

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

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Модернізація місильного вузла машини марки Г4-МТМ-330-01
для замішування тіста

Виконав: здобувач вищої освіти 6 курсу, групи МОм-61
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

Черкас Н.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Ворощук В.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Ворощук В.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Ворощук В.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

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

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра обладнання харчових технологій

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри ОХ

Ворощук В.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 12 » серпня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

здобувачу вищої освіти

Черкас Назарій Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація місильного вузла машини марки Г4-МТМ-330-01 для замішування тіста

Керівник роботи Ворощук Віктор Ярославович, к.т.н., доцент

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

Затверджені наказом ректора від « 11 » серпня 2025 року № 4/7-747.

2. Термін подання завершеної роботи 20 грудня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи Технічний паспорт та інструкції з експлуатації, монтажу та технічного обслуговування і ремонту машини марки Г4-МТМ-330-01 для замішування тіста.

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

Анотація. Вступ. 1. Аналіз сучасного стану об'єкту дослідження, вибір і обґрунтування основних напрямків дослідження. 2. Методи та методика досліджень. 3. Розроблення нових проектно-технологічних і технічних вирішень вдосконалення об'єкта дослідження. 4. Дослідження місильного органу тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01. 5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях. 5.1. Заходи з безпечної експлуатації технологічного обладнання цеху хлібобулкових виробів. 5.2. Безпека у надзвичайних ситуаціях на хлібозаводі. Висновки.

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

1. Тістомісильна машина моделі Г4-МТМ-330-0І. Вигляд загальний (1 л. ф. А1)

2. Тістомісильна машина моделі Г4-МТМ-330-0І. Кінематична схема (1 л. ф. А1)

3. Механізм приводу тістомісильної машини моделі Г4-МТМ-330-0І (1 л. ф. А1)

4. Редуктор приводу діжі тістомісильної машини марки Г4-МТМ-330-01 (1 л. ф. А1)

5. Результати дослідження місильного органу тістомісильної машини марки Г4-МТМ-330-01 (4 л. ф. А1)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>Кравець О.І. – к.т.н., доц. Стручок В.С. – ст.викл.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Ворощук В.Я. – к.т.н., доц.</i>		

7. Дата видачі завдання 12 серпня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Анотація		
2	Вступ		
3	1. Аналіз сучасного стану об'єкту дослідження, вибір і обґрунтування основних напрямків дослідження.		
4	2. Методи та методика досліджень.		
5	3. Розроблення нових проектно-технологічних і технічних вирішень вдосконалення об'єкта дослідження.		
6	4. Дослідження місильного органу тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01.		
7	5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.		
8	5.1. Заходи з безпечної експлуатації технологічного обладнання цеху хлібобулкових виробів.		
9	5.2. Безпека у надзвичайних ситуаціях на хлібозаводі.		
10	Висновки		
11			
12	Графічна частина		
13			
14	Тістомісильна машина моделі Г4-МТМ-330-0І. Вигляд загальний (1 л. ф. А1)		
15	Тістомісильна машина моделі Г4-МТМ-330-0І. Кінематична схема (1 л. ф. А1)		
16	Механізм приводу тістомісильної машини моделі Г4-МТМ-330-0І (1 л. ф. А1)		
17	Редуктор приводу діжі тістомісильної машини марки Г4-МТМ-330-01 (1 л. ф. А1)		
18	Результати дослідження місильного органу тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01 (4 л. ф. А1)		
19			
20			
21			

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Черкас Н.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Ворощук В.Я.

(прізвище та ініціали)

Анотація

Автор кваліфікаційної роботи освітнього рівня «магістр» – Черкас Назарій Ігорович

Тема кваліфікаційної роботи: Модернізація місильного вузла машини марки Г4-МТМ-330-01 для замішування тіста.

Кваліфікаційну роботу виконано у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя в 2025 році.

Структура роботи складається з розрахунково-пояснювальної записки (97 сторінок) і графічної документації, представленої 8 кресленнями формату А1.

У дипломній роботі пропонуються технічні заходи з модернізації місильного вузла машини марки Г4-МТМ-330-01 для замішування тіста.

Для досягнення поставлених цілей виконуються наступні завдання:

дослідження сучасних конструктивних рішень та технологічних підходів до процесу замішування тіста;

розроблення комплексу заходів щодо модернізації тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01;

виконання технологічних розрахунків для тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01;

проведення структурного кінематичного аналізу тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01;

здійснення конструктивних розрахунків тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01;

комп'ютерне моделювання місильних органів машини Г4-МТМ-330-01 за допомогою програмного середовища SolidWorks Simulation;

аналіз отриманих результатів досліджень.

Ключові слова: тістомісильна машина, робочі органи, напруження, модернізація.

Abstract

Cherkas Nazariy. Modernization of the kneading unit of the G4-MTM-330-01 machine for dough mixing. 133 “Industrial Machinery Engineering” – Ternopil Ivan Puluj National Technical University.-Ternopil, 2025.

The work is presented in a calculation and explanatory note (97 pages) and graphic documentation in the form of 8 A1 format drawings.

The thesis proposes technical measures for modernising the kneading unit of the G4-MTM-330-01 machine for kneading dough.

To achieve the set goals, the following tasks are performed:

- research of modern design solutions and technological approaches to the dough mixing process;

- development of a set of measures to modernise the G4-MTM-330-01 dough mixer;

- performing technological calculations for the G4-MTM-330-01 dough mixing machine;

- conducting a structural kinematic analysis of the G4-MTM-330-01 dough mixing machine;

- performing design calculations for the G4-MTM-330-01 dough mixing machine;

- computer modelling of the mixing elements of the G4-MTM-330-01 machine using the SolidWorks Simulation software environment;

- analysis of the research results obtained.

Keywords: dough mixer, working parts, stress, modernisation.

Зміст

Анотація	4
Abstract	5
Зміст	6
Вступ.....	8
1. Аналіз сучасного стану обладнання для замішування тіста, вибір і обґрунтування основних напрямків дослідження.....	11
1.1. Аналіз обладнання для замішування тіста	11
1.2. Аналіз та короткий опис об'єкту дослідження.	21
1.3. Мета та задачі кваліфікаційної роботи.	22
2. Методи та методика досліджень.....	23
2.1. Огляд сучасного програмного забезпечення для інженерного аналізу	23
2.2. Обґрунтування вибору SOLIDWORKS Simulation.....	25
2.3. Функціональні можливості SOLIDWORKS Simulation для дослідження місильних органів	28
3. Розроблення нових проектно-технологічних і технічних вирішень вдосконалення об'єкта дослідження.	34
3.1. Заходи з модернізації тістомісильної машини Г4-MTM-330-01	34
3.2. Технологічний розрахунок тістомісильної машини Г4-MTM-330- 01	35
3.3. Опис будови і роботи тістомісильної машини марки Г4-MTM-330- 01.....	36
3.4. Структурний аналіз тістомісильної машини	37
3.5. Розрахунок елементів приводу діжі	39

3.6. Розрахунок параметрів циліндричної передачі місильного органу.....	47
3.7. Технічне обслуговування та експлуатація тістомісильної машини Г4-МТМ-330-0	56
4. Дослідження місильного органу тістомісильної машини Г4-МТМ- 330-01	61
4.1. Постановка завдань для виконання дослідження	61
4.2. Результати моделювання у SolidWorks Simulation місильного органу тістомісильної машини марки Г4-МТМ-330-01.	62
4.3. Аналіз результатів.....	72
5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	77
5.1. Заходи з безпечної експлуатації технологічного обладнання цеху хлібобулкових виробів.....	77
5.2. Безпека у надзвичайних ситуаціях на хлібозаводі	84
Висновки	89
Перелік посилань.....	91
Додатки.....	94
Додаток А	94
Специфікації	

Вступ

У сучасних умовах розвитку харчової промисловості питання підвищення ефективності роботи технологічного обладнання набуває особливого значення. Тістомісильні машини є невід'ємною складовою виробничого процесу на хлібопекарських та кондитерських підприємствах, а якість замішування тіста безпосередньо впливає на органолептичні та фізико-хімічні властивості готової продукції.

Машина Г4-МТМ-330-01 експлуатується на багатьох підприємствах, однак її місильні органи піддаються інтенсивному зносу внаслідок складних умов роботи – високих механічних навантажень, абразивного впливу тіста та циклічного характеру навантажень. Це призводить до часових простоїв обладнання, зниження якості продукції та додаткових економічних витрат на ремонт.

Використання методів скінченно-елементного аналізу та комп'ютерного моделювання у програмному середовищі SolidWorks Simulation дозволяє на етапі проектування виявити слабкі місця конструкції, оптимізувати геометричні параметри робочих органів та підвищити їх міцнісні характеристики без значних матеріальних витрат на експериментальні дослідження.

Отже, актуальність дослідження визначається практичною потребою у вдосконаленні конструкції тістомісильного обладнання для забезпечення стабільної роботи підприємств харчової промисловості та підвищення конкурентоспроможності вітчизняної продукції.

У кваліфікаційній роботі магістра [1-3] виконуються завдання:

дослідження сучасних конструктивних рішень та технологічних підходів до процесу замішування тіста;

розроблення комплексу заходів щодо модернізації тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01;

виконання технологічних розрахунків для тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01;

проведення структурного кінематичного аналізу тістомісильної машини Г4-MTM-330-01;

здійснення конструктивних розрахунків тістомісильної машини Г4-MTM-330-01;

формування комплексу заходів щодо експлуатації та технічного обслуговування тістомісильної машини Г4-MTM-330-01;

комп'ютерне моделювання місильних органів машини Г4-MTM-330-01 за допомогою програмного середовища SolidWorks Simulation;

аналіз отриманих результатів досліджень.

Об'єкт дослідження: напружено-деформований стан місильного робочого органу тістомісильної машини Г4-MTM-330-01, включаючи аналіз напружень, переміщень, деформацій і коефіцієнта запасу міцності під дією робочих навантажень.

Предмет дослідження: тістомісильна машина Г4-MTM-330-01.

Методи і методики досліджень:

метод аналітичного огляду – для вивчення сучасних конструктивних рішень та технологічних підходів до процесу замішування тіста;

метод системного підходу – для розроблення комплексу заходів щодо модернізації тістомісильної машини Г4-MTM-330-01;

метод скінченних елементів – для комп'ютерного моделювання та аналізу напружено-деформованого стану місильних органів машини Г4-MTM-330-01 у програмному середовищі SolidWorks Simulation;

методи порівняльного аналізу – для опрацювання та інтерпретації отриманих результатів досліджень.

Наукова новизна:

вперше проведено комплексне дослідження напружено-деформованого стану удосконаленого місильного органу тістомісильної машини Г4-MTM-330-01 із застосуванням програмного середовища SolidWorks Simulation;

отримано закономірності розподілу напружень та деформацій у місильному робочому органі тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01 при експлуатаційних навантаженнях;

запропоновано удосконалену конструкцію місильного органу з підвищеним коефіцієнтом запасу міцності та покращеними експлуатаційними характеристиками.

Результати досліджень, викладені у магістерській роботі, були представлені на VIII Міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання», що проходила 24-25 квітня 2025 року.

Магістерська кваліфікаційна робота містить пояснювальну записку з п'яти розділів, додатки та графічні матеріали на 8 аркушах формату А1.

1. Аналіз сучасного стану обладнання для замішування тіста, вибір і

обґрунтування основних напрямків дослідження

1.1. Аналіз обладнання для замішування тіста

Тістомісильні машини є ключовим обладнанням у хлібопекарській промисловості [4-8], забезпечуючи механізацію та автоматизацію процесу замісу тіста. Класифікація цього обладнання здійснюється за декількома критеріями, що дозволяє підібрати оптимальне рішення для конкретних виробничих потреб.

За принципом дії тістомісильні машини поділяються на машини періодичної та безперервної дії. Машини періодичної дії здійснюють заміс порційно, завантажуючи всі інгредієнти одночасно або послідовно в робочу ємність. Після завершення замісу тісто вивантажується, і цикл повторюється. Такі машини найбільш поширені на підприємствах малої та середньої потужності, оскільки забезпечують гнучкість виробництва та можливість швидкого переходу на інший вид продукції. Машини безперервної дії здійснюють постійне завантаження інгредієнтів та вивантаження готового тіста, що забезпечує високу продуктивність і використовується переважно на великих хлібозаводах з масовим виробництвом однотипної продукції.

За способом замісу розрізняють машини з різними типами робочих органів. Машини з вертикальними місильними органами мають діжу, яка залишається нерухомою або обертається, та робочий орган, що здійснює складні рухи у вертикальній площині. До цієї категорії належать машини з U-подібними, Z-подібними, спіральними та планетарними місильними органами. Машини з горизонтальними робочими органами характеризуються горизонтальним розташуванням валів з лопатями, що забезпечує інтенсивне перемішування компонентів.

За типом місильного органу виділяють кілька основних конструкцій. Машини зі спіральним місильним органом є найпоширенішими у професійній хлібопекарській промисловості. Спіральний гак забезпечує ефективний заміс тіста різної консистенції, від м'якого пшеничного до щільного житнього.

Обертання діжі в поєднанні з рухом спірального гака створює оптимальні умови для розвитку клейковини без перегріву тіста. Машини з планетарним змішувачем мають нерухому діжу та робочий орган, що здійснює одночасно обертання навколо власної осі та по колу діжі, імітуючи рух планет. Такі машини універсальні та підходять для широкого спектру тіста, включаючи бісквітне, заварне та дріжджове.

Машини з двома Z-подібними валами використовуються переважно для замісу щільного, важкого тіста, такого як пряникове або печивне. Два вали обертаються назустріч один одному з різною швидкістю, забезпечуючи інтенсивне механічне опрацювання тіста. Машини з вилкоподібними робочими органами застосовуються для делікатного замісу тіста, де необхідно зберегти структуру інгредієнтів. Машини з лопатевими робочими органами призначені для швидкого змішування рідких та напіврідких мас, а також для початкових стадій замісу м'якого тіста.

За місткістю діжі тістомісильні машини класифікуються на малі (до 50 літрів), середні (від 50 до 140 літрів), великі (від 140 до 330 літрів) та надвеликі (понад 330 літрів). Місткість діжі визначається виробничою потужністю підприємства та обсягами виробництва. Для невеликих пекарень та кондитерських цехів достатньо машин місткістю до 140 літрів, тоді як промислові хлібозаводи потребують обладнання з діжами понад 200-300 літрів.

За способом вивантаження тіста розрізняють машини з відкидною діжею, де діжа нахиляється для вивантаження готового тіста, машини з піднімальною діжею, де діжа піднімається для перенесення на тістоділильник або інше обладнання, та машини з донним вивантаженням, де тісто виходить через отвір у дні діжі за допомогою спеціального механізму.

За рівнем автоматизації тістомісильні машини бувають з ручним керуванням, напівавтоматичні та повністю автоматизовані. Найсучасніші моделі оснащені мікропроцесорним керуванням, що дозволяє програмувати різні режими замісу, контролювати температуру тіста, час замісу та швидкість обертання робочих органів. Деякі моделі мають можливість збереження до

кількох десятків рецептур з автоматичним виконанням всіх етапів замісу згідно з заданою програмою.

За конструкцією приводу машини поділяються на одношвидкісні, двошвидкісні та з варіативною зміною швидкості. Сучасні моделі часто оснащуються частотними перетворювачами, що дозволяє плавно регулювати швидкість обертання робочих органів залежно від етапу замісу та виду тіста. Початкові етапи замісу зазвичай виконуються на низькій швидкості для рівномірного змішування інгредієнтів, після чого швидкість збільшується для інтенсивного розвитку клейковини.

За матеріалом виготовлення робочих органів та діжі використовується нержавіюча сталь різних марок, що забезпечує корозійну стійкість, легкість очищення та відповідність санітарним нормам харчової промисловості. Високоякісні машини виготовляються з нержавіючої сталі марок AISI 304 або AISI 316, що гарантує довговічність та збереження гігієнічних властивостей протягом тривалого терміну експлуатації.

За призначенням тістомісильні машини можуть бути універсальними, призначеними для замісу різних видів тіста, або спеціалізованими для конкретних технологій. Наприклад, існують спеціалізовані машини для французького хліба, які забезпечують делікатний заміс з мінімальним нагріванням тіста, або машини для італійської піци з особливою конфігурацією робочих органів.

Тістомісильна машина DIOSNA SP 120 (120 л / 180 л).

Німецька спіральна тістомісильна машина з об'ємом діжі 180 літрів, завантаження 75 кг борошна, вихід тіста 120 кг, потужність 6,6 кВт. Машина обладнана двома швидкостями обертання місильного органу (80/160 об/хв), двома незалежними таймерами для кожної швидкості, функцією реверсу діжі для оптимального замісу.

Габаритні розміри становлять 1250×900×1350 мм, вага машини — 410 кг. Конструкція виконана з високоякісної нержавіючої сталі AISI 304 для контактуючих з продуктом частин та міцної вуглецевої сталі з порошковим фарбуванням для корпусу. Діжа має спеціальну конічну форму з піднятим

центром, що забезпечує ідеальну траєкторію руху тіста навіть при мінімальному завантаженні.



Рисунок 1.1. – Тістомісильна машина DIOSNA SP 120 (120 л / 180 л).

Спиральний місильний орган виготовлений з нержавіючої сталі з особливою геометрією, яка запатентована компанією Diosa. Відстань від краю спіралі до стінки діжі точно розрахована для оптимального вимішування без перегріву тіста. Центральний ніж-відсікач дозволяє легко відділяти тісто від спіралі після закінчення замісу.

Машина оснащена мікропроцесорною панеллю керування з можливістю програмування до 9 рецептів. Кожна програма може містити налаштування для обох швидкостей, часу замісу, пауз та реверсу діжі. Система автоматично переключає швидкості за заданою програмою, що дозволяє досягти ідеальної консистенції для різних типів тіста.

Панель керування захищена від вологи та пилу за стандартом IP54. Всі функції інтуїтивно зрозумілі, навіть неопитний персонал швидко освоює роботу з машиною. Діагностична система повідомляє про можливі несправності, що полегшує обслуговування.

Переваги та особливості експлуатації

Diosna SP 120 розрахована на цілодобову роботу 7 днів на тиждень. Машини цієї серії працюють на великих хлібозаводах по 15-20 років без капітального ремонту. Всі вузли мають великий запас міцності та витривалості.

Машина однаково добре справляється з будь-яким типом тіста — від рідкого бісквітного до крутого дріжджового. Особлива конструкція спіралі забезпечує делікатний заміс, не руйнуючи клейковину навіть при тривалій роботі.

Піднятий центр діжі - особливість, яка дозволяє працювати з малими порціями тіста (від 15-20 кг) при загальній місткості 120 кг. Це критично важливо для виробництв з варіативним асортиментом.

Машина працює надзвичайно тихо завдяки прецизійним підшипникам та якісним редукторам. Рівень шуму не перевищує 68 дБ, що дозволяє розміщувати її навіть у відкритих виробничих зонах.

Практично не потребує технічного обслуговування, окрім регулярного змащення підшипників раз на 6 місяців. Всі вузли легкодоступні для огляду та ремонту.

Недоліки та обмеження

Машина важка (410 кг) і потребує міцної бетонної основи. Під неї рекомендується влаштовувати окремий фундамент або використовувати антивібраційні підкладки. Потрібне підключення 380В, що може бути проблемою для старих будівель або невеликих виробництв.

Diosna SP 120 ідеально підходить для:

Середніх та великих пекарень з добовим виробництвом 500-1500 кг хлібобулочних виробів

Міні-хлібозаводів, де важлива стабільність якості

Кондитерських цехів з інтенсивним виробництвом

Підприємств, що працюють з різноманітним асортиментом тіста
Виробництв, де простої обладнання критичні для бізнесу
Тістомісильна машина KEMPER SP 125 (125 л / 240 л).



Рисунок 1.2. – Тістомісильна машина KEMPER SP 125 (125 л / 240 л).

Німецька машина інтенсивного замішування з максимальним завантаженням 125 кг борошна, мінімальний заміс 4 кг. Унікальна особливість — можливість працювати з надзвичайно широким діапазоном завантаження, від 4 до 125 кг борошна за один заміс.

Версія з підкатними діжами: завантаження 150 кг борошна, вихід 240 кг тіста, об'єм 360 літрів, дві підкатні діжі в комплекті. Це дозволяє організувати безперервне виробництво — поки одна діжа замішує, друга встигає бродити або готується до завантаження.

Машина оснащена потужним двигуном 5-7 кВт (залежно від комплектації), двома швидкостями обертання місильного органу, реверсивним обертанням діжі. Спиральний інструмент з центральним ножом-відсікачем виготовлений з хромованої сталі високої твердості.

Модель з підкатними діжами SP 125/360 — це фактично дві машини в одній. Комплект включає основний блок з приводом та дві діжі на гідравлічних візках. Процес роботи максимально оптимізований:

Перша діжа під'їжджає до машини, автоматично піднімається та фіксується

Відбувається заміс тіста за заданою програмою (8-15 хвилин)

Діжа опускається, від'їжджає на дозрівання, її місце займає друга діжа

Цикл повторюється, забезпечуючи безперервне виробництво

Така система збільшує продуктивність на 30-40% порівняно зі звичайними машинами, де час простою включає вивантаження, очищення та завантаження нової порції.

Переваги використання.

Можливість замішувати від 4 до 125 кг — унікальна особливість, яка дозволяє виробництвам з варіативними обсягами ефективно працювати.

Реверсивне обертання діжі значно підвищує якість замісу, особливо для крутого тіста. Тісто постійно перемішується в різних напрямках, що забезпечує ідеальну однорідність.

Безперервна робота з підкатними діжами. Для великих виробництв це критично важливо. Машина не простоює, постійно виробляє тісто, що дозволяє синхронізувати роботу всієї лінії. Незважаючи на потужність, машини Kemper споживають відносно мало електроенергії завдяки оптимізованим редукторам та системі керування.

Недоліки.

Складність ремонту: При виході з ладу складних вузлів (редуктор, система підйому діжі) ремонт може бути дорогим. Запчастини потрібно замовляти з Німеччини, час очікування 2-4 тижні.

Великі габарити з підкатними діжами: Версія з підкатними діжами потребує значного простору — мінімум 4×3 метри для зручної роботи.

Оптимально для:

Середніх та великих пекарень з добовим виробництвом 1-3 тонни

Хлібозаводів з потребою в безперервному виробництві

Підприємств з широким асортиментом та варіативними обсягами
Виробництв, де важлива максимальна продуктивність
Підприємств, що планують масштабування в майбутньому
DIOSNA SP 160 (160 кг тіста / 300 л)

Продуктивність від 160 до 400 кг тіста, висока ефективність та ідеальне
замішування для подальшої машинної обробки. Машина розрахована на
інтеграцію в повністю автоматизовані лінії великих хлібозаводів.

Потужність двигунів варіюється від 5,5 до 7,5 кВт залежно від комплектації
та типу тіста, з яким планується працювати. Об'єм діжі становить 300 літрів, що
дозволяє за один заміс обробляти до 180 кг борошна. Машина має три швидкості
обертання місильного органу та дві швидкості діжі для максимальної
універсальності.

Diosna SP 160 оснащена комп'ютерною системою керування з сенсорним
дисплеєм. Можна запрограмувати до 50 різних рецептів з унікальними
параметрами для кожного:

Швидкість місильного органу на кожному етапі

Швидкість обертання діжі

Тривалість кожної фази замісу

Паузи між етапами

Реверс та його тривалість

Температурний контроль (опція)

Система збирає статистику роботи, веде логи всіх замісів, що дозволяє
контролювати якість та аналізувати ефективність виробництва. Можлива
інтеграція з загальною системою управління підприємством (ERP). Всі несучі
елементи виготовлені з особливо міцної сталі з запасом міцності 200%.
Підшипники преміального класу з подовженим ресурсом (30 000 годин
безперервної роботи). Редуктор планетарного типу з високим ККД та низьким
рівнем шуму. Діжа має систему швидкого перекидання для вивантаження тіста
безпосередньо у бункер тістоподільника. Можлива установка системи
автоматичного зважування для точного дозування інгредієнтів.

Переваги для великих виробництв

Машина може виробляти до 400 кг тіста за годину при оптимальному режимі роботи. Це дозволяє забезпечити роботу 2-3 ліній формування одночасно.

У комплектації є всі необхідні інтерфейси для підключення до дозаторів борошна, води, інших інгредієнтів. Може працювати в повністю автоматичному режимі без участі оператора. Мікропроцесорне керування забезпечує абсолютно однакову якість кожного замісу. Відхилення за консистенцією не перевищує 1-2%. Питомі витрати електроенергії на 1 кг тіста нижчі, ніж у машин меншої потужності завдяки оптимізації всіх процесів. Машина розрахована на цілодобову безперервну роботу без зниження продуктивності чи якості.

Недоліки та обмеження

Машина важить близько 600 кг, потребує спеціального фундаменту. Габарити близько 2×1,5×1,8 метрів. Має місце складність встановлення.

Неефективна для малих обсягів: при завантаженні менше 80 кг машина працює неоптимально. Для підприємств з варіативними обсягами це може бути проблемою.

Потрібна стабільна трифазна мережа 380В з запасом потужності. Рекомендується встановлення стабілізатора напруги.

Машина призначена для:

Великих хлібозаводів з добовим виробництвом 3-10 тонн

Промислових пекарень з автоматизованими лініями

Підприємств, що виробляють продукцію для мереж супермаркетів

Виробництв з цілодобовим графіком роботи

Підприємств, де критична стабільність якості

Тістомісильна машина PORLANMAZ SP 160 (160 кг / 300 л).

Porlanmaz — один з провідних турецьких виробників хлібопекарського обладнання з понад 40-річним досвідом. Компанія вдало поєднує європейські стандарти якості з азійською конкурентною ціною. Обладнання Porlanmaz широко представлене на ринку України, є офіційні дистриб'ютори та сервісні центри.



Рисунок 1.3. – Тістомісильна машина PORLANMAZ SP 160 (160 кг / 300 л)

Турецька модель для інтенсивної експлуатації, завантаження до 100 кг борошна, вихід близько 160 кг тіста, містка діжа об'ємом 300 л з розмірами 900×470 мм, потужність 5,5-7,5 кВт. Машина обладнана двома незалежними двигунами — для діжі та місильного органу. Один двигун 2,2-3 кВт для обертання діжі, другий 3,3-4,5 кВт для місильного органу. Така схема знижує навантаження на кожен двигун та підвищує загальну надійність.

Габарити машини: 1350×1350×820 мм, вага близько 380 кг. Діжа виконана з нержавіючої сталі AISI 304, має конічну форму для оптимального вимішування. Спиральний місильний орган з центральним ножом виготовлений з хромованої сталі.

Дві робочі швидкості: перша швидкість (80-100 об/хв) для змішування інгредієнтів та початкового замісу, друга (160-200 об/хв) для інтенсивного замісу еластичного тіста. Наявна функція реверсу, яка покращує якість замісу, особливо для крутого тіста. Періодична зміна напрямку обертання забезпечує рівномірне вимішування. Таймер програмується на кожну швидкість окремо. Машина автоматично переключається з першої на другу швидкість та зупиняється після завершення циклу.

Переваги моделі.

Компактні габарити, при місткості 160 кг машина займає відносно мало місця завдяки вертикальній компоновці. Два окремі двигуни споживають менше електроенергії, ніж один потужний. Економія становить 15-20% порівняно з аналогами.

Недоліки.

Менша довговічність: ресурс турецьких машин становить 8-12 років інтенсивної експлуатації проти 15.

1.2. Аналіз та короткий опис об'єкту дослідження.

Згідно із завданням на кваліфікаційну роботу необхідно розробити заходи щодо модернізації робочих органів тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01 та дослідити їх роботу в процесі замішування тіста. Тістомісильна машина Г4-МТМ-330-01 використовується для приготування різних видів тіста на підприємствах харчової промисловості та громадського харчування.

Технічні характеристики

Місткість робочої ємності, л	150
Тривалість циклу замішування, хв	6–25
Ступінь завантаження діжі (% від номінального об'єму):	
для дріжджового тіста смажених виробів (вологість 41–42%)	до 55
для дріжджового тіста пиріжків	до 40
для здобного дріжджового тіста (вміст жиру до 8%)	до 50
для прісного тіста слойкових виробів (вологість 20–41%)	до 30
Частота обертання робочої ємності, об/хв	4,11
Частота обертання місильної лопаті, об/хв	25; 76
Тип приводного двигуна	A02314M301
Номінальна швидкість обертання, об/хв	1440
Споживана потужність, кВт	2,20

1.3. Мета та задачі кваліфікаційної роботи.

Метою роботи є удосконалення конструктивного виконання місильного органу тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01 з метою покращення ефективності функціонування обладнання.

Завданнями дипломної роботи є

дослідження сучасних конструктивних рішень та технологічних підходів до процесу замішування тіста;

розроблення комплексу заходів щодо модернізації тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01;

виконання технологічних розрахунків для тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01;

проведення структурного кінематичного аналізу тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01;

здійснення конструктивних розрахунків тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01;

формування комплексу заходів щодо експлуатації та технічного обслуговування тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01;

комп'ютерне моделювання місильних органів машини Г4-МТМ-330-01 за допомогою програмного середовища SolidWorks Simulation;

аналіз отриманих результатів досліджень.

2. Методи та методика досліджень

Для проведення комплексного дослідження напружено-деформованого стану місильного робочого органу тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01 необхідно застосування сучасного програмного забезпечення, яке дозволяє здійснювати тривимірне моделювання, проводити інженерні розрахунки та виконувати аналіз міцності конструкції методом скінченних елементів. Вибір відповідного програмного продукту є критично важливим етапом дослідження, оскільки від точності математичних моделей, достовірності алгоритмів розрахунку та функціональних можливостей програми безпосередньо залежить якість отриманих результатів та можливість їх практичного застосування при модернізації обладнання.

2.1. Огляд сучасного програмного забезпечення для інженерного аналізу

На сьогоднішній день ринок програмних продуктів для інженерного аналізу та комп'ютерного моделювання механічних систем [9-14] характеризується великою різноманітністю пропозицій, які відрізняються функціональними можливостями, точністю розрахунків, вартістю та складністю освоєння. Серед найпоширеніших та визнаних у світовій інженерній практиці можна виділити такі програмні комплекси як ANSYS, Abaqus, COMSOL Multiphysics, Nastran, Autodesk Inventor Professional, SOLIDWORKS Simulation, Creo Simulate та інші. Кожен з цих програмних пакетів має свої унікальні переваги, особливості застосування та цільову аудиторію користувачів.

ANSYS є одним з найпотужніших та найбільш поширених у світі інструментів для скінченно-елементного аналізу, що широко використовується у аерокосмічній, автомобільній, енергетичній промисловості та інших високотехнологічних галузях. Програмний комплекс ANSYS забезпечує високу точність розрахунків навіть для найскладніших конструкцій, можливість моделювання різноманітних фізичних процесів включаючи структурний аналіз,

гідродинаміку, теплообмін, електромагнітні явища та їх взаємодію. ANSYS Workbench надає зручне робоче середовище з можливістю параметричного моделювання та автоматизації розрахунків. Однак висока вартість ліцензій та значна складність освоєння програми обмежують її широке застосування у навчальних закладах та на малих і середніх підприємствах.

Abaqus також відноситься до категорії професійних систем скінченно-елементного аналізу і особливо відзначається можливістю розв'язання складних нелінійних задач великої розмірності, включаючи аналіз контактних взаємодій, моделювання руйнування матеріалів, дослідження пластичних деформацій та інші специфічні задачі механіки деформівного твердого тіла. Програма широко застосовується у автомобілебудуванні для моделювання краш-тестів, у біомеханіці для дослідження поведінки біологічних тканин, у нафтогазовій промисловості для аналізу трубопроводів. Abaqus забезпечує високу стабільність розрахунків та збіжність рішень навіть для геометрично та фізично нелінійних задач.

COMSOL Multiphysics спеціалізується на мультифізичному моделюванні та дозволяє досліджувати взаємопов'язані фізичні процеси, такі як одночасний аналіз механічних напружень, теплопередачі, електромагнітних полів та хімічних реакцій. Програма особливо корисна для задач, де необхідно враховувати зв'язану поведінку різних фізичних явищ. COMSOL надає гнучкі можливості для створення власних рівнянь та моделей, що робить її привабливою для наукових досліджень. Інтерфейс програми базується на системі модулів, кожен з яких відповідає за певний тип фізичних процесів.

MSC Nastran є класичним програмним продуктом для структурного аналізу, який розробляється з 1960-х років та має величезну базу верифікованих рішень. Програма особливо цінується в аерокосмічній галузі за надійність та точність розрахунків. Nastran підтримує широкий спектр типів аналізу включаючи статичний, динамічний, модальний, втомний та термічний аналіз. Однак інтерфейс програми вважається застарілим порівняно з сучасними CAE-системами.

Autodesk Inventor Professional та SOLIDWORKS Simulation представляють категорію програмних продуктів, які поєднують у собі можливості тривимірного параметричного моделювання з інтегрованими інструментами інженерного аналізу. Ці програмні комплекси характеризуються інтуїтивно зрозумілим графічним інтерфейсом, тісною інтеграцією між модулями CAD та CAE, широкими функціональними можливостями для типових інженерних задач та оптимальним співвідношенням ціни і якості. Такі характеристики роблять їх особливо привабливими для застосування у навчальних закладах, проектних організаціях та на виробничих підприємствах малого і середнього масштабу.

Creo Simulate, який є частиною платформи PTC Creo, використовує унікальну технологію p-елементів, що відрізняється від традиційного h-методу скінченних елементів. Це дозволяє досягати високої точності без надмірного подрібнення сітки. Програма добре інтегрована з Creo Parametric і широко використовується у машинобудуванні.

Порівняльний аналіз перелічених програмних продуктів показує, що вибір конкретного інструменту для дослідження повинен здійснюватися з урахуванням специфіки задачі, необхідної точності розрахунків, доступності програмного забезпечення, рівня підготовки користувача та економічних факторів. Для задач інженерного аналізу конструкцій харчового обладнання, які не вимагають моделювання екстремально складних нелінійних процесів або мультифізичної взаємодії, доцільним є використання інтегрованих CAD/CAE-систем типу SOLIDWORKS або Inventor, які забезпечують необхідну точність розрахунків при значно меншій складності освоєння та вартості володіння.

2.2. Обґрунтування вибору SOLIDWORKS Simulation

Для виконання досліджень у рамках даної магістерської роботи було обрано програмний комплекс SOLIDWORKS з модулем Simulation. Вибір цього програмного забезпечення обумовлений рядом важливих факторів технічного,

методологічного та практичного характеру, які в сукупності визначають його переваги та оптимальність для розв'язання поставлених дослідницьких задач.

По-перше, SOLIDWORKS є повнофункціональною системою автоматизованого тривимірного проектування (CAD), яка дозволяє створювати точні параметричні моделі деталей та складальних одиниць будь-якого рівня складності з високим ступенем деталізації геометрії. Програма використовує сучасні технології твердотільного та поверхневого моделювання, підтримує асоціативні зв'язки між елементами конструкції, що забезпечує можливість швидкого внесення змін у геометрію та автоматичного оновлення всіх пов'язаних компонентів. Параметричний підхід до моделювання є критично важливим при оптимізації конструкції місильного органу, оскільки дозволяє досліджувати вплив зміни окремих геометричних параметрів на напружено-деформований стан без необхідності повного перебудовування моделі.

Інтерфейс SOLIDWORKS побудований за принципом максимальної інтуїтивності та зручності використання. Всі інструменти логічно згруповані, команди викликаються простими і зрозумілими способами, а візуальна підказка постійно інформує користувача про можливі дії на кожному етапі роботи. Це суттєво скорочує час освоєння програми та підвищує продуктивність роботи інженера-конструктора. Дерево побудови моделі відображає послідовність операцій і дозволяє легко повертатися до попередніх етапів для внесення коректив.

По-друге, модуль SOLIDWORKS Simulation інтегрований безпосередньо в основне середовище CAD, що забезпечує безперервний та ефективний процес проектування і аналізу без необхідності експорту геометричних моделей у сторонні програми або використання проміжних форматів обміну даними. Така тісна інтеграція суттєво підвищує продуктивність роботи інженера, зменшує ймовірність виникнення помилок при передачі геометричної інформації між різними програмними середовищами та значно спрощує ітераційний процес внесення конструктивних змін на основі результатів аналізу міцності. Користувач може миттєво переключатися між режимом моделювання та режимом аналізу,

вносити зміни у конструкцію і одразу бачити їх вплив на розподіл напружень та деформацій.

Асоціативність між геометричною моделлю та розрахунковою схемою означає, що при будь-яких змінах геометрії деталі автоматично оновлюються умови закріплення, навантаження та сітка скінченних елементів, що економить значний час при багатоваріантному аналізі. Результати попередніх розрахунків можуть бути збережені для порівняння з новими варіантами конструкції, що дозволяє відстежувати прогрес оптимізації.

По-третє, SOLIDWORKS Simulation використовує класичний метод скінченних елементів (MCE) для аналізу напружено-деформованого стану конструкцій, що є загальновизнаним, науково обґрунтованим та найбільш поширеним у світовій інженерній практиці методом чисельного розв'язання задач механіки деформівного твердого тіла. Метод скінченних елементів базується на розбитті досліджуваної конструкції на велику кількість простих елементів скінченних розмірів, для кожного з яких записуються рівняння рівноваги на основі варіаційних принципів механіки. Система цих рівнянь розв'язується чисельними методами, що дозволяє визначити переміщення у вузлах сітки, а потім обчислити деформації та напруження у кожному елементі.

Програма SOLIDWORKS Simulation дозволяє виконувати різні типи аналізу залежно від характеру навантажень та поведінки матеріалу: статичний лінійний аналіз для визначення напружень та деформацій при постійних навантаженнях у межах пружності матеріалу, нелінійний аналіз з урахуванням пластичних деформацій та великих переміщень, динамічний аналіз для дослідження коливань та вібрацій, модальний аналіз для визначення власних частот та форм коливань, аналіз втомної міцності для оцінки довговічності при циклічних навантаженнях, тепловий аналіз для розрахунку температурних полів та термічних напружень, аналіз втрати стійкості для оцінки критичних навантажень, а також аналіз падіння та удару.

Для поставлених у даній роботі задач дослідження місильного робочого органу тістомісильної машини достатньо функціоналу статичного лінійного

аналізу з визначенням розподілу еквівалентних напружень за критерієм Мізеса, головних напружень, деформацій, переміщень вузлів конструкції та коефіцієнта запасу міцності відносно границі текучості матеріалу. Цей тип аналізу є базовим для більшості інженерних розрахунків на міцність та дозволяє отримати достовірні результати при коректному заданні граничних умов та властивостей матеріалів.

По-четверте, важливим аргументом на користь вибору SOLIDWORKS Simulation є його широке розповсюдження у промисловості та наявність великої кількості навчальних матеріалів, документації та прикладів використання. Програма активно застосовується у машинобудуванні, приладобудуванні, харчовій промисловості та багатьох інших галузях. Результати, отримані за допомогою SOLIDWORKS Simulation, визнаються інженерною спільнотою та можуть бути легко відтворені іншими фахівцями, що підвищує довіру до висновків дослідження.

По-п'яте, SOLIDWORKS Simulation має прийнятну вартість ліцензування порівняно з такими системами як ANSYS або Abaqus, що робить його доступним для навчальних закладів. Багато університетів мають ліцензії на SOLIDWORKS, що дозволяє студентам та аспірантам використовувати програму для виконання курсових, дипломних та дисертаційних робіт. Компанія Dassault Systèmes активно підтримує освітні програми, надаючи навчальним закладам спеціальні умови ліцензування.

2.3. Функціональні можливості SOLIDWORKS Simulation для дослідження місильних органів

SOLIDWORKS Simulation надає широкий та всебічний спектр інструментів для проведення комплексного дослідження міцності, жорсткості та надійності місильних робочих органів тістомісильної машини під дією експлуатаційних навантажень. Функціональні можливості програми повністю покривають всі

етапи процесу скінченно-елементного аналізу від підготовки геометричної моделі до візуалізації та документування результатів.

Програма дозволяє задавати різноманітні типи навантажень, які відповідають реальним умовам експлуатації обладнання при замішуванні тіста різної в'язкості, консистенції та об'єму. До таких навантажень відносяться зосереджені сили, які прикладаються до окремих точок або вершин конструкції; розподілені сили та тиск, які діють на площині або грані деталей; крутні та згинальні моменти; гравітаційні навантаження; відцентрові сили, що виникають при обертанні; температурні навантаження, які можуть спричиняти термічні деформації та напруження. Кожен тип навантаження може задаватися як константа або як функція координат, часу чи інших параметрів, що дозволяє моделювати складні режими навантаження.

Для місильних органів тістомісильної машини характерними є розподілені навантаження від тіста, яке створює опір обертанню робочих органів, а також реактивні сили в місцях кріплення до валу. Ці навантаження можуть суттєво варіюватися залежно від фази процесу замішування, реологічних властивостей тіста та швидкості обертання. SOLIDWORKS Simulation дозволяє створювати різні сценарії навантаження (studies) для аналізу поведінки конструкції в різних експлуатаційних режимах.

Важливою функціональною можливістю програми є наявність вбудованої та постійно поповнюваної бібліотеки матеріалів з їх детальними фізико-механічними характеристиками. Бібліотека містить сотні матеріалів включаючи різні марки сталей, чавунів, кольорових металів та їх сплавів, полімерів, композитних матеріалів, керамік тощо. Для кожного матеріалу задані такі властивості як модуль пружності Юнга, який характеризує жорсткість матеріалу; коефіцієнт Пуассона, що визначає поперечну деформацію при поздовжньому розтягуванні; границя текучості, при досягненні якої починаються пластичні деформації; границя міцності, при якій відбувається руйнування; густина матеріалу; коефіцієнт теплового розширення; теплопровідність та питома теплоємність для термічного аналізу.

При необхідності користувач може легко створювати власні матеріали з індивідуально заданими властивостями або редагувати параметри існуючих матеріалів, що забезпечує точність моделювання для конкретних марок сталі, які застосовуються у виробництві місильних органів тістомісильних машин. Наприклад, для місильних лопатей часто використовується нержавіюча сталь марки AISI 304 або вуглецева сталь 45, властивості яких можуть бути точно внесені в базу даних програми.

Модуль Simulation здійснює автоматичну генерацію сітки скінченних елементів на основі геометрії моделі з можливістю гнучкого управління параметрами дискретизації. Користувач може обирати тип скінченних елементів: тетраедральні елементи першого порядку з чотирма вузлами для швидких попередніх розрахунків або тетраедральні елементи другого порядку з десятима вузлами для більш точних результатів; оболонкові елементи для тонкостінних конструкцій; балкові елементи для стрижневих систем. Також можливе використання гексаедральних елементів для певних типів геометрії.

Програма надає численні параметри для контролю якості та щільності сітки: глобальний розмір елементів, який визначає середній характерний розмір елементів в усій моделі; допуск відхилення сітки від реальної геометрії, що особливо важливо для криволінійних поверхонь; мінімальний розмір елементів; коефіцієнт зростання розміру елементів при переході від дрібної сітки до крупної. Користувач може візуально оцінити якість створеної сітки, переглядаючи кількість вузлів та елементів, мінімальний та максимальний розміри елементів, співвідношення сторін елементів та інші характеристики.

Для областей конструкції з високою концентрацією напружень, таких як галтелі, кутові переходи, отвори, виточки, різьблення та місця кріплення, передбачена можливість локального згущення сітки (mesh refinement), що суттєво підвищує точність розрахунків саме у критичних зонах конструкції без надмірного збільшення загальної кількості елементів та часу розрахунку. Згущення може задаватися автоматично програмою або вручну користувачем для обраних граней, ребер чи точок. Також можливе використання адаптивного

згущення сітки, коли програма автоматично ідентифікує зони високих градієнтів напружень і підвищує щільність сітки в цих областях, повторюючи розрахунок кілька разів до досягнення збіжності результатів.

Граничні умови в SOLIDWORKS Simulation включають різні типи закріплень та обмежень переміщень: повне закріплення (fixed), яке забороняє всі переміщення та повороти; нерухома грань (immovable), що дозволяє обертання вздовж грані; нерухома опора, яка обмежує переміщення тільки в певному напрямку; циліндрична опора для моделювання підшипників; пружна опора з заданою жорсткістю; симетрія для використання переваг симетричної геометрії та зменшення розміру задачі. Правильне задання граничних умов критично важливе для отримання достовірних результатів та повинно якомога точніше відображати реальні умови роботи конструкції.

Результати скінченно-елементного аналізу в SOLIDWORKS Simulation представляються у вигляді наочних кольорових епюр (контурних графіків), які дозволяють швидко оцінити розподіл досліджуваних величин по всій конструкції. Доступні для візуалізації наступні результати: еквівалентні напруження за критерієм Мізеса (von Mises stress), які найчастіше використовуються для оцінки міцності пластичних матеріалів; головні напруження (першого, другого та третього роду), які показують максимальні та мінімальні нормальні напруження в кожній точці; нормальні та дотичні напруження в заданих напрямках або площинах; деформації – загальні, пружні, пластичні, еквівалентні; переміщення у глобальній системі координат або їх результуюча величина; коефіцієнт запасу міцності відносно границі текучості або границі міцності, який показує наскільки фактичні напруження менші за допустимі.

Кольорова шкала епюр може налаштовуватися користувачем для оптимального відображення результатів: вибір дискретної або безперервної шкали, кількість кольорових рівнів, діапазон значень, колірна схема. Програма автоматично визначає максимальні та мінімальні значення і їх розташування в конструкції, що дуже зручно для швидкої оцінки критичних зон. Користувач може створювати довільні перерізи моделі для аналізу внутрішнього розподілу

напружень, будувати графіки зміни результатів вздовж заданих траєкторій, в окремих точках чи вузлах сітки.

Програма дозволяє здійснювати анімацію деформованого стану конструкції з регульованим масштабом деформацій, що значно полегшує розуміння характеру роботи конструкції під навантаженням, виявлення найбільш навантажених елементів, визначення домінуючих типів деформування (згин, кручення, розтяг, стиск). Анімація може бути збережена у вигляді відеофайлу для подальшого використання в презентаціях або звітах.

SOLIDWORKS Simulation надає потужні інструменти для порівняння результатів різних варіантів конструкції або різних режимів навантаження. Можна створювати порівняльні таблиці з ключовими параметрами (максимальні напруження, переміщення, маса конструкції), будувати порівняльні графіки, накладати епюри різних варіантів для візуального порівняння. Це особливо корисно при оптимізації конструкції, коли необхідно вибрати найкращий варіант з декількох альтернатив.

Також передбачена можливість автоматичного створення детальних технічних звітів з результатами дослідження. Звіт може включати опис задачі, геометрію моделі, властивості матеріалів, граничні умови та навантаження, параметри сітки скінченних елементів, чисельні результати у вигляді таблиць, графічні ілюстрації у вигляді епюр та діаграм, висновки та рекомендації. Формат звіту повністю налаштовується користувачем, можливе додавання власних коментарів та зауважень. Звіти можуть експортуватися у формати Word, PDF, HTML для подальшого використання в технічній документації або наукових публікаціях.

Крім базового статичного аналізу, SOLIDWORKS Simulation включає інструменти оптимізації конструкції. Модуль Design Study дозволяє автоматично досліджувати вплив геометричних параметрів на міцність, жорсткість та масу конструкції, знаходячи оптимальне поєднання цих характеристик. Користувач задає діапазони зміни параметрів (товщини стінок, радіуси заокруглень, розміри елементів), цільову функцію (мінімізація маси, максимізація жорсткості) та

обмеження (максимально допустимі напруження, переміщення). Програма автоматично генерує серію варіантів, виконує розрахунки для кожного з них та визначає оптимальне рішення.

Модуль топологічної оптимізації (Topology Study) дозволяє визначити оптимальний розподіл матеріалу в заданому обсязі при заданих навантаженнях та обмеженнях. Програма автоматично знаходить форму конструкції з максимальною жорсткістю при мінімальній масі, видаляючи матеріал з малонавантажених зон. Результат топологічної оптимізації можна використовувати як основу для створення нової конструкції місильного органу з покращеними характеристиками.

Таким чином, функціональні можливості SOLIDWORKS Simulation повністю задовольняють вимогам даного дослідження та дозволяють провести всебічний аналіз напружено-деформованого стану місильних робочих органів тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01 з високим рівнем достовірності результатів. Вибір цього програмного забезпечення є науково та технічно обґрунтованим, оскільки програмний комплекс SOLIDWORKS поєднує потужні можливості тривимірного параметричного моделювання з достовірними та верифікованими методами інженерного аналізу на основі методу скінченних елементів, забезпечуючи при цьому високу точність та надійність результатів, ефективність процесу проектування та оптимізації, зручність роботи та можливість якісного документування результатів досліджень.

3. Розроблення нових проектно-технологічних і технічних вирішень вдосконалення об'єкта дослідження.

3.1. Заходи з модернізації тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01

Ключовим елементом тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01 є робочі органи у вигляді місильних лопатей. Якість замішування тіста залежить від конфігурації лопатей та параметрів їхнього обертання.

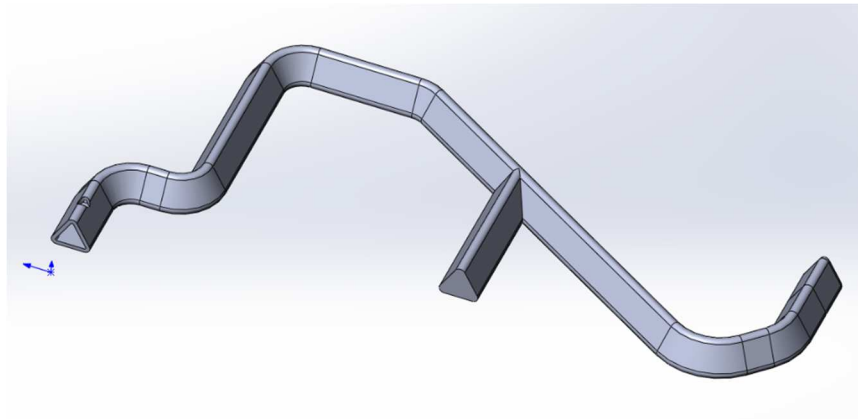


Рисунок 3.1.- Конструкція модернізованого робочого органу тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01

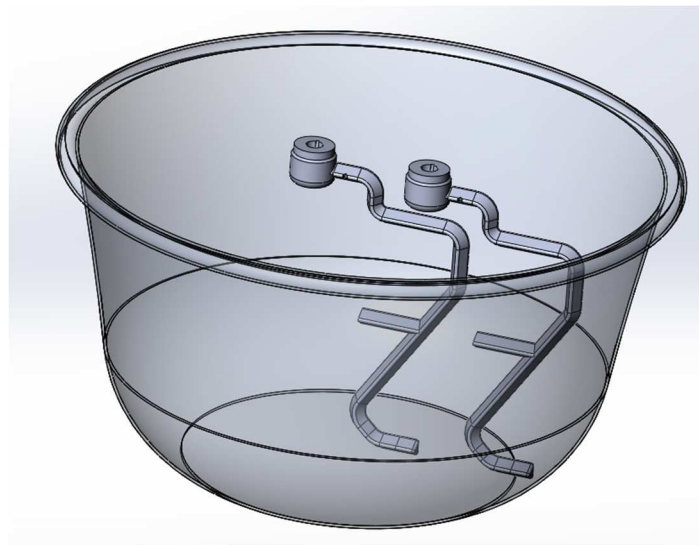


Рисунок 3.2.- Схема взаємного розташування лопатей і діжі тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01

При конструюванні [15-18] лопатей тістомісильної машини виникає типова задача пошуку оптимального балансу між конфігурацією робочих органів, режимом їх обертання, скороченням площі застійних зон та енерговитратами на замішування. Шляхом моделювання кінематики робочого процесу в програмному комплексі SolidWorks обґрунтовано геометрію лопаті (рис. 3.1) з її просторовим розміщенням у діжці машини (рис. 3.2). Рациональна частота обертання робочого органу, отримана ітераційним методом, дорівнює $65,5 \text{ об / хв}$.

3.2. Технологічний розрахунок тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01

Виберем частоту обертання місильного вала:

$$n_{\text{МВ}} := 65.5 \quad (\text{об/хв})$$

Куова швидкість обертання місильного вала:

$$\omega_{\text{МВ}} := \frac{\pi \cdot n_{\text{МВ}}}{30} \quad \omega_{\text{МВ}} = 6.86 \quad (\text{об/хв})$$

Необхідну потужність на заміс тіста знайдемо за формулою:

$$N_{\text{МВ}} = \frac{M_{\text{МВ}} \cdot \omega_{\text{МВ}} \cdot K_a}{1000}$$

де $K_a := 1.5$ - коефіцієнт запасу потужності;

$M_{\text{МВ}} = P \cdot R_b$ - момент сили, необхідний на заміс, Нм;

$R_b := 0.210$ (м) - радіус вертикальної осі місильного вала;

$P = p \cdot F$ - сила опору продукту при замісі, Н;

$F := 0.0896$ (м²) - площа вимішуючої ділянки місильного вала;

$p := 33000$ (Н/м²) - питоме зусилля замісу;

Сила опору продукту при замісі:

$$P := p \cdot F \quad P = 2.96 \times 10^3 \text{ (Н)}$$

Момент сили, необхідний на заміс:

$$M_{MB} := P \cdot R_b \quad M_{MB} = 620.93 \quad (\text{Нм})$$

Необхідна потужність на заміс тіста:

$$N_{MB} := \frac{M_{MB} \cdot \omega_{MB} \cdot K_a}{1000} \quad N_{MB} = 6.39 \quad (\text{кВт})$$

3.3. Опис будови і роботи тістомісильної машини марки Г4-МТМ-330-0І

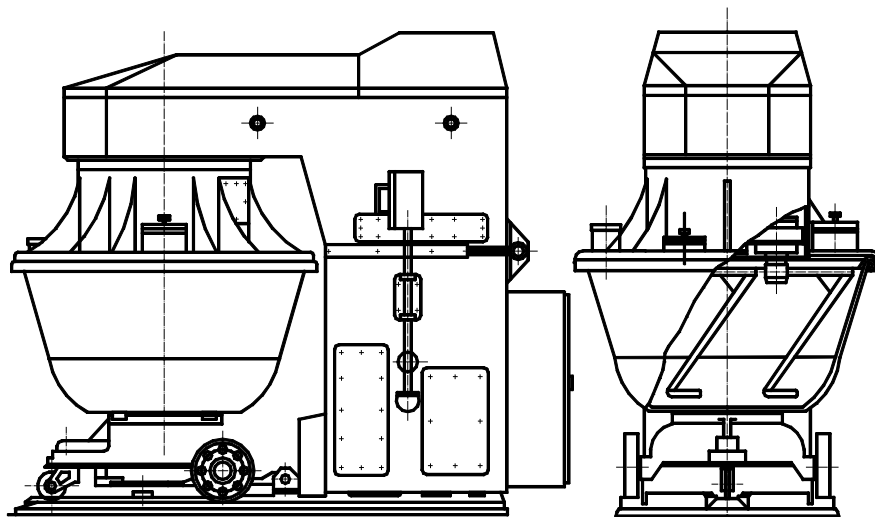


Рисунок 3.3.– Машина тістомісильна моделі Г4-МТМ-330-0І

Конструкція тістомісильної машини Г4-МТМ-330-0І включає два основних компоненти: стаціонарний механізм і знімну діжу. Стаціонарний механізм базується на масивній плиті, що слугує основою для розміщення двох редукторів, корпусу з кривошипно-важільною системою приводу мішалки та захисних елементів.

На раму машини інтегровано два редукторні вузли. Перший забезпечує планетарний рух діжі через спеціальний дисковий механізм. Другий керує роботою місильного органу і з'єднаний з електроприводом. Крутний момент між цими вузлами передається карданним валом.

Корпус редуктора місильного вузла виготовлено з чавуну. Всередині на підшипникових вузлах змонтовано черв'ячну передачу. Осьове навантаження сприймають упорні роликові підшипники, що фіксують обидва вали. Вихідний вал оснащено ланцюговою передачею, яка з'єднує редуктор із кривошипним механізмом.

Привід діжі побудовано за аналогічним принципом: чавунний кожух містить черв'ячну пару на радіально-упорних підшипниках кочення.

3.4. Структурний аналіз тістомісильної машини

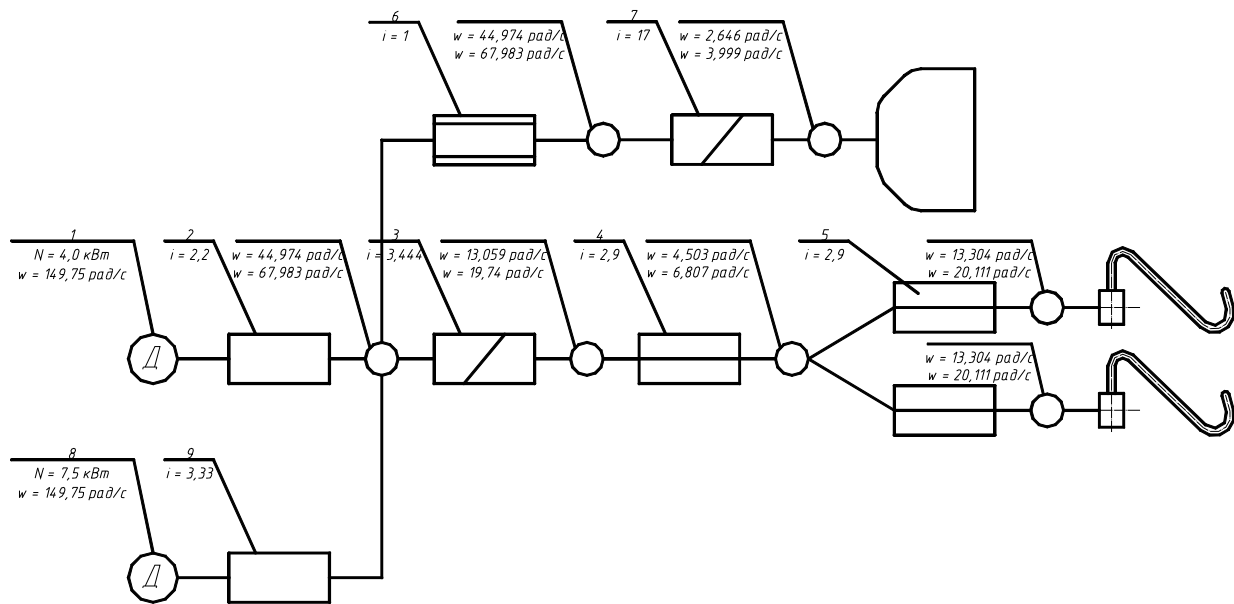


Рисунок 3.4.– Структурна схема тістомісильної машини.

Робочий процес тістомісильної машини базується на двох ключових механічних рухах: обертанні знімної діжі та складній траєкторії руху місильного органу. За принципом функціонування дана тістомісильна машина належить до категорії технологічного устаткування з механізованим приводом виконавчих механізмів.

На початковому етапі проектування нового обладнання або аналізу наявного створюється структурна схема. Вона відображає функціональні вузли машини, їхнє призначення та кінематичні зв'язки між ними.



Передача потужності від електродвигуна до робочих вузлів реалізована через систему пасових передач.

3.5. Розрахунок елементів приводу діжі

Вихідні дані:

потужність на ведучому черв'яку $P_1 := 0.212$ (кВт)

кутова швидкість ведучого черв'яка $\omega_1 := 7.13$ (рад/с)

передаточне число передачі $u := 17$

передача нереверсивна;

режим навантаження легкий (Л);

можливі короточасні перевантаження до 150 % від номінального;

строк служби передачі $h := 10000$ год.

Параметри навантаження черв'ячної передачі. При орієнтовному значенні

ккд $\eta := 0.92$ потужність на веденому валу передачі

$P_2 := P_1 \cdot \eta$ $P_2 = 0.2$ (кВт)

Кутова швидкість веденого вала

$\omega_2 := \frac{\omega_1}{u}$ $\omega_2 = 0.42$ (рад/с)

Номінальний обертовий момент на ведучому валу

$T_1 := \frac{P_1 \cdot 1000}{\omega_1}$ $T_1 = 29.73$ (Н*м)

$T_2 := \frac{P_2 \cdot 1000}{\omega_2}$ $T_2 = 465.03$ (Н*м)

$T_{2H} := T_2$ $T_{2H} = 465.03$ (Н*м)

$T_{2F} := T_2$ $T_{2F} = 465.03$ (Н*м)

При короточасовому перевантаженні до 150 % максимальний обертовий момент на веденому валу

$T_{2\max} := 1.5 \cdot T_2$ $T_{2\max} = 697.55$ (Н*м)

Орієнтовна швидкість ковзання зубів у зачепленні:

$$v_s := \left(\frac{4 \cdot \omega_1}{1000} \right) \cdot \sqrt[3]{T_2} \quad v_s = 0.22 \quad (\text{м/с})$$

Сумарне число циклів навантаження зубців колеса за строк служби:

$$N_{\Sigma 2} := 1800 \cdot \omega_2 \cdot \frac{h}{\pi} \quad N_{\Sigma 2} = 2403052.4$$

Для легкого режиму при коефіцієнті інтенсивності $K_{FE} := 0.01$

еквівалентне число циклів навантаження зубців

$$N_{FE2} := K_{FE} \cdot N_{\Sigma 2} \quad N_{FE2} = 24030.52$$

Матеріали для виготовлення черв'яка та черв'ячного колеса.

Для виготовлення черв'яка вибираємо відносно дешеву леговану сталь 40Х із термообробкою - гартування із відпусканням [3]. За даними [3] вибираємо:

твердість $H_1 := 50$ (HRC),

Робочі поверхні витків шліфовані.

Для вінця черв'ячного колеса із швидкістю ковзання $v_s = 0.22$ (м/с)

можна брати безолов'яну бронзу БрА9Ж3Л (відливання в кокіль) з такими характеристиками []: границя міцності

$\sigma_B := 650$ (МПа),

границя текучості $\sigma_T := 280$ (МПа)

Допустимі напруження для розрахунків черв'ячної передачі

а) допустимі контактні напруження.

Якщо вінець черв'ячного колеса виготовляти з безолов'яної бронзи, то згідно з [] допустиме контактне напруження

$$I\sigma_{IH0} := 350 - 25 \cdot v_s \quad I\sigma_{IH0} = 344.48 (\text{МПа})$$

$$I\sigma_{IH} := I\sigma_{IH0} \quad I\sigma_{IH} = 344.48 (\text{МПа})$$

За [] допустиме граничне контактне напруження

$$I\sigma_{IHmax} := 2\sigma_T \quad I\sigma_{IHmax} = 560 (\text{МПа})$$

б) допустимі напруження на згин.

Для розрахунку зубців колеса на втому при згині допустиме напруження

визначається за формулою []. Для бази випробувань 10^6 та нереверсивного навантаження допустиме напруження за

$$I\sigma_{F0} := 0.08\sigma_B + 0.25\sigma_T \quad I\sigma_{F0} = 122 \quad (\text{МПа})$$

За формулою [] коефіцієнт довговічності

$$K_{FL} := \sqrt[9]{\frac{10^6}{N_{FE2}}} \quad K_{FL} = 1.51$$

Враховуючи обмеження $0.54 \leq K_{FL} \leq 1$ беремо $K_{FL} := 1$

Тоді для зубців черв'ячного колеса допустиме напруження на згин

$$I\sigma_F := I\sigma_{F0} \cdot K_{FL} \quad I\sigma_F = 122 \quad (\text{МПа})$$

За [3] допустиме граничне напруження згину

$$I\sigma_{Fmax} := 0.8\sigma_T \quad I\sigma_{Fmax} = 224 \quad (\text{МПа})$$

Проектний розрахунок черв'ячної передачі. У проектному розрахунку визначаємо мінімальну міжосьову відстань передачі за формулою [3]:

Допоміжний коефіцієнт $K_a := 160$. $(\text{МПа}^{1/3})$ - при сталевому черв'яку та бронзовому вінці колеса

Число витків черв'яка беремо $z_1 := 1$

Тоді число зубців черв'ячного колеса $z_2 := u \cdot z_1 \quad z_2 = 17$

Коефіцієнт діаметра черв'яка вибираємо за [3] $q := 12$

Коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження по ширині вінця черв'ячного колеса, дістаємо з формули [3]:

$$K_{H\beta} = 1 + \left(\frac{z_2}{\theta} \right)^3 (1 - x)$$

Тут $\theta := 86$ [], а $x := 0.31$ для легкого режиму навантаження передачі []

$$K_{H\beta} := 1 + \left(\frac{z_2}{\theta} \right)^3 \cdot (1 - x) \quad K_{H\beta} = 1.01$$

Мінімальна міжосьова відстань черв'ячної передачі

$$a_{wmin} := K_a \cdot \left(\frac{z_2}{q} + 1 \right) \cdot \sqrt[3]{\frac{T_{2H} \cdot K_{H\beta} \cdot q^2}{(z_2 \cdot I\sigma_H)^2}} \quad a_{wmin} = 48.42 \quad (\text{мм})$$

За формулою [3] модуль черв'ячної передачі:

$$m' := \frac{2 \cdot a_{wmin}}{z_2 + q} \quad m' = 3.34 \quad (\text{мм})$$

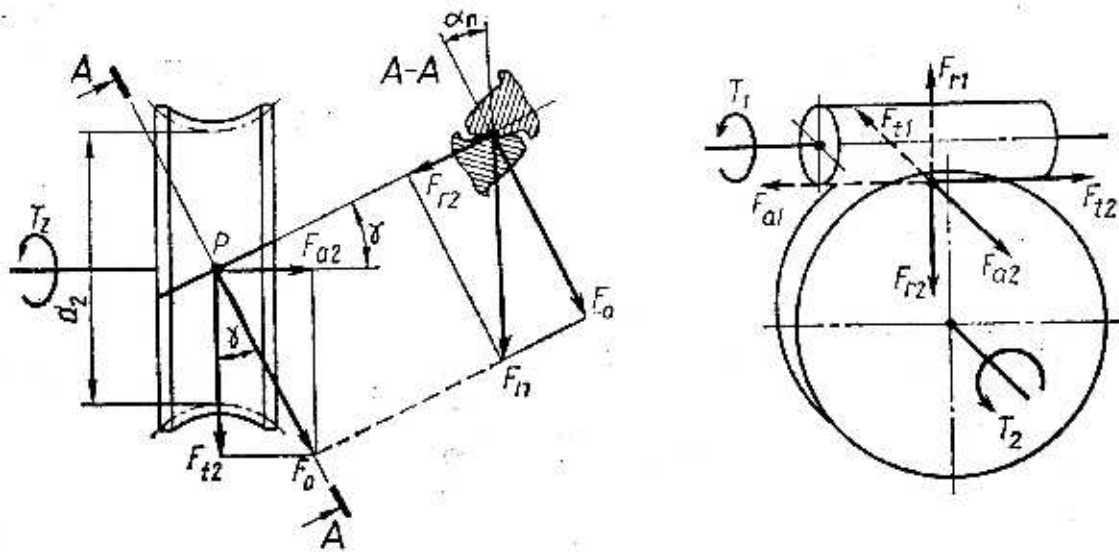


Рисунок 3.6. Схема черв'ячної передачі з розрахунковими параметрами

За стандартом вибираємо $m := 3.5$ (мм), якому відповідає $q = 12$
 Попередні значення деяких параметрів передачі.
 Ділильні діаметри черв'яка та черв'ячного колеса

$$d_1 := m \cdot q \quad d_1 = 42 \quad (\text{мм}) \quad d_2 := m \cdot z_2 \quad d_2 = 59.5 \quad (\text{мм})$$

Діаметри вершин витків черв'яка та зубців колеса:

$$d_{a1} := d_1 + 2 \cdot m \quad d_{a1} = 49 \quad (\text{мм})$$

$$d_{a2} := d_2 + 2 \cdot m \quad d_{a2} = 66.5 \quad (\text{мм})$$

Міжосьова відстань передачі

$$a_w := \frac{(d_1 + d_2)}{2} \quad a_w = 50.75 \quad (\text{мм})$$

Ширина вінця черв'ячного колеса []

$$b_2 := 0.75 \cdot d_{a1} \quad b_2 = 36.75 \quad (\text{мм})$$

вибираємо $b_2 := 27$ (мм)

Ділильний кут підйому лінії витка черв'яка

$$\gamma := \operatorname{atan}\left(\frac{z_1}{q}\right) \quad \gamma = 0.08 \quad \gamma \cdot \frac{180}{\pi} = 4.76^\circ$$

Швидкість ковзання у зачепленні

$$v_s := 0.5 \cdot 10^{-3} \cdot \omega_1 \cdot \frac{d_1}{\cos(\gamma)} \quad v_s = 0.15 \quad (\text{м/с})$$

Уточнене значення допустимого контактного напруження

$$I_{\sigma} I_H := 300 - 25 \cdot v_s \quad I_{\sigma} I_H = 296.24 \quad (\text{МПа})$$

За рекомендаціями [] ступінь точності передачі $n_{ct} := 8$

Еквівалентне число зубців черв'ячного колеса

$$F_{t2} := 2 \cdot 10^3 \cdot \frac{T_2}{d_2} \quad F_{t2} = 1.56 \times 10^4 \quad (\text{МПа})$$

$$F_{Ht2} := F_{t2} \quad F_{Ht2} = 1.56 \times 10^4 \quad (\text{МПа})$$

$$F_{Ft2} := F_{t2} \quad F_{Ft2} = 1.56 \times 10^4 \quad (\text{МПа})$$

Розрахунок зубців черв'ячного колеса на контактну втому [3].

Для розрахунку попередньо визначимо коефіцієнти:

$Z_M := 210$ МПа^{1/2} - коефіцієнт, що враховує механічні властивості матеріалів черв'яка та вінця колеса;

$Z_H := 1.8$ коефіцієнт форми спряжених поверхонь витків та зубців;

$Z_\epsilon := 0.75$ коефіцієнт сумарної довжини контактних ліній у зачепленні;

$$K_{H\beta} = 1.01$$

$K_{H\alpha} := 1.4$ коефіцієнт динамічного навантаження [3].

За формулою [3] питома розрахункова колова сила:

$$\omega_{Ht} := \left(\frac{F_{Ht2}}{b_2} \right) \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha} \quad \omega_{Ht} = 814.83 \quad (\text{Н/мм})$$

Розрахункове контактне напруження:

$$\sigma_H := Z_M \cdot Z_\epsilon \cdot Z_H \cdot \sqrt{\frac{\omega_{Ht}}{d_2}} \quad \sigma_H = 1.05 \times 10^3 \quad (\text{МПа})$$

$$\sigma_H \leq I\sigma_{IH}$$

Стійкість зубців проти заїдання і втомного викривування забезпечується.

Розрахунок активних поверхонь зубців черв'ячного колеса на контактну міцність при дії максимального навантаження виконаємо за формулою:

$$\sigma_{Hmax} := \sigma_H \cdot \sqrt{\frac{T_{2max}}{T_2}} \quad \sigma_{Hmax} = 1.28 \times 10^3 \text{ (МПа)}$$

$$\sigma_{Hmax} \leq I\sigma_{IHmax} \quad \text{Контактна міцність зубців забезпечується.}$$

Розрахунок зубців черв'ячного колеса на втому при згині.

Розрахункові коефіцієнти такі:

$$Y_F := 1.45 \quad - \text{коефіцієнт форми зубців [3]};$$

$$Y_\varepsilon := 0.75 \quad - \text{коефіцієнт перекриття зубців [3]};$$

$$Y_\beta := 0.75 \quad - \text{коефіцієнт нахилу зубців [3]};$$

$$K_{F\beta} := K_{H\beta} \quad K_{F\beta} = 1.01 \quad - \text{коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження по ширині вінця колеса};$$

$$K_{Fu} := K_{Hu} \quad K_{Fu} = 1.4 \quad - \text{коефіцієнт динамічного навантаження.}$$

За формулою [3] питома розрахункова колова сила:

$$\omega_{Ft} := \left(\frac{F_{Ft2}}{b_2} \right) \cdot K_{F\beta} \cdot K_{Fu} \quad \omega_{Ft} = 814.83 \quad (\text{Н/мм})$$

Розрахункове напруження згину:

$$\sigma_F := Y_F \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_\beta \cdot \frac{\omega_{Ft}}{m} \quad \sigma_F = 189.89 \quad (\text{МПа})$$

$$\sigma_F \leq I\sigma_{IF}$$

Втомна міцність зубців при згині забезпечується.

Перевірка міцності зубців при згині максимальним навантаженням.
За формулою

$$\sigma_{Fmax} := \sigma_F \cdot \frac{T_{2max}}{T_{2F}} \quad \sigma_{Fmax} = 284.83 \quad (\text{МПа})$$

$$\sigma_{Fmax} \leq I\sigma_{IFmax}$$

Тут також міцність забезпечується.

Розрахунок параметрів черв'ячної передачі [3].

Розміри елементів витків черв'яка та зубців колеса: висота головки витка черв'яка та зубця колеса

$$h_a := m \quad h_a = 3.5 \quad (\text{мм})$$

висота ніжки витка та зубця

$$h_f := 1.2 \cdot m \quad h_f = 4.2 \quad (\text{мм})$$

висота витка та зубця

$$h := 2.2 \cdot m \quad h = 7.7 \quad (\text{мм})$$

розрахункова товщина витка

$$s := 0.5 \cdot \pi \cdot m \quad s = 5.5 \quad (\text{мм})$$

Розміри вінців черв'яка та черв'ячного колеса:

$$\text{ділильні діаметри (визначені вище)} \quad d_1 = 42 \quad (\text{мм}) \quad d_2 = 59.5 \quad (\text{мм})$$

$$\text{діаметри вершин (визначені вище)} \quad d_{a1} = 49 \quad (\text{мм}) \quad d_{a2} = 66.5 \quad (\text{мм})$$

діаметри впадин

$$d_{f1} := d_1 - 2.4 \cdot m \quad d_{f1} = 33.6 \quad (\text{мм})$$

$$d_{f2} := d_2 - 2.4 \cdot m \quad d_{f2} = 51.1 \quad (\text{мм})$$

найбільший діаметр черв'ячного колеса

$$d_{am2} \leq d_{a2} + 1.5 \cdot m$$

$$d_{am2} := d_{a2} + 1.5 \cdot m \quad d_{am2} = 71.75 \quad (\text{мм})$$

довжина нарізаної частини черв'яка

$$b_1 \geq (11 + 0.06 \cdot z_2) \cdot m$$

$$b_1 := (11 + 0.06 \cdot z_2) \cdot m \quad b_1 = 42.07 \quad (\text{мм})$$

вибираємо $b_1 := 108 \quad (\text{мм})$ (для черв'яка, витки якого шліфують);

ширина вінця черв'ячного колеса (визначена вище) $b_2 = 27 \quad (\text{мм})$

Міжосьова відстань черв'ячної передачі

$$a_w := \frac{m \cdot (q + z_2)}{2} \quad a_w = 50.75 \quad (\text{мм})$$

Сили у зачепленні черв'ячної передачі.

За формулами [3] маємо: колова сила на колесі дорівнює осьовій силі на черв'яку (визначена вище):

$$F_{a1} := F_{t2} \quad F_{a1} = 1.56 \times 10^4 \quad (\text{H})$$

Кут зачеплення у площині, перпендикулярній до осі колеса виберемо [3]:

$$\alpha := 0.349 \quad (\text{рад}) \quad (20^\circ)$$

радіальна сила на колесі дорівнює радіальній силі на черв'яку

$$F_{r1} := F_{t2} \cdot \tan(\alpha) \quad F_{r1} = 5688.18 \quad (\text{H})$$

$$F_{r2} := F_{r1} \quad F_{r2} = 5688.18 \quad (\text{H})$$

осьова сила на колесі дорівнює коловій силі на черв'яку

$$F_{a2} := F_{t2} \cdot \tan(\gamma) \quad F_{a2} = 1.3 \times 10^3 \quad (\text{H})$$

$$F_{t1} := F_{a2} \quad F_{t1} = 1.3 \times 10^3 \quad (\text{H})$$

12. ККД черв'ячної передачі.

Вибираємо за [3] приведений кут тертя $\phi' := 0.026 \quad (\text{рад}) \quad (1^\circ 30')$

За формулою [3]:

$$\eta := 0.955 \cdot \frac{\tan(\gamma)}{\tan(\gamma + \phi')} \quad \eta = 0.73$$

Значення ККД близьке до попередньо вибраного (0,8).

13. Перевірка черв'яка на жорсткість.

Рівнодійна колової та радіальної сил на черв'як:

$$F := \sqrt{F_{t1}^2 + F_{r1}^2} \quad F = 5835.42 \quad (\text{H})$$

Осьовий момент інерції перерізу черв'яка:

$$I_o := \frac{\pi \cdot d_{f1}^4}{64} \quad I_o = 62564.36 \quad (\text{H})$$

Беремо наближено відстань між опорами черв'яка

$$L := 0.8 \cdot d_2 \quad L = 47.6 \quad (\text{мм})$$

За формулою [3] при модулі пружності для сталі $E := 2.1 \cdot 10^5 \quad (\text{МПа})$

розрахункова стрілка прогину черв'яка

$$y := \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_o} \quad y = 0.000998 \quad (\text{мм})$$

Жорсткість черв'яка достатня, оскільки $y \leq y_I = 0.06 \quad (\text{мм})$

3.6. Розрахунок параметрів циліндричної передачі місильного органу

Розрахувати прямозубу циліндричну передачу за такими даними: потужність на ведучому валу $P_1 := 7.5$ кВт при його кутовій швидкості

$$\omega_{31} := 6.807 \text{ рад/с}; \text{ передаточне число передачі } u_{36} := 2.9$$

передача нереверсивна; режим навантаження середній нормальний (CH);

можливі короткочасні перевантаження до 150 % від номінального; строк служби передачі $h := 22000$ год.

Параметри навантаження зубчастої передачі

Номінальний обертовий момент на ведучому валу

$$T_{31} = T_{1H} = T_{1F} = \frac{P_1}{\omega_{31}}$$

$$T_{31} := \frac{P_1 \cdot 1000}{\omega_{31}} \quad T_{31} = 1101.81 \quad (\text{Н*м}) \quad T_{1H} := T_{31} \quad T_{1F} := T_{31}$$

При короткочасовому перевантаженні до 150 % максимальний обертовий момент на ведучому валу

$$T_{1\max} := 1.5 \cdot T_{31} \quad T_{1\max} = 1652.71 \quad (\text{Н*м})$$

Кутова швидкість веденого вала

$$\omega_{32} := \frac{\omega_{31}}{u_{36}} \quad \omega_{32} = 2.347 \quad (\text{рад/с})$$

Сумарне число циклів навантаження зубців шестерні та колеса за строк служби шестерні:

$$N_{\Sigma 1} := 1800 \cdot \omega_{31} \cdot \frac{h}{\pi} \quad N_{\Sigma 1} = 85802721.65$$

$$N_{\Sigma 2} := 1800 \cdot \omega_{32} \cdot \frac{h}{\pi} \quad N_{\Sigma 2} = 29587145.4$$

Еквівалентні числа циклів навантаження зубців шестерні та колеса для

розрахунку на контактну втому N_{HE} і для розрахунків на втому при

згині N_{FE} із коефіцієнтами інтенсивності $K_{HE} := 0.18$ і $K_{FE} := 0.07$

([табл. 4.1] для режиму навантаження CH)

$$N_{HE1} := K_{HE} \cdot N_{\Sigma 1} \quad N_{HE1} = 15444489.9$$

$$N_{HE1} := N_{HE} \cdot N_{\Sigma1} \quad N_{HE1} = 15444409.9$$

$$N_{HE2} := K_{HE} \cdot N_{\Sigma2} \quad N_{HE2} = 5325686.17$$

$$N_{FE1} := K_{FE} \cdot N_{\Sigma1} \quad N_{FE1} = 6006190.52$$

$$N_{FE2} := K_{FE} \cdot N_{\Sigma2} \quad N_{FE2} = 2071100.18$$

Матеріали зубчастих коліс.

Для виготовлення шестерні та колеса вибираємо відносно дешеву леговану сталь 40X із термообробкою - поліпшення [табл. 22.4]. За даними [табл. 22.3] вибираємо:

для шестерні твердість поверхні зубців $H_1 := 280$ (HB),

$\sigma_{B1} := 900$ (МПа), $\sigma_{T1} := 750$ (МПа)

для колеса твердість поверхні зубців $H_2 := 245$ (HB),

$\sigma_{B2} := 790$ (МПа), $\sigma_{T2} := 640$ (МПа)

Допустимі напруження для розрахунку зубчастої передачі.

а) допустимі контактні напруження. Границі контактної витривалості зубців шестерні та колеса [табл. 22.5] будуть такими:

$$\sigma_{Hlimb1} := 2 \cdot H_1 + 70 \quad \sigma_{Hlimb1} = 630 \text{ (МПа)}$$

$$\sigma_{Hlimb2} := 2 \cdot H_2 + 70 \quad \sigma_{Hlimb2} = 560 \text{ (МПа)}$$

Базу випробувань для матеріалу шестерні та колеса визначаємо за формулою:

$$N_{H01} := 30 \cdot H_1^{2.4} \quad N_{H01} = 22402708.6$$

$$N_{H02} := 30 \cdot H_2^{2.4} \quad N_{H02} = 16259974.39$$

Оскільки $N_{H01} < N_{HE1}$ і $N_{H02} < N_{HE2}$, то коефіцієнт довговічності для зубів шестерні та колеса $K_{HL} := 1$

Допустимі контактні напруження для зубців шестерні та колеса при коефіцієнті $Z_R := 1$ (шорсткість поверхонь зубців $Ra := 1.25 \dots 0.63$)

та коефіцієнті запасу $s_H := 1.1$ знаходимо за формулами:

$$I\sigma I_{H1} := \sigma_{Hlimb1} \cdot Z_R \cdot \frac{K_{HL}}{s_H} \quad I\sigma I_{H1} = 572.73 \text{ (МПа)}$$

$$I\sigma_{IH2} := \sigma_{Hlimb2} \cdot Z_R \cdot \frac{K_{HL}}{s_H} \quad I\sigma_{IH2} = 509.09 \quad (\text{МПа})$$

Для зубців передачі розрахункове допустиме контактне напруження:

$$I\sigma_{IH} := 0.45 \cdot (I\sigma_{IH1} + I\sigma_{IH2}) \quad I\sigma_{IH} = 486.82 \quad (\text{МПа})$$

Допустиме граничне контактне напруження

$$I\sigma_{IHmax} := 2.8 \cdot \sigma_{T2} \quad I\sigma_{IHmax} = 1792 \quad (\text{МПа})$$

б) Допустимі напруження на згин. Границі витривалості зубців при згині

для баз випробувань $N_{F0} := 4 \cdot 10^6$ [табл.22.6]:

$$\sigma_{Flimb1} := 1.8 \cdot H_1 \quad \sigma_{Flimb1} = 504 \quad (\text{МПа})$$

$$\sigma_{Flimb2} := 1.8 \cdot H_2 \quad \sigma_{Flimb2} = 441 \quad (\text{МПа})$$

Оскільки $N_{F0} < N_{FE1}$ і $N_{F0} < N_{FE2}$, то коефіцієнт довговічності для зубів шестерні та колеса $K_{FL} := 1$

Допустиме напруження на згин для зубців шестерні та колеса при коефіцієнті $K_{Fc} := 1$ (нереверсивна передача) та коефіцієнті запасу $s_F := 2.2$ знаходимо за формулами:

$$I\sigma_{IF1} := \sigma_{Flimb1} \cdot K_{Fc} \cdot \frac{K_{FL}}{s_F} \quad I\sigma_{IF1} = 229.09 \quad (\text{МПа})$$

$$I\sigma_{IF2} := \sigma_{Flimb2} \cdot K_{Fc} \cdot \frac{K_{FL}}{s_F} \quad I\sigma_{IF2} = 200.45 \quad (\text{МПа})$$

Для зубців шестерні та колеса граничне допустиме напруження на згин []

$$I\sigma_{IF1max} := 4.8 \cdot \frac{H_1}{s_F} \quad I\sigma_{IF1max} = 610.91 \quad (\text{МПа})$$

$$I\sigma_{IF2max} := 4.8 \cdot \frac{H_2}{s_F} \quad I\sigma_{IF2max} = 534.55 \quad (\text{МПа})$$

Проектний розрахунок передачі. Для проектного розрахунку попередньо беремо коефіцієнт ширини вінця $\psi_{ba} := 0.40$ і відповідно

$$\psi_{bd} := 0.5 \cdot \psi_{ba} \cdot (u_{36} + 1) \quad \psi_{bd} = 0.78$$

За графіками [] залежно від ψ_{bd} (симетричне розміщення зубчастих коліс відносно опор валів та твердість $H < 350$ НВ) визначаємо коефіцієнт нерівномірності навантаження по ширині

зубчастих вінців, $K_{H\beta} := 1.07$

Допоміжний коефіцієнт $K_a := 430$ (МПа^{1/3}) для сталевих зубчастих коліс. Мінімальна міжосьова віддаль передачі

$$a_{wmin} := K_a \cdot (u_{36} + 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{(T_{1H} \cdot K_{H\beta})}{u_{36} \cdot \psi_{ba} \cdot I_{\sigma} I_H^2}}$$

$$a_{wmin} = 114.97 \text{ (мм)}$$

вибираєм фактичну міжосьову віддаль $a_w := 115 \text{ (мм)}$.

Число зубців шестерні $z_1 := 10$, а число зубців колеса $z_2 := u_{36} \cdot z_1$

$z_2 = 29$ (мм). Вибираєм $z_2 := 29$, тоді фактичне передаточне

число $u_{36} := \frac{z_2}{z_1}$ $u_{36} = 2.9$ $u_2 := u_{36}$

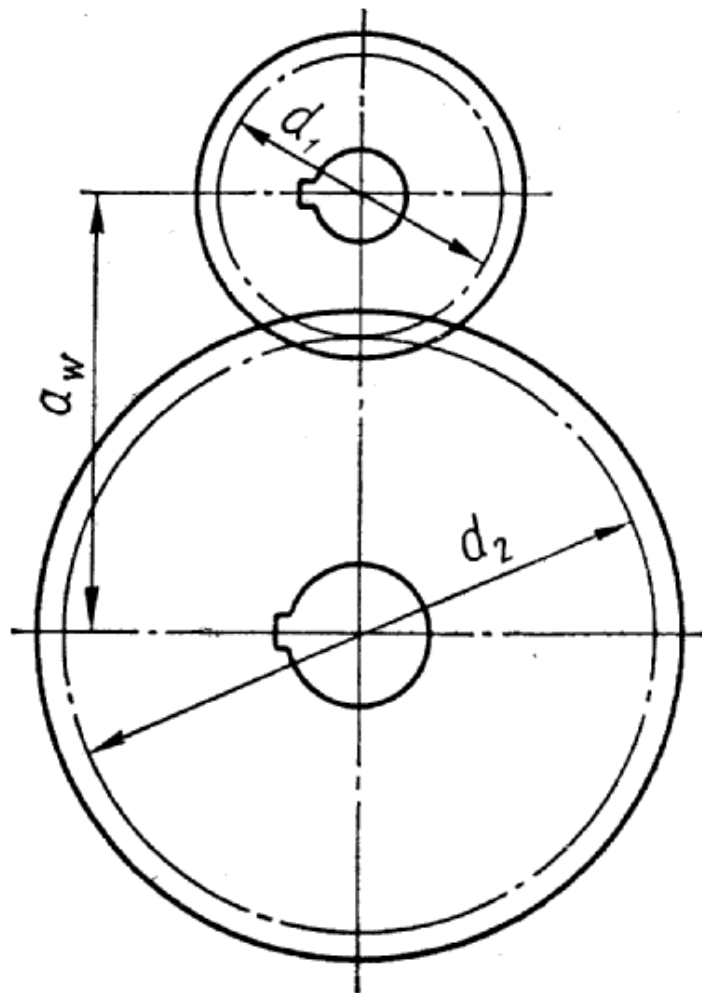


Рисунок 3.7.– Схема зубчастої передачі з розрахунковими параметрами

Модуль зубців

$$m'_n := \frac{2 \cdot a_w}{z_1 + z_2} \quad m'_n = 5.897 \quad (\text{мм})$$

Стандартний модуль зубців $m_n := 6 \quad \text{мм} [\quad]$.

Попередні значення деяких параметрів передачі.

Ділильні діаметри шестерні та колеса будуть такі:

$$d_1 := m_n \cdot z_1 \quad d_1 = 60 \quad (\text{мм})$$

$$d_2 := m_n \cdot z_2 \quad d_2 = 174 \quad (\text{мм})$$

Ширина зубчастих вінців

$$b_2 := \psi_{ba} \cdot a_w \quad b_2 = 46 \quad (\text{мм})$$

$$b_1 := b_2 + 2 \quad b_1 = 48 \quad (\text{мм})$$

Колова швидкість зубчастих коліс

$$v := 0.5 \cdot \omega_{z1} \cdot d_1 \cdot 10^{-3} \quad v = 0.204 \quad \text{м/с}$$

За даними [табл.22.2] вибираємо 8-й ступінь точності ($n_{CT} := 8$) для всіх показників точності зубчастих коліс та передачі.

Еквівалентні числа зубців шестерні та колеса будуть такими:

Коефіцієнт торцевого перекриття:

$$\epsilon_\alpha := \left[1.88 - 3.2 \cdot \left(\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right) \right] \quad \epsilon_\alpha = 1.45$$

Коефіцієнт осевого перекриття зубів

$$\epsilon_\beta := 0$$

Колова сила у зачепленні зубчастих коліс

$$F_t := \frac{2 \cdot T_{z1} \cdot 1000}{d_1} \quad F_t = 36726.9 \quad (\text{Н})$$

$$F_{Ht} := F_t \quad F_{Ft} := F_t$$

Розрахунок активних поверхонь зубців на контактну втому

Для розрахунку попередньо визначимо такі коефіцієнти.

Коефіцієнт, який враховує механічні властивості матеріалів зубчастих

коліс $Z_M := 275$ (МПа^{1/2})

Коефіцієнт форми спряжених поверхонь зубців $Z_H := 1.77$

Коефіцієнт сумарної довжини контактних ліній.

$$Z_\epsilon := \sqrt{\frac{4 - \epsilon_\alpha}{3}} \quad Z_\epsilon = 0.922$$

Коефіцієнт, який враховує розподіл навантаження між зубцями []

$$K_{H\alpha} := 1.07$$

$$K_{H\beta} = 1.07$$

Коефіцієнт динамічного навантаження

$$K_{Hv} := 1.03$$

Питома розрахункова колова сила

$$w_{Ht} := \frac{F_{Ht}}{b_2} \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{Hv} \quad w_{Ht} = 941.52 \quad (\text{Н/мм})$$

Розрахункове контактне напруження

$$\sigma_H := Z_M \cdot Z_H \cdot Z_\epsilon \cdot \sqrt{\frac{w_{Ht}}{d_1} \cdot \frac{u_{36} + 1}{u_{36}}} \quad \sigma_H = 2.062 \times 10^3 (\text{МПа})$$

Напруження менші від допустимих. Стійкість зубців проти втомного викривування забезпечується.

Розрахунок активних поверхонь зубців на контактну міцність

$$\sigma_{Hmax} := \sigma_H \cdot \sqrt{\frac{T_{1max}}{T_{1H}}} \quad \sigma_{Hmax} = 2525.01 \quad (\text{МПа})$$

Напруження менші від допустимих. Контактна міцність забезпечується.

Розрахунок зубців на втому при згині

Розрахункові коефіцієнти будуть такими.

Коефіцієнти форми зубців:

$$Y_{F1} := 4.01$$

$$Y_{F2} := 3.61$$

Коефіцієнт перекриття зубців

$$Y_\epsilon := 1$$

Коефіцієнт нахилу зубців

$$Y_\beta := 1$$

Коефіцієнт, який враховує розподіл навантаження між зубцями:

$$K_{F\alpha} := \frac{[4 + (\varepsilon_{\alpha} - 1) \cdot (n_{ст} - 5)]}{4 \cdot \varepsilon_{\alpha}} \quad K_{F\alpha} = 0.922$$

Коефіцієнт нерівності навантаження по ширині зубчастих вінців

$$K_{F\beta} := 1.12$$

Коефіцієнт динамічного навантаження $K_{Fv} := 1.10$

Питома розрахункова колова сила

$$w_{Ft} := \frac{F_{Ft}}{b_2} \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} \cdot K_{Fv} \quad w_{Ft} = 907.365 \text{ (Н/мм)}$$

Розрахункове напруження згину у зубцях шестерні та колеса:

$$\sigma_{F1} := Y_{F1} \cdot Y_{\varepsilon} \cdot Y_{\beta} \cdot \frac{w_{Ft}}{m_n} \quad \sigma_{F1} = 606.42 \text{ (МПа)}$$

$$\sigma_{F2} := Y_{F2} \cdot Y_{\varepsilon} \cdot Y_{\beta} \cdot \frac{w_{Ft}}{m_n} \quad \sigma_{F2} = 545.93 \text{ (МПа)}$$

Стійкість зубців проти втомного руйнування при згині забезпечується, оскільки розрахункові напруження згину менші від відповідних допустимих напружень.

Розрахунок зубців на міцність при максимальним навантаженням.
За формулою:

$$\sigma_{F1max} := \sigma_{F1} \cdot \frac{T_{1max}}{T_{1F}} \quad \sigma_{F1max} = 909.63 \text{ (МПа)}$$

$$\sigma_{F2max} := \sigma_{F2} \cdot \frac{T_{1max}}{T_{1F}} \quad \sigma_{F2max} = 818.9 \text{ (МПа)}$$

Міцність зубів на згин при дії максимального навантаження також забезпечується, оскільки максимальні напруження менші від допустимих.

Розрахунок параметрів зубчастої передачі.

Розміри елементів зубців:

висота головки зубця

$$\text{висота ніжки} \quad h_a := m_n \quad h_a = 6 \text{ (мм)}$$

$$\text{висота зубця} \quad h_f := 1.25 \cdot m_n \quad h_f = 7.5 \text{ (мм)}$$

$$\underline{h} := 2.25 \cdot m_n \quad h = 13.5 \text{ (мм)}$$

радіальний зазор $c := 0.25 \cdot m_n$ $c = 1.5$ (мм)

кут профілю зубців $\alpha_n := 20 \cdot \frac{\pi}{180}$

Розміри вінців зубчастих коліс:

ділительні діаметри $d_1 = 60$ (мм) $d_2 = 174$ (мм)

Ширини вінців: $b_1 = 48$ (мм) $b_2 = 46$ (мм)

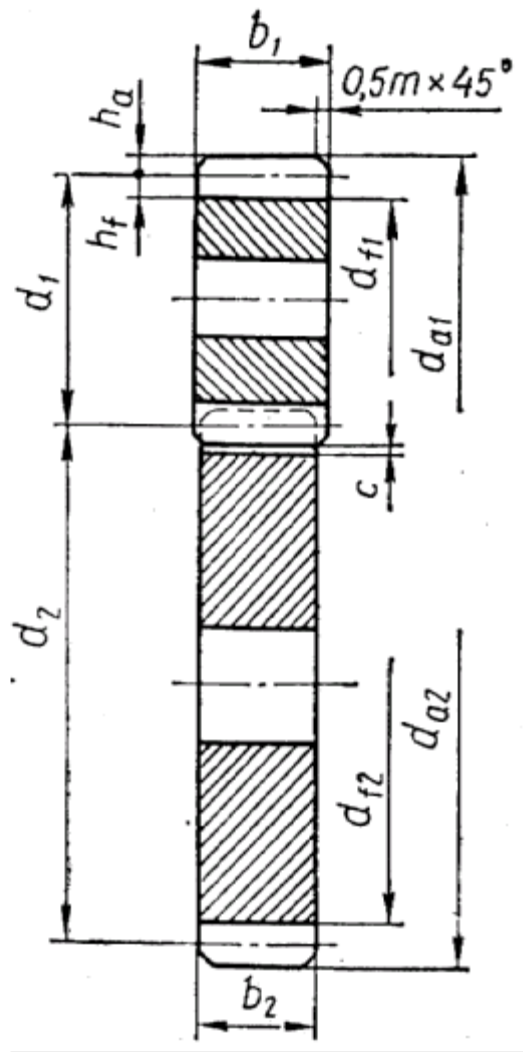


Рисунок 3.8.– Конструктивна схема зубчастих коліс з геометричними параметрами

Діаметри вершин зубців

$$d_{a1} := d_1 + 2 \cdot m_n \quad d_{a1} = 72 \quad (\text{мм})$$

$$d_{a2} := d_2 + 2 \cdot m_n \quad d_{a2} = 186 \quad (\text{мм})$$

Діаметри впадин

$$d_{f1} := d_1 - 2.5 \cdot m_n \quad d_{f1} = 45 \quad (\text{мм})$$

$$d_{f2} := d_2 - 2.5 \cdot m_n \quad d_{f2} = 159 \quad (\text{мм})$$

Міжосьова віддаль передачі

$$a_w := 0.5 \cdot m_n \cdot (z_1 + z_2) \quad a_w = 117 \quad (\text{мм})$$

Розрахунок сил у зачепленні зубців передачі.

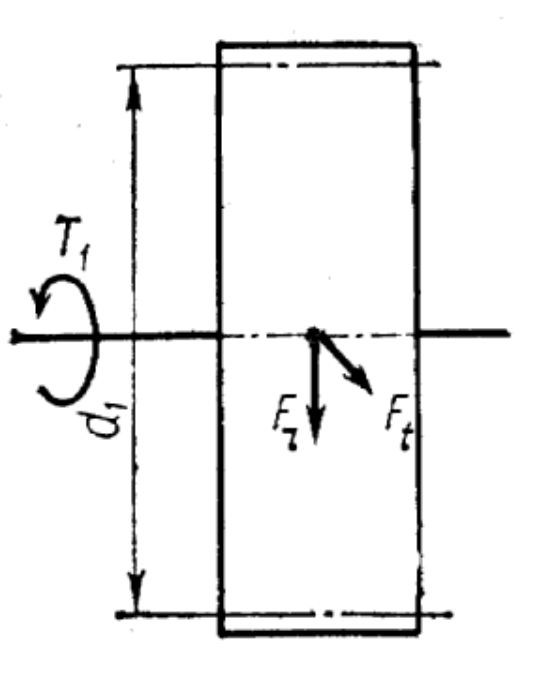


Рисунок 3.9.– Схема розподілу сил у зубчастому зачепленні

Колова сила $F_t = 36726.9 \quad (\text{Н})$

Радіальна сила: $F_r := F_t \cdot \tan(\alpha_n) \quad F_r = 13367.5 \quad (\text{Н})$

Осьова сила: $F_a := 0 \quad F_a = 0 \quad (\text{Н})$

3.7. Технічне обслуговування та експлуатація тістомісильної машини Г4-МТМ-330-0

Тістомісильна машина Г4-МТМ-330-0І характеризується гнучкістю у виборі способу установки [19, 20]. Обладнання можна монтувати як на спеціально підготовленому фундаменті, так і безпосередньо на підлозі виробничого приміщення. Обидва варіанти є технічно допустимими та забезпечують стабільну роботу обладнання.

У випадку прийняття рішення про фундаментну установку важливо врахувати один критичний момент: поверхня фундаменту повинна бути на одному рівні з підлогою або нижче її. Будь-які виступи над рівнем підлоги створюють серйозні перешкоди для транспортування діжі на підкатному візку. Такі конструктивні недоліки можуть повністю унеможливити нормальну експлуатацію машини та ускладнити технологічний процес.

Перед введенням машини в експлуатацію необхідно провести ретельну санітарну підготовку всього обладнання. Особливу увагу слід приділити елементам, які безпосередньо контактують з продуктами харчування. До таких компонентів належать важіль мішалки, лопаті для перемішування, діжі для тіста та захисні огороження. Всі ці деталі потрібно старанно промити гарячою водою з достатньою температурою, щоб повністю видалити залишки антикорозійного захисного покриття, яке наноситься виробником для збереження обладнання під час транспортування та зберігання.

Зовнішні поверхні корпусу машини та підкатних діжей необхідно протерти м'якою чистою тканиною, уникаючи використання абразивних матеріалів, які можуть пошкодити захисне покриття. Після завершення очищення до машини підключається трифазна електромережа з відповідними параметрами напруги згідно з технічною специфікацією обладнання.

Критично важливим етапом є перевірка правильності підключення електродвигуна. Для цього машину запускають у тестовому режимі та спостерігають за напрямком обертання діжі. Правильне підключення забезпечує

обертання діжі проти годинникової стрілки. Якщо діжа обертається за годинниковою стрілкою, це свідчить про неправильне фазування. У такому випадку необхідно негайно вимкнути обладнання та поміняти місцями два будь-яких дроти в місці їх підключення до клемної коробки електродвигуна.

Перед першим робочим запуском абсолютно всі механічні вузли та поверхні тертя повинні бути якісно змащені відповідними мастильними матеріалами згідно з картою змащення обладнання.

На початку кожної робочої зміни оператор повинен провести перевірку функціонування всіх систем машини у холостому режимі, тобто без встановленої діжі. Для цього натискається кнопка "Пуск", машина працює кілька секунд, після чого здійснюється зупинка натисненням кнопки "Стоп". Така процедура дозволяє переконатися у справності електричних та механічних систем.

Після успішної перевірки відкриваються дверцята захисного кожуха, і за допомогою маховичка, розташованого на валу електродвигуна, робітник переводить кулак мішалки у верхнє положення. Одночасно піднімаються вгору захисні щитки діжі, після чого діжа накочується на робочу плиту машини.

Конструкція передбачає надійну фіксацію діжі за допомогою трьох направляючих штирів, які вмонтовані у захисний кожух машини. Ці штирі точно входять у відповідні отвори, виконані в корпусі підкатного візка та вилці діжі. У процесі накочування привідний вал машини проникає всередину монтажного фланця діжі, а його квадратний кінець розташовується над квадратним гніздом приводного диска діжі.

Для остаточної фіксації необхідно вручну повернути діжу на невеликий кут, який не перевищує дев'яносто градусів. Як тільки квадратне гніздо диска точно співпадає з квадратним кінцем приводного валу, останній під дією потужної пружини швидко входить у гніздо, створюючи міцне з'єднання та надійно фіксуючи діжу, виключаючи будь-які її переміщення під час роботи.

Після встановлення діжі захисні щитки опускаються у робоче положення, натискається кнопка "Пуск", і машина перевіряється у робочому режимі з навантаженням. Для від'єднання діжі після завершення технологічного циклу

оператор натискає ногою на педаль, яка розташована на корпусі підкатного візка. Важливо пам'ятати, що відкочувати діжу дозволяється виключно після повної зупинки всіх рухомих частин машини та припинення обертання.

Вимикати машину необхідно лише після того, як діжа займе правильне стартове положення, коли квадратний кінець приводного валу вже надійно розташований у гнізді приводного диска. Недотримання цієї вимоги може призвести до пошкодження механізму з'єднання.

Правильно організоване та своєчасно виконане змащення всіх вузлів тертя є запорукою тривалої безаварійної роботи обладнання. Якісне змащення захищає всі поверхні тертя від передчасного абразивного зносу, значно підвищує коефіцієнт корисної дії механічних передач та суттєво зменшує споживання електричної енергії під час роботи машини.

Для проведення змащення кривошипного механізму та кулака мішалки необхідно знімати верхню захисну кришку, отримуючи доступ до цих вузлів. Втулково-роликовий ланцюг привода потребує особливої уваги: через кожні шість місяців експлуатації його необхідно демонтувати та проварювати в гарячій суміші солідолу з дрібнодисперсним графітом. Ця процедура забезпечує глибоке проникнення мастила у всі зазори та значно подовжує термін служби ланцюгової передачі.

Періодичність змащення різних вузлів та тип мастильних матеріалів вказані у таблиці змащення, яка є невід'ємною частиною технічної документації машини. Неухильне дотримання графіка змащення є обов'язковою умовою збереження гарантійних зобов'язань виробника.

Тістомісильна машина, як обладнання для переробки продуктів харчування, повинна постійно підтримуватися в бездоганному санітарному стані. Після завершення кожної виробничої зміни спорожнену діжу та важіль мішалки з лопатями необхідно ретельно вимивати гарячою водою з використанням дозволених миючих засобів, після чого всі деталі витираються досуха чистими серветками або рушниками.

Таблиця 3.1.– Таблиця змащення.

Місце змащення	Вид мастила	Кіль- кість	Примітка
Редуктор приводу діжі	УС-2 («Л»), ГОСТ 1033—51	1	Мастити вручну 1 раз на 6 місяців
Кулькові підшипники електродвигуна	УС-2 («Л»), ГОСТ 1033—51	1	Мастити вручну 1 раз на 6 місяців
Шарикопідшипники підкатної діжі	УС-2 («Л»), ГОСТ 1033—51	3	Мастити вручну 1 раз в 6 місяців
Вісь вертлюга підкатної діжі	УС-2 («Л»), ГОСТ 1033—51	1	Мастити штоковим шприцом 1 раз в 6 місяців
Маточини коліс підкатної діжі	ВУС-2 («Л»), ГОСТ 1033—51	3	Мастити штоковим шприцом 1 раз в 6 місяців

Зовнішні поверхні корпусу машини, панель управління та інші елементи конструкції після закінчення роботи протираються вологою м'якою тканиною для видалення залишків борошна та тіста. Після вологого очищення всі поверхні обов'язково витираються насухо, щоб запобігти корозії металевих деталей.

Регулярне виконання санітарних процедур не тільки забезпечує гігієнічну безпеку виробництва, а й сприяє ранньому виявленню можливих несправностей та продовжує термін експлуатації обладнання.

У процесі експлуатації можуть виникати різноманітні технічні проблеми, більшість з яких можна усунути силами обслуговуючого персоналу без залучення спеціалізованих ремонтних служб. Характерні несправності та відповідні методи їх усунення систематизовані у спеціальній таблиці, яка містить детальні інструкції з діагностики та ремонту найбільш поширених проблем обладнання.

Таблиця 3.2.– Характерні несправності і методи їх усунення.

Несправність	Причина	Спосіб усунення
Гріються підшипники Зупиняється електродвигун	Відсутнє мастило Підшипники надмірно затягнуті Перевантаження	Змазати Ослабити затягування Прокрутити вручну механізм, усунути неполадки і натискувати кнопку «Повернення» на магнітному пускачі

4. Дослідження місильного органу тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01

4.1. Постановка завдань для виконання дослідження

В ході виконання досліджень місильного органу тістомісильної машини марки Г4-МТМ-330-01 з використанням програми виконаємо дослідження [21-26] для товщини стінки від 2 до 3,5 мм.

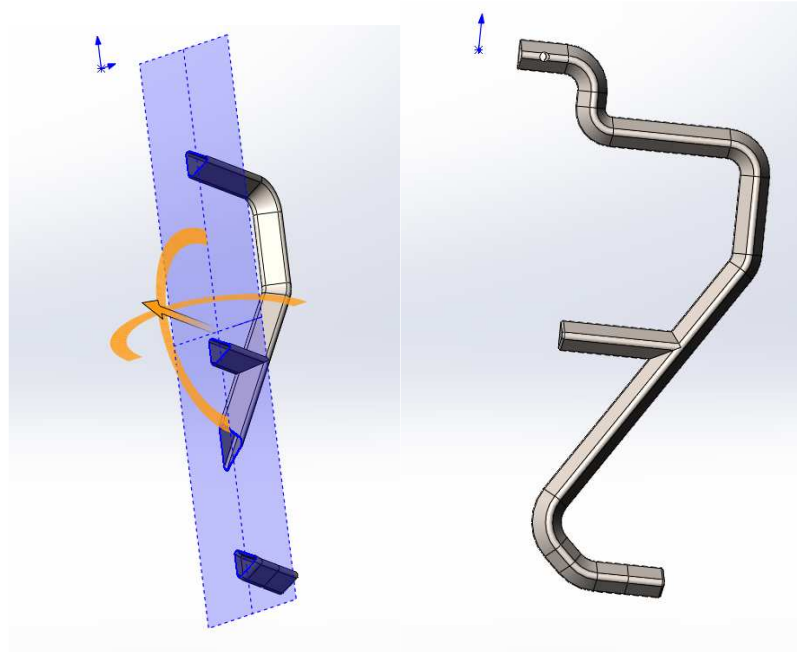


Рисунок 4.1.– Конструктивна схема робочого органу тістомісильної машини Г4-МТМ-330-01

Як основний матеріал виберемо сталь AISI 304. Ця сталь широко застосовується в харчовій промисловості, фармацевтиці, хімічному виробництві та архітектурі. Матеріал ідеально підходить для виготовлення технологічного обладнання, трубопроводів, ємностей, декоративних елементів і предметів побутового призначення. Його гігієнічність та легкість очищення роблять сталь незамінною там, де потрібна чистота та санітарні вимоги.

Нержавіюча сталь AISI 304 є одним із найпоширеніших хромонікелевих сплавів аустенітного класу. Матеріал містить приблизно 18% хрому та 8% нікелю, що забезпечує йому відмінну корозійну стійкість у більшості середовищ. Завдяки

такому хімічному складу сталь зберігає свої властивості в широкому діапазоні температур і не піддається магнітному впливу.

Механічні властивості сталі характеризуються межею міцності на розтяг у діапазоні 515-720 МПа, що забезпечує достатню конструкційну надійність. Межа текучості становить близько 205-310 МПа, що дозволяє матеріалу витримувати значні навантаження без залишкових деформацій. Відносне подовження при розриві досягає 40-50%, що свідчить про високу пластичність та здатність до холодного деформування. Твердість матеріалу в відпаленому стані становить приблизно 70-90 одиниць за шкалою Роквелла В (HRB) або 150-200 одиниць за Брінеллем. Модуль пружності складає близько 193-200 ГПа, що визначає жорсткість конструкцій. Коефіцієнт теплового розширення становить $17,2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, що необхідно враховувати при проектуванні з'єднань та вузлів, що працюють при змінних температурах. AISI 304 характеризується високою пластичністю та добре піддається обробці різними методами – штампуванню, зварюванню, механічній обробці. Сталь демонструє чудову стійкість до окиснення та утворення іржі, особливо в атмосферних умовах і при контакті з водою та слабкими кислотами. Ударна в'язкість матеріалу залишається високою навіть при низьких температурах, досягаючи 200-250 Дж/см².

Механічні характеристики матеріалу залишаються стабільними навіть після тривалої експлуатації. Сталь зберігає міцність при температурах до 800°C, хоча тривале нагрівання в діапазоні 425-860°C може призвести до виділення карбідів хрому та зниження корозійної стійкості. Густина матеріалу становить 8000 кг/м³, що забезпечує оптимальне співвідношення міцності та ваги конструкцій.

4.2. Результати моделювання у SolidWorks Simulation місильного органу тістомісильної машини марки Г4-МТМ-330-01.

Схема місильного органу представлена на рисунку 4.2. Продемонстровано кріплення і прикладені навантаження. На рисунку 4.3 показано згенеровану

розруханкову сітку МКЕ. На рисунках 4.4 ... 4.19 представлено візуалізацію результатів симуляцій.

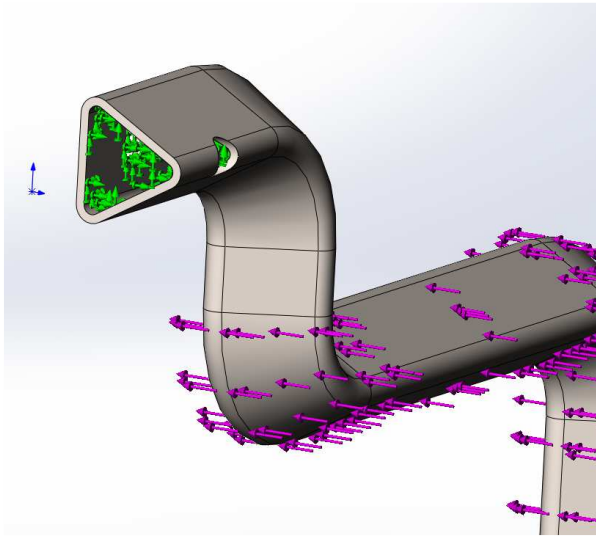


Рисунок 4.2.– Розрахункова схема робочого місильного органу

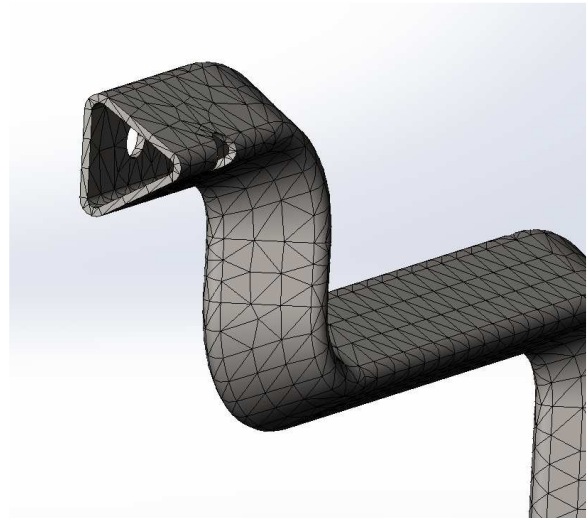


Рисунок 4.3.– Розрахункова сітка МКЕ робочого місильного органу.

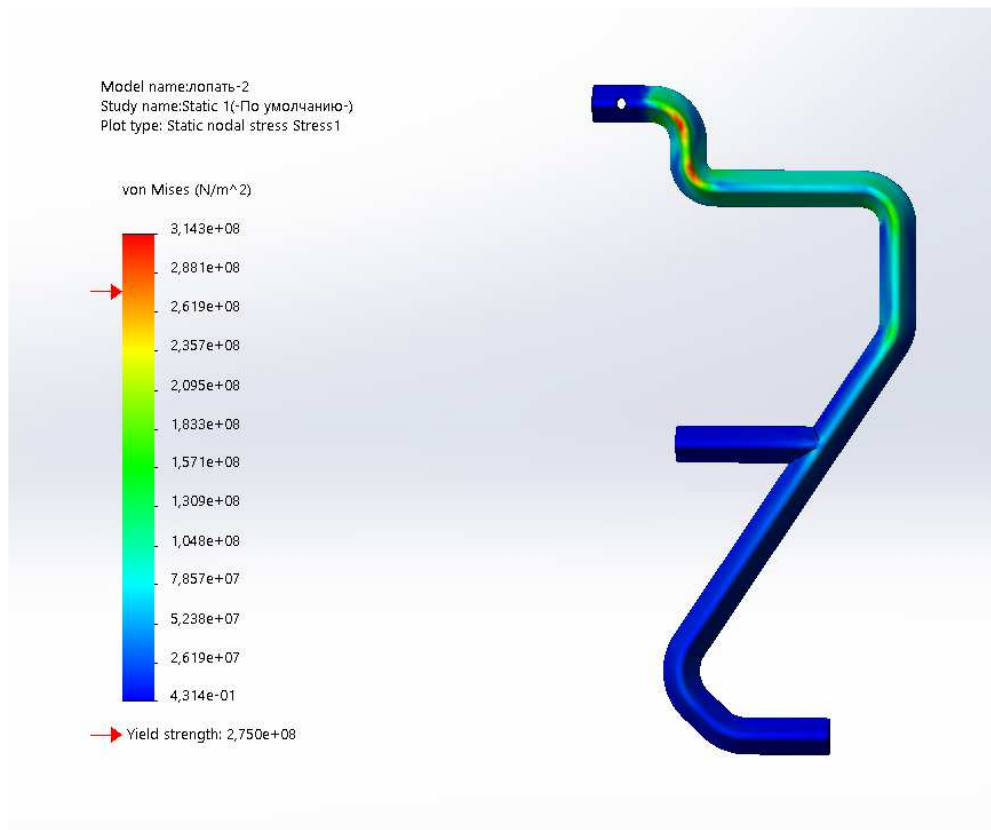


Рисунок 4.4 – Напруження за фон Мізесом в робочому місильного органі тістомісильної машини марки Г4-МТМ-330-01 при товщині стінки 2 мм.

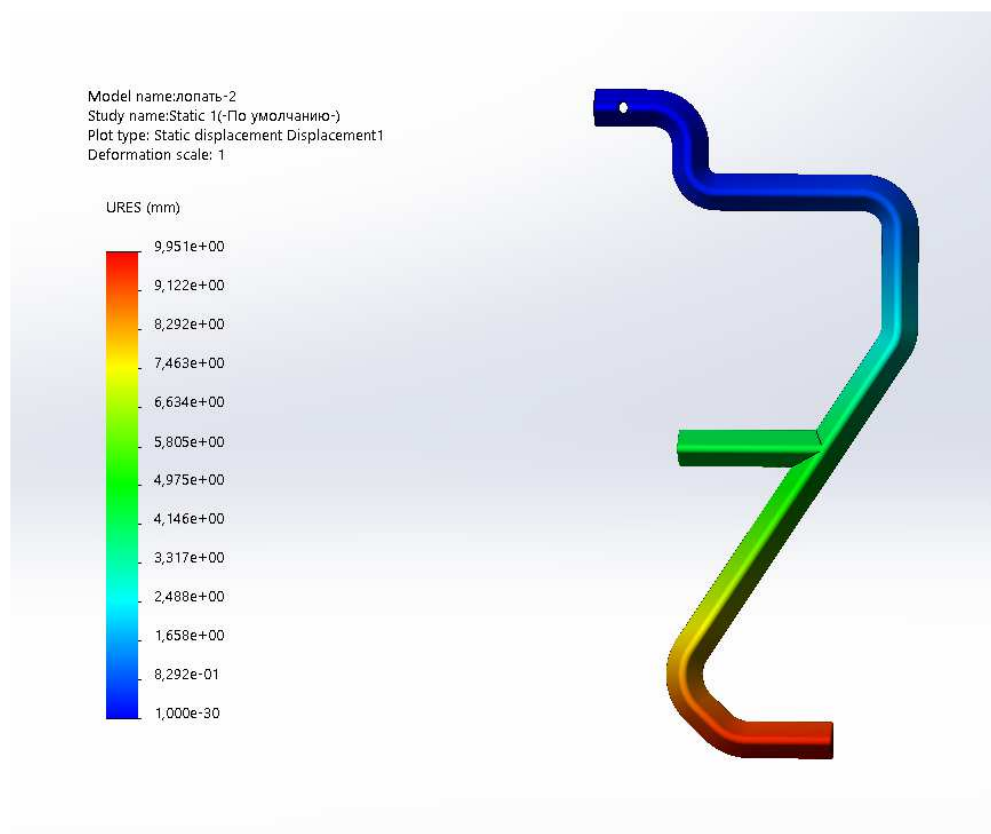


Рисунок 4.5 – Результирующее перемещения мисильного органа тістомісильної машини марки Г4-МТМ-330-01 при товщині стінки 2 мм.

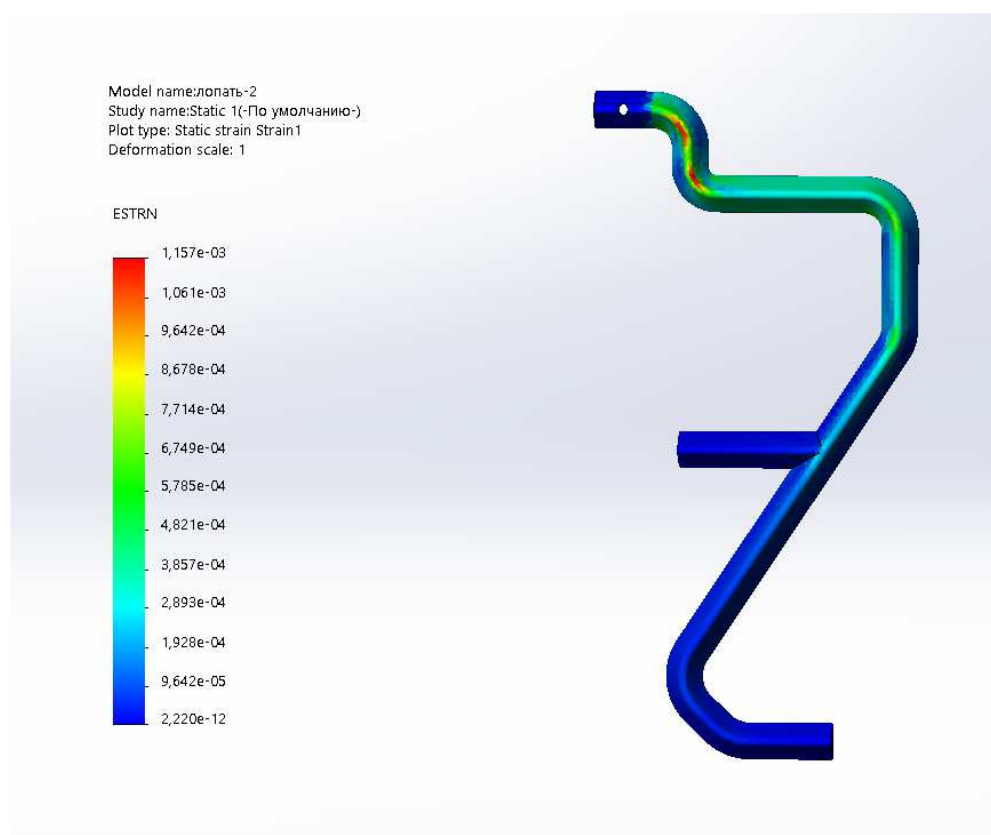


Рисунок 4.6 – Еквівалентна деформація мисильного органа тістомісильної машини марки Г4-МТМ-330-01 при товщині стінки 2 мм.

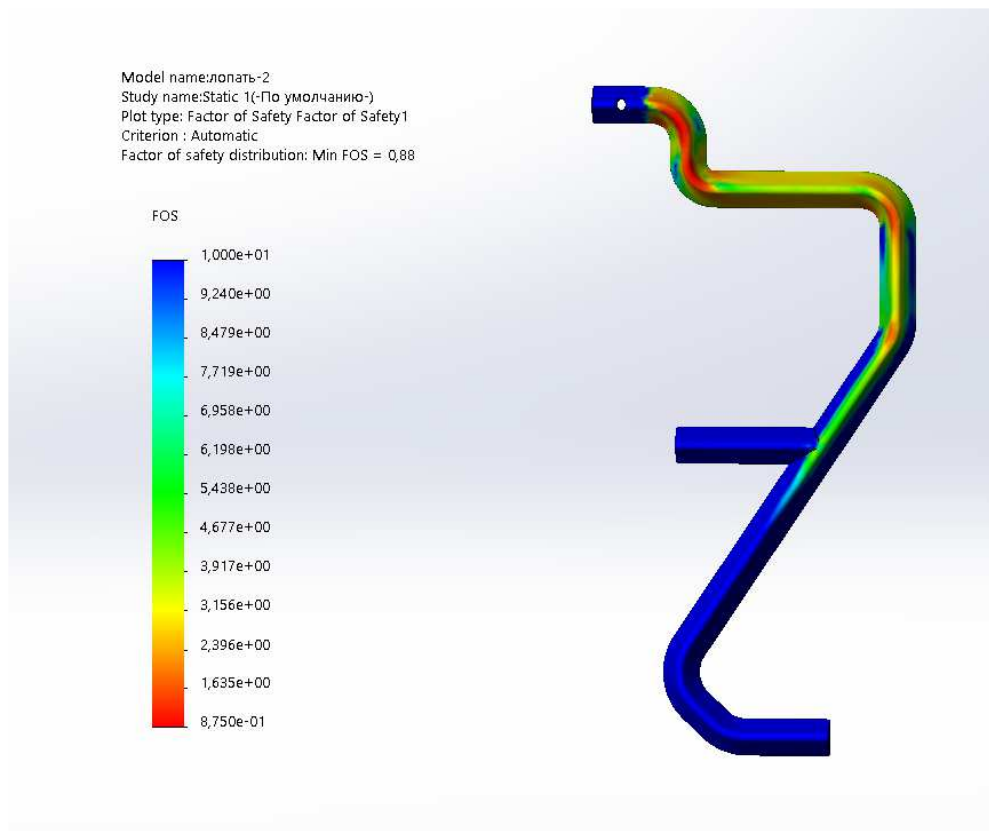


Рисунок. 4.7 – Коефіцієнт запасу міцності в місильного органу тістомісильної машини марки Г4-МТМ-330-01 при товщині стінки 2 мм.

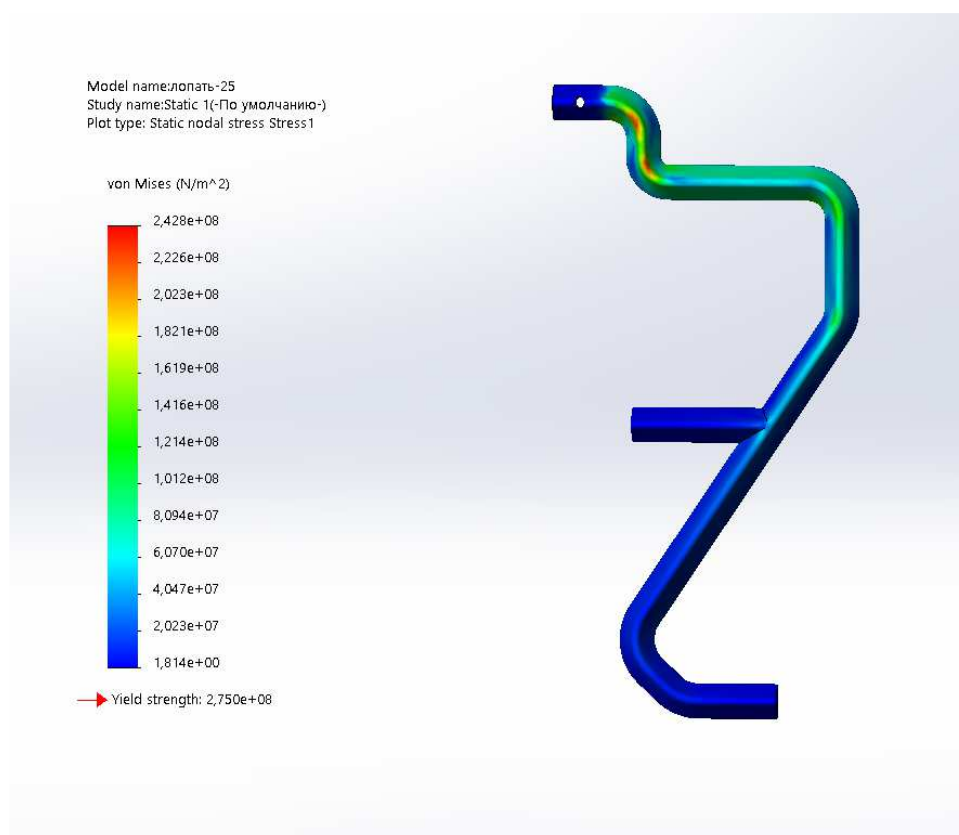


Рисунок 4.8 – Напруження за фон Мізесом в робочому місильного органі тістомісильної машини марки Г4-МТМ-330-01 при товщині стінки 2,5 мм.

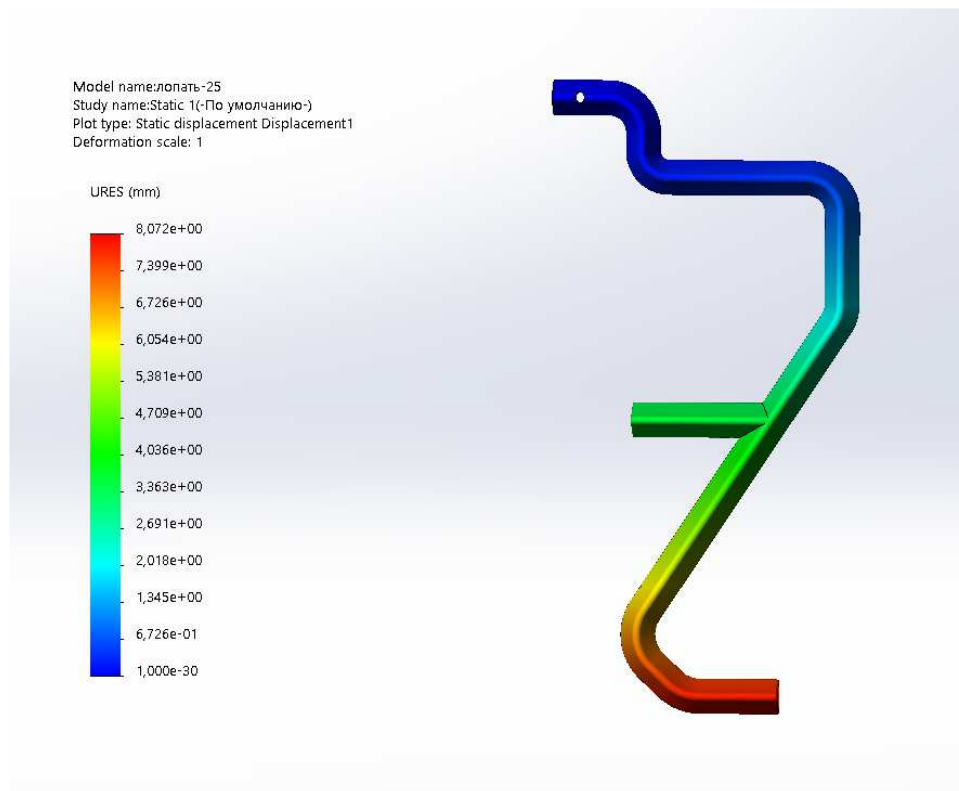


Рисунок 4.9 – Результирующее перемещение мисильного органа тістомісильної машини марки Г4-МТМ-330-01 при товщині стінки 2,5 мм.

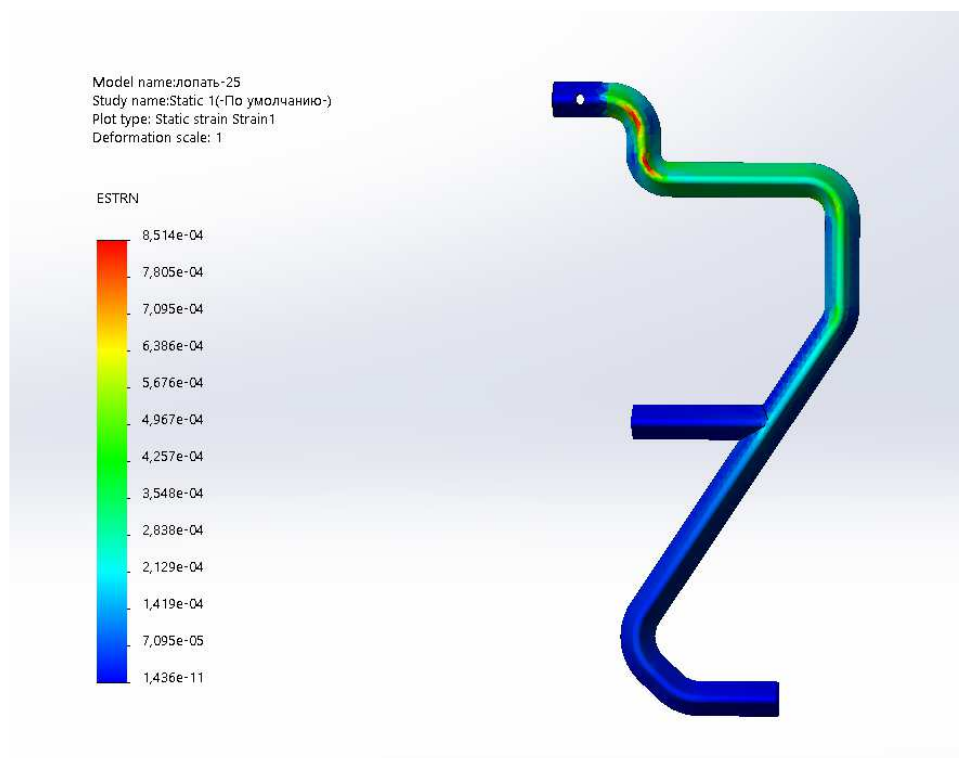


Рисунок 4.10 – Еквівалентна деформація мисильного органу тістомісильної машини марки Г4-МТМ-330-01 при товщині стінки 2,5 мм.

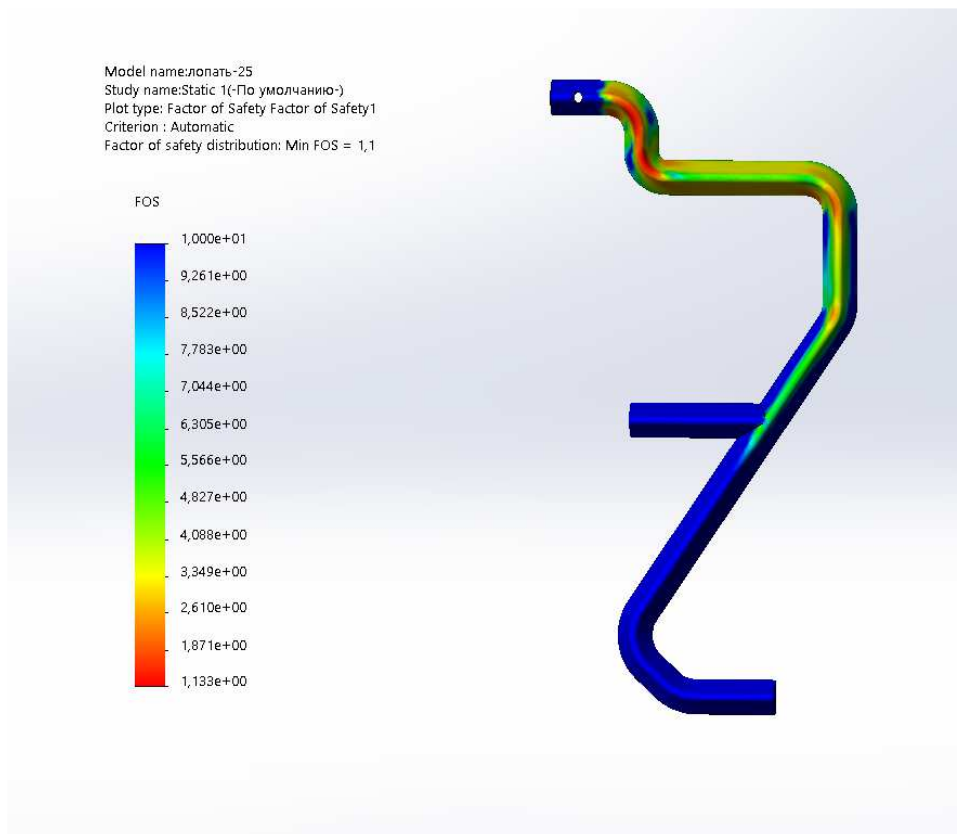


Рисунок. 4.11 – Коефіцієнт запасу міцності в місильного органу тістомісильної машини марки Г4-МТМ-330-01 при товщині стінки 2,5 мм.

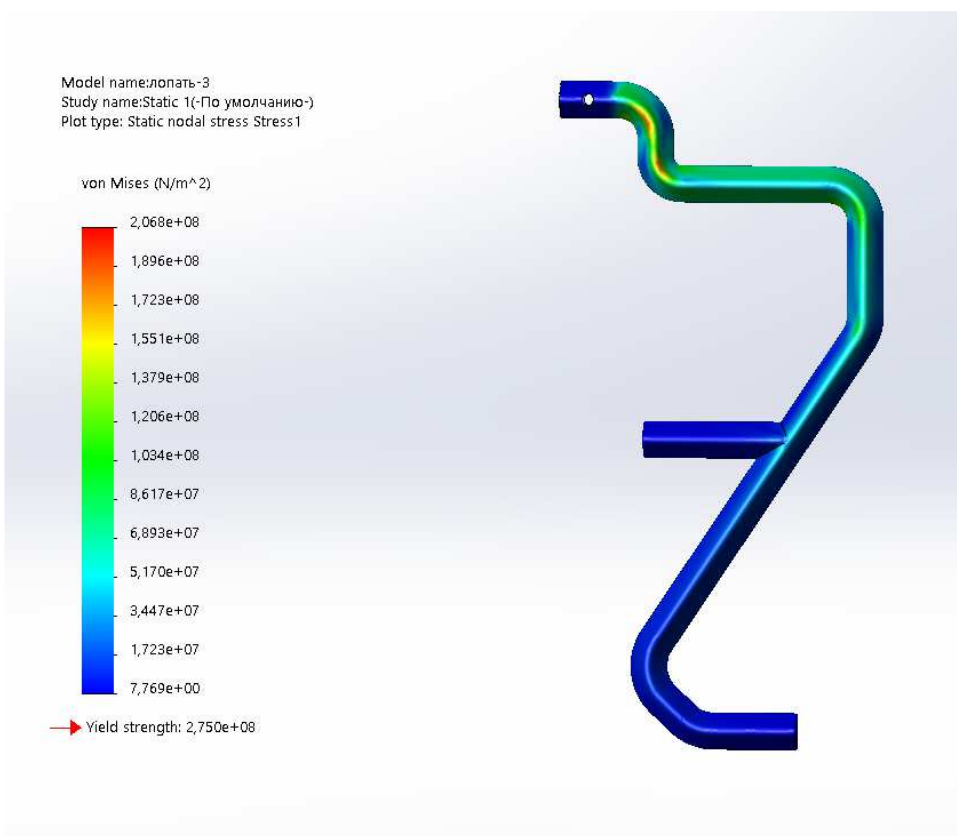


Рисунок 4.12 – Напруження за фон Мізесом в робочому місильного органі тістомісильної машини марки Г4-МТМ-330-01 при товщині стінки 3 мм.

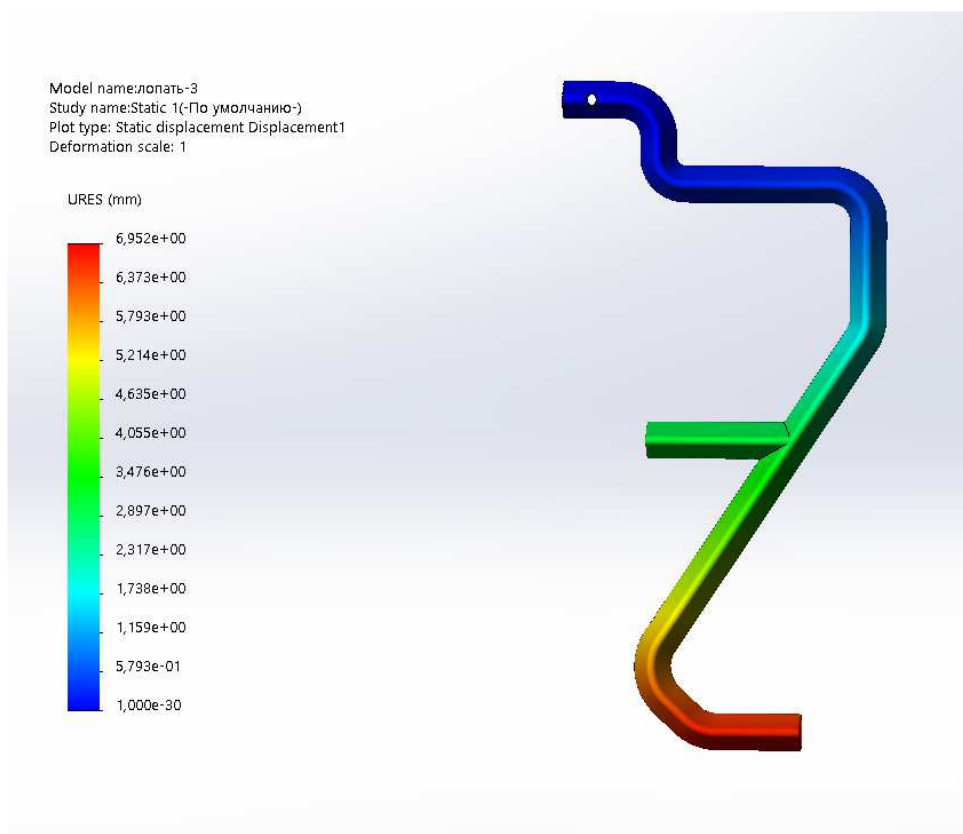


Рисунок 4.13 – Результирующее перемещение мисильного органа тистомисильной машины марки Г4-МТМ-330-01 при товщині стінки 3 мм.

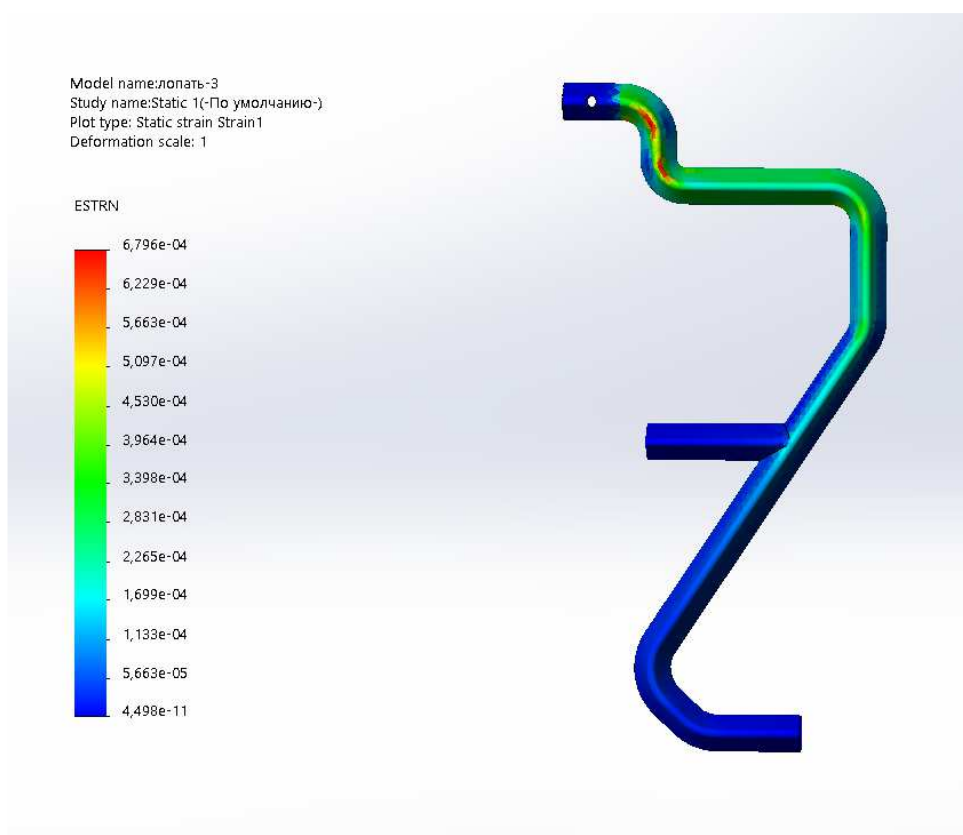


Рисунок 4.14 – Еквівалентна деформація мисильного органу тистомисильной машины марки Г4-МТМ-330-01 при товщині стінки 3 мм.

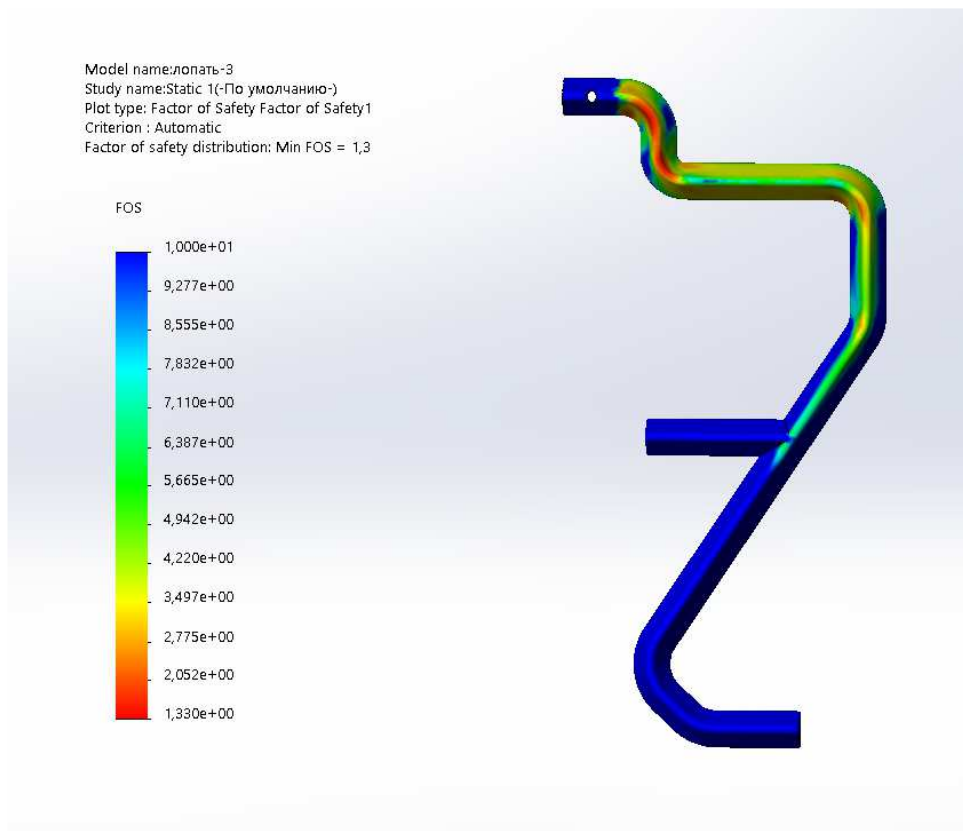


Рисунок. 4.15 – Коефіцієнт запасу міцності в місильного органу тістомісильної машини марки Г4-МТМ-330-01 при товщині стінки 3 мм.

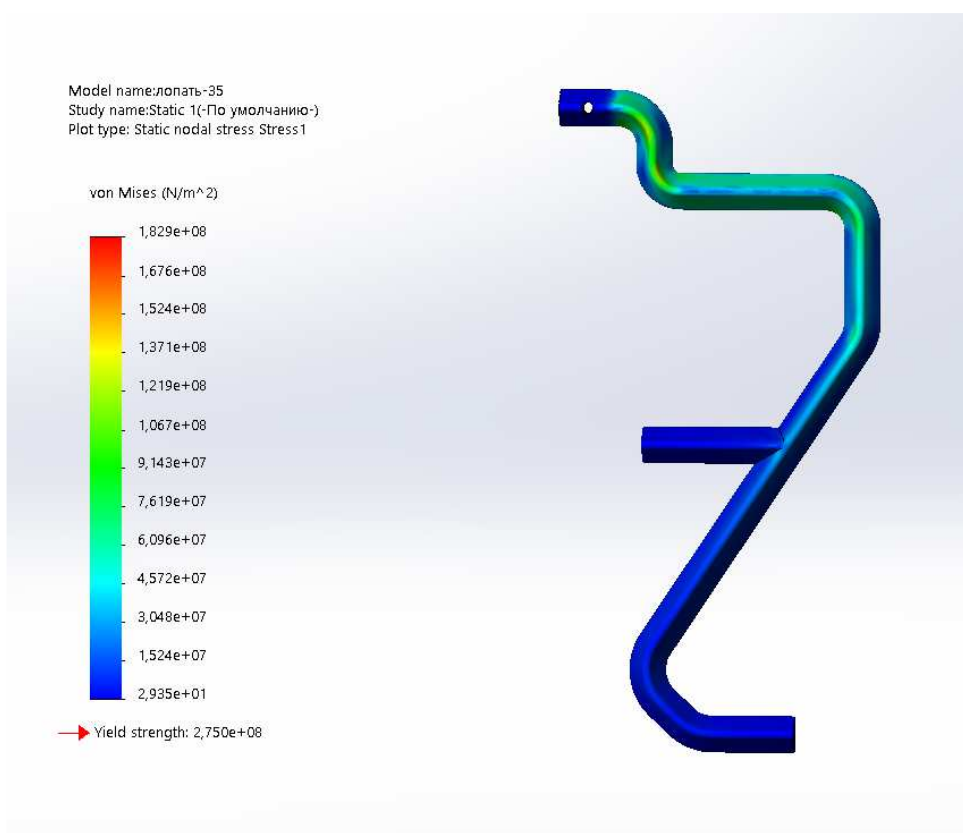


Рисунок 4.16 – Напруження за фон Мізесом в робочому місильного органі тістомісильної машини марки Г4-МТМ-330-01 при товщині стінки 3,5 мм.

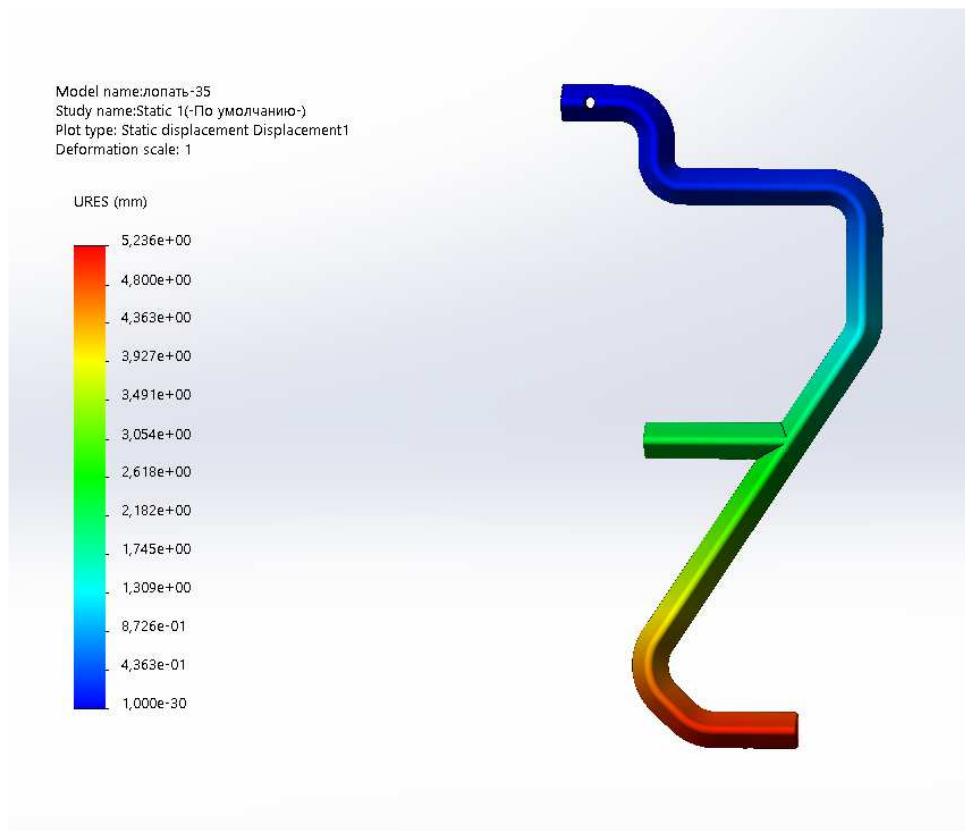


Рисунок 4.17 – Результуюче переміщення місильного органу тістомісильної машини марки Г4-МТМ-330-01 при товщині стінки 3,5 мм.

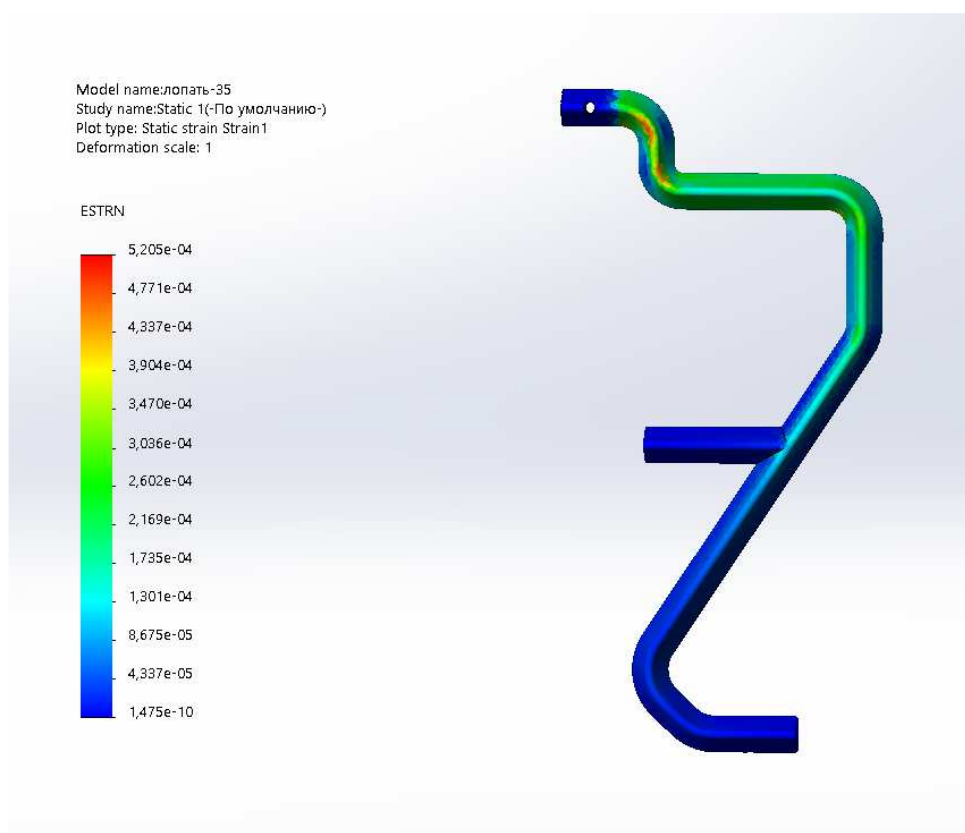


Рисунок 4.18 – Еквівалентна деформація місильного органу тістомісильної машини марки Г4-МТМ-330-01 при товщині стінки 3,5 мм.

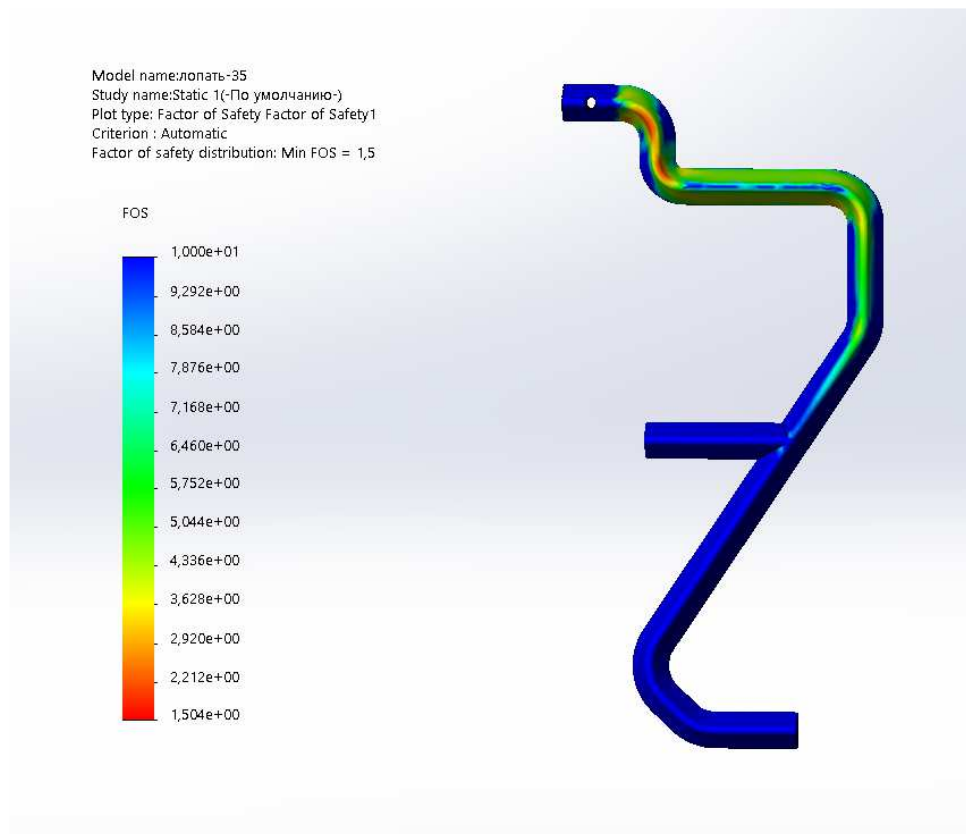


Рисунок. 4.19 – Коефіцієнт запасу міцності в місильного органу тістомісильної машини марки Г4-МТМ-330-01 при товщині стінки 3,5 мм.

4.3. Аналіз результатів

Представимо у таблицях 4.1...4.4 результати досліджень у SolidWorks Simulation місильного органу тістомісильної машини марки Г4-МТМ-330-01 при товщині стінки 2 мм ... 3,5 мм. Виконаємо регресійний аналіз отриманих даних.

Таблиця 4.1 Результати дослідження робочого органу місильного вузла машини марки Г4-МТМ-330-01 для замішування тіста товщиною стінки 2 мм.

Параметр	Мінімум	Максимум
Напруження за фон Мізесом, Н/м ²	0.431424558	314279456
Результуюче переміщення, мм	0	9.950740814
Еквівалентна деформація	2.22016871e-12	0.00115705654
Коефіцієнт запасу міцності	0.875017405	637423168

Таблиця 4.2 – Результати дослідження робочого органу місильного вузла машини марки Г4-МТМ-330-01 для замішування тіста товщиною стінки 2,5 мм.

Параметр	Мінімум	Максимум
Напруження за фон Мізесом, Н/м ²	1.81442177	242816912
Результуюче переміщення, мм	0	8.07179451
Еквівалентна деформація	1.43572506e-11	0.000851418998
Коефіцієнт запасу міцності	1.13254058	151563440

Таблиця 4.3 – Результати дослідження робочого органу місильного вузла машини марки Г4-МТМ-330-01 для замішування тіста товщиною стінки 3 мм.

Параметр	Мінімум	Максимум
Напруження за фон Мізесом, Н/м ²	7.7687726	206804704
Результуюче переміщення, мм	0	6.95198154
Еквівалентна деформація	4.49843392e-11	0.000679553836
Коефіцієнт запасу міцності	1.32975698	35398128

Таблиця 4.4 – Результати дослідження робочого органу місильного вузла машини марки Г4-МТМ-330-01 для замішування тіста товщиною стінки 3,5 мм.

Параметр	Мінімум	Максимум
Напруження за фон Мізесом, Н/м ²	29.35118675	182865200
Результуюче переміщення, мм	0	5.23589945
Еквівалентна деформація	1.47463611e-10	0.00052047614
Коефіцієнт запасу міцності	1.50383997	9369297

Виконане чисельне дослідження в SolidWorks Simulation дозволило проаналізувати вплив товщини стінки порожнистого робочого органу місильного вузла машини Г4-МТМ-330-01 на його напружено-деформований стан. Розрахунки проведено для діапазону товщин 2–3,5 мм, а для кожного варіанта визначено мінімальні та максимальні значення основних параметрів. Аналіз результатів і побудова регресійних залежностей виконувалися за крайніми (мінімальними та максимальними) значеннями параметрів у таблиці

Напруження за фон Мізесом визначає інтенсивність внутрішніх зусиль у матеріалі. Зі збільшенням товщини стінки з 2 мм до 3,5 мм спостерігається чітка тенденція до зниження максимальних напружень².

Зі збільшенням товщини стінки спостерігається стійке зменшення максимальних еквівалентних напружень. При товщині 2 мм максимальні напруження мають найбільше значення, тоді як при 3,5 мм вони зменшуються приблизно на 40–45 %. Мінімальні значення напружень, навпаки, зростають, що свідчить про більш рівномірний розподіл напруженого стану в тілі робочого органу.

Залежність максимальних напружень від товщини стінки добре апроксимується лінійною спадною регресією:

$$\sigma_{max} = a - b \cdot \delta,$$

де δ — товщина стінки, мм. Для мінімальних напружень характерна зростаюча нелінійна (степенева) залежність, що пов'язано з підвищенням жорсткості конструкції.

Максимальне напруження зменшується з 314.3 МПа до 182.9 МПа. Це свідчить про те, що потовщення стінки ефективно розподіляє навантаження та знижує ризик пластичної деформації.

Рівняння регресії для максимуму:

$$\sigma_{max} = -87.42 \delta + 478.4.$$

Напруження лінійно падає при потовщенні стінки.

Рівняння регресії для мінімуму:

$$\sigma_{min} = 19.33\delta^2 - 87.05\delta + 98.44.$$

Спостерігається нелінійне зростання локальних мінімальних значень.

Результуюче переміщення характеризує жорсткість конструкції — тобто її здатність чинити опір зміні форми під навантаженням.

Мінімальні переміщення для всіх варіантів дорівнюють нулю, що є наслідком закріплення моделі. Максимальні переміщення монотонно зменшуються зі зростанням товщини: від майже 10 мм при 2 мм до близько 5,2 мм при 3,5 мм. Це свідчить про суттєве підвищення жорсткості робочого органу.

Регресійна залежність переміщення від товщини може бути описана лінійною моделлю:

$$u = c - d \cdot \delta,$$

що є типовим для тонкостінних елементів при роботі в межах пружних деформацій.

Максимальне переміщення при товщині 2 мм становить 9.95 мм, а при 3.5 мм воно падає до 5.24 мм. Таким чином, збільшення товщини стінки на 1.5 мм дозволяє майже вдвічі підвищити жорсткість робочого органу.

Рівняння регресії для максимуму:

$$u_{max} = 3.078 \cdot \delta + 15.98.$$

Коефіцієнт детермінації високий, що вказує на стабільне зростання жорсткості.

Еквівалентна деформація відображає відносну зміну розмірів елементів конструкції.

Максимальні значення еквівалентної деформації зменшуються майже вдвічі при переході від товщини 2 мм до 3,5 мм. Мінімальні деформації залишаються на дуже малому рівні (порядку $10^{-12} \dots 10^{-10}$), але мають тенденцію до зростання, що також вказує на вирівнювання напружено-деформованого стану.

Для максимальних деформацій доцільною є регресія виду:

$$\varepsilon = f - k \cdot \delta,$$

що відповідає фізичній природі роботи порожнистих елементів.

Максимальна деформація зменшується з 0.001157 до 0.000520 зі зростанням товщини стінки. Це підтверджує дані про напруження: матеріал працює в більш "щадному" режимі.

Рівняння регресії для максимуму:

$$\varepsilon_{max} = 0.00195 - 0.00042 \cdot \delta.$$

Демонструє стабільне зменшення деформативності.

Коефіцієнт запасу міцності - це ключовий показник надійності, який показує, у скільки разів допустимі напруження перевищують діючі.

Коефіцієнт запасу міцності зростає зі збільшенням товщини стінки, що є очікуваним результатом. Мінімальні значення коефіцієнта зростають від значень, близьких до граничних, до стабільно безпечних. Максимальні значення при цьому різко зменшуються, що вказує на усунення локальних зон перенапруження.

Регресійна залежність коефіцієнта запасу міцності від товщини має лінійний зростаючий характер:

$$n = m + p \cdot \delta.$$

При товщині стінки 2 мм мінімальний запас міцності становить 0.875, що є критичним (менше 1.0), оскільки вказує на можливість руйнування або незворотної деформації. Починаючи з товщини 2.5 мм, коефіцієнт стає більшим за одиницю (1.13) і зростає до 1.50 при товщині 3.5 мм.

Рівняння регресії для мінімуму:

$$n_{min} = 0.063 + 0.413 \cdot \delta.$$

Ця модель дозволяє прогнозувати безпечну товщину: для досягнення стандартного промислового запасу 1.5, товщина повинна бути не менше 3.5 мм.

Згідно з отриманими даними, оптимальною товщиною стінки для робочого органу місильної машини Г4-МТМ-330-01 є діапазон 3.0 ... 3.5\$ мм. Саме за таких умов забезпечується стабільний коефіцієнт запасу міцності (понад 1.3) та суттєво обмежуються переміщення і напруження в металі.

Отримані регресійні залежності підтверджують, що збільшення товщини стінки порожнистого робочого органу призводить до зниження напружень, деформацій і переміщень та до підвищення запасу міцності. Найбільш інтенсивний ефект спостерігається в діапазоні 2–3 мм, тоді як подальше збільшення товщини дає менший приріст жорсткості, але супроводжується зростанням матеріаломісткості. Це дозволяє використовувати побудовані регресійні моделі для обґрунтування раціональної товщини стінки робочого органу при проектуванні місильних машин.

5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5.1. Заходи з безпечної експлуатації технологічного обладнання цеху хлібобулкових виробів

Безпечна експлуатація [27,28] технологічного обладнання цеху хлібобулкових виробів є важливою складовою організації виробничого процесу та забезпечення безпеки праці персоналу. Специфіка хлібопекарського виробництва передбачає використання різноманітного обладнання, яке характеризується наявністю рухомих механізмів, високих температур, електричної напруги та інших потенційно небезпечних факторів. Тому дотримання встановлених норм і правил експлуатації обладнання є обов'язковою умовою запобігання виробничому травматизму та аварійних ситуацій.

Перед початком роботи весь персонал цеху повинен пройти обов'язковий інструктаж з охорони праці та техніки безпеки. Вступний інструктаж проводиться при прийомі на роботу і включає ознайомлення з основними положеннями законодавства про охорону праці, правилами внутрішнього трудового розпорядку, можливими небезпечними та шкідливими виробничими факторами. Первинний інструктаж на робочому місці здійснюється безпосередньо перед допуском до самостійної роботи і охоплює детальне вивчення особливостей конкретного обладнання, безпечних прийомів роботи, можливих аварійних ситуацій та порядку дій при їх виникненні. Повторний інструктаж проводиться не рідше одного разу на шість місяців для закріплення знань та перевірки дотримання працівниками вимог безпеки праці.

Кожна одиниця технологічного обладнання повинна супроводжуватись технічною документацією, що включає паспорт обладнання, інструкцію з експлуатації та інструкцію з охорони праці. В інструкції з експлуатації зазначаються технічні характеристики обладнання, правила пуску та зупинки, режими роботи, порядок технічного обслуговування, можливі несправності та способи їх усунення. Інструкція з охорони праці містить вимоги безпеки перед початком роботи, під час роботи, після закінчення роботи та в аварійних

ситуаціях. Персонал повинен бути ознайомлений з цією документацією під підпис і зобов'язаний суворо дотримуватись викладених в ній вимог.

До роботи з технологічним обладнанням допускаються лише особи, які досягли вісімнадцятирічного віку, пройшли медичний огляд, навчання, перевірку знань з охорони праці та отримали відповідний допуск. Працівники повинні володіти необхідною кваліфікацією та професійними навичками для безпечного виконання своїх обов'язків. Робота на несправному обладнанні категорично забороняється. У разі виявлення будь-яких відхилень від нормального режиму роботи, підвищеного шуму, вібрації, нагрівання, появи сторонніх запахів працівник зобов'язаний негайно зупинити обладнання та повідомити майстра або начальника зміни.

Особливу увагу слід приділяти безпечній експлуатації тістомісильного обладнання, яке є одним з найбільш травмонебезпечних у хлібопекарському виробництві. Тістомісильні машини обладнуються надійними огорожами, блокувальними пристроями, що унеможливають запуск обладнання при відкритій кришці або знятому захисному кожусі. Завантаження компонентів у місильну ємність та вивантаження готового тіста повинні здійснюватись тільки після повної зупинки робочих органів. Категорично забороняється під час роботи машини просовувати руки або сторонні предмети в робочу зону, намагатись очистити місильні органи або усунути намотування тіста на вал. Для запобігання попадання сторонніх предметів у тісто перед завантаженням борошно та інші інгредієнти повинні ретельно перевірятись.

Тістоділильні та тістоокруглювальні машини також вимагають дотримання суворих правил безпеки. Ці машини мають відкриті рухомі частини, що становлять небезпеку травмування. Всі передавальні механізми, шківів, ременів, ланцюгові та зубчасті передачі повинні бути надійно огорожені знімними або відкидними щитками. Регулювання та налаштування обладнання, очищення робочих органів дозволяється проводити тільки після повного знеструмлення машини та вивішування попереджувального плакату "Не вмикати, працюють люди". Працівники, що обслуговують це обладнання, повинні бути одягнені у

спеціальний одяг з застебнутими манжетами, волосся має бути заправлене під головний убір.

Пекарські печі є джерелом підвищеної небезпеки через високу температуру робочої камери, яка може досягати двохсот п'ятдесяти градусів Цельсія. Перед запуском печі необхідно перевірити справність паливної системи, димових каналів, вентиляції, контрольно-вимірювальних приладів, автоматики безпеки. Під час роботи печі забороняється залишати її без нагляду, відкривати дверцята пекарної камери різким рухом, що може призвести до викиду полум'я, працювати при несправній вентиляції. Завантаження та вивантаження виробів повинно здійснюватись за допомогою спеціальних інструментів та пристосувань. Працівники повинні використовувати теплозахисні рукавиці, фартухи, бути особливо обережними, щоб уникнути опіків гарячою парою або поверхнями.

Борошномельне та просіювальне обладнання створює значну запиленість повітря борошняним пилом, що утворює вибухонебезпечні суміші. Для запобігання вибухів необхідно забезпечити ефективну аспірацію та вентиляцію приміщень, не допускати накопичення пилу на обладнанні та конструкціях будівлі, регулярно проводити вологе прибирання. Електрообладнання в зонах підвищеної запиленості має виконуватись у пилозахищеному виконанні. Категорично забороняється використання відкритого вогню, куріння, виконання вогневих робіт без спеціального дозволу та додаткових заходів безпеки. Контроль концентрації пилу в повітрі робочої зони повинен здійснюватись на регулярній основі.

Робота з холодильним обладнанням вимагає особливої обережності через використання холодоагентів, деякі з яких можуть бути токсичними або вибухонебезпечними. Обслуговування холодильних установок повинно здійснюватись тільки спеціально навченим персоналом, що має відповідну кваліфікацію та допуск до роботи. Приміщення, де розташоване холодильне обладнання, має бути обладнане системою аварійної вентиляції, датчиками контролю концентрації холодоагенту в повітрі, засобами зв'язку для виклику аварійної служби. При виявленні витіку холодоагенту необхідно негайно

евакуувати людей з небезпечної зони, забезпечити інтенсивне провітрювання, викликати аварійну бригаду. Працювати в приміщенні з підвищеною концентрацією холодоагенту дозволяється тільки в ізолюючих засобах захисту органів дихання.

Електробезпека є одним з найважливіших аспектів безпечної експлуатації технологічного обладнання. Все обладнання повинно бути надійно заземлено або занулено відповідно до вимог правил улаштування електроустановок. Періодично має проводитись перевірка опору ізоляції електропроводки та заземлюючих пристроїв. Кабелі живлення повинні бути в справному стані, без механічних пошкоджень ізоляції, захищені від впливу вологи, високих температур, агресивних середовищ. Ремонт та обслуговування електрообладнання дозволяється проводити тільки електротехнічному персоналу з відповідною групою допуску після повного знеструмлення обладнання. На всіх електрощитах повинні бути вивішені однолінійні схеми електропостачання та інструкції з експлуатації.

Важливим елементом безпечної експлуатації обладнання є своєчасне та якісне технічне обслуговування. Відповідно до графіків регламентних робіт необхідно проводити огляди, перевірку справності всіх вузлів та механізмів, змащування рухомих частин, заміну зношених деталей, регулювання та налаштування. Всі виявлені несправності повинні фіксуватись у журналі дефектів та оперативно усуватись. Особливу увагу слід приділяти справності блокувальних та захисних пристроїв, запобіжних клапанів, аварійної сигналізації, оскільки від їх надійної роботи безпосередньо залежить безпека персоналу.

Для забезпечення високої культури безпеки на підприємстві необхідно створити атмосферу відповідального ставлення кожного працівника до дотримання вимог охорони праці. Керівництво цеху повинно особистим прикладом демонструвати важливість безпеки, не допускати випадків порушення правил, негайно реагувати на створення небезпечних ситуацій. Регулярно слід проводити наради, навчання, тренування з відпрацювання дій персоналу в аварійних ситуаціях. Працівники, які систематично порушують вимоги безпеки,

повинні притягуватись до дисциплінарної відповідальності аж до звільнення. Водночас необхідно заохочувати працівників, які проявляють ініціативу у покращенні умов праці та підвищенні рівня безпеки.

Належне освітлення виробничих приміщень відіграє важливу роль у забезпеченні безпечної експлуатації обладнання та запобіганні травматизму. Недостатня освітленість робочих місць призводить до швидкої втоми зору, зниження уваги та концентрації, що збільшує ймовірність помилкових дій персоналу та виробничих травм. У цеху хлібобулкових виробів повинно бути передбачено як природне, так і штучне освітлення. Природне освітлення здійснюється через вікна та світлові ліхтарі, проте воно не завжди забезпечує необхідний рівень освітленості, особливо в осінньо-зимовий період та в темний час доби. Штучне освітлення має бути спроектовано таким чином, щоб забезпечити нормовані рівні освітленості на робочих місцях відповідно до діючих санітарних норм. Для виробничих приміщень, де виконуються точні операції з тістом, нормована освітленість становить не менше двохсот люксів, а для зон контролю якості продукції та лабораторій може досягати чотирьохсот люксів і більше.

Система штучного освітлення повинна включати загальне рівномірне освітлення всього приміщення та локальне освітлення окремих робочих зон, де виконуються операції, що вимагають підвищеної зорової уваги. Світильники слід розташовувати таким чином, щоб уникнути утворення різких тіней, засліплення очей прямими променями світла або відблисками від блискучих поверхонь обладнання. В умовах хлібопекарського виробництва, де присутні підвищена вологість, температура та запиленість, необхідно використовувати світильники у вологозахищеному та пилозахищеному виконанні з надійною герметизацією. Особливу увагу слід приділяти освітленню зон з підвищеною небезпекою, таких як сходи, переходи між рівнями, місця завантаження сировини та вивантаження готової продукції. Регулярне очищення світильників від пилу та бруду, своєчасна заміна перегорілих ламп є обов'язковими заходами підтримання належного рівня освітленості.

Аварійне освітлення також є важливою складовою системи безпеки цеху. Воно повинно автоматично вмикатись при раптовому відключенні робочого освітлення та забезпечувати мінімальну освітленість, достатню для безпечної евакуації людей з приміщення та виконання необхідних операцій з аварійної зупинки обладнання. Евакуаційне освітлення має позначати шляхи евакуації, розташування виходів, засобів пожежогасіння та місць зберігання засобів індивідуального захисту. Працездатність аварійного освітлення необхідно регулярно перевіряти шляхом контрольних вимкнень робочого освітлення.

Шум, що генерується роботою технологічного обладнання цеху хлібобулкових виробів, є одним з основних шкідливих виробничих факторів, що негативно впливає на здоров'я працівників. Джерелами шуму в цеху є тістомісильні машини, вентилятори, компресори холодильного обладнання, транспортери, просіювальні машини та інше обладнання з електродвигунами та рухомими механізмами. Тривалий вплив підвищеного рівня шуму призводить до зниження слуху, розвитку професійної приглухуватості, порушень нервової та серцево-судинної систем, зниження працездатності та підвищеної стомлюваності. Крім того, шум заважає сприйняттю звукових сигналів небезпеки, мовної інформації, що збільшує ймовірність виробничих травм та аварійних ситуацій.

Відповідно до санітарних норм, граничнодопустимий рівень звуку на робочих місцях у виробничих приміщеннях не повинен перевищувати вісімдесят децибел. Для зниження рівня шуму до нормативних значень необхідно застосовувати комплекс технічних та організаційних заходів. Найбільш ефективним є зменшення шуму безпосередньо в джерелі його виникнення шляхом вибору менш шумного обладнання, встановлення звукоізолюючих кожухів на найбільш шумні агрегати, використання еластичних прокладок та амортизаторів під обладнання для зниження вібрації та структурного шуму. Регулярне технічне обслуговування обладнання, своєчасна заміна зношених підшипників, балансування обертових частин, підтягування кріплень дозволяє запобігти виникненню додаткового шуму від несправностей.

Розміщення шумного обладнання в окремих ізольованих приміщеннях з дистанційним управлінням значно знижує вплив шуму на персонал основних виробничих приміщень. Стіни, підлоги та стелі таких приміщень повинні мати звукопоглинальне та звукоізолююче облицювання. Застосування звукопоглинальних матеріалів на стінах та стелі виробничих приміщень також сприяє зниженню рівня відбитого шуму. Для захисту працівників, які постійно перебувають в зонах з підвищеним рівнем шуму, необхідно передбачити кабінки спостереження з звукоізолюючими огорожами, обладнані системами вентиляції та кондиціонування повітря.

Організаційні заходи зі зниження впливу шуму включають раціональне планування режимів праці та відпочинку, встановлення скороченого робочого дня для працівників, зайнятих в умовах підвищеного шуму, чергування роботи на шумних ділянках з роботою в більш сприятливих умовах. Для працівників, які зайняті на роботах з рівнем шуму, що перевищує нормативні значення, обов'язковим є використання засобів індивідуального захисту органів слуху, таких як протишумні навушники або беруші. Роботодавець зобов'язаний безкоштовно забезпечити працівників якісними сертифікованими засобами захисту, провести навчання щодо правильного їх використання та контролювати постійне застосування під час роботи. Регулярний контроль рівня шуму на робочих місцях повинен здійснюватись атестованими лабораторіями з періодичністю не рідше одного разу на три роки, а також після модернізації обладнання або зміни технологічного процесу.

Таким чином, безпечна експлуатація технологічного обладнання цеху хлібобулкових виробів забезпечується комплексом організаційних та технічних заходів, що включають належну підготовку персоналу, утримання обладнання в справному стані, дотримання правил експлуатації та техніки безпеки, створення комфортних умов освітлення та захист від шкідливого впливу шуму, ефективний контроль з боку керівництва. Тільки системний підхід та свідоме ставлення всіх учасників виробничого процесу до питань охорони праці дозволяє створити безпечні умови праці та запобігти виробничому травматизму.

5.2. Безпека у надзвичайних ситуаціях на хлібозаводі

Хлібозавод як виробниче підприємство харчової промисловості характеризується наявністю специфічних факторів, що можуть призвести до виникнення надзвичайних ситуацій [29, 30] техногенного характеру. До основних небезпек належать пожежі та вибухи борошняного пилу, аварії на технологічному обладнанні, витіки аміаку з холодильних установок, а також можливі надзвичайні ситуації природного характеру. Особливу небезпеку становить борошняний пил, який у певних концентраціях у повітрі від 65 до 2000 г/м³ утворює вибухонебезпечні суміші. Нижня концентраційна межа вибуховості борошняного пилу становить 65 г/м³, що значно нижче за аналогічні показники для багатьох інших горючих речовин. Температура самозаймання борошняного пилу складає 430-450°C, а мінімальна енергія запалювання становить всього 0,02-0,05 Дж, що робить його надзвичайно небезпечним у виробничих умовах.

Система протипожежного захисту хлібозаводу базується на комплексному підході, що включає організаційні та технічні заходи. До організаційних заходів відносяться розробка та затвердження планів евакуації персоналу та матеріальних цінностей, проведення протипожежних інструктажів не рідше одного разу на рік для всього персоналу, створення добровільної пожежної дружини з числа працівників підприємства, забезпечення вільного доступу до евакуаційних виходів та первинних засобів пожежогасіння, а також регулярні перевірки стану протипожежного обладнання та систем сигналізації. Технічні заходи включають обладнання виробничих приміщень автоматичною системою пожежної сигналізації та пожежогасіння, встановлення аспіраційних систем для видалення борошняного пилу з виробничих приміщень, забезпечення герметичності борошнопроводів та обладнання для зберігання борошна, використання вибухозахищеного електрообладнання у приміщеннях категорії Б за вибухопожежною безпекою, застосування автоматичних засобів контролю за

концентрацією пилу в повітрі робочої зони та обладнання вентиляційних систем вибухозапобіжними клапанами.

Згідно з НАПБ Б.07.005-86, виробничі приміщення хлібозаводу класифікуються за категоріями пожежної небезпеки, при цьому борошносховище, просіювальне відділення та приміщення для приготування тіста відносяться до категорії Б як пожежонебезпечні, а випічне відділення належить до категорії В як приміщення з підвищеною пожежною небезпекою. На хлібозаводі функціонує автоматична система оповіщення про пожежу та управління евакуацією людей третього типу, що забезпечує автоматичне включення світлових покажчиків "ВИХІД" при спрацюванні пожежної сигналізації, подачу звукових та мовних сигналів про необхідність евакуації, автоматичне ввімкнення аварійного освітлення евакуаційних шляхів та примусове відчинення дверей евакуаційних виходів. План евакуації розробляється для кожного поверху будівлі та розміщується на видних місцях, включаючи графічну частину з позначенням евакуаційних шляхів, виходів, місць розташування вогнегасників та інших засобів пожежогасіння, а також текстову частину з послідовністю дій персоналу при евакуації. Нормативний час евакуації людей з будівлі хлібозаводу не повинен перевищувати шести хвилин для будівель висотою до трьох поверхів, а практичні тренування з евакуації проводяться не рідше двох разів на рік.

Хлібозавод оснащується первинними засобами пожежогасіння відповідно до вимог НАПБ Б.03.001-2004, що включає порошкові вогнегасники ВП-5 для гасіння електрообладнання під напругою та твердих матеріалів з розрахунку один вогнегасник на 20 м² площі приміщення категорії Б, вуглекислотні вогнегасники ВВК-3,5 для електрощитових та приміщень з електрообладнанням, при цьому вогнегасники розміщуються у легкодоступних місцях на висоті не більше півтора метра від підлоги. Внутрішня пожежна мережа обладнана пожежними кранами діаметром 50 міліметрів, укомплектованими рукавами довжиною 20 метрів та пожежними стволами, при цьому забезпечується водопостачання з розрахунку витрати води не менше 2,5 літрів на секунду на один пожежний кран, а розміщення пожежних кранів здійснюється таким чином, щоб кожна точка

приміщення зрошувалась двома струменями води. Автоматичні системи пожежогасіння включають водяні спринклерні установки в складських приміщеннях з інтенсивністю зрошення 0,1 літра на секунду на квадратний метр, порошкові модулі пожежогасіння в приміщеннях з електрообладнанням та систему автоматичного пожежогасіння у вентиляційних каналах.

Холодильне обладнання хлібозаводу використовує аміак як холодоагент, що відноситься до речовин четвертого класу небезпеки як помірно небезпечні, при цьому аміак має різкий задушливий запах, який відчувається вже при концентрації 0,037 міліграма на літр, а гранично допустима концентрація аміаку в повітрі робочої зони становить 20 міліграмів на кубічний метр. Заходи безпеки при експлуатації аміачних установок передбачають розміщення машинного відділення холодильної установки в окремій будівлі або ізольованому приміщенні з окремим виходом назовні, обладнання приміщення примусовою припливно-витяжною вентиляцією з десятикратним повітрообміном на годину, встановлення газоаналізаторів для автоматичного контролю концентрації аміаку в повітрі, наявність аварійного душу та фонтанчика для промивання очей біля входу до машинного відділення, забезпечення персоналу засобами індивідуального захисту, включаючи протигази марки КД, гумові рукавички та захисні окуляри, а також зберігання нейтралізуючих речовин у вигляді п'ятивідсоткового розчину лимонної або оцтової кислоти для ліквідації витоків аміаку.

План ліквідації аварій на аміачній холодильній установці передбачає чіткий порядок оповіщення відповідальних осіб та аварійних служб, послідовність дій персоналу при виявленні витoku аміаку, способи локалізації та нейтралізації аміаку, а також заходи з евакуації людей із небезпечної зони. При незначному витoku аміаку до десяти кілограмів місце витoku зрошується водою або розчином кислоти, тоді як при значному витoku понад десять кілограмів створюється водяна завіса для осадження парів аміаку, а персонал евакуюється з небезпечної зони радіусом не менше п'ятдесяти метрів.

При виявленні пожежі персонал повинен негайно повідомити по телефону 101 до пожежної охорони, вказавши точну адресу, що горить та наявність людей,

повідомити керівництво підприємства та чергового по об'єкту, вимкнути електроживлення обладнання в зоні пожежі при відсутності загрози життю, приступити до гасіння пожежі первинними засобами пожежогасіння до прибуття пожежної охорони, організувати евакуацію людей згідно з планом евакуації та організувати зустріч пожежних підрозділів, надавши інформацію про осередок пожежі. При вибуху борошняного пилу необхідно припинити роботу всього технологічного обладнання, знеструмити приміщення, де стався вибух, організувати евакуацію персоналу з небезпечної зони, надати першу допомогу постраждалим, викликати швидку медичну допомогу та пожежну охорону, а до прибуття спеціалістів забезпечити охорону місця події. При витокі аміаку слід включити аварійну вентиляцію машинного відділення, спробувати перекрити витік аміаку запірною арматурою при наявності засобів індивідуального захисту, повідомити диспетчера житлово-комунального господарства за телефоном 104 та газорятувальну службу, евакуювати людей з приміщення та прилеглої території в радіусі від п'ятдесяти до ста метрів, організувати зрошування місця витoku водою або розчином кислоти та заборонити користування відкритим вогнем і куріння поблизу місця аварії.

Для захисту персоналу при ліквідації надзвичайних ситуацій на хлібозаводі передбачені засоби індивідуального захисту, що включають засоби захисту органів дихання у вигляді протигазів фільтруючих марки КД від аміаку в кількості десяти штук, саморятівників фільтруючих СПІ-20 від продуктів горіння по два на кожному поверсі та респіраторів протипилових типу "Пелюсток" для всіх працівників борошносховища, засоби захисту шкіри, включаючи п'ять костюмів хімічного захисту Л-1, гумові рукавички та чоботи для працівників холодильного відділення і двадцять захисних окулярів закритого типу, а також медичні засоби у вигляді аптечок першої допомоги в кожному виробничому приміщенні, двох комплектів санітарних носилок, протиопікових засобів та перев'язувальних матеріалів. Всі засоби індивідуального захисту зберігаються в легкодоступних місцях, укомплектовані та готові до застосування, при цьому щоквартально проводиться перевірка їх справності та терміну придатності.

Підготовка працівників хлібозаводу до дій у надзвичайних ситуаціях включає вступний інструктаж з питань охорони праці та пожежної безпеки при прийнятті на роботу, первинний інструктаж на робочому місці з відпрацюванням практичних навичок використання вогнегасників та інших засобів пожежогасіння, повторний інструктаж не рідше одного разу на рік, позапланові інструктажі при зміні технологічного процесу або після виявлення порушень вимог безпеки, тренування з евакуації персоналу не рідше двох разів на рік, навчання членів добровільної пожежної дружини за спеціальною програмою та щорічні заняття за планом ліквідації аварій на аміачній холодильній установці. Всі працівники, допущені до роботи на хлібозаводі, повинні знати можливі причини виникнення пожеж та вибухів на виробництві, правила поведінки при пожежі і способи та засоби гасіння, розташування евакуаційних виходів та первинних засобів пожежогасіння, порядок виклику пожежної охорони та повідомлення про аварію, а також прийоми надання першої допомоги постраждалим.

Забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях на хлібозаводі досягається комплексом організаційних та технічних заходів, спрямованих на попередження виникнення пожеж, вибухів та аварій на технологічному обладнанні, при цьому особлива увага приділяється контролю за концентрацією борошняного пилу, безпечній експлуатації аміачної холодильної установки та готовності персоналу до дій у надзвичайних ситуаціях. Регулярні тренування з евакуації, навчання працівників та підтримання в справному стані систем протипожежного захисту є необхідними умовами для забезпечення безпеки людей та збереження матеріальних цінностей підприємства.

Висновки

У дипломній роботі вирішується задача модернізації місильного вузла машини марки Г4-МТМ-330-01 для замішування тіста, що дозволить підвищити ефективність роботи машини. Пропонується використати профіль робочого органу трикутної форми.

На основі проведеного моделювання у середовищі SolidWorks Simulation було детально проаналізовано напружено-деформований стан робочого органу місильної машини марки Г4-МТМ-330-01. Дослідження динаміки параметрів при зміні товщини стінки від 2 до 3,5 мм дозволило встановити чіткі математичні закономірності та оцінити конструктивну надійність вузла².

Отримані результати свідчать про те, що товщина стінки є критичним чинником, який визначає ресурс роботи обладнання. Максимальні напруження за фон Мізесом демонструють стійку тенденцію до зниження: при мінімальній товщині стінки 2 мм вони досягають пікового значення 314,3 МПа, тоді як при збільшенні товщини до 3,5 мм цей показник падає до 182,9 МПа. Рівняння регресії для максимальних напружень має вигляд $\sigma_{max} = -87.42 \delta + 478.4$, що підтверджує лінійне розвантаження конструкції при її потовщенні.

Паралельно зі зниженням напружень спостерігається покращення жорсткості робочого органу. Результуюче переміщення скорочується майже вдвічі — з 9,95 мм до 5,24 мм при переході від 2 мм до 3,5 мм товщини стінки⁴. Математична модель цього процесу ($u_{max} = 3.078 \cdot \delta + 15.98$) вказує на високу ефективність нарощування металоємності саме в цьому діапазоні для стабілізації геометрії лопаті під час замішування густого тіста.

Найбільш показовим параметром дослідження є коефіцієнт запасу міцності. Аналіз показав, що конструкція з товщиною стінки 2 мм є недопустимою для експлуатації, оскільки її мінімальний запас міцності становить лише 0,875. Це значення менше одиниці, що свідчить про неминучий вихід виробу з ладу під номінальним навантаженням.

Зі збільшенням товщини стінки надійність зростає за лінійним законом

$$n_{min} = 0.063 + 0.413 \cdot \delta :$$

при товщині 2,5 мм коефіцієнт становить 1,13;

при товщині 3,0 мм показник досягає 1,33;

при максимальному значенні 3,5 мм запас міцності становить 1,50.

Для забезпечення безаварійної роботи машини Г4-МТМ-330-01 товщина стінки робочого органу повинна становити не менше 3,5 мм. Це дозволяє досягти нормативного запасу міцності (1,5) та мінімізувати еквівалентні деформації до рівня 0,00052, що гарантує довговічність вузла при інтенсивних механічних навантаженнях.

Запропоновані в роботі технічні рішення мають практичну цінність та відповідають сучасним вимогам. Отримані в результаті чисельного моделювання дані можуть бути застосовані як при удосконаленні наявних зразків обладнання, так і при створенні нових конструктивних рішень.

Перелік посилань

1. Черкас В. Застосування IoT у переробній промисловості // Матеріали VII Міжнародної студентської науково-технічної конференції. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, 2024. С. 289.
2. Черкас Н. Порівняльний аналіз конструкцій та ефективності змішувачів для різних типів харчових сумішей // Матеріали VIII Міжнародної студентської конференції „Природничі та гуманітарні науки“, Тернопіль, 24-25 квітня 2025 року. 2025. С. 367.
3. Крупа, В. В. Кваліфікаційна робота магістра: структура, вимоги до виконання та захист: методичні рекомендації для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Галузеве машинобудування» зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» галузі знань 13 «Механічна інженерія» для здобувачів всіх форм здобуття освіти / В. В. Крупа та ін. – Тернопіль: ТНТУ, 2023. – 66 с.
4. Самойчук, К. О. Технологічне обладнання хлібопекарської і макаронної галузі / К. О. Самойчук та ін. – Мелітополь: Видавничий будинок ММД, 2021. – 372 с.
5. Лисовенко, О. Т. Технологічне обладнання хлібопекарських і макаронних виробництв / О. Т. Лисовенко та ін. – Київ: Наукова думка, 2000. – 283 с.
6. Черевко, О. І. Технологічне обладнання малих харчових та переробних виробництв. Частина 3. Технологічне обладнання малих хлібопекарських і макаронних виробництв: навчальний посібник / О. І. Черевко та ін. – Харків: Харківський державний університет харчування та торгівлі, 2013. – 96 с.
7. Гвоздєв, О. В. Машини та обладнання хлібопекарського виробництва: підручник / О. В. Гвоздєв, Ф. Ю. Ялпачик, В. О. Олексієнко. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2010. – 312 с.
8. Петько, В. Ф. Технологічне устаткування хлібопекарського, макаронного і кондитерського виробництв / В. Ф. Петько та ін. – Київ: Центр учбової літератури, 2007. – 432 с.

9. Грищенко, І. М. Основи наукових досліджень / І. М. Грищенко, О. М. Григоренко, В. А. Борисейко. – Київ: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2001. – 124 с.
10. Білуха, М. Т. Методологія наукових досліджень / М. Т. Білуха. – Київ: АБУ, 2002. – 480 с.
11. Weber, M. SolidWorks Simulation 2017 Black Book / M. Weber, G. Verma. – CAD/CAM/CAE Works, 2016. – 362 p.
12. Ворошук, В. Я. Інжиніринг та 3D моделювання в середовищі SolidWorks: навч. посіб. / В. Я. Ворошук, Т. М. Вітенько. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2023. – 164 с.
13. Systemes, D. Theoretical Manual SolidWorks Simulation / D. Systemes. – Dassault Systemes, 2015. – 114 p.
14. Kurowski, P. M. Engineering Analysis with SolidWorks Simulation 2018 / P. M. Kurowski. – USA: SDC Publications, 2018. – 597 p.
15. Закалов, О. В. Розрахунок типових робочих органів технологічного обладнання харчових виробництв / О. В. Закалов, А. І. Бортник. – Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2005. – 105 с.
16. Мирончук, В. Г. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості: навчальний посібник / В. Г. Мирончук та ін. – Вінниця: Нова книга, 2004. – 228 с.
17. Кіркач, Н. Ф. Розрахунки і проектування деталей машини / Н. Ф. Кіркач, Р. А. Баласанян. – Харків: Основа, 1991. – 275 с.
18. Павлище, В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин / В. Т. Павлище та ін. – Київ: Вища школа, 1993. – 556 с.
19. Ялпачик, В. Ф. Монтаж, експлуатація і ремонт машин та обладнання переробних підприємств / В. Ф. Ялпачик та ін. – Мелітополь: Таврійський державний агротехнологічний університет, 2014. – 235 с.
20. Рурський, П. В. Монтаж, ремонт, наладка обладнання харчових виробництв / П. В. Рурський та ін. – Харків, 2001. – 230 с.
21. Пчелінцев, В. О. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів: навч. посіб. / В. О. Пчелінцев, А. І. Дегула. – Суми: СумДУ, 2012. – 247 с.

- 22.Вітенько, Т. М. Сучасні підходи до конструювання і моделювання робочих органів технологічного обладнання харчових виробництв / Т. М. Вітенько, В. Я. Ворошук. Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності: третя міжнародна науково-практична конференція, 4–6 вересня 2019 р. / під ред. Дейниченко Г. В. – ХДУХТ, 2019. – С. 108–109.
- 23.Lombard, M. Mastering SolidWorks / M. Lombard. – Sybex, 2019. – 1219 p.
- 24.Keska, P. SolidWorks 2021: Part Modeling, Assemblies, and Drawings / P. Keska. – CADvantage, 2021. – 1586 p.
- 25.Petrova, R. V. Introduction to Static Analysis Using SolidWorks Simulation / R. V. Petrova. – CRC Press, 2015. – 348
- 26.Development of digital twin interface for Industry 4.0 production line / Y. Skorenkyu et al. CEUR Workshop Proceedings. 2024. Vol. 3742. P. 358–369.,
- 27.Грибан, В. Г. Охорона праці: навчальний посібник / В. Г. Грибан, О. В. Негодченко. – Київ: Центр учбової літератури, 2009. – 280 с.
- 28.Ткачук, К. Н. Основи охорони праці: підручник / К. Н. Ткачук та ін. – 2-ге вид. – Київ: Основа, 2006. – 448 с. (Зверніть увагу на скорочення "вид." замість "ed." та дефіс між "2" та "ге")
- 29.Стручок, В. С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В. С. Стручок. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – 156 с.
- 30.Березуцький, В. В. Безпека життєдіяльності: навчальний посібник / за ред. В. В. Березуцького. – Харків: Факт, 2005. – 384 с.

Додатки

Дотаток А

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет в Кошице (Словаччина)
Каунаський технологічний університет (Литва)
Львівський національний університет
імені Івана Франка,
Гірничо-металургійна академія ім. Станіслава Сташиця (Польща)
Луцький національний технічний університет,
Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича,
Вроцлавський економічний університет (Польща)
Університет технологій та економіки
імені Хелени Ходковської (Польща)
Донбаська державна машинобудівна академія



*Студентське наукове
товариство*



VIII МІЖНАРОДНА
студентська науково - технічна конференція

**"ПРИРОДНИЧІ ТА ГУМАНІТАРНІ
НАУКИ.**

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ"

24-25 квітня 2025 р.

(збірник тез конференції)

Тернопіль 2025

УДК 664.0

Черкас Н. – ст. гр. МОМ-51

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗМІШУВАЧІВ ДЛЯ РІЗНИХ ТИПІВ ХАРЧОВИХ СУМІШЕЙ

Науковий керівник: к.т.н. В. Ворошчук

Cherkas N.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

COMPARATIVE ANALYSIS OF MIXER DESIGNS AND EFFICIENCY FOR DIFFERENT TYPES OF FOOD MIXTURES

Supervisor: V. Voroshchuk

Ключові слова: змішування, виробництво, порошок, конструкція.

Keywords: змішування, виробництво, порошок, конструкція.

Процес змішування є ключовим етапом у виробництві харчових продуктів, впливаючи на їх якість та термін зберігання. Ринок пропонує різні конструкції змішувачів залежно від властивостей оброблюваних продуктів.

Змішувачі для сухих сипких продуктів представлені горизонтальними лопатевими, стрічковими та шнековими конструкціями. Найуніверсальнішими є двострічкові змішувачі з протилежним обертанням спіралей (коефіцієнт варіації 3-5% за 5-7 хвилин).

Для в'язких пластичних мас ефективні лопатеві змішувачі з Z-подібними робочими органами, що створюють зсувні напруження 15-20 кПа при швидкостях 15-30 об/хв. Їх модифікацією є сігма-змішувачі для неньютонівських сумішей.

Для висококогезійних порошків оптимальні відцентрові змішувачі з вертикальним ротором, що забезпечують змішування за 2-3 хвилини при числі Фруда 3,5-5,0.

Змішувачі безперервної дії інтегруються в потокові лінії з продуктивністю до 20-25 т/год. Їх ефективність залежить від співвідношення швидкостей валів (оптимально 1:1,2-1,4).

Для емульсійних систем застосовують роторно-статорні змішувачі, що створюють високі градієнти швидкості для формування стабільних емульсій. Оптимальне співвідношення діаметрів ротора і статора становить 0,96-0,98.

Планетарні змішувачі ефективні для неоднорідних систем з різною густиною компонентів. Оптимальне співвідношення кутових швидкостей планетарного руху до обертання становить 1:2-1:3.

Для високов'язких систем використовують двоконусні змішувачі з оптимальними зсувними напруженнями 15-25 Па для розподілу твердих частинок без руйнування структури.

Імпульсні системи створюють пульсації до 2000 Гц, забезпечуючи інтенсивність дисипації енергії 10^5 - 10^6 Вт/кг, але мають високу енергоємність.

Вибір оптимальної конструкції має ґрунтуватися на аналізі властивостей сумішей, технологічних вимог та економічних факторів. Для складних систем ефективне застосування багатостадійних процесів.

Савич І. ПЕРСПЕКТИВНІ РІШЕННЯ ДОЗАТОРІВ ДЛЯ РІДКИХ ПРОДУКТІВ У ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВOSTІ	363
Савулій Т. КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ СИСТЕМИ БЕЗРОЗБІРНОЇ МИЙКИ (CIP) ДЛЯ ТЕПЛООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ МОЛОЧНОЇ ПРОМИСЛОВOSTІ	364
Сигіль Б. ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУШИЛЬНИХ УСТАНОВОК КОНВЕКТИВНОГО ТИПУ ШЛЯХОМ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ РОЗПОДІЛУ ПОВІТРЯ	365
Хома А. ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ШНЕКОВИХ ПРЕСІВ У ВИРОБНИЦТВІ ОЛІЇ	366
Черкас Н. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗМІШУВАЧІВ ДЛЯ РІЗНИХ ТИПІВ ХАРЧОВИХ СУМІШЕЙ	367
Мартинів Ю. ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ В ПРОЦЕСАХ СУШІННЯ	368
Кутень Р. ПЕРЕВАГИ ПЛАСТИНЧАСТИХ ТЕПЛООБМІННИХ УСТАНОВОК	369
Ракочий Г. ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ЕРГОНОМІКИ КОНСТРУКЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ SOLIDWORKS НА ЕТАПІ ПРОЕКТУВАННЯ	370
Кожушко В. ПРОЕКТУВАННЯ У SOLIDWORKS РЕЗЕРВУАРІВ ВЕЛИКОЇ МІСТКОСТІ ДЛЯ ПИВА	371
Музичишин Я. МОНІТОРИНГ ІНФОРМАЦІЙНИХ ВЕБ СИСТЕМ ПАРКУВАННЯ	372