістомісильної машини

#### 3.4.1. Розрахунок сальникового вузла [19]

Визначення основних геометричних параметрів для конструювання сальникового вузла здійснюється на підставі даних практики експлуатації з урахуванням факторів, що впливають на роботу частин, що рухаються.

Змінним елементом в конструкції сальникового вузла є сальне кільце з тонкошерстного войлока ГОСТ 288-72 \*.

Ширина сальникового кільця визначається за умови

$$Sk = 2.1 \cdot \sqrt{d} \quad (3.1)$$

де  $d$  - діаметр тістомісильного вала,  $d := 50$  мм,

$$Sk := 2.1 \cdot \sqrt{d} = 15 \text{ мм.}$$

Тоді внутрішній діаметр корпусу сальникового вузла буде рівна:

$$D_k := d + 2 \cdot Sk = 80 \text{ мм.} \quad (3.2)$$

Початкова товщина сальникового кільця вибирається за ГОСТ 288-72\* виходячи з  $D_k = 80$  мм,  $h_0 = 20$  мм. Товщина кільця в робочому стані визначається так:

$$h = K_y \cdot h_0 \quad (3.3)$$

де  $K_y := 0.9$  - коефіцієнт усадки,

$$h := 0.9 \cdot 20 = 18 \text{ мм.}$$

Глибина розточування корпусу сальникового вузла з урахуванням забезпечення спрямування натискної втулки (грундбуksi)

$$Hk := h + Sk \quad (3.4)$$

$$\underline{Hk} := 18 + 15 = 33 \text{ мм.}$$

Висота грундбуksi вибирається з параметричного ряду виходячи з особливостей конструювання  $h_p = 45$  мм.

Посадковий діаметр грундбуksi визначається:

$$D\varepsilon := d + 2Sk \quad (3.5)$$

$$\underline{D\varepsilon} := 50 + 2 \cdot 15 = 80 \text{ мм.}$$

Діаметр різьби кришки гайки визначається за формулою:

$$dp = \sqrt{\frac{3(D^2 - d^2)Pr}{[\sigma_p]}} \quad (3.6)$$

де  $Pr := 0.8 \cdot 10^6$  Па - тиск герметизації;

$[\sigma] := 0.1 \cdot 10^6$  Па - допустима напруга,

$$dp := \sqrt{\frac{3(80^2 - 50^2) \cdot 0.8 \cdot 10^6}{0.1 \cdot 10^6}} = 100 \text{ мм.}$$

Для забезпечення герметичності сальникового вузла зусилля затягу, з яким кришка-гайак має діяти на грундбуksi, має становити:

$$F3 = \left[ \pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot \frac{Pr}{4} \right] \cdot \left( e^{\frac{2kfn}{Sk}} - 1 \right) \quad (3.7)$$

де  $k := 0.6$  - коефіцієнт бокового тиску;

$f := 0.014$  - коефіцієнт статичного тертя сальникового кільця в вал і корпус;

$e$  - основа натурального логарифму,

$$F3 := \left[ 3.14 \cdot (0.08^2 - 0.05^2) \cdot \frac{0.8 \cdot 10^6}{4} \right] \cdot \left( e^{2 \cdot 0.6 \cdot \frac{0.014}{0.015}} - 1 \right) = 751 \text{ Н.}$$

Сила тертя між сальниковим кільцем і обертовим валом:

$$F_{mp} = \frac{(\pi \cdot d \cdot f_{кин} \cdot Pr \cdot Sk)}{(2 \cdot k \cdot f)} \cdot e^{\left(\frac{2kfh}{Sk} - 1\right)} \quad (3.8)$$

де  $f_{кин}$  - коефіцієнт кінематичного тертя між сальниковим кільцем і валом.

$$F_{mp} = \frac{(3.14 \cdot 0.05 \cdot 0.02 \cdot 0.8 \cdot 10^5 \cdot 0.0015)}{(2 \cdot 0.014 \cdot 0.6)} \cdot e^{\left(2 \cdot 0.6 \cdot 0.014 \cdot \frac{0.018}{0.015} - 1\right)} = 4.6 \text{ Н.}$$

Момент тертя в сальниковому ущільненні визначається за формулою:

$$M_{mp} = F_{mp} \cdot \frac{d}{2} \quad (3.9)$$

$$M_{mp} := 4.6 \cdot \frac{0.05}{2} = 0.12 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

Потужність, що витрачається на подолання сил тертя в сальниковому вузлі:

$$N_c = M_{mp} \cdot \omega, \quad (3.10)$$

де  $\omega$  - кутова частота обертання місильного вала, рад/с,

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, \quad \omega := \frac{3.14 \cdot 56.3}{30} = 5.9 \text{ рад/с.}$$

Тоді за формулою (3.10) потужність, що витрачається на подолання сил тертя в сальниковому вузлі, становить:

$$N_c := 0.12 \cdot 5.9 = 0.7 \text{ Вт.}$$

Детальне зображення сальникового вузла зображено в графічній частині проекту.

### 3.4.2. Розрахунок зубчастої циліндричної передачі

Вихідні дані для розрахунку зубчастої циліндричної прямозубої передачі.

Крутний момент на валу шестерні:

$$T_1 := 489.6 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

Передаточне число:

$$u_1 := 1.4 .$$

Частота обертання вала шестерні:

$$n_1 := 60 \text{ об/хв.}$$

Для шестерні вибираємо сталь 40Х, термообробка - покращення, призначаємо твердість робочих поверхонь зубів шестерні [28]

$$HB_1 = 280$$

$$HB_2 = 270$$

Оскільки передача працює тривалий час, то коефіцієнт довговічності для шестерні

$$K_{HL1} = K_{HL2} = 1$$

Визначимо допустимі контактні напруження для шестерні

$$[\sigma_H] = \frac{\sigma_H}{S_H} \cdot K_{HL},$$

де  $\sigma_{H0}$  - базова межа тривалості робочих поверхонь зубів;

$S_H = 1.1$  - коефіцієнт безпеки;

$$\sigma_{H_{0_2}} = 2 \cdot HB_2 + 70 = 2 \cdot 270 + 70 = 610 \text{ Н/мм}^2$$

$$[\sigma_H]_1 = \frac{\sigma_{H_{0_1}}}{S_H} \cdot K_{HL_1} = \frac{630}{1,1} \cdot 1 = 572,7 \text{ Н/мм}^2$$

$$[\sigma_H]_2 = \frac{\sigma_{H_{0_2}}}{S_H} \cdot K_{HL_2} = \frac{610}{1,1} \cdot 1 = 554,5 \text{ Н/мм}^2$$

Допустимі контактні напруження для розрахунку прямозубого ступеня

$$[\sigma_H] = \frac{[\sigma_H]_1 + [\sigma_H]_2}{2} = \frac{572,7 + 554,5}{2} = 563,6 \text{ Н/мм}^2$$

Розрахунок контактного напруження, що допускаються, для перевірки передачі при перевантаженні

$$[\sigma_H]_{\max} = 2,8 \cdot \sigma_T = 2,8 \cdot 700 = 1960 \text{ Н/мм}^2,$$

де  $\sigma_T = 700 \text{ Н/мм}^2$

Розрахунок допустимих напружень згину для прямозубої передачі

$$[\sigma_F] = \frac{\sigma_{F_0}}{S_F} \cdot K_{FC} \cdot K_{FL},$$

де  $S_F = 1,75$  – коефіцієнт безпеки;

$K_{FC} = 1$  – коефіцієнт, що враховує вплив двостороннього застосування навантаження ( $K_{FC} = 1$  – одностороннє навантаження),

$K_{FL}$  – коефіцієнт довговічності,  $K_{FL} = 1$

$\sigma_{F_0} = 1,8 \cdot HB$  – межа витривалості зубів при згині

$[\sigma_F]_{\max} = 2,74 \cdot HB$  – табл. 8.9 Іванов М.Н. - Деталі машин [28]

$$\sigma_{F_{0_1}} = 1,8 \cdot HB_1 = 1,8 \cdot 280 = 504 \text{ Н/мм}^2$$

$$\sigma_{F_{0_2}} = 1,8 \cdot HB_2 = 1,8 \cdot 270 = 486 \text{ Н/мм}^2$$

Допустимі навантаження при перевантаженні

$$[\sigma_F]_{\max} = 2,74 \cdot HB_2 = 2,74 \cdot 270 = 739,8 \text{ Н/мм}^2$$

Визначимо допустимі напруження згину для прямозубої вихідної ступені

$$[\sigma_F]_1 = \frac{\sigma_{F_{0_1}}}{S_F} \cdot K_{FC} \cdot K_{FL_1} = \frac{504}{1,75} \cdot 1 \cdot 1 = 288,6 \text{ Н/мм}^2$$

$$[\sigma_F]_2 = \frac{\sigma_{F_{0_2}}}{S_F} \cdot K_{FC} \cdot K_{FL_2} = \frac{486}{1,75} \cdot 1 \cdot 1 = 277,7 \text{ Н/мм}^2$$

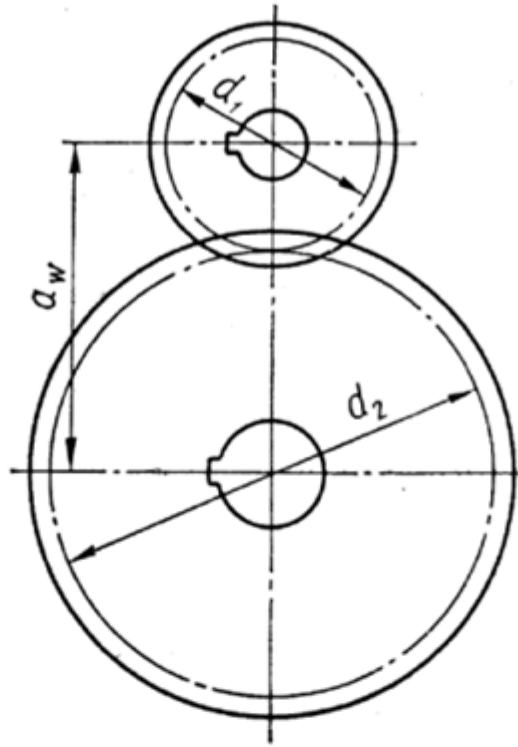


Рисунок 3.6 - Схема для розрахунку зубчастої передачі

Міжосьова відстань  $a = 180$  мм.

Модуль зачеплення  $m = (0.01...0.02)a$

$$m := 0.015 \cdot 180 = 2.7$$

приймаємо рівною  $m = 3$ .

Число зубів шестерні

$$z_1 = \frac{2 \cdot a}{(U+1) \cdot m} = \frac{2 \cdot 180}{(1.4+1) \cdot 3} = 50 \text{ приводний вал;}$$

$$z_2 = z_1 \cdot U = 50 \cdot 1.4 = 70 \text{ проміжний вал.}$$

Ділильні діаметри шестерні

$$d_1 = z_1 \cdot m = 50 \cdot 3 = 150 \text{ мм}$$

$$d_2 = z_2 \cdot m = 70 \cdot 3 = 210 \text{ мм}$$

Діаметр вершин зубів

$$da1 = d1 + 2m \quad da1 := 150 + 2 \cdot 3 = 156 \text{ мм.}$$

$$da2 = d2 + 2m \quad da2 := 210 + 2 \cdot 3 = 216 \text{ мм.}$$

Діаметр впадин

$$df1 = d1 - 2.5m \quad df1 := 150 - 2.5 \cdot 3 = 142.5 \text{ мм.}$$

$$df2 = d2 - 2.5m \quad df2 := 210 - 2.5 \cdot 3 = 202.5 \text{ мм.}$$

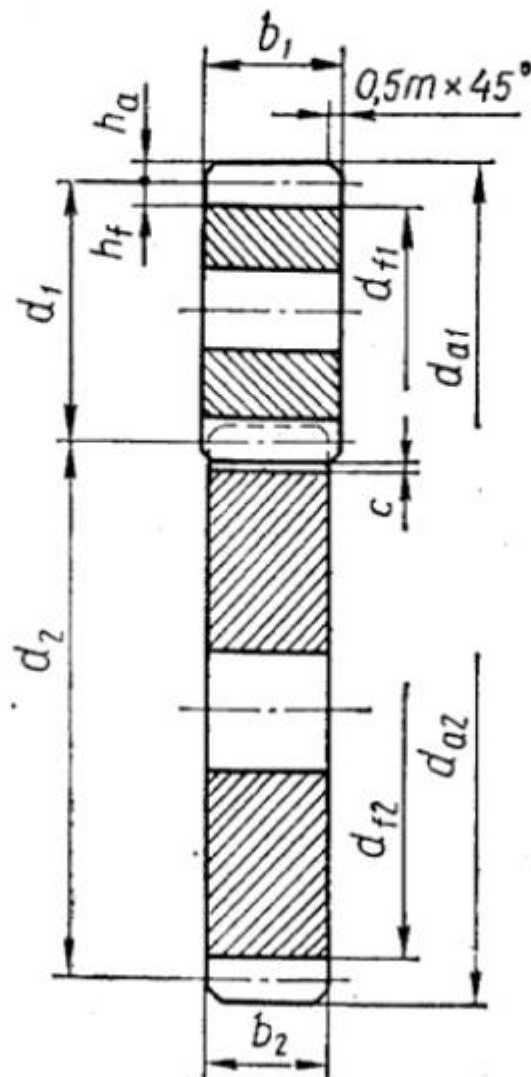


Рисунок 3.7 - Схема для розрахунку геометричних параметрів зубчастих коліс



### 3.5. Технологічний розрахунок тістомісильної машини

#### 3.5.1. Розрахунок продуктивності місильної машини

Продуктивність тістомісильної машини безперервної дії марки Х-26, може бути визначена за такою формулою:

$$П = \varphi \cdot \rho \theta \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4 \cdot 60 \cdot S n} \quad (3.11)$$

де  $\varphi$  - коефіцієнт подачі, що залежить від конструкції лопаток і її положення на валу  $\varphi = 0.2$  ;

$\rho \theta$  - зовнішній діаметр лопаток,  $\rho \theta = 0.32$  м;

$S$  - крок лопаток,  $S = 0.155$  м;

$n$  - число обертів лопаток,  $n = 56.3$  хв<sup>-1</sup>.

Тоді маємо:

$$П := 0.2 \cdot 1080 \cdot \frac{3.14 \cdot 0.32}{4 \cdot 60 \cdot 0.115 \cdot 56.3} = 18.7 \text{ кг/хв.}$$

Годинна продуктивність тістомісильної машини складає  $П_r = 1122$  кг/год.

#### 3.5.2. Розрахунок потужності, необхідної для привода

Вивчення всього процесу замісу в тістомісильній машині безперервної дії та сукупності причин, що впливають на заміс, показало, що потрібна потужність для опари - величина змінна: мінімальна у початковій стадії, при замішуванні інгредієнтів, вона поступово зростає, досягаючи максимальної величини до кінця процесу.

Складемо баланс потужності на один цикл місильної лопаті для спрощення розрахунку [11].

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 \quad , \quad (3.12)$$

де  $N$  - необхідна потужність для замісу опари, кВт;

$N_1$  - потужність привода, що витрачається на перемішування маси, кВт;

$N_2$  - потужність привода, що витрачається на перемішування лопатей машини, кВт;

$N_3$  - потужність привода, що витрачається на нагрів опари і дотикаючих з нею металічних частин машини, кВт;

$N_4$  - потужність привода, що витрачається на заміну структури опари, кВт.

Визначення потужності привода, що витрачається на перемішування маси опари.

Представимо спрощену модель привода, що складається з ємності, в якій обертається вал із закріпленою на ньому лопаткою з прямокутною лопатою.

При обертанні робочого валу на занурені в опару місильні лопаті діють сили опору з боку опари. Ці сили діють як уздовж самої осі в осьовому напрямку, і перпендикулярно їй у радіальному напрямі. У цьому вважатимуться, що рівнодіючі цих сил опору перебувають у відстані  $1/3$  від кінця лопаті.

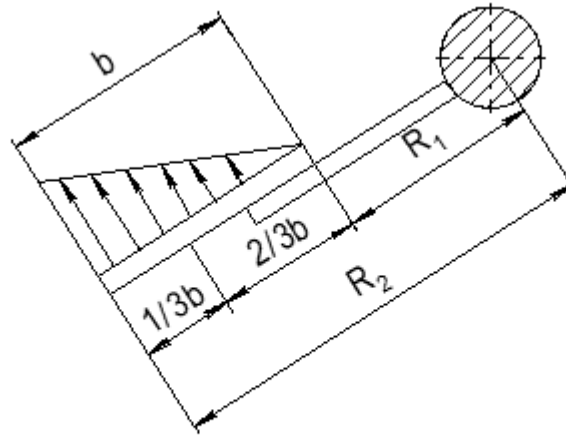


Рисунок 3.8 - Схема розрахунку для визначення сил опору, що діють на лопать

Осьова складова рівнодіючої сили опору визначається за формулою [17]:

$$P_0 = F \cdot \left[ r \cdot \rho_0 \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) + 2C \cdot \operatorname{tg} \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \right] \cdot (\sin(\alpha) - \mu \cdot \cos(\alpha)) \quad , \quad (3.13)$$

де  $F$  - площа лопаті, зануреної в опару,  $F = 0.006 \text{ м}^2$ ;

$r$  - радіус до точки прикладання рівнодіючих сил опору,  $\text{м}^2$ ;

$\varphi$  - кут внутрішнього тертя,  $\varphi = 45^\circ$ ;

$C$  - питоме зчеплення опари з матеріалом лопаті,  $C = 5000 \text{ Па}$ ;

$\alpha$  - кут нахилу тертя опари в лопать,  $\alpha = 30^\circ$ ;

$\mu$  - коефіцієнт тертя опари в лопать,  $\mu = 1$ ;

$\rho_0$  - густина опари,  $\rho_0 = 1080 \text{ кг/м}^3$ .

Радіус до точки прикладання рівнодіючої сил опору визначається із співвідношення:

$$r = R_1 + \frac{2}{3} \cdot b, \quad (3.14)$$

де  $R_1$  - відстань від осі вала до лопаті,  $R_1 = 0.1$  м;

$b$  - висота лопаті,  $b = 0.63$  м,

$$r = 0.1 + \frac{2}{3} \cdot 0.63 = 0.52 \text{ м.}$$

Тоді по формулі (3.13) маємо:

$$P_0 = 0.006 \left[ 0.52 \cdot 1080 \cdot \text{tg}^2 \left( 45^\circ + \frac{45}{2} \right) + 2 \cdot 5000 \cdot \text{tg} \left( 45^\circ + \frac{45}{2} \right) \right] \cdot * \\ * (\sin 30^\circ - 1 \cdot \cos 30^\circ) = 165.5(0.5 + 0.9) = -66.2 \text{ Н.}$$

Радіальна складова рівнодіючої сил опору, визначається за формулою:

$$P_p = F \cdot \left[ r \cdot \rho_0 \cdot \text{tg}^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) + 2C \cdot \text{tg} \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \right] \cdot (\sin(a) + \mu \cdot \cos(a)) \\ P_p = 165.5 \cdot (0.9 + 1 \cdot 0.5) = 231,7 \text{ Н.} \quad (3.15)$$

Необхідна потужність на перемішування опари може бути визначена таким чином:

$$N_1 = \frac{\Sigma [(P_0 V_0 + P_p V_p) \cdot K]}{1000 \cdot \eta} \quad (3.16)$$

де  $V_0$  - осьова швидкість руху точки заломлення рівнодіючої сил опору, що діють на лопать, м/с,

$$V_0 = V_p \cdot \cos(a) \cdot \sin(a) \quad (3.17)$$

де  $n$  - число обертів місильної лопаті в хвилину,  $n = 56,3 \text{ хв}^{-1}$ ;

$K$  - число лопатей на одному валу машини,  $K = 11$ ;

$$V_p = r^2 \cdot \frac{n}{30} \quad (3.18)$$

$\eta$  - коефіцієнт корисної дії привода,  $\eta = 0.85$ .

$$V_p = (0.52)^2 \cdot \frac{56.3}{30} = 0.5 \text{ м/с,}$$

$$V_0 = 0.5 \cdot \cos 30^\circ \cdot \sin 30^\circ = 0.2 \text{ м/с.}$$

Тоді по формулі (3.16) потужність привода, що витрачається на перемішування опари буде рівна:

$$N_1 = \frac{\Sigma(-66.2 \cdot 0.2 + 231.7 \cdot 0.5) \cdot 11}{1000 \cdot 0.85} = 1.3 \text{ кВт}$$

Розрахунок потужності привода, що витрачається на переміщення лопатей машини і нагрівання опари і металевих частин машини, що стикаються з нею  
Г111

Робота, що витрачається на обертання місильних лопаток, може бути визначена таким чином:

$$A_2 = \left(\frac{2}{3}\right) K \cdot b \cdot \sigma \cdot \rho_0 8\pi^2 \cdot n^2 [(R_2)^3 - (R_1)^3] \quad (3.19)$$

де  $\sigma$  - товщина лопаті лопатки,  $\sigma = 0.01$  м;

$R_2$  - радіус обертання лопаті,  $R_2 = 0.16$  м.

$$A_2 = \left(\frac{2}{3}\right) \cdot 11 \cdot 0.063 \cdot 0.01 \cdot 1080 \cdot 3.14^2 \cdot 56.3^2 \cdot (0.16^3 - 0.1^3) = 482.8 \text{ Дж/об.}$$

Робота, що витрачається на нагрівання опари та металоконструкцій тістомісильної машини за один оборот однієї місильної лопаті:

$$A_3 = \frac{(t_1 - t_2)}{n \cdot \tau \cdot (m_m \cdot c_m + m_{ж} \cdot c_{ж})} \quad (3.20)$$

де  $t_1$  - температура маси в кінці замісу,  $t_1 = 30^\circ\text{C}$ ;

$t_2$  - температура маси на початку замішування,  $t_2 =$

$m_m$  - маса опари, що знаходиться в місильній ємності, кг;

$c_m$  - середня теплоємність опари, при температурі  $30^\circ\text{C}$ ,  $c_m = 2500$  Дж/(кг\*К);

$m_{ж}$  - маса темалоконструкцій машини, що прогрівається при замішуванні,

$m_{ж} = 100$  кг;

$c_{ж}$  - середня теплоємність нержавіючої сталі,  $c_{ж} = 500$  Дж/(кг\*К);

$\tau$  - тривалість замішування,  $\tau = 0.5$  с.

Визначимо масу опари, що знаходиться у місильній ємності. Загальний обсяг місильного корита  $V_k = 0.27 \text{ м}^3$ . Приймаємо корисний об'єм корита, що дорівнює  $V_n = 0.8V_k$ ,  $V_p = 0.22 \text{ м}^3$ .

При густині опари  $\rho_0 = 1080 \text{ кг/м}^3$  маса опари становитиме  $m_m = 235 \text{ кг}$ . Тоді робота на нагрівання, яка визначається:

$$A_3 = \frac{30 - 20}{56.3 \cdot 1080} \cdot 235 \cdot 2500 - 100 \cdot 500 = 26.5 \text{ Дж/об.}$$

Визначимо витрату енергії за один цикл місильного органу на 1 кг опари за складовими  $A_2$  та  $A_3$

$$A_{n(2,3)} = \tau_3 \cdot \frac{n}{\Sigma A(2,3)} \cdot m_m \quad (3.21)$$

$$A_{n(2,3)} = 1800 \cdot \frac{56.3}{482.8 + 26.5} \cdot 235 = 0.85 \text{ Дж/кг.}$$

За величиною витрати енергії розраховуємо потужність приводу на переміщення лопатей машини та нагрівання опари:

$$N_{2,3} = \frac{A(2,3)}{\eta} \quad (3.22)$$

$$N_{2,3} = \frac{0.85}{0.85} = 1 \text{ кВт}$$

Розрахунок потужності приводу, що затрачається на зміну структури опари.

Оскільки структурні зміни в масі опари залежать від інтенсивності замісу і пропорційні роботі перемішування, то прийmemo потужність, що затрачається на зміну структури рівною  $0.1N_1$ . Ця величина складе  $N_4 = 0.13 \text{ кВт}$ .

Тоді по формулі визначимо загальну потужність, що необхідна для приводу тістомісильної машини.

$$N = 1.3 + 1.0 + 0.13 = 2.43 \text{ кВт}$$

Фактично на заводській машині встановлено двигун потужністю 4 кВт. Такий запас потужності встановлений тому, що в конструкції машини X-26 є другий вал.

### 3.6. Відомості про монтаж, експлуатацію та ремонт обладнання

#### 3.6.1. Порядок та терміни проведення ППР та налагодження обладнання

1. Для забезпечення нормальної роботи устаткування здійснюється його профілактичне обслуговування, яке включає у себе систематичний нагляд, очищення, змащування, регулювання і відновлення та заміну старіючих деталей.

2. Планово-попереджувальний ремонт (ППР) системи виконується згідно з визначеними інтервалами.

3. Основні завдання планово-попереджувального ремонту включають:

- забезпечення високого рівня якості виробів;
- довгострокове збереження працездатності устаткування;
- організація раціонального ремонту з мінімізацією періодів простою устаткування під час ремонтних робіт;
- покращення методів і організацій ремонту тощо.

Типи ремонту в системі ППР обладнання включають:

- 1) технічний нагляд та поточний ремонт;
- 2) капітальний ремонт;
- 3) середній ремонт.

Догляд та поточний ремонт технічного обладнання включають в себе систематичний огляд, що проводиться без демонтажу; усунення невеликих несправностей і дефектів, виявлених як під час огляду, так і під час експлуатації машин; а також проведення процедур чищення та змащення.

Поточний ремонт реалізується працівниками ремонтного персоналу налагоджувальної служби на місці розташування обладнання.

Середній ремонт націлений на частковий розбір основних вузлів для подальшого технічного вдосконалення.

Капітальний ремонт здійснюється відповідно до розкладу ремонтних робіт, який передбачено на робочому місці або ремонтно-механічному заводі.

### 3.6.2. Монтаж, ремонт і експлуатація тістомісильної машини

Тістомісильна машина неперервної дії марки Х-26 встановлена на відповідній основі. Для забезпечення ефективної функціональності машини важливо регулярно перевіряти надійність болтів кріплення до основи. Всі компоненти обладнання мають бути періодично очищені. При зміні з одного типу тіста на другий або після припинення роботи, машину ретельно відчищають від залишеного тіста на поверхні, промивають за допомогою води і обробляють рослинною олією.

Перед введенням у роботу слід забезпечити покриття всіх поверхонь машини, які труться мастилом та додати рідину в реактор до рівня, визначеного контрольною ризикою на щиті. Під час підключення мотор-редуктора потрібно звірити напрямок обертання місильних органів. Далі короткочасно прокручуємо машину, і в разі нормального функціонування ведемо обкатку протягом 2-3 годин без навантаження. Перед запуском також слід перевірити ефективність автоблокування. У випадку, якщо при піднятті кришки корита привід машини не зупинився, слід натискати кнопку "Стоп". Мікроперемикач блокувального пристрою піднімається вгору до того моменту, коли його ролик не доторкнеться до упору кришки. В цьому положенні його фіксують гайками. Після цього знову запускають машину і переконуються, чи працює автоблокування при відкриванні кришки.

При загальному огляді стану машини важливо регулярно перевіряти її робочий режим та підтягувати всі сальникові ущільнення. ТО має бути проведений не менше одного разу за кожні два місяці.

Перед початком процесу замішування тіста (опари) важливо переконатися, що в машині немає сторонніх предметів, і всі огорожі знаходяться на своїх місцях.

Перед передачею зміни необхідно уважно видалити залишки тіста з мішального корита та лопаток опари.



Важливо регулярно контролювати стан затяжки кріпильних елементів та вчасно підтягувати болти і гайки.

Під час експлуатації регулярно перевіряють стан ущільнень підшипників мішального валу, важливо враховувати, щоб тісто не проникало в них, оскільки це може спричинити швидке зношування підшипників.

Якщо виникають шуми, удари або стуки під час роботи, слід негайно вимкнути машину і визначити причини цих явищ, а також усунути їх [16].

Машину слід змащувати відповідно до таблиці 3.1 мастила.

Таблиця 3.1

Змащування компонентів машини для замішування тіста марки Х-26

Найменування об'єкта змащування	Найменування змащувальних матеріалів і номер стандарту	Кількість точок змащування	Спосіб нанесення змащувального матеріалу (норма витрат), г	Періодичність перевірки і заміни змащування
Підшипники привода	Солідол УС-2 ГОСТ 1033-79	1	Набивання (20)	Один раз в місяць
Вінці зубчастих коліс	Солідол УС-2 ГОСТ 1033-79	4	Набивання (100)	Один раз в неділю
Підшипники паразитного зубчастого колеса	Солідол УС-2 ГОСТ 1033-79	1	Набивання (20)	Один раз в місяць
Підшипники місильних валів	Солідол УС-2 ГОСТ 1033-79	4	Набивання (20)	Один раз в рік
Підшипники валів <u>ворошителя</u> і турнікета	Солідол УС-2 ГОСТ 1033-79	4	Шприцом (10)	Один раз в неділю

#### 4. Комп'ютерне моделювання робочого органу замішування тістомісильної машини неперервної дії

##### 4.1. Моделювання робочого органу з використанням комп'ютерної програми

За допомогою комплексу SolidWorks було змодельовано конструкцію робочого органу місильної машини (рис. 4.1), який разом з місильним коритом перебувають в положенні (рис. 4.2).

Робочими органами замішування тіста в місильній машині Х-26 є горизонтальні вали з лопатками, які розміщені один від одного під кутом  $45^\circ$  відносно осі валів (рис. 5.1).

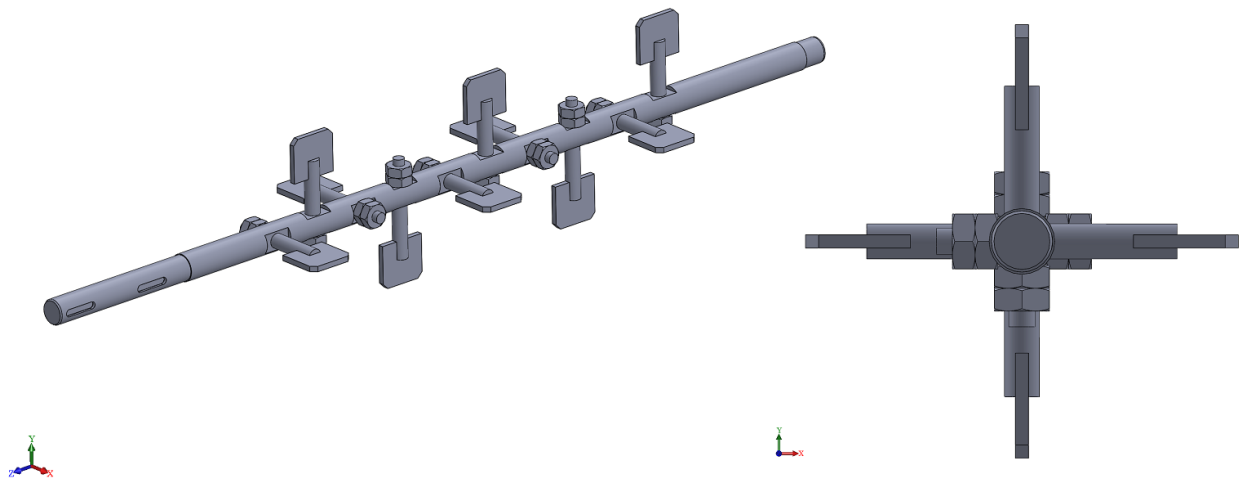


Рисунок 4.1 – Схема моделі робочого органу тістомісильної машини

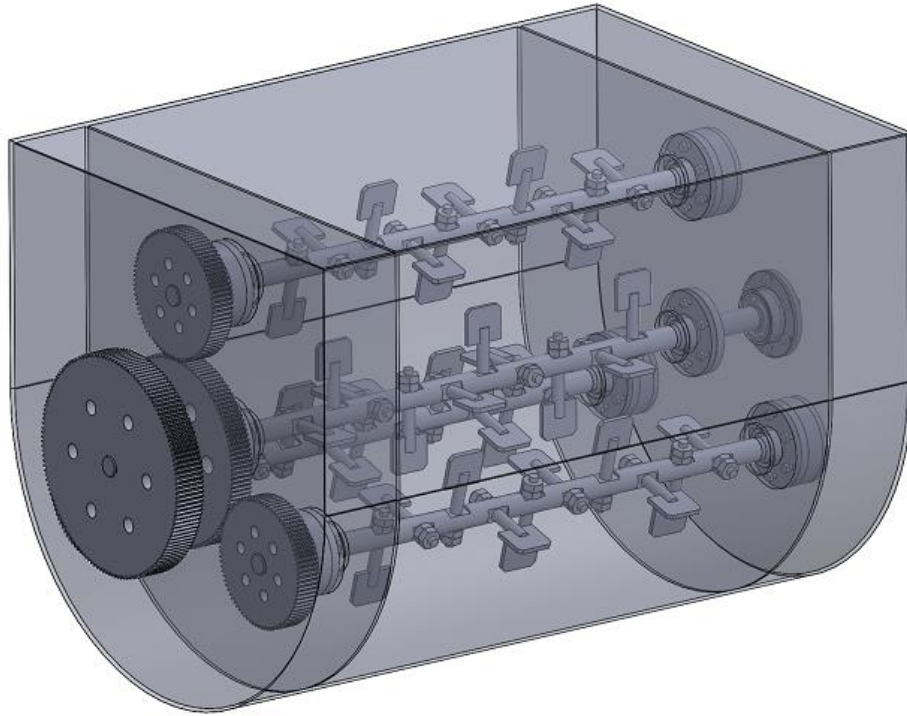


Рисунок 4.2 – Схема моделі робочих органів в компонуванні з модернізованим місильним коритом

#### 4.2. Моделювання та вплив навантажень компонентів робочого органу

За допомогою пакету SolidWorks Simulation, створюємо нове дослідження, а саме дослідження статичних навантажень. Перед початком моделювання виконуємо наступні кроки.

Вибираємо функцію «кріплення підшипників» і фіксуємо. Далі за допомогою додаткової геометрії, фіксуємо грань у шпоночному пазі.

Після задання способів фіксації і вибору навантажень на вал (рис. 4.3), виконуємо побудову розрахункової сітки (рис. 4.4). Для цього потрібно використати автоматичну генерацію з максимальними значеннями якості сітки, які вплинуть на чіткість результату дослідження.

Також для моделювання потрібно вказати марку матеріалу. Тому, для робочих елементів замішувача застосовуємо сталь AISI 1020:

Модуль пружності:	$2e+11 \text{ Н/м}^2$
Коефіцієнт Пуассона:	0,29
Модуль зсуву:	$7,7e+10 \text{ Н/м}^2$
Питома вага (густина):	$7900 \text{ кг/м}^3$
Межа міцності при розтягу:	$4,20507e+08 \text{ Н/м}^2$
Межа текучості:	$3,51571e+08 \text{ Н/м}^2$
Коефіцієнт теплового розширення:	$1,5e-05 \text{ /К}$

Після того, як сітка буде побудована, виконуємо розрахунки результатів, які представлені на рис. 4.5. – 4.8.

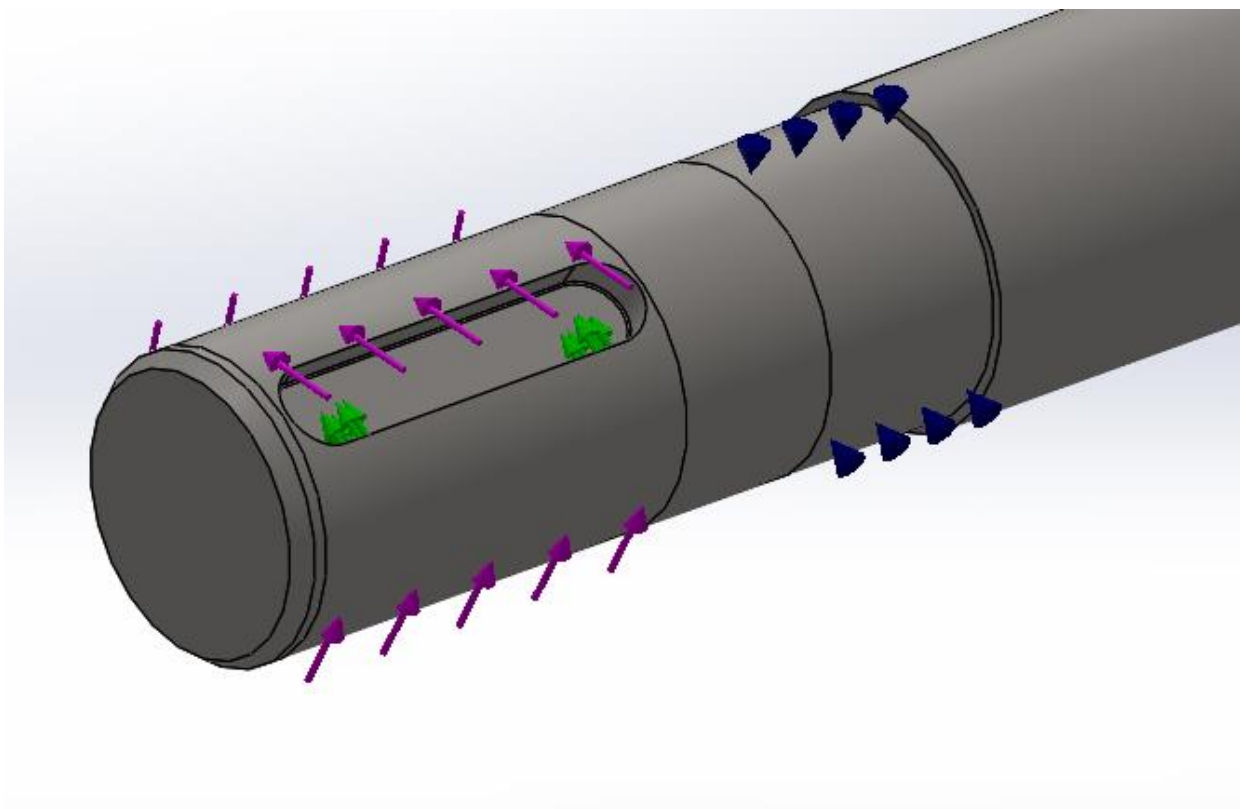


Рисунок 4.3 – Схема закріплення та вибору навантажень на вал замішувача

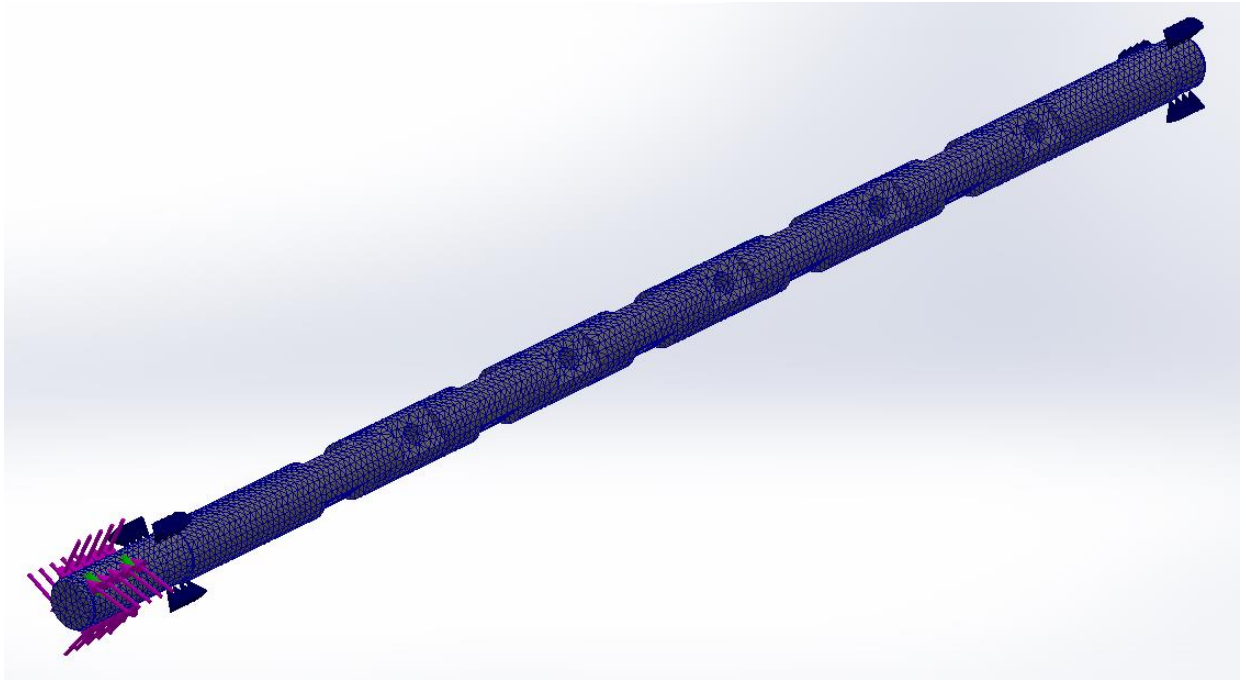


Рисунок 4.4 – Схема розрахункової сітки вала замішувача неперервної дії

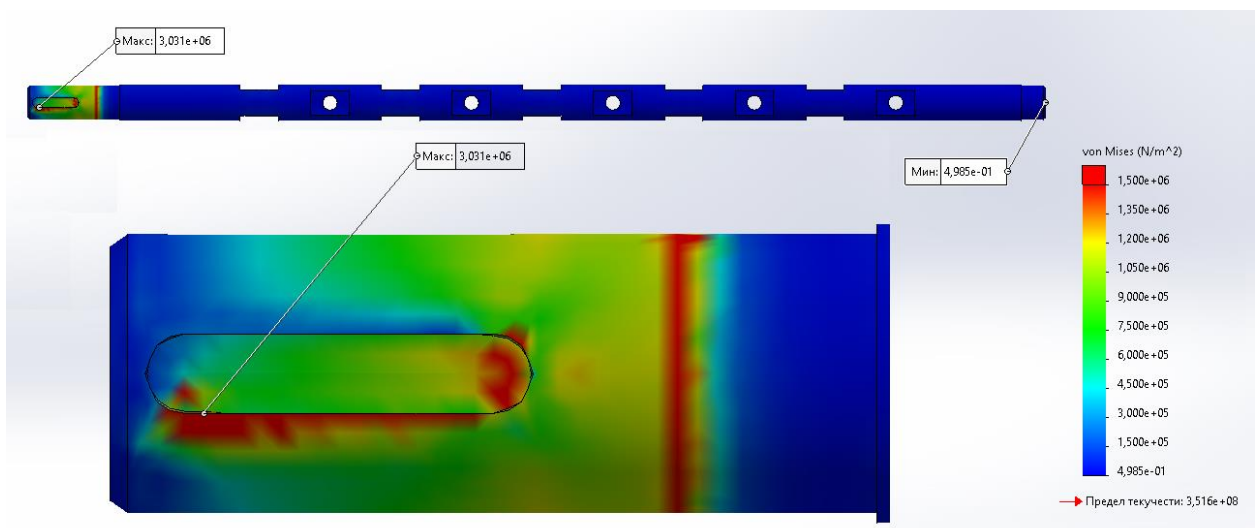


Рисунок 4.5 – Результати розрахунку напружень згідно Фон Мізеса

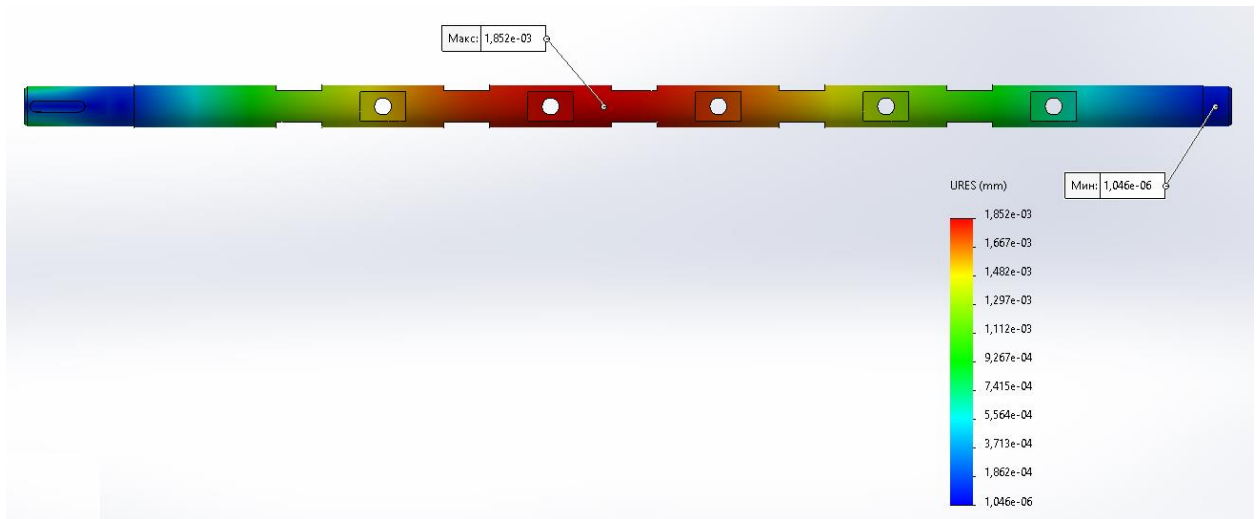


Рисунок 4.6 – Результати розрахунку статичного переміщення

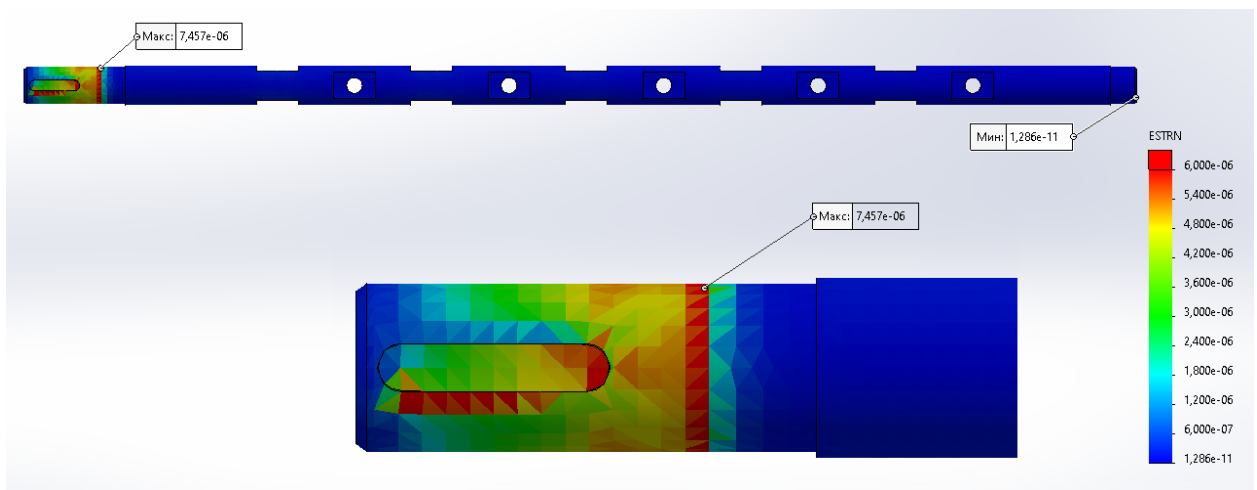


Рисунок 4.7 – Результати розрахунку статичних деформацій

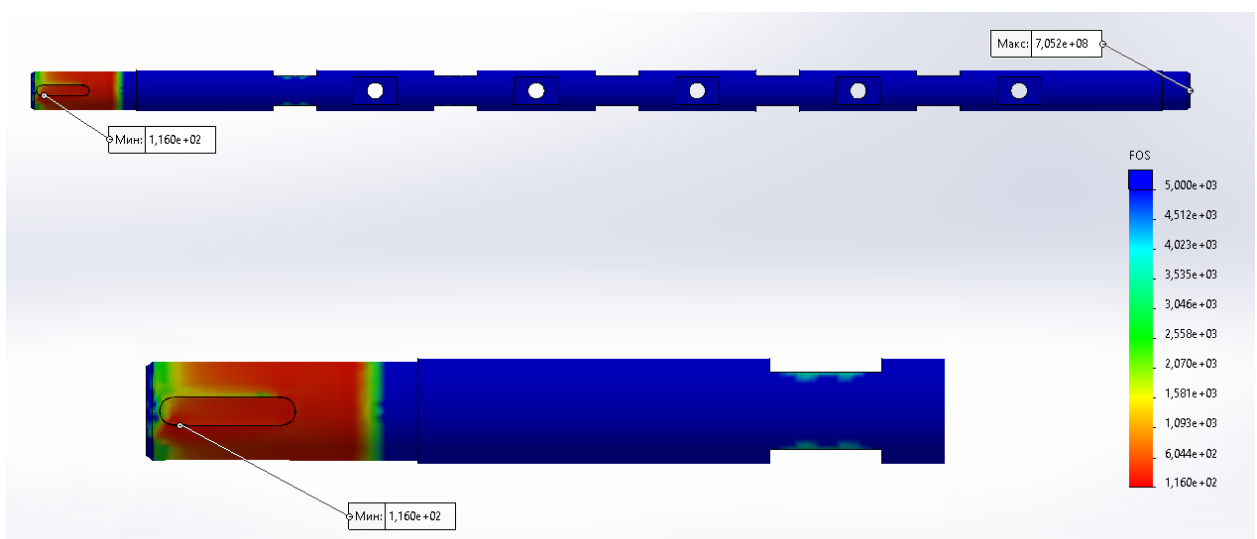


Рисунок 4.8 – Результати розрахунку запасу міцності (FOS)

Далі проведемо моделювання дослідження лопатки робочого органу. Матеріал, для виготовлення місильної лопатки, вибираємо також AISI 1020.

Аналогічно створюємо дослідження статичних навантажень, після чого вибираємо фіксації і вказуємо навантаження на грань лопатки (рис. 4.9). Будуємо розрахункову сітку та генеруємо з максимальними параметрами якості сітки (рис 4.10).

Після побудови сітки, виконуємо розрахунки результатів, які представлені на рис. 4.11. – 4.14.

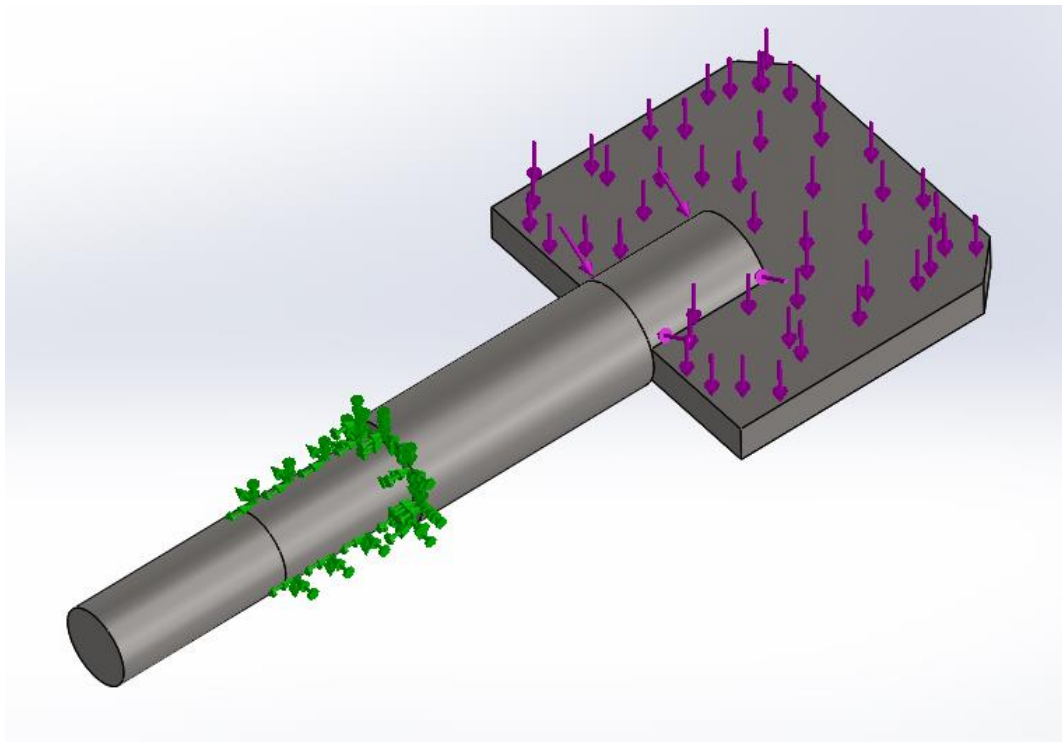


Рисунок 4.9 – Схема закріплення та вибору навантажень лопатки замішувача



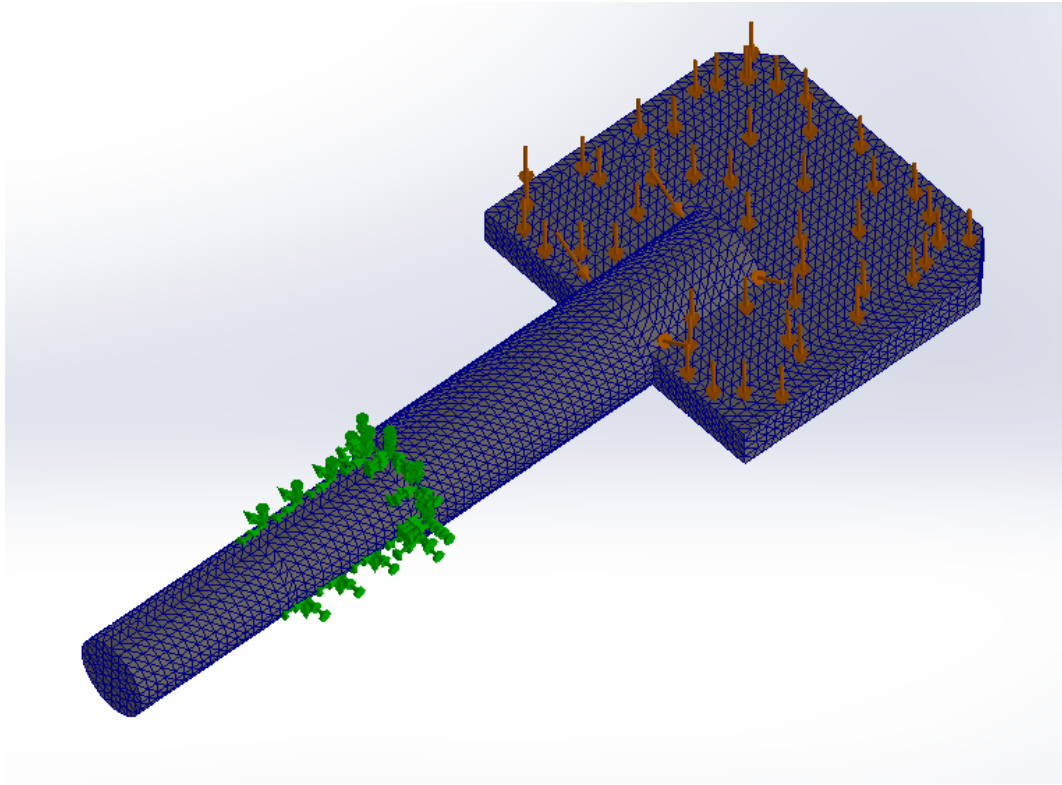


Рисунок 4.10 – Схема розрахункової сітки лопатки замішувача неперервної дії

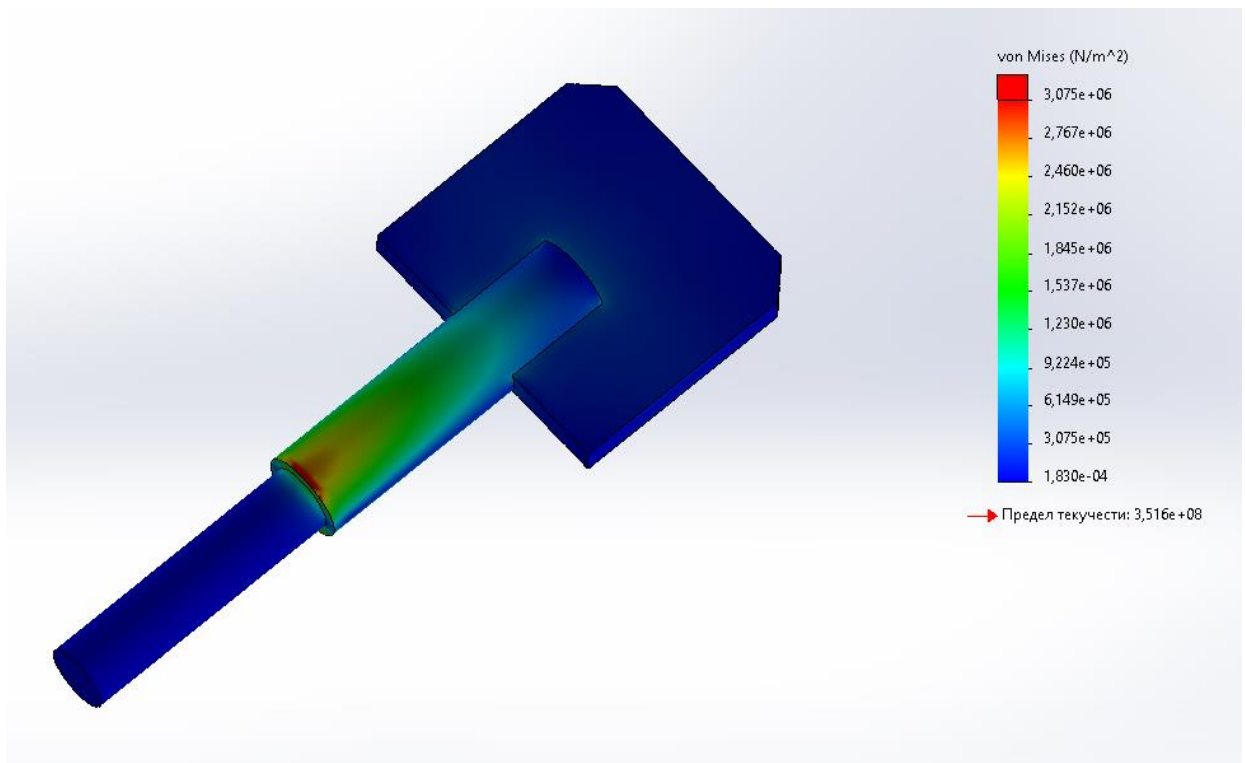


Рисунок 4.11 – Результати розрахунку напружень згідно Фон Мізеса



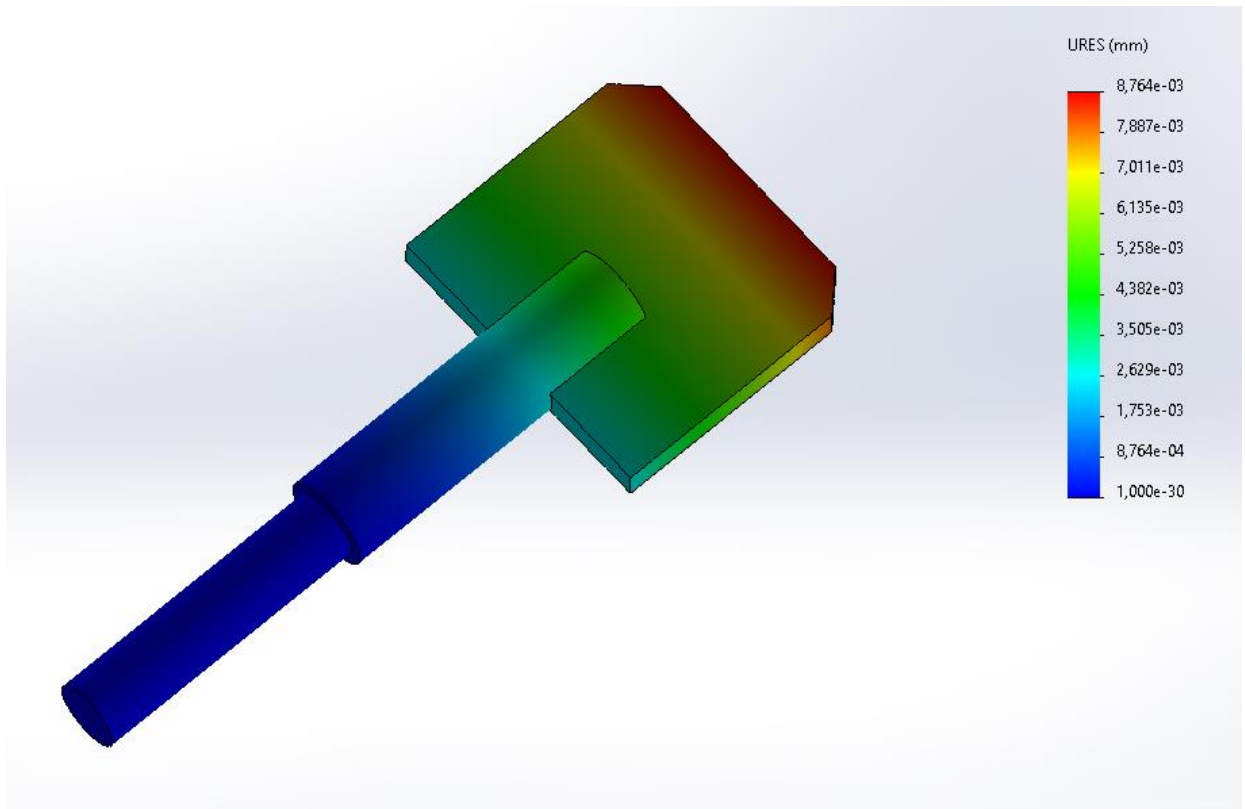


Рисунок 4.12 – Результати розрахунку статичного переміщення

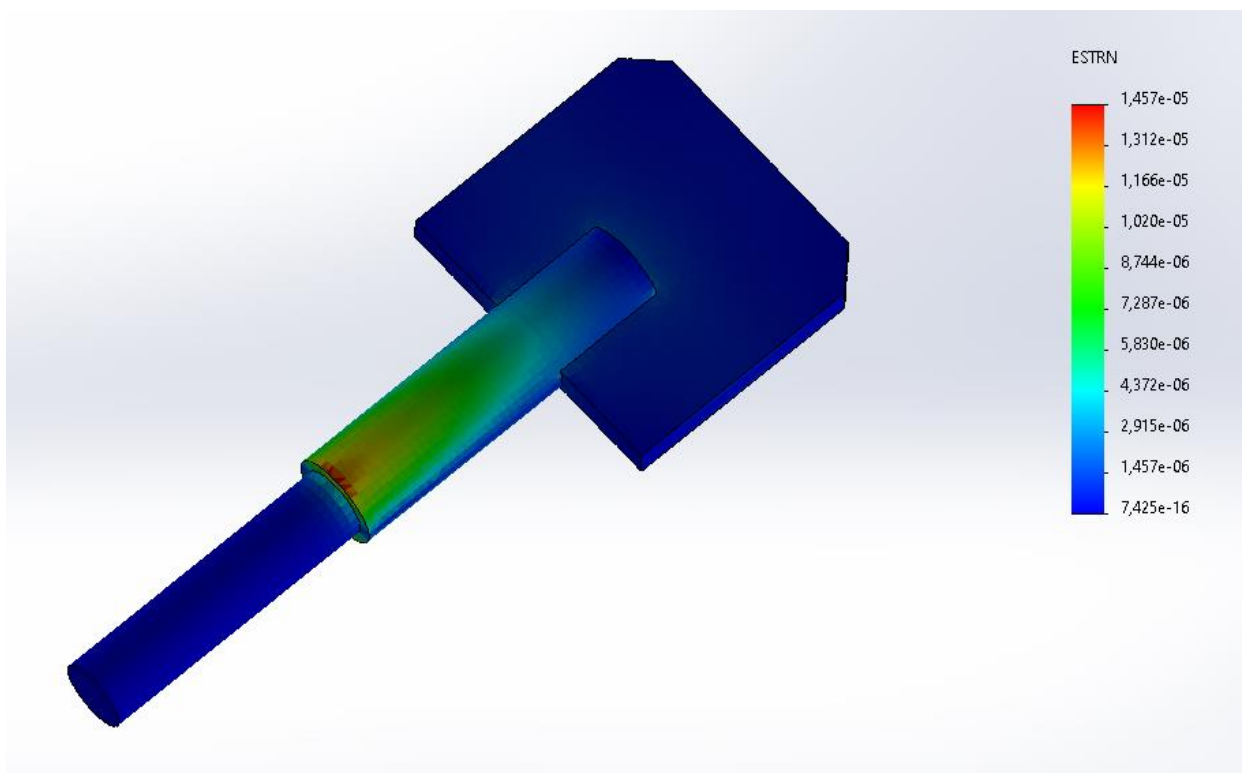


Рисунок 4.13 – Результати розрахунку статичних деформацій

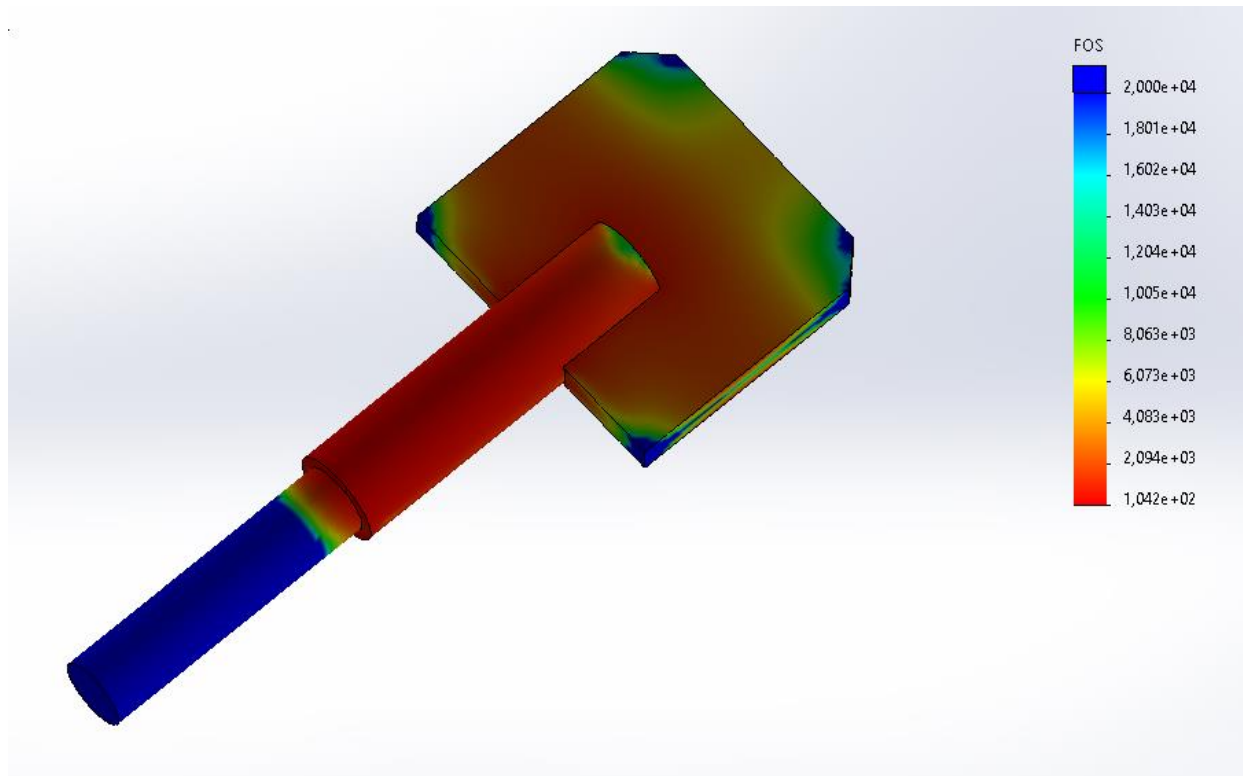


Рисунок 4.14 – Результати розрахунку запасу міцності (FOS)

### 4.3. Аналіз і обґрунтування результатів

У процесі виконання досліджень, було проведено статичні дослідження двох компонентів, а саме вала робочого органу місильної машини та лопатки.

Для обох деталей запропоновано використати матеріал марки AISI 1020.

Результати розрахунків максимальних та мінімальних величин представлено у таблицях 4.1 і 4.2.

Таблиця 4.1

Мінімальні та максимальні значення результату дослідження для лопатки

Параметр	Значення	
	min	max
Напруження згідно Фон Мізеса, Н/м <sup>2</sup>	1,830e-04	3,075e+06
Статичні переміщення, мм	1,000e-30	8,764e-03

Статичні деформації	7,425e-16	1,475e-05
Запас міцності (FOS)	1,042e+02	2,000e+04

Таблиця 4.2

Мінімальні та максимальні значення результату дослідження для вала

Параметр	Значення	
	<b>min</b>	<b>max</b>
Напруження згідно Фон Мізеса, Н/м <sup>2</sup>	4,985e-01	1,500e+06
Статичні переміщення, мм	1,064e-06	1,852e-03
Статичні деформації	1,286e-11	6,000e-06
Запас міцності (FOS)	1,160e+02	5,000e+03

## Висновки

У кваліфікаційній роботі пропонуються заходи з модернізації вузла змішування неперервної дії тістомісильної машини марки X-26 за допомогою програмного комплексу SolidWorks.

Машина для замісу тіста, що включає в себе пристрій для видачі борошна, ємність у формі корита та центральний вал із лопатями, відрізняється тим, що для збільшення ефективності змішування тіста і підвищення продуктивності, в коритоподібному резервуарі паралельно центральному валу і на рівних відстанях від його осі розташовані ще три вали, які можуть здійснювати планетарний рух навколо основного вала, на кожному з яких також розміщені лопатки.

Винахід належить до галузі виробництва хліба, а саме до машин для замісу тіста з неперервною дією.

Мета удосконалення даного винаходу полягає в підвищенні ефективності змішування тіста та збільшенні продуктивності.

Робочий орган у вигляді валів із лопатками, що мають можливість виконувати планетарний рух, сприятиме інтенсифікації процесів змішування компонентів, набухання клейковини та обминки, створюючи в масі турбулентні потоки.

Підвищення продуктивності в результаті інтенсифікації процесу змішування проявляється у зменшенні часу його тривалості.

У процесі виконання досліджень, було проведено статичні дослідження двох компонентів, а саме вала робочого органу місильної машини та лопатки.

Для обох деталей запропоновано використати матеріал марки AISI 1020.

За результатами досліджень було встановлено вплив конструктивних параметрів місильної лопатки та вала в процесі їхньої роботи на такі рівні, як напруження за Фон Мізесом, статичні переміщення та деформації, а також запас міцності (FOS).

Запропоновано заходи з монтажу і експлуатації тістомісильної машини марки Х-26, заходи з охорони праці та техніки безпеки.

## 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. Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. Справочник по сопротивлению материалов. – К.: Наукова думка, 1975. – 704.
3. Методичні вказівки до проведення практичних занять з дисципліни “Деталі машин” (для студентів напрямку “Інженерна механіка”) / Сост.: В.Г. Нечепаяев, В.П. Оніщенко, В.П. Блескун, О.В. Деркач, В.С. Ісадченко, П.М. Матеко, В.О. Голдобін. – Донецьк: ДонНТУ, 2006. - 45 стор.
4. Pawel, D., Derkach, A., Stadnyk, I., Vitenko, T. 2016. Simulation of components mixing in order to determine rational parameters of working bodies. *Advances in Science and Technology Research Journal*, vol. 9, p. 130-138. <https://doi.org/10.12913/22998624/64068>
5. Пат. на кор. мод. № 113270 UA, МПК А21С 3/10 (2006.01). Вузол подачі тіста формувальної машини / І.Я Стадник, А.В. Деркач, О.І. Стадник; заявник Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя - № у 2016 06529; заявл. 15.06.2016 ; опубл. 25.01.2017, Бюл. №2, 2017 р.
6. 15. Пат. на кор. мод. № 111503 UA, МПК А21С 3/10 (2006.01). Вузол подачі тіста формувальної машини / І.Я Стадник, А.В. Деркач; заявник Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя - № у 2016 05302 ; заявл. 16.05.2016 ; опублік. 10.11.2016, Бюл. №21, 2016.
7. Igor Yaroslavovych Stadnyk, Juilia Pankiv, Petro Havrylko, Halina Karpyk RESEARCHING OF THE CONCENTRATION DISTRIBUTION OF SOLUBLE LAYERS WHEN MIXED IN THE WEIGHT CONDITION // *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences* vol. 13, 2019, no. 1, p. 581-592 (скопус) <https://doi.org/10.5219/1129>