

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Удосконалення вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для
формування макаронних виробів

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

(шифр і назва спеціальності)

Мецан М.В.

(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)

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.

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва спеціальності)

здобувачу вищої освіти Мецан Максим Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів

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 преса марки ПМ-75 для макаронних виробів.

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

Анотація. Вступ. 1. Аналіз сучасного стану об'єкту дослідження, вибір і обґрунтування основних напрямків дослідження. 2. Підбір засобів, методів та методик досліджень. 3.

Конструктивна частина. 4. Моделювання і дослідження робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів. 5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях. 5.1. Охорона праці. 5.2. Безпека у надзвичайних ситуаціях. Висновки

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

1. Прес макаронний марки ПМ-75.(1 л. ф. А1)

2. Прес макаронний марки ПМ-75. Кінематична схема.(1 л. ф. А1)

3. Приймаючий вузол преса ПМ-75.(1 л. ф. А1)

4. Пресуючий вузол преса ПМ-75.(1 л. ф. А1)

5. Результати дослідження результуючого переміщення URES робочого органу вузла приготування тіста.(1 л. ф. А1)

6. Результати дослідження еквівалентної деформація ESTRN робочого органу вузла приготування тіста.(1 л. ф. А1)

7. Результати напружень за фон Мізесом робочого органу вузла приготування тіста.(1 л. ф. А1)

8. Результати дослідження коефіцієнту запасу міцності FOS робочого органу вузла приготування тіста.(1 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. Підбір засобів, методів та методик досліджень		
5	3. Конструктивна частина		
6	4. Моделювання і дослідження робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів		
7	5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях		
8	5.1. Охорона праці		
9	5.2. Безпека у надзвичайних ситуаціях		
10	Висновки		
11	Графічна частина		
12	1. Прес макаронний марки ПМ-75.(1 л. ф. А1)		
13	2. Прес макаронний марки ПМ-75. Кінематична схема.(1 л. ф. А1)		
14	3. Приймаючий вузол преса ПМ-75.(1 л. ф. А1)		
15	4. Пресуючий вузол преса ПМ-75.(1 л. ф. А1)		
16	5. Результати дослідження результуючого переміщення URES робочого органу вузла приготування тіста.(1 л. ф. А1)		
17	6. Результати дослідження еквівалентної деформація ESTRN робочого органу вузла приготування тіста.(1 л. ф. А1)		
18	7. Результати напружень за фон Мізесом робочого органу вузла приготування тіста.(1 л. ф. А1)		
19	8. Результати дослідження коефіцієнту запасу міцності FOS робочого органу вузла приготування тіста.(1 л. ф. А1)		

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Межан М.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Ворощук В.Я.

_____ (прізвище та ініціали)

Анотація

Виконавець кваліфікаційної роботи – Мецан Максим Володимирович.

Тема роботи: Удосконалення вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів.

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

Кваліфікаційна робота складається з розрахунково-пояснювальної записки на 81 сторінці (включає 31 рисунок) та графічної частини, що містить 8 креслень формату А1.

У даній кваліфікаційній роботі запропоновано заходи щодо удосконалення вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів. На основі аналітичного огляду макаронних пресів запропоновано заходи з удосконалення преса марки ПМ-75. Виконано технологічні і конструктивні розрахунки преса марки ПМ-75; виконано дослідження 3d моделей робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів.

Ключові слова: удосконалення, екструдер, машина, макарони.

Abstract

Metzan Maxim. Improvement of the dough-preparation unit of the PM-75 press for forming pasta products.

The work was performed at the Ivan Pul'uj Ternopil National Technical University in 2025.

The qualification work consists of an explanatory note on 80 pages (including 31 figures) and a graphic part containing 8 drawings in A1 format.

This qualification work proposes measures to improve the dough preparation unit of the PM-75 press for forming pasta products. Based on an analytical review of pasta presses, measures to improve the PM-75 press are proposed. Technological and design calculations for the PM-75 press have been performed; research has been conducted on 3D models of the working body of the PM-75 dough preparation unit for forming pasta products.

Keywords: improvement, extruder, machine, pasta.

Зміст

Завдання	
Анотація	4
Abstract	5
Зміст.....	6
Вступ	8
1. Аналіз сучасного стану об'єкту дослідження, вибір і обґрунтування основних напрямків дослідження	11
1.1. Аналіз сучасних рішень для формування макаронів	11
1.2. Аналіз та короткий опис макаронного преса ПМ-75	26
1.3. Мета та задачі, які виконуються у кваліфікаційній роботі.....	29
2. Підбір засобів, методів та методик досліджень.....	30
2.1. Методологія дослідження	30
2.2. Загальна характеристика системи SolidWorks.....	31
2.3. Обґрунтування застосування SolidWorks Simulation у роботі	32
2.4. Критерії міцності та аналіз результатів.....	34
3. Конструктивна частина	37
3.1. Розроблення заходів з модернізації преса	37
3.2. Технологічний розрахунок макаронного преса.....	38
3.3. Конструкторський розрахунок пресуючого шнека.....	39
3.4. Заходи з експлуатації і технічного обслуговування макаронного преса марки ПМ-75	44
4. Моделювання і дослідження робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів.....	48
4.1 Постановка задач для дослідження.....	48
4.2. Аналіз отриманих результатів	60
4.3. Висновки по розділу	64
5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	66
5.1. Охорона праці.....	66

5.2. Безпека у надзвичайних ситуаціях.....	72
Загальні висновки	76
Перелік посилань	78
Додатки	
Додаток А	
Специфікації	

Вступ

Макаронна промисловість України є важливою складовою харчової галузі, а якість готової продукції безпосередньо залежить від досконалості технологічного обладнання, зокрема вузла приготування тіста. Прес марки ПМ-75, який широко експлуатується на вітчизняних підприємствах, морально застарів і не відповідає сучасним вимогам до якості макаронних виробів через недосконалість конструкції вузла приготування тіста. Основними проблемами є нерівномірне замішування компонентів, утворення повітряних включень у тістовій масі, недостатня гомогенізація суміші та відсутність ефективного вакуумування, що призводить до крихкості готових макаронів, їх підвищеної ламкості при транспортуванні та зниження товарного вигляду продукції.

Удосконалення вузла приготування тіста є актуальним завданням, оскільки дозволить підвищити конкурентоспроможність вітчизняної макаронної продукції на ринку без необхідності повної заміни дорогого імпортного обладнання. Модернізація існуючих пресів шляхом впровадження сучасних технічних рішень у вузол приготування тіста забезпечить покращення структурно-механічних властивостей готових виробів, зменшення кількості браку, економію сировини та енергоресурсів, а також підвищення продуктивності виробництва. Це особливо важливо в умовах зростаючих вимог споживачів до якості харчових продуктів та необхідності дотримання сучасних стандартів виробництва макаронних виробів.

В роботі виконуються наступні завдання [1, 2]:

аналіз наявного на ринку обладнання для виготовлення макаронних виробів;

технологічний і конструктивний розрахунок преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів;

вибір рішення щодо робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів;

дослідження 3d моделей робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів;

аналіз результатів дослідження напружено-деформованого стану робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів;

вирішення окремих питань охорони праці та окремих питань безпеки у надзвичайних ситуаціях;

Об'єктом дослідження є напруження, переміщення та деформації робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів.

Предмет дослідження. Прес марки ПМ-75 для формування макаронних виробів.

Методи досліджень в роботі.

аналітичний метод (огляд літератури, патентний пошук, аналіз конструкцій);

розрахунково-теоретичний метод (кінематичні, силові, міцнісні розрахунки);

метод 3D-моделювання (проектування у CAD-системах).

Наукова новизна:

розроблено математичні моделі регресії, які дозволяють прогнозувати максимальні напруження за критерієм фон Мізеса, результуючі переміщення робочих органів та коефіцієнт запасу міцності залежно від кута нахилу лопаток

науково обґрунтовано раціональні конструктивні параметри робочого органу, за яких досягається оптимальний розподіл механічних навантажень, мінімізація пружних деформацій та підвищення жорсткості конструкції;

встановлено взаємозв'язок між геометрією лопаток та експлуатаційною надійністю вузла приготування тіста, що створює теоретичну основу для подальшої оптимізації конструкції преса.

Отримані результати доцільно застосовувати при модернізації існуючого обладнання, а також при проектуванні нових одиниць технологічного обладнання для виробництва макаронних виробів.

Результати магістерського дослідження представлено на XIV Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», що відбулася 11-12 грудня 2025 року.

Кваліфікаційна робота включає пояснювальну записку з п'яти розділів, додатки та графічну частину обсягом 8 аркушів формату A1.

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

1.1. Аналіз сучасних рішень для формування макаронів

Макаронні преси становлять основу виробництва макаронних виробів і відрізняються значною різноманітністю конструкцій, технологічних рішень та призначення [3-11].

Спосіб транспортування та ущільнення тіста є одним із найважливіших параметрів макаронного преса, що визначає якість кінцевого продукту та ефективність виробництва. Шнекові преси залишаються найпоширенішим типом обладнання у сучасній макаронній промисловості. Принцип їх роботи базується на використанні одного або кількох гвинтових валів, які не лише транспортують тісто до формуючої матриці, але й виконують критично важливі функції ущільнення маси та видалення повітряних включень. Шнек створює поступово наростаючий тиск, що забезпечує рівномірну консистенцію тіста та його оптимальну готовність до формування. Одношнекові конструкції відзначаються простотою обслуговування та надійністю, тоді як двошнекові варіанти забезпечують більш інтенсивне перемішування та ущільнення, що особливо важливо при роботі з щільними сортами тіста або при включенні додаткових інгредієнтів.

Поршневі преси представляють альтернативний підхід до створення формуючого тиску. У таких системах тісто завантажується у спеціальний циліндр, після чого потужний поршень виштовхує його крізь матрицю під значним тиском. Ця конструкція дозволяє досягати надзвичайно високих показників тиску, що виявляється незамінним при виробництві особливо щільних сортів макаронів або виробів із складною структурою. Поршневі преси частіше знаходять застосування у спеціалізованих виробництвах або на підприємствах середнього масштабу, де цінується можливість точного контролю процесу формування.

Валкові преси займають особливу нішу у виробництві плоских та листових макаронних виробів. Їхня конструкція передбачає пропускання тіста через систему обертових циліндрів, які поступово формують пласт заданої товщини та текстури. Валки можуть мати гладку або рифлену поверхню залежно від бажаного результату. Цей тип обладнання незамінний при виготовленні листів для лазаньї, широкої локшини, паппарделе та інших плоских форм макаронних виробів.

Продуктивність макаронного преса визначає його місце у виробничому ланцюгу та відповідність масштабам підприємства. Лабораторні преси з продуктивністю до п'яти кілограмів на годину призначені виключно для науково-дослідних цілей. Ці компактні та точні пристрої використовуються технологами для розробки нових рецептур, тестування властивостей різних сортів борошна, експериментування з добавками та дослідження впливу різних параметрів процесу на якість готової продукції.

Малопотужні преси з продуктивністю від п'яти до п'ятдесяти кілограмів на годину охоплюють сегмент побутового використання та невеликих комерційних виробництв. Такі машини ідеально підходять для домашніх кухонь, невеликих ресторанів, що спеціалізуються на свіжих макаронах, кафе та міні-пекарень. Їхня компактність дозволяє розмістити обладнання навіть у обмеженому просторі, а відносна простота конструкції забезпечує легке обслуговування та можливість роботи без спеціальної технічної підготовки персоналу.

Середньопотужні преси з діапазоном продуктивності від п'ятдесяти до трьохсот кілограмів на годину становлять оптимальне рішення для регіональних виробництв, цехів при супермаркетах та середніх підприємств харчової промисловості. Ці машини вже вимагають більш професійного підходу до експлуатації, але при цьому залишаються достатньо гнучкими для швидкого перенастроювання та роботи з різними типами продукції. Вони забезпечують баланс між достатньою продуктивністю для комерційного

виробництва та збереженням можливості індивідуального підходу до кожної партії продукції.

Високопотужні промислові преси з продуктивністю від трьохсот кілограмів на годину до декількох тонн представляють вершину макаронного обладнання. Встановлені на великих макаронних фабриках, ці потужні агрегати розраховані на безперервну роботу у декілька змін та виробництво величезних обсягів стандартизованої продукції. Такі системи зазвичай інтегровані у повністю автоматизовані виробничі лінії, що включають усі етапи від приймання сировини до упаковки готової продукції.

Спеціалізація преса за типом макаронних виробів визначає особливості його конструкції та набір технологічних можливостей. Преси для коротких виробів оптимізовані для виробництва ріжків, спіралей, черепашок, пен'є, фузіллі та безлічі інших компактних форм. Ключовою особливістю такого обладнання є наявність спеціалізованих різальних механізмів, розташованих безпосередньо біля виходу з матриці. Ці пристрої працюють синхронно з швидкістю екструзії тіста, забезпечуючи рівномірну довжину кожного виробу та високу продуктивність процесу.

Преси для довгих виробів мають принципово іншу конструкцію, адаптовану до специфіки виробництва спагетті, вермішелі, лінгвіні, фетучіні та інших ниткоподібних форм. Матриці таких пресів обладнані довгими каналами, що забезпечують рівномірну екструзію тіста по всій довжині нитки. Критично важливою частиною системи є механізм розвішування або акуратного розкладання свіжосформованих довгих макаронів, який запобігає їх злипанню та забезпечує рівномірне висихання по всій довжині.

Універсальні преси представляють гнучке рішення для виробництв, що потребують широкого асортименту продукції. Завдяки системі швидкозмінних матриць та адаптивним різальним механізмам, таке обладнання може за короткий час перенастроюватися з виробництва одного типу виробів на інший. Це робить універсальні преси незамінними для підприємств середнього

розміру, що орієнтуються на мінливий попит ринку та намагаються пропонувати споживачам максимально різноманітний асортимент.

Преси для листових виробів спеціалізуються на створенні тонких та широких пластів тіста, що використовуються для приготування лазаньї, канелоні, основи для равіолі та інших подібних страв. Зазвичай такі преси мають валкову конструкцію, яка дозволяє отримувати пласти рівномірної товщини з гладкою або текстурованою поверхнею залежно від потреби.

Ступінь автоматизації макаронного преса визначає не лише його продуктивність, але й вимоги до кваліфікації персоналу, стабільність якості продукції та економічну ефективність виробництва. Ручні преси представляють найпростішу категорію обладнання, де більшість або всі операції виконуються за рахунок фізичних зусиль оператора. Такі пристрої зберігають популярність у домашньому виробництві та невеликих ремісничих майстернях, де цінується традиційний підхід та можливість повного контролю кожного етапу процесу. Попри свою простоту та доступність, ручні преси вимагають значних фізичних зусиль та часу, що обмежує їх використання невеликими обсягами виробництва.

Напівавтоматичні преси становлять компроміс між традиційним підходом та сучасними технологіями автоматизації. У таких системах основні технологічні операції, зокрема подача тіста шнеком та процес пресування, виконуються автоматично під керуванням електричного приводу. Водночас оператор зберігає контроль над завантаженням сировини, зміною матриць та вивантаженням готової продукції. Такий рівень автоматизації виявляється оптимальним для малого та середнього бізнесу, де потрібна достатня продуктивність без значних капіталовкладень у повністю автоматизоване обладнання.

Автоматичні преси представляють сучасний рівень технологічного розвитку макаронної промисловості. Ці комплексні системи охоплюють весь виробничий цикл від автоматичного дозування та змішування інгредієнтів до пресування, різання та первинного розкладання готової продукції. Обладнані

потужними системами програмного керування, такі преси дозволяють точно контролювати всі параметри процесу, зберігати та відтворювати рецептури, моніторити якість продукції в режимі реального часу. Інтегровані датчики відстежують температуру, вологість, тиск та інші критичні параметри, автоматично корегуючи роботу обладнання для досягнення оптимального результату.

Роботизовані комплекси представляють найвищий рівень автоматизації у макаронній промисловості. Такі системи включають не лише автоматизовані преси, але й промислових роботів, що виконують операції сортування, упаковки, палетування та транспортування готової продукції. Участь людського персоналу зводиться до контролю та нагляду за роботою систем, налаштування параметрів виробництва та технічного обслуговування. Роботизовані лінії забезпечують максимальну точність, повторюваність результатів та гігієнічність виробництва, що особливо важливо для великих підприємств, орієнтованих на експорт та суворі стандарти якості.

Матриця є основою макаронного преса, і її конструктивні особливості безпосередньо впливають на характеристики готової продукції. Преси з бронзовими матрицями вважаються еталоном у традиційному італійському виробництві макаронів преміум-класу. Пориста структура бронзи створює легку шорсткість на поверхні макаронів, що має не лише естетичне, але й практичне значення. Така текстурована поверхня значно краще утримує соуси, дозволяючи їм рівномірно розподілятися по виробу та проникати у мікропори. Бронзові матриці вимагають більшої уваги при експлуатації, швидше зношуються та коштують дорожче, але саме вони забезпечують той автентичний смак та текстуру, за які цінується справжня італійська паста.

Преси з тефлоновими матрицями домінують у масовому промисловому виробництві завдяки своїм практичним перевагам. Антипригарне покриття створює ідеально гладку, майже полірована поверхню макаронів, що надає їм характерного блиску та привабливого зовнішнього вигляду. Тефлонові матриці відзначаються винятковою довговічністю, простотою очищення та здатністю

підтримувати високу швидкість екструзії без налипання тіста. Хоча така гладка поверхня дещо гірше утримує соуси порівняно з бронзовими аналогами, це компенсується економічною ефективністю та стабільністю виробничого процесу.

Преси зі змінними матрицями відкривають можливості для диверсифікованого виробництва без необхідності придбання декількох спеціалізованих машин. Система швидкої заміни матриць дозволяє виробникам гнучко реагувати на попит, оперативно переходячи від виробництва одного типу макаронів до іншого. Сучасні конструкції забезпечують можливість заміни матриці за лічені хвилини, мінімізуючи простой обладнання та втрати продуктивності.

Тип приводу визначає енергетичну ефективність, контрольованість процесу та надійність роботи макаронного преса. Електричні преси становлять абсолютну більшість сучасного обладнання завдяки поєднанню зручності, надійності та точності контролю. Електричний привод забезпечує стабільну потужність незалежно від коливань навантаження, дозволяє плавно регулювати швидкість роботи та легко інтегрується із системами автоматизації. Сучасні електричні преси обладнані частотними перетворювачами, що забезпечують м'який старт, запобігають перевантаженням та дозволяють тонко налаштовувати параметри роботи під конкретний тип тіста.

Гідравлічні преси використовують енергію стисненої рідини для створення формуючого тиску. Така конструкція дозволяє досягати надзвичайно високих та рівномірно розподілених зусиль, що може бути критично важливим для певних технологій виробництва. Гідравлічні системи забезпечують плавність роботи та можливість точного дозування зусилля, проте вимагають складнішого обслуговування та наявності додаткового гідравлічного обладнання. Через це вони застосовуються переважно у спеціалізованих виробництвах або для унікальних технологічних процесів.

Механічні ручні преси працюють виключно за рахунок м'язової сили оператора, що передається через систему важелів та шестерень до формуючого

механізму. Незважаючи на свою архаїчність, такі пристрої зберігають прихильність у середовищі домашніх кулінарів та майстрів традиційного виробництва, які цінують простоту конструкції, відсутність залежності від електроенергії та повний контроль процесу.

Сучасний ринок макаронного обладнання пропонує широкий спектр екструдерів, кожен із яких має унікальні характеристики та призначення. Для глибокого розуміння особливостей різних моделей варто розглянути їх із різних перспектив: технологічної, економічної, експлуатаційної та ринкової.

Макаронний прес La Monferrina P30 (Італія).



Рисунок 1.1. Макаронний прес La Monferrina P30 (Італія).

Продуктивність	До 100 кг/год
Місильна місткість	30 кг
Потужність двигуна	2.2 кВт – 4.0 кВт (залежно від конфігурації)
Напруга	380 В (трифазна)

Особливості	Вбудована система різання, водяне або повітряне охолодження головки екструдера, можливість встановлення вакуумної системи.
Вага	250 кг

La Monferrina P30 – це флагманська екструзійна установка для пасти, розроблена та вироблена італійським концерном La Monferrina, позиціонована в сегменті середнього промислового виробництва. Ця система являє собою консолідацію понад столітнього інженерного досвіду в галузі макаронного обладнання з інтеграцією сучасних технологічних інновацій. Модель P30 призначена для забезпечення високоякісної та безперервної екструзії в умовах інтенсивного виробничого циклу.

В основі P30 є потужний шнековий механізм, оптимізований для генерації рівномірного та контрольованого тиску, що є критичним для досягнення необхідної щільності та гомогенності тістової маси.

Ключовою технічною особливістю є інтегрована система активного повітряного охолодження зони екструзії. Під час високоінтенсивного пресування тісто піддається значному тепловому навантаженню, спричиненому тертям, що може призвести до денатурації білків та порушення реологічних властивостей тіста, особливо при роботі зі збагаченими або безглютеновими рецептурами. Система охолодження P30 підтримує стабільну, оптимальну температуру в камері екструдера, гарантуючи незмінну якість кінцевого продукту та можливість роботи в режимі 24/7 (тризмінна експлуатація).

Універсальність моделі забезпечується сумісністю з двома основними типами формуючих матриць:

Бронзові матриці. Використовуються для виробництва преміальних сортів пасти. Вони надають поверхні характерної шорсткої (рустичної) текстури, що покращує адгезію соусів.

Тefлонові (PTFE) матриці. Застосовуються для масового виробництва. Забезпечують гладку поверхню продукції та сприяють підвищенню швидкості екструзії (зростання пропускної здатності).

Система обладнана механізмом швидкої заміни матриць, що суттєво мінімізує час простою при переході на інший SKU (Stock Keeping Unit).

Конструкція системи розроблена з акцентом на технологічність обслуговування (maintainability). Забезпечено легкий доступ до всіх критичних вузлів, що вимагають регулярного санітарного очищення (CIP-Clean-In-Place principles). Це дозволяє скоротити час на міжзмінну підготовку та переналаштування.

Для початкового налаштування та періодичного обслуговування необхідний кваліфікований технічний персонал. Однак, рутинна щоденна експлуатація є інтуїтивно зрозумілою.

Макаронний прес Fimar MPF/4 N (Італія)



Рисунок 1.1. Макаронний прес Fimar MPF/4 N (Італія)

Продуктивність 13 кг/год

Потужність 0,75 кВт

Матеріал Нержавіюча сталь

Маса 42 кг

Габаритні розміри

Довжина 760 мм

Висота 640 мм

Ширина 350 мм

Ємність завантажувального бункера 2,5 кг

Fimar MPF/4 N — це професійна, напівавтоматична екструзійна машина, розроблена для забезпечення безперервної та високоінтенсивної генерації свіжої пасти в умовах професійних кухонь (HoReCa сегмент). Ключовим принципом проектування є максимальна надійність (Robustness), спрощеність конструкції та довговічність експлуатації.

Система MPF/4 N використовує електромеханічну архітектуру керування, що є свідомим відхиленням від сучасних складних електронних систем. Це конструктивне рішення забезпечує:

Мінімалізацію точок відмови (Single Point of Failure): відсутність високочутливих друкованих плат та сенсорних панелей.

Стійкість до середовища: механічні перемикачі та регулятори демонструють підвищену резистентність до типових кухонних факторів, таких як підвищена вологість, температурні коливання та вплив пари/агресивних миючих засобів.

Діагностованість та ремонтпридатність (Maintainability): спрощена електромеханіка дозволяє швидко локалізувати та усунути несправності стандартними технічними фахівцями без необхідності залучення авторизованих сервісних центрів.

Конструкція має виконання, що забезпечує високу статичну стабільність під час роботи та ергономічне розміщення ємностей для збору готової продукції.

Шнековий механізм розроблений для інтенсивного щоденного циклу з акцентом на зносостійкість:

Застосовується герметичний, закритий механізм змащування, який повністю ізолює трансмісійне мастило від продуктової зони, забезпечуючи безпеку харчових продуктів та подовжуючи інтервали між необхідним технічним обслуговуванням.

Конструкція оптимізована для ергономічного завантаження сировини та інспекційного доступу до зони формування. Система забезпечує легкий демонтаж (Tool-Free removal) компонентів, що контактують з тістом, для проведення рутинної санітарної обробки (Sanitation Procedures).

Макаронний прес 201619 HENDI.



Рисунок 1.3. Макаронний прес 201619 HENDI.

Продуктивність: 8 кг/год

Без насадок

Місткість чаші: 2 кг

Розміри (мм): 300x550x (В) 425

Потужність (Вт): 370

Напруга (В): 230

Маса: 26,5 кг.

Модель Hendi 201619 належить до сегменту компактного професійного обладнання. Вона призначена для підприємств малого та середнього громадського харчування (кафе, невеликі ресторани), де потреба у свіжій пасті є регулярною, але невеликою за обсягами. Це настільний агрегат, оптимізований для простоти інтеграції в обмежений простір кухні.

Місткість чаші становить 2 кг тіста. Шнековий механізм спроектований для ефективного замісу та екструзії прісного тіста.

Експлуатаційні Особливості: Можливість підключення до системи охолодження екструзійної зони та опціональне використання автоматичного ножа для нарізки короткої пасту вказує на намір виробника забезпечити стабільність процесу при невеликих обсягах роботи.

Макаронний прес Fimar MPF/8.



Рисунок 1.4. Макаронний прес Fimar MPF/8

Продуктивність - 25 кг / год.,

Напруга - 380 В, Потужність - 1 кВт.,

Габарити (ДхШхВ) - 450х720х750 мм.,

Об'єм діжі - 8 кг,

Діаметр фільєра - 78 мм,

Додаткова комплектація - фільєри з латунного/бронзового сплаву різних форматів.

Маса - 87 кг

Fimar MPF/8 — це значно потужніша модель порівняно з Hendi, орієнтована на великі ресторани, готельні комплекси та середні їдальні, де свіжа паста є ключовою позицією меню та вимагає великої добової кількості. Це настільний агрегат з високою продуктивністю.

Діжа та місильний гак виконані з нержавіючої сталі, гвинт — з латунного/бронзового сплаву (що відповідає вимогам до якості екструзії).

Контроль включає систему охолодження зони видавлювання (критично для стабільності структури тіста при високій інтенсивності) та електронний пристрій для нарізки короткої пасти. Кришка діжі оснащена запобіжним мікровимикачем.

Використовується механічна панель управління, що, як і в MPF/4 N, підвищує надійність в умовах професійної кухні.

Забезпечує високу ефективність у перерахунку на одиницю продукції. Наявність системи охолодження та можливість роботи зі значними обсягами дозволяє підтримувати безперервний потік якісної пасти, що виправдовує інвестицію у порівняно вищий ціновий сегмент HoReCa.

Екструдер La Monferrina P100



Рисунок 1.5. - Екструдер La Monferrina P100

Продуктивність: 100 кг/год

Маса: 372 кг

Встановлена потужність: 7,6 кВт

Ємність тістоміси: 30+35 кг

Розміри: 815x1600x1600 мм

La Monferrina P100 – це промисловий екструдер, що належить до вищого рівня продуктивності у лінійці виробника. Він призначений для великих регіональних фабрик та підприємств, що спеціалізуються на масовому виробництві свіжої або сухої пасти, виходячи далеко за рамки HoReCa.

La Monferrina P100 має систему терморегуляції (рідинне або потужне повітряне охолодження), систему вакуумування тіста (для усунення повітряних бульбашок, що критично для якості та зберігання сухої пасти), та

програмованого електронного керування для точного контролю всіх параметрів (тиск, температура, швидкість шнека).

У екструдера підлогове виконання, масивне, з високоміцних матеріалів, розраховане на постійне промислове навантаження. Характерна повна сумісність з широким діапазоном матриць (бронза, тефлон) та можливість інтеграції в автоматизовані лінії (сушарки, пакувальні машини).

Макаронний прес SIRMAN Concerto 5.



Рисунок 1.6.- Макаронний прес SIRMAN Concerto 5.

Продуктивність: 8 кг/год

Об'єм місильної камери: 10 л (до 4,2 кг тіста)

Матриця Ø 75 мм

Габарити: 305x660x457 мм

Потужність: 0,75 кВт

Напруга: 220 В

SIRMAN Concerto 5 — це потужний настільний прес, призначений для середніх закладів громадського харчування. Він поєднує високу продуктивність для свого класу з акцентом на надійність силового агрегату та зручність обслуговування.

Використовується потужний вентиляований двигун із редуктором. Передбачена система примусової вентиляції двигуна з керуванням від таймера, що продовжує ефективність охолодження навіть після вимкнення двигуна — це критично для захисту від перегріву.

Корпус виготовлено із нержавіючої сталі AISI 304. Чаша з анодованого алюмінію. Знімні елементи для легкого чищення. Опціональний електромеханічний ніж для короткої пасти. Завдяки посиленому двигуну та редуктору, Concerto 5 пропонує надзвичайну надійність у своєму класі.

1.2. Аналіз та короткий опис макаронного преса ПМ-75

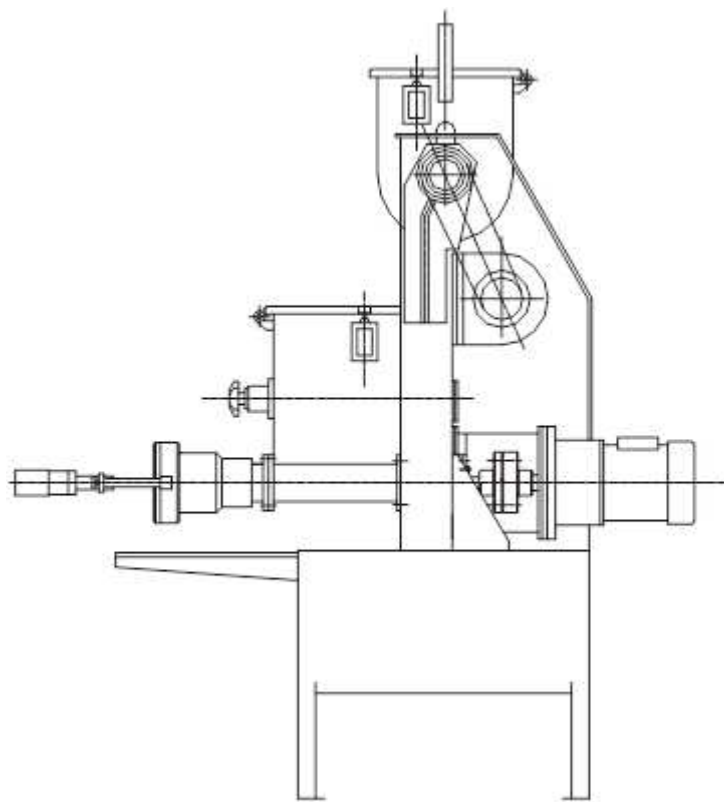


Рисунок 1.7. Макаронний прес.

До основних конструктивних елементів преса (рис. 1.7.) належать: камера мішалки, приймальна камера, корпус шнека з пресуючою головою, приводний механізм, механізм різання, приймальний столик, несуча тумба та шафа управління з системою автоматизації.

Камера мішалки являє собою герметичну місткість, виготовлену з високоякісної антикорозійної харчової сталі, що забезпечує гігієнічність процесу та довговічність обладнання. Усередині камери на підшипникових опорах встановлено обертовий вал, оснащений спеціально профільованими лопатками, які забезпечують рівномірне та інтенсивне перемішування інгредієнтів тіста.

Приймальна камера є проміжною місткістю з антикорозійної сталі, призначеною для накопичення та первинної гомогенізації тістової маси перед її подачею в пресуючу головку. Всередині камери на опорних підшипниках обертається вал із змонтованими на ньому лопатками-зворушувачами, які підтримують постійний рух тіста та запобігають його слеживанню і нерівномірному ущільненню.

Корпус шнека є складним технологічним вузлом, що включає власне циліндричний корпус, робочий шнек із спеціальним профілем витків, корпус матриці та змінну матрицю з філь'єрами. Корпус шнека жорстко кріпиться до передньої стінки приводу за допомогою болтових з'єднань, що забезпечує міцність та стабільність конструкції під час роботи під високим тиском.

Приводний механізм складається з двох потужних мотор-редукторів, що встановлені на тумбі та корпусі преса. Перший мотор-редуктор через муфту сполучений безпосередньо з валом приводу пресуючої головки, забезпечуючи необхідний крутний момент для продавлювання тіста через матрицю. Вал приводу приймальної камери кінематично пов'язаний з валом приводу пресуючої головки через циліндрову зубчасту передачу, що забезпечує синхронізацію роботи обох вузлів. Вал приводу камери мішалки приводиться в обертання окремим мотор-редуктором за допомогою надійної ланцюгової передачі з натяжним пристроєм.

Механізм різання включає спеціальний корпус з підпружиненим ножом із загартованої сталі та індивідуальний мотор-редуктор, що забезпечує обертання ножа з регульованою швидкістю. Механізм монтується безпосередньо на корпусі матриці та призначений для точного відрізання макаронних виробів заданої довжини.

Приймальний столик виконаний у вигляді зварного короба з листової сталі, надійно закріпленого на тумбі. На столику встановлюється знімний лоток або транспортерна стрічка для прийому та транспортування свіжовідформованих макаронних виробів.

Тумба є силовою зварною конструкцією з металевих кутників, що слугує міцною підставкою для встановлення всіх робочих вузлів преса та сприймає всі технологічні навантаження під час роботи обладнання.

На початковому етапі до місильної камери завантажують попередньо підготовлені інгредієнти: борошно, яке пройшло попереднє просіювання та прогрівання до оптимальної температури (близько 20-25°C), підготовлену питну воду з розчиненими в ній сипкими компонентами (сіль, яєчний порошок, барвники тощо). Всі компоненти інтенсивно перемішуються робочим органом мішалки протягом 12-20 хвилин до набуття тістом характерної крихкувато-грудкуватої структури з певним вмістом вологи (28-32%). Замішування здійснюється у спеціальній тістомішалці, інтегрованій у конструкцію макаронного преса та розміщеній вище пресуючого вузла, що забезпечує гравітаційне надходження тіста в наступні секції.

Замішане тісто самопливом або за допомогою шнека подається в зону пресування, де піддається інтенсивному механічному впливу. Метою пресування є остаточне ущільнення тістової маси, видалення повітряних включень, додаткова гомогенізація та надання тісту однорідної в'язкопластичної консистенції з характерними реологічними властивостями. У процесі проходження через шнековий канал тісто піддається стисненню, внаслідок чого його структура стає монолітною та пластичною, придатною для формування виробів.

Пресоване та ущільнене тісто під високим тиском (4-10 МПа) продавлюється через спеціальні отвори змінних матриць – філь'єри, геометрична конфігурація яких точно визначає форму та розміри майбутніх макаронних виробів. Залежно від типу встановленої матриці можна виробляти трубчасті макарони (макарони, рожки), ниткоподібні вироби (вермішель, спагеті) або фігурні макаронні вироби різноманітних форм.

Безпосередньо після проходження філь'єр та виходу з матриці тістові заготовки відрізаються спеціальним обертовим ножом механізму різання. Швидкість обертання ножа регулюється залежно від швидкості екструзії та бажаної довжини виробів. Відрізані вироби надходять на приймальний столик, звідки транспортуються на наступні технологічні операції – сушіння, охолодження та пакування.

1.3. Мета та задачі, які виконуються у кваліфікаційній роботі

Мета роботи – удосконалити систему приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів.

Виконуються задачі:

проведення аналізу сучасних рішень для формування макаронів;

вибір інструментарію для проведення симуляцій;

виконання конструктивних розрахунків преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів;

комп'ютерне дослідження робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів;

розроблення заходів з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

2. Підбір засобів, методів та методик досліджень

2.1. Методологія дослідження

Комп'ютерне моделювання [12-16] виконувалося у програмному комплексі SolidWorks, який є інтегрованою системою тривимірного параметричного проектування та інженерного аналізу. Для розрахунків використовувався модуль SolidWorks Simulation, що реалізує метод скінченних елементів для визначення напружено-деформованого стану конструкцій.

Метод скінченних елементів полягає у дискретизації досліджуваної конструкції на велику кількість простих елементів скінченних розмірів, з'єднаних у вузлах. Для кожного елемента складаються рівняння рівноваги, які потім об'єднуються у глобальну систему алгебраїчних рівнянь. Розв'язання цієї системи дає значення переміщень у вузлах сітки, на основі яких обчислюються деформації та напруження в елементах.

Для об'ємного моделювання робочого органу використовувалися тетраедричні скінченні елементи другого порядку з параболічною апроксимацією полів переміщень. Такі елементи забезпечують високу точність розрахунків при складній геометрії конструкції та концентраторах напружень. Розмір елементів сітки підбирався з урахуванням балансу між точністю результатів та обчислювальними ресурсами, при цьому у зонах очікуваних високих градієнтів напружень виконувалося згущення сітки.

Навантаження від тіста моделювалося як розподілений нормальний тиск на робочі поверхні лопаток, величина якого визначалася на основі реологічних властивостей макаронного тіста та режимів роботи преса. Закріплення конструкції відповідало реальним умовам монтажу робочого органу на валу преса. Матеріал робочого органу задавався як конструкційна сталь з відомими механічними характеристиками: модулем пружності, коефіцієнтом Пуассона та межею текучості.

Досліджувалися п'ять варіантів конструкції з робочими кутами лопатки 30°, 40°, 45°, 50° та 60°. Для кожного варіанта виконувався статичний лінійний

аналіз з визначенням полів напружень, переміщень та деформацій. Результати представлялися у вигляді розподілів за критерієм фон Мізеса, який є еквівалентним напруженням для складного напруженого стану та використовується для оцінки міцності пластичних матеріалів згідно з енергетичною теорією міцності.

2.2. Загальна характеристика системи SolidWorks

SolidWorks є однією з провідних систем автоматизованого тривимірного проектування, розробленою компанією Dassault Systèmes. Система заснована на технології параметричного твердотілого моделювання, що дозволяє створювати складні тривимірні моделі деталей та складальних одиниць з можливістю швидкої зміни їх геометрії шляхом редагування визначальних параметрів. Ця особливість робить SolidWorks особливо ефективним інструментом для дослідницької роботи, де необхідно аналізувати вплив окремих конструктивних параметрів на характеристики виробу.

Архітектура SolidWorks побудована на концепції параметричного дерева конструювання, де кожна операція моделювання зберігається як окремий елемент з власними параметрами. Це забезпечує повну прозорість процесу створення моделі та можливість повернення до будь-якого етапу для внесення змін. При модифікації параметрів система автоматично перебудовує всю модель з урахуванням геометричних та параметричних зв'язків, що значно пришвидшує процес оптимізації конструкції.

Для інженерних досліджень особливо цінною є можливість створення сімейств деталей на основі таблиць параметрів. Це дозволяє створити базову модель досліджуваного об'єкта, а потім автоматично генерувати серію варіантів з різними значеннями ключових параметрів без необхідності моделювання кожного варіанта окремо. У контексті даного дослідження ця функціональність використовувалася для створення серії моделей робочого органу з різними значеннями робочого кута лопатки.

Інтеграція SolidWorks з модулем Simulation забезпечує безперервний цикл проектування та аналізу. Будь-які зміни в геометричній моделі автоматично відображаються в розрахунковій схемі, що мінімізує ризик помилок та дозволяє оперативно оцінювати вплив конструктивних рішень на міцнісні характеристики виробу.

2.3. Обґрантування застосування SolidWorks Simulation у роботі

SolidWorks Simulation є вбудованим модулем для інженерного аналізу методом скінченних елементів, що забезпечує повну інтеграцію з CAD-середовищем. На відміну від зовнішніх розрахункових пакетів, які вимагають експорту геометрії та створення окремої розрахункової моделі, Simulation працює безпосередньо з тривимірною моделлю SolidWorks, що суттєво спрощує та пришвидшує процес аналізу.

Модуль підтримує широкий спектр типів аналізу, включаючи статичний лінійний та нелінійний аналіз, динамічний аналіз, аналіз втомної міцності, теплопередачі, частотний аналіз та оптимізацію конструкції. Для дослідження робочого органу преса використовувався статичний лінійний аналіз, який є найбільш поширеним типом міцнісних розрахунків для машинобудівних конструкцій, що працюють в межах пружної зони деформування матеріалу.

Ключовою перевагою SolidWorks Simulation для дослідницьких завдань є наявність інтелектуального генератора сітки скінченних елементів з адаптивним згущенням. Система автоматично виявляє зони концентрації напружень, малі радіуси заокруглень, тонкі елементи та інші геометричні особливості, які вимагають більш детальної дискретизації. Користувач може задавати різні параметри сітки для окремих тіл або поверхонь, що дозволяє оптимізувати співвідношення між точністю розрахунків та обчислювальними ресурсами.

Для об'ємного моделювання конструкцій Simulation використовує тетраедричні елементи другого порядку з десятьма вузлами, що забезпечує

параболічну апроксимацію полів переміщень. Такі елементи демонструють високу точність при складній геометрії та здатні коректно відображати поведінку конструкції в зонах концентрації напружень. Альтернативою є елементи першого порядку з чотирма вузлами, які є менш точними, але вимагають менших обчислювальних ресурсів. Для критичних розрахунків рекомендується використання елементів другого порядку.

Система дозволяє задавати різноманітні типи навантажень: зосереджені сили та моменти, розподілені навантаження на поверхні або ребра, тиск, температурне навантаження, відцентрові сили, гравітацію. Граничні умови можуть включати різні типи закріплень від повної заборони переміщень до обмеження лише окремих ступенів свободи. Для дослідження контактних взаємодій між деталями доступні різні типи контактів від повного зв'язування до ковзання з тертям.

Важливою особливістю SolidWorks Simulation є можливість параметричного дослідження, коли серія розрахунків виконується автоматично при зміні заданих параметрів моделі. Це дозволяє досліджувати вплив конструктивних параметрів на характеристики виробу та будувати відповідні залежності. Модуль Design Study автоматизує процес створення варіантів конструкції, виконання розрахунків та порівняння результатів за заданими критеріями.

Теоретичною основою SolidWorks Simulation є метод скінченних елементів, який полягає у заміні континуальної розрахункової області дискретною моделлю, що складається з великої кількості простих елементів. Для кожного елемента складається система рівнянь, що пов'язує переміщення вузлів з прикладеними навантаженнями через матрицю жорсткості елемента. Ці локальні системи об'єднуються в глобальну систему алгебраїчних рівнянь виду $K \cdot U = F$, де K – глобальна матриця жорсткості конструкції, U – вектор невідомих переміщень вузлів, F – вектор зовнішніх навантажень.

Після накладання граничних умов та розв'язання системи рівнянь визначаються переміщення всіх вузлів сітки. На основі переміщень за

допомогою співвідношень теорії пружності обчислюються деформації в елементах, а потім через закон Гука визначаються напруження. Таким чином, результатом розрахунку є повні поля переміщень, деформацій та напружень у всьому об'ємі конструкції.

SolidWorks Simulation використовує пряме розв'язування систем лінійних рівнянь методом виключення Гауса з оптимізацією для розріджених матриць. Для великих задач доступний ітераційний розв'язувач, який вимагає менше оперативної пам'яті, хоча може потребувати більше часу для досягнення збіжності. Система автоматично вибирає оптимальний метод розв'язування залежно від розміру задачі та доступних обчислювальних ресурсів.

Для забезпечення достовірності результатів критично важливою є якість сітки скінченних елементів. Система надає інструменти для оцінки якості сітки за різними критеріями: співвідношення сторін елементів, якість тетраедрів, наявність спотворених елементів. Рекомендується, щоб співвідношення сторін елементів не перевищувало 10:1, а кількість спотворених елементів була мінімальною. При необхідності користувач може вручну згустити сітку в проблемних зонах або змінити параметри генерації сітки.

Важливим етапом дослідження є верифікація результатів, тобто перевірка їх незалежності від параметрів дискретизації. Для цього виконуються розрахунки на сітках різної детальності, і якщо результати відрізняються в допустимих межах, модель вважається адекватною. SolidWorks Simulation містить вбудований механізм адаптивного згущення сітки, який автоматично виконує серію розрахунків з поступовим підвищенням детальності сітки в зонах високих градієнтів напружень до досягнення заданої точності.

2.4. Критерії міцності та аналіз результатів

Для оцінки міцності конструкцій з пластичних матеріалів, до яких належать конструкційні сталі, SolidWorks Simulation використовує енергетичну теорію міцності, також відому як критерій фон Мізеса. Згідно з цією теорією,

матеріал переходить у пластичний стан, коли питома потенційна енергія формозміни досягає критичного значення. Математично це виражається через еквівалентне напруження фон Мізеса, яке для складного напруженого стану обчислюється через головні напруження або компоненти тензора напружень.

Критерій фон Мізеса добре узгоджується з експериментальними даними для пластичних матеріалів і є стандартним інструментом оцінки міцності в машинобудуванні. Система візуалізує розподіл еквівалентних напружень у вигляді кольорової карти, де різним кольорам відповідають різні рівні напруженості. Це дозволяє швидко ідентифікувати критичні зони та оцінити рівень їх навантаження відносно межі текучості матеріалу.

Коефіцієнт запасу міцності визначається як відношення межі текучості матеріалу до фактичного напруження фон Мізеса в даній точці. Значення коефіцієнта менше одиниці свідчить про настання пластичних деформацій, що є неприпустимим для більшості машинобудівних конструкцій. Нормативні коефіцієнти запасу встановлюються залежно від характеру навантаження, точності його визначення, відповідальності конструкції та наслідків можливого руйнування. Для статичного навантаження типовий коефіцієнт запасу становить 1,5-2,5, для змінного навантаження він збільшується до 3-5.

SolidWorks Simulation автоматично обчислює коефіцієнт запасу міцності для всіх елементів конструкції та візуалізує його розподіл. Мінімальне значення коефіцієнта вказує на найбільш навантажену зону, яка потребує першочергової уваги при оптимізації конструкції. Система дозволяє задати мінімально допустимий коефіцієнт запасу, і всі зони з меншими значеннями будуть виділені, що полегшує аналіз результатів.

Окрім напружень, система аналізує поля переміщень та деформацій. Результируюче переміщення показує сумарну зміну положення точок конструкції під навантаженням і характеризує її жорсткість. Надмірні переміщення можуть призвести до порушення функціонування механізму навіть якщо міцність забезпечена. Еквівалентна деформація характеризує інтенсивність зміни форми та об'єму матеріалу і пов'язана з напруженнями через модуль пружності.

Для детального аналізу система дозволяє створювати графіки розподілу будь-якого параметра вздовж заданого шляху, будувати таблиці екстремальних значень, експортувати результати в Excel для подальшої обробки. Можливість створення анімації деформування конструкції з масштабуванням переміщень допомагає візуально оцінити характер її роботи під навантаженням.

3. Конструктивна частина

3.1. Розроблення заходів з модернізації преса

Макаронний прес марки ПМ-75, який експлуатується на виробництві, має суттєвий недолік – відсутність системи вакуумування тіста. Ця особливість конструкції негативно впливає на якісні характеристики макаронних виробів, зокрема знижується міцність готової продукції, погіршується структура та однорідність тіста, виникають повітряні включення, які спричиняють крихкість макаронів, а також знижується товарний вигляд продукції.

У роботі передбачається виконання комплексної модернізації преса, яка включає два основні напрямки. По-перше, це модернізація пресуючого вузла шляхом заміни існуючої конструкції шнека з постійним кроком на удосконалений варіант зі змінним кроком різьби. Така конструкція забезпечить більш рівномірне ущільнення тістової маси, поступове наростання тиску по довжині шнека, покращення умов для видалення повітря з тіста та зниження енергетичних витрат на пресування. По-друге, передбачається модернізація механізму подачі тіста через зміну конструкції лопаток живильного пристрою для забезпечення рівномірного завантаження тіста у пресуючий вузол, мінімізації утворення повітряних порожнин, покращення перемішування тістової маси та підвищення продуктивності преса. Запропоновані технічні рішення дозволять суттєво покращити якість макаронних виробів та наблизити характеристики модернізованого обладнання до сучасних вимог виробництва.

В даному розділі виконано необхідні розрахунки [17-21].

3.2. Технологічний розрахунок макаронного преса

Вихідні дані для розрахунку:

$\beta(x)$ - кут підйому гвинтової лінії по радіусу вала шнекового транспортера:

$$\beta = 0.295 \qquad \frac{\beta \cdot 180}{\pi} = 16.902$$

$p_{\max} := 0.15 \cdot 10^6$ (Па) - необхідний нормативний тиск на виході шнека

зовнішній радіус вала шнека: $r = 0.01$ (м)

зовнішній радіус шнека: $R = 0.035$

$$M := \left(\frac{2}{3} \right) \cdot p_{\max} \cdot \pi \cdot \tan(\beta) \cdot (R^3 - r^3) \quad M = 3.997 \quad (\text{Н} \cdot \text{м})$$

Кутова швидкість шнека:

$$\omega := 2\pi \cdot n \qquad \omega = 4.503 \quad \text{рад/с}$$

Необхідна потужність шнека із арвхуванням потужності на заміс тіста:

$$N := \frac{2 \cdot M \cdot 1000}{\omega} \qquad N = 1775.497 \quad (\text{Вт})$$

3.3. Конструкторський розрахунок пресуючого шнека

Тип дозатора: шнек з наступними параметрами:

зовнішній радіус вала шнека: $r := 0.01$ (м)

зовнішній радіус шнека: $R := 0.035$ (м)

крок шнека $t := 0.036$ (м)

кількість заходів: 1

частота обертання шнека: $n := \frac{43}{60}$ $n = 0.717$ (об/с)

ширина вершини витка $a := 0.004$

ширина основи витка $b := 0.004$

Матеріал шнека: Сталь 18ХН9Т $\rho := 7700$

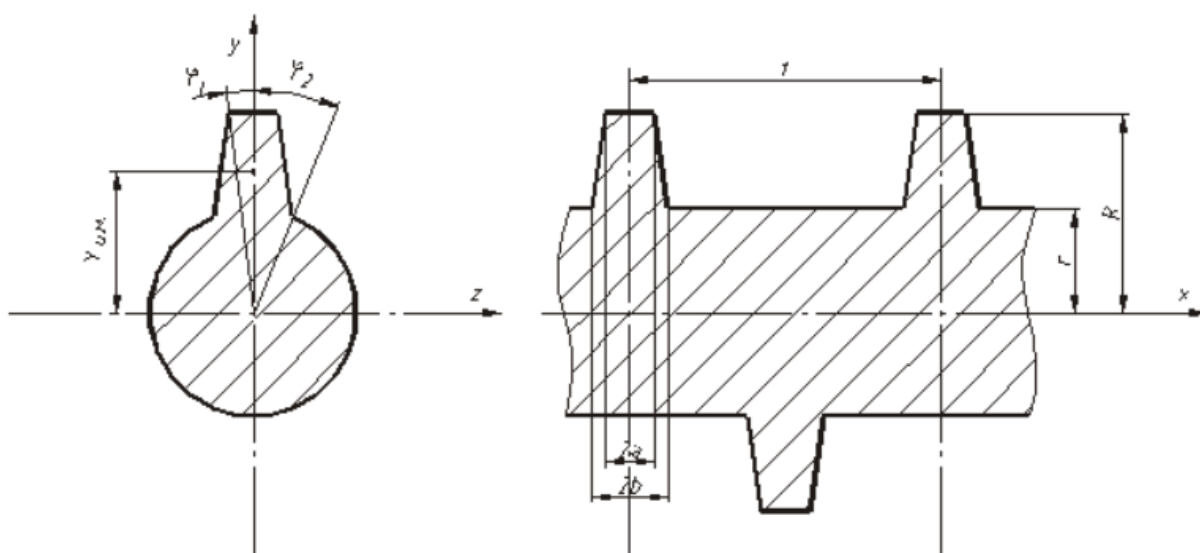


Рисунок 3.1.- Принципова схема шнека

Загальна довжина шнека:

$$L := 0.360 \quad L = 0.36 \quad (\text{м})$$

Кут нахилу бокової лінії трапеції в нормальному січенні:

$$\alpha_n := \arcsin\left(\frac{b - a}{R - r}\right) \quad \alpha_n \cdot \frac{180}{\pi} = 0$$

Визначимо момент інерції січення одного однозаходного шнека відносно осі z.

Розрахункові кутові коефіцієнти:

$$\phi_1 := 2 \cdot \pi \cdot \frac{a}{t} \qquad \phi_1 \cdot \frac{180}{\pi} = 40$$

$$\phi_2 := 2 \cdot \pi \cdot \frac{b}{t} \qquad \phi_2 \cdot \frac{180}{\pi} = 40$$

Момент інерції січення вала шнека відносно осі z:

$$J_{1z} := \frac{\pi}{4} \cdot (r^4) \qquad J_{1z} = 7.854 \times 10^{-9} \quad (\text{м}^4)$$

Розрахункові лінійні коефіцієнти:

$$x_1 := 2 \cdot R \cdot \sin(\phi_1) \qquad x_1 = 0.045 \quad (\text{м})$$

$$x_2 := 2 \cdot r \cdot \sin(\phi_2) \qquad x_2 = 0.013 \quad (\text{м})$$

Подальший розрахунок проводиться для максимального лінійного коефіцієнта

$$\underline{H} := x_1 \qquad H = 0.045 \quad (\text{м})$$

Площа поперечного січення витка шнека:

Площа поперечного січення витка шнека:

$$F_{\Gamma} := (R \cdot \sin(\phi_1) + r \cdot \sin(\phi_2)) \cdot (R - r) \qquad F_{\Gamma} = 7.231 \times 10^{-4} \quad (\text{м})$$

Момент інерції січення витка шнеку відносно осі, що проходить через його центр мас і паралельно осі z :

$$J_{2z} := \frac{F_{\Gamma}^2 \cdot (R - r \cdot \cos(\phi_2))}{12 \cdot H} \qquad J_{2z} = 2.648 \times 10^{-8} \quad (\text{м}^3)$$

Координата центра мас витка шнека:

$$Y_{\text{цм}} := \frac{1}{3} \cdot (R - r) \cdot \frac{r \cdot \sin(\phi_2) + 2 \cdot R \cdot \sin(\phi_1)}{r \cdot \sin(\phi_2) + R \cdot \sin(\phi_1)} + r \qquad Y_{\text{цм}} = 0.025 \quad (\text{м})$$

Момент інерції січення шнека відносно осі z

$$J_z := J_{1z} + \left(J_{2z} + F_r \cdot Y_{\text{цм}}^2 \right) \quad J_z = 4.796 \times 10^{-7} \quad (\text{м}^4)$$

Припускаємо, що перпендикулярні до осі шнека навантаження взаємнокомпенсуються.

На шнек діє поздовжнє зусилля, виникаюче в транспортованому матеріалі, що визначається наступним чином:

$$S = \int_0^L q_x(x) dx$$

де $q(x)$ - інтенсивність розподіленого осьового навантаження:

$$q_x(x) = \left[-\Delta p(x) + (2 \cdot p(x) - \Delta p(x)) \cdot f \cdot \frac{\text{tg}(\beta)}{\cos(\alpha_n)} \right] \cdot \frac{\pi \cdot (R^2 - r^2)}{t}$$

де $f := 0.01$ коефіцієнт, що враховує тертя між умовними шарами транспортованого матеріалу.

$b(x)$ - кут підйому гвинтової лінії по радіусу вала шнекового транспортера:

$$\beta := 0.295 \quad \frac{\beta \cdot 180}{\pi} = 16.902$$

$p(x)$ - тиск в порожнині на поточному витку:

$$\begin{cases} p(x) = p_0 & 0 \leq x \leq l_3 \\ p(x) = p_0 + \frac{p_{\max} - p_0}{L} (x - l_3) & l_3 \leq x \leq L + l_3 \end{cases};$$

де $l_3 := \frac{L}{4}$ $l_3 = 0.09$ (м) - довжина частини шнека перед завантажувальною камерою

$p_0 := 0.01 \cdot 10^6$ (Па) - атмосферний тиск

$p_{\max} := 0.15 \cdot 10^6$ (Па) - необхідний нормативний тиск на виході шнека

$p'(x)$ - тиск в порожнині на попередньому витку:

$$\begin{cases} p'(x) = p_0 & 0 \leq x \leq l_3 + t(l_3) \\ p'(x) = p_0 + \frac{p_{\max} - p_0}{L} (x - l_3 - t) & l_3 + t(l_3) \leq x \leq L + l_3 \end{cases};$$

Позначим $\Delta p = p - p'$:

$$\begin{cases} \Delta p = 0 & 0 \leq x \leq l_3 \\ \Delta p = (p_{\max} - p_0) \cdot \frac{x - l_3}{L} & l_3 \leq x \leq l_3 + t(l_3) \\ \Delta p = (p_{\max} - p_0) \cdot \frac{t}{L} & l_3 + t(l_3) \leq x \leq l_3 + L \end{cases};$$

Проведем необхідні підстановки і проінтегруємо вираз. Після інтегрування отримаємо:

Геометрична силова складова:

$$HS := \left[\frac{t^2}{2} \cdot \left(f \cdot \frac{\tan(\beta)}{\cos(\alpha_n)} - 1 \right) - (L \cdot t - t^2) \cdot \left(1 + f \cdot \frac{\tan(\beta)}{\cos(\alpha_n)} \right) + (L^2 - t^2) \cdot f \cdot \frac{\tan(\beta)}{\cos(\alpha_n)} \right]$$

$$HS = -0.012 \quad (\text{м}^2)$$

$$S := \frac{\pi \cdot (R^2 - r^2)}{t} \cdot \left(2 \cdot f \cdot \frac{\tan(\beta)}{\cos(\alpha_n)} \cdot p_0 \cdot L + \frac{p_{\max} - p_0}{L} \cdot HS \right) \quad S = -454.306 \quad (\text{Н})$$

знак “-” вказує на стискаючу дію осьової сили.

Ввиду значної величини осьової сили порівняно із очікуваним значенням маси шнека при розрахунку підшипникових опор її враховувати не будемо.

Проведем перевірку по напруженнях для основи і гвинтової лінії шнека.

Напруження стиску від дії осьових сил визначаються за формулою:

$$\sigma = \frac{S}{F}$$

де F - площа поперечного січення вала шнека:

$$F := \pi \cdot r^2 \quad F = 3.142 \times 10^{-4} \quad (\text{м}^2)$$

$$\sigma := \frac{S}{F} \quad \sigma = -1.446 \times 10^6 \quad (\text{Па})$$

Дотичні напруження визначаються з залежності:

$$\tau = \frac{M}{W_p} = \frac{\frac{2}{3} \cdot p_{\max} \cdot \pi \cdot \text{tg}[\beta] [R^3 - r^3]}{\frac{\pi \cdot [r^4 - r_0^4]}{2 \cdot r_0}} = \frac{4}{3} \cdot \frac{p_{\max} \cdot r_0 \cdot \text{tg}[\beta] [R^3 - r^3]}{[r^4 - r_0^4]}$$

$$M := \left(\frac{2}{3}\right) \cdot p_{\max} \cdot \pi \cdot \tan(\beta) \cdot (R^3 - r^3) \quad M = 3.997 \quad (\text{Н*м})$$

$$W := \frac{\pi \cdot r^4}{2} \quad W = 1.571 \times 10^{-8} \quad (\text{м}^3)$$

$$\tau := \frac{M}{W} \quad \tau = 2.545 \times 10^8 \quad (\text{Па})$$

Еквівалентне напруження:

$$\sigma_{\text{екв}} := \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot \tau^2} \quad \sigma_{\text{екв}} = 5.09 \times 10^8 \quad (\text{Па})$$

Напруження входить в діапазон допустимих.

Кутова швидкість шнека:

$$\omega := 2\pi \cdot n \quad \omega = 4.503 \quad \text{рад/с}$$

Необхідна потужність :

$$N := \frac{M \cdot 1000}{\omega} \quad N = 887.749 \quad (\text{Вт})$$

З врахуванням наявності подаючого вала і необхідного запасу на пускову потужність вибираємо мотор-редуктор з наступними характеристиками:

потужність N=2.5 кВт
n=43 об/хв

3.4. Заходи з експлуатації і технічного обслуговування макаронного преса марки ПМ-75

При експлуатації [22-23] макаронного преса марки ПМ-75 оператор зобов'язаний здійснювати безперервний моніторинг технологічних параметрів обладнання. Особливу увагу слід приділяти штатності роботи всіх вузлів преса, оскільки навіть незначні відхилення від нормальних робочих режимів можуть свідчити про розвиток технологічних порушень або несправностей обладнання. При виявленні будь-яких змін у робочих режимах необхідно негайно встановити їх першопричину та вжити заходів щодо їх усунення.

Критично важливим параметром є тиск у робочій камері шнекового преса. У випадку перевищення допустимого рівня тиску необхідно негайно вимкнути електроживлення макаронного преса, провести діагностику та усунути причину відхилення. Найчастіше підвищення тиску спостерігається при переробці тіста з недостатньою вологістю (нижче технологічної норми), при роботі з недостатньо прогрітим тістом, температура якого не досягла оптимальних значень, а також при засміченні формуючих каналів матриці залишками підсохлого тіста або сторонніми включеннями.

Контроль вакуумної системи також має принципове значення для якості готової продукції. При падінні тиску у вакуум-камері до критичного рівня 25 кПа необхідно провести заміну фільтрувального елемента, оскільки його забруднення призводить до погіршення вакуумування тіста та зниження якості макаронних виробів через підвищену пористість структури.

Оператор повинен постійно контролювати та підтримувати на технологічно обґрунтованому рівні температуру всіх компонентів макаронного тіста. Відхилення температури від оптимальних значень негативно впливає на реологічні властивості тіста та якість пресування. Рівень тіста в місильній камері має підтримуватися в межах між максимальною та мінімальною позначками, що забезпечує стабільність процесу замішування та рівномірне навантаження на привід.

Особливу увагу слід приділяти контролю вологості та структурно-механічних характеристик макаронного тіста. Для оптимізації процесу замішування та досягнення необхідної консистенції тіста рекомендується здійснювати регулювання кута повороту місильних лопатей відносно їх осі обертання, що дозволяє змінювати інтенсивність механічної обробки тістової маси.

Технологічний регламент не допускає зупинок макаронного преса тривалістю понад 0,5 години без проведення спеціальних підготовчих заходів. Тривалі простої призводять до підсихання залишків тіста в робочих органах, що ускладнює подальший запуск обладнання та може призвести до поломок.

У випадку необхідності тривалої зупинки преса (понад 0,5 години) необхідно виконати наступний комплекс операцій. Після повного знеструмлення обладнання шляхом фізичного розмикання контура електроживлення слід ретельно очистити всі робочі органи та внутрішні поверхні робочих камер від залишків макаронного тіста. Очищені поверхні необхідно протерти харчовою олією для запобігання корозії та полегшення наступного запуску. Матрицю з ущільнювальними елементами необхідно демонтувати, провести їх ретельне миття з видаленням всіх залишків тіста, після чого очищені деталі також обробляються харчовою олією для консервації.

Для забезпечення безпечних умов праці оператора макаронного преса та запобігання виробничому травматизму встановлено ряд обов'язкових вимог. Перед кожним вмиканням макаронного преса оператор зобов'язаний перевірити справність роботи кінцевих вимикачів та всіх блокувальних механізмів, які запобігають пуску обладнання при відкритих захисних кришках або інших небезпечних умовах.

Всі види робіт з технічного обслуговування, регулювання та ремонту макаронного преса повинні виконуватися виключно після повного знеструмлення обладнання шляхом фізичного відключення від електромережі з вивішуванням попереджувальних табличок. Регулярно, відповідно до графіка планово-попереджувального ремонту, необхідно перевіряти справність та

утримувати в належному стані систему захисного заземлення, електропроводку та всі електричні з'єднання.

Захисні кожухи та кришки, що обмежують доступ до рухомих частин обладнання, повинні регулярно перевірятися та утримуватися у справному стані. Категорично забороняється експлуатація преса зі знятими або пошкодженими елементами захисту. Доступ до преса не повинен бути захищений сторонніми предметами, а прилеглий майданчик має утримуватися в чистоті та сухому стані. Обслуговуючий майданчик з поручнями, сходи та всі елементи виробничої інфраструктури повинні бути справними, відповідати нормам охорони праці та утримуватися в чистоті.

Найбільш інтенсивному зношуванню при експлуатації макаронного преса марки ПМ-75 піддаються рухомі частини механізмів. До критичних елементів належать зубчасті передачі приводу, які працюють під значними навантаженнями, підшипникові опори валів, що сприймають радіальні та осьові зусилля, самі вали приводу, а також робочі елементи вимішувальних та пресуючих вузлів, що безпосередньо контактують з тістом.

При виявленні загального зношування зубчастих коліс приводу рекомендується здійснювати одночасну заміну всього комплекту зубчастих передач на нові деталі. Таке рішення економічно виправдане, оскільки вартість повного циклу технологічних операцій з відновлення зубчастих коліс (включаючи наплавлення, механічну обробку, термічну обробку та контроль якості) зазвичай перевищує або наближається до вартості нових деталей, а якість відновлених деталей може поступатися заводським.

Підшипникові опори підлягають плановій заміні не рідше одного разу на півтора року експлуатації, навіть за відсутності явних ознак зношування, оскільки деградація мастильного матеріалу та втомні процеси в матеріалі підшипників можуть призвести до раптового виходу з ладу. У випадку зношування робочих поверхонь валів економічно доцільним є їх відновлення методом наплавлення із застосуванням зносостійких матеріалів з послідовним механічним обробленням для зняття надлишкового шару матеріалу та

прецизійним шліфуванням робочих поверхонь до досягнення необхідних параметрів шорсткості та геометричної точності.

Таблиця 3.1.- Перелік характерних причини виходу з ладу макаронного преса марки ПМ-75 і рекомендацій з їх усунення.

№ п/п	Несправність	Ймовірна причина виходу з ладу	Метод усунення
1	При пуску двигун не обертається, гуде	Відсутня або різко впала напруга в мережі	Усунути причини, що викликали падіння напруги в мережі
2	Не обертається ніж різання	Підвищений знос вузла щітково-колектора:	Замінити щітки, заполірувати колектор
3	Неякісне обрізання	Порушено прилягання ножів до матриці, затупились ножі	Заточити ножі, виставити по площині матриці
4	Двигун працює з перевантаженням, макаронні вироби з різний фільтр виходять нерівномірно	Забиті канали матриці або фільтру	Розібрати вузол пресування, ретельно очистити і промити матрицю і фільтр від залишків тіста
5	Прискорений вихід з ладу матриць і деформація або розрив фільтру	Наявність в тісті чужорідних домішок	Забезпечити просів муки перед замісом на ситі з розміром комірки не більш 1мм

4. Моделювання і дослідження робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів

4.1 Постановка задач для дослідження

Робочий орган преса являє собою складну просторову конструкцію (рисунок 4.1), що працює в умовах змінного навантаження від в'язко-пластичної маси тіста, тому визначення його міцнісних характеристик аналітичними методами є складним завданням [24-27].

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання.

Розробити тривимірну параметричну модель (рисунок 4.1) робочого органу з можливістю варіювання ключових геометричних параметрів, зокрема робочого кута лопатки, який суттєво впливає на характер руху тіста та розподіл навантажень у конструкції.

Створити адекватну розрахункову модель (рисунок 4.2, 4.3), що включає визначення граничних умов, характеру прикладання навантажень від тіста, закріплення конструкції та властивостей матеріалу робочого органу.

Провести серію скінченно-елементних розрахунків для варіантів конструкції з різними значеннями робочого кута лопатки в діапазоні від 30° до 60° з метою встановлення впливу цього параметра на напружено-деформований стан.

Виконати аналіз отриманих результатів за ключовими критеріями оцінки міцності та жорсткості: напруженнями за критерієм фон Мізеса, результуючими переміщеннями, еквівалентними деформаціями та коефіцієнтом запасу міцності.

Встановити регресійні залежності між робочим кутом лопатки та досліджуваними параметрами напружено-деформованого стану, що дозволить прогнозувати поведінку конструкції при проміжних значеннях кута.

Визначити оптимальне значення робочого кута лопатки, що забезпечує найкращі міцнісні та жорсткісні характеристики робочого органу при збереженні його функціональності.

На основі результатів дослідження робочого органу вузла приготування тіста преса ПМ-75 у середовищі SolidWorks Simulation було проведено аналіз впливу робочого кута лопатки (від 30° до 60°) на напружено-деформований стан конструкції. Аналіз охоплює напруження за фон Мізесом, результуюче переміщення, еквівалентну деформацію та коефіцієнт запасу (рисунок 4.4-4.23).

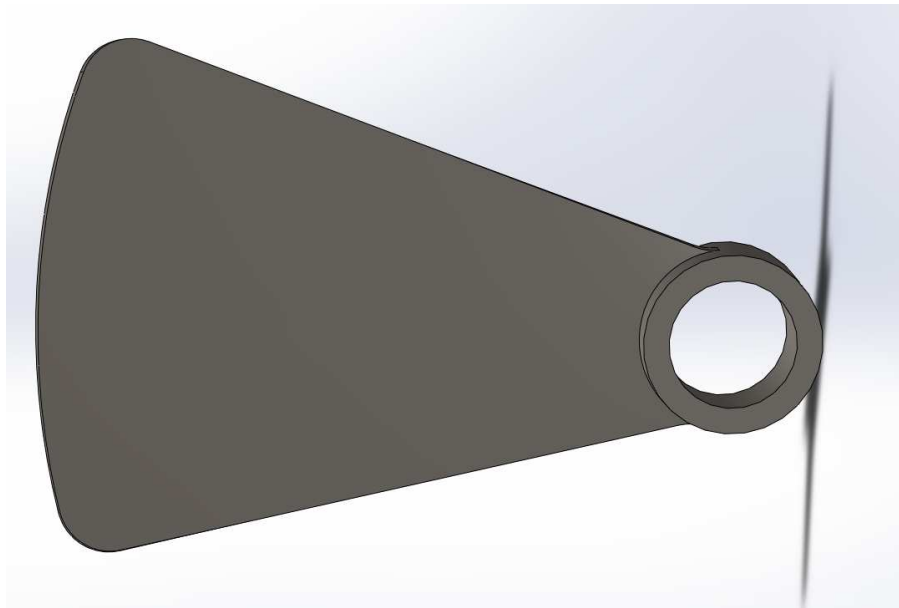


Рисунок 4.1.- Конструктивна схема лопатки

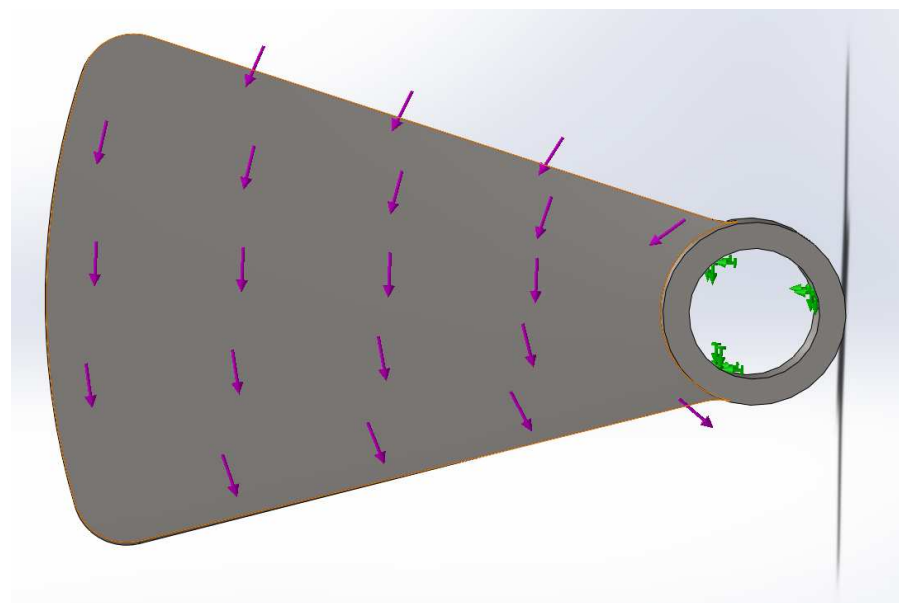


Рисунок 4.2. - Геометричні обмеження і схема навантаження лопатки

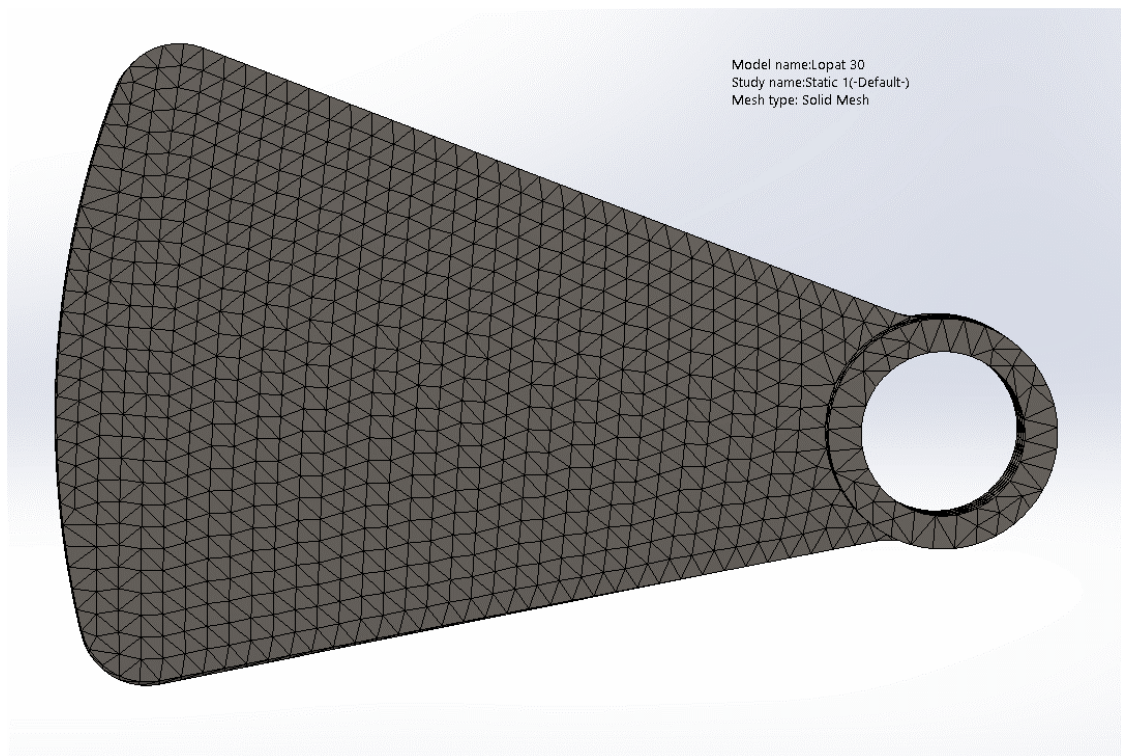


Рисунок 4.3. - Розрахункова сітка лопатки

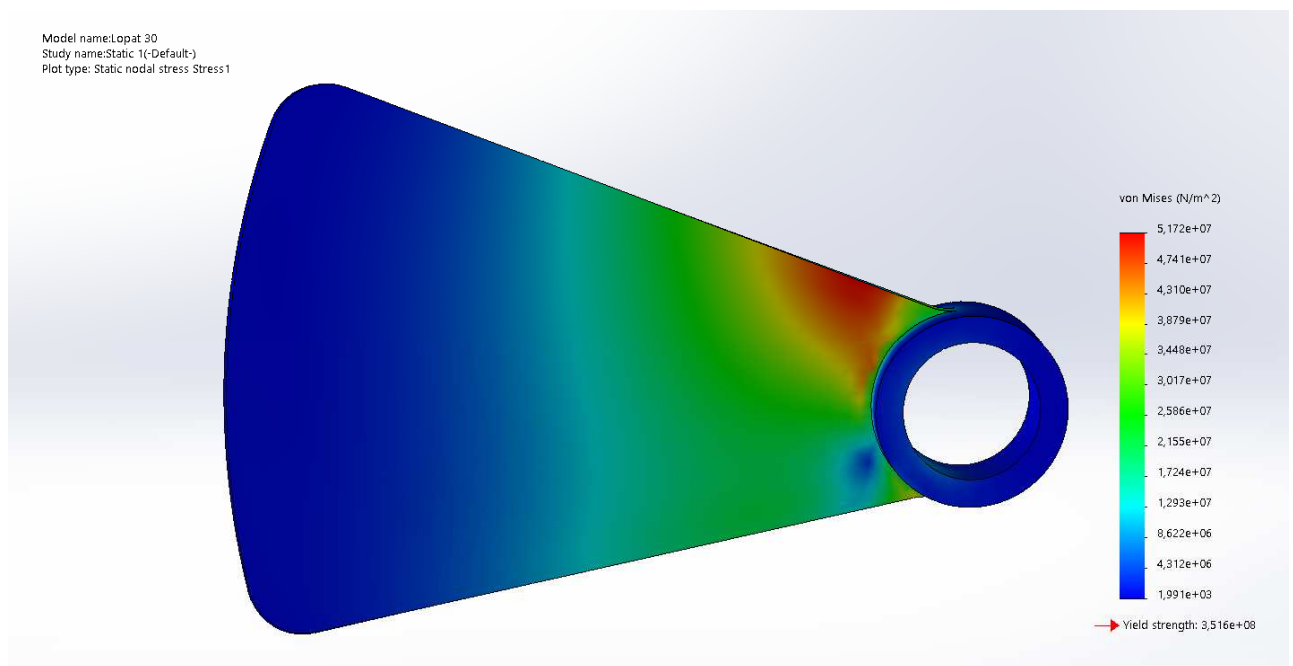


Рисунок 4.4. - Епюра напружень за фон Мізесом (von Mises, Н/м²) робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів з робочим кутом 30°

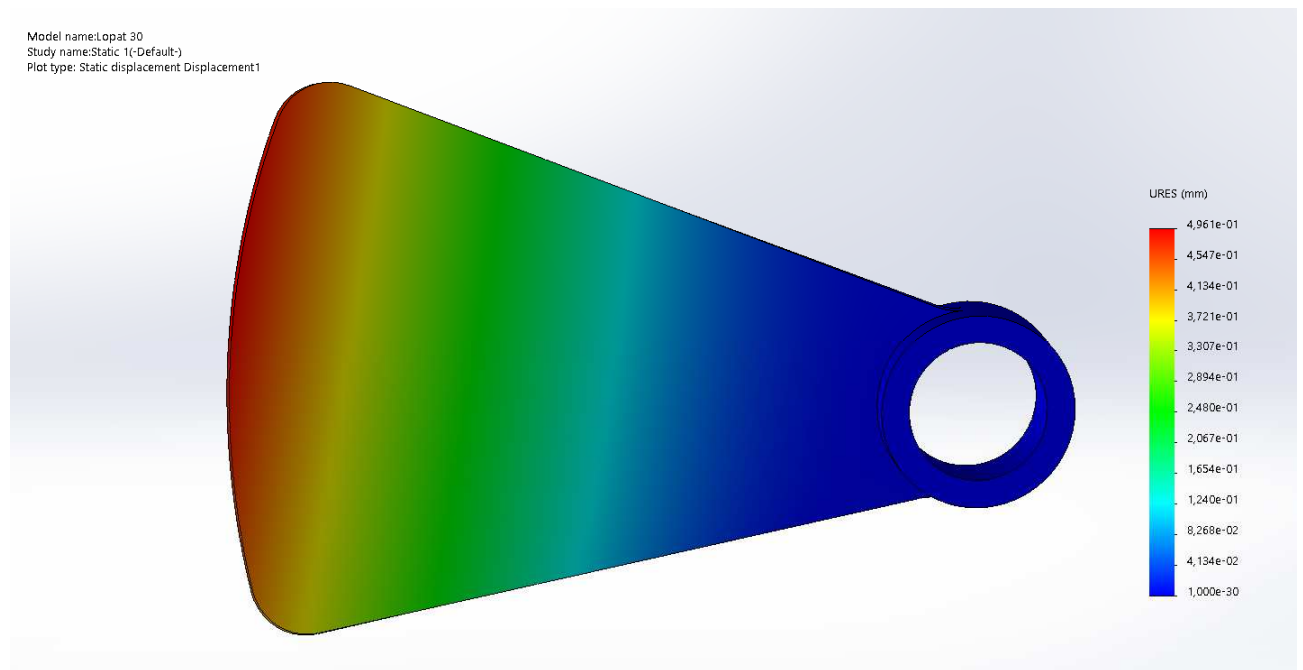


Рисунок 4.5. - Епюра результуючого переміщення URES робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів з робочим кутом 30°

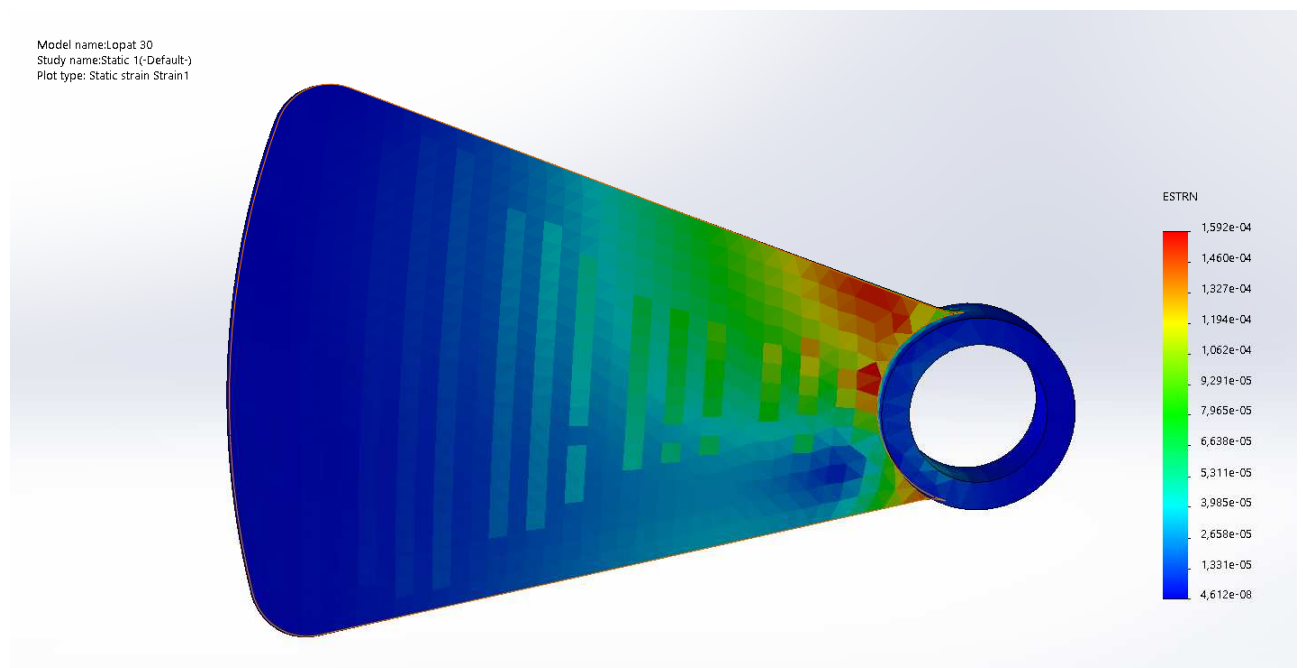


Рисунок 4.6. - Епюра еквівалентної деформація ESTRN робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів з робочим кутом 30°

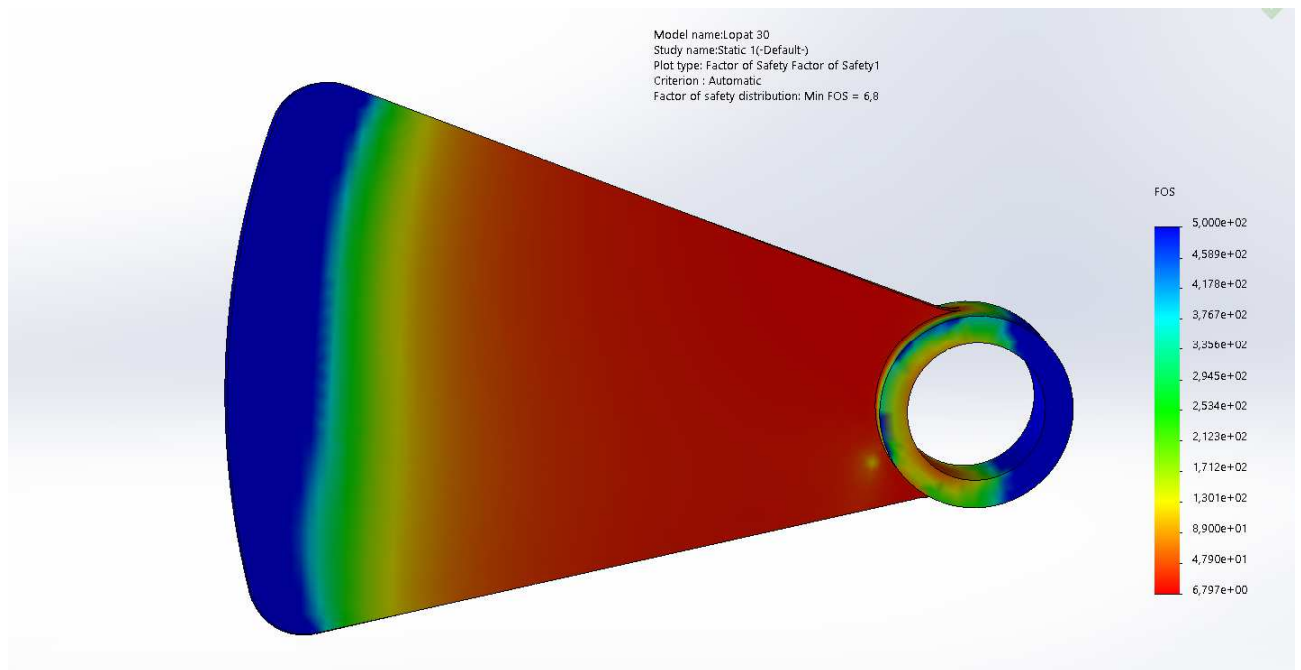


Рисунок 4.7. - Епюра коефіцієнту запасу міцності FOS робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів з робочим кутом 30°

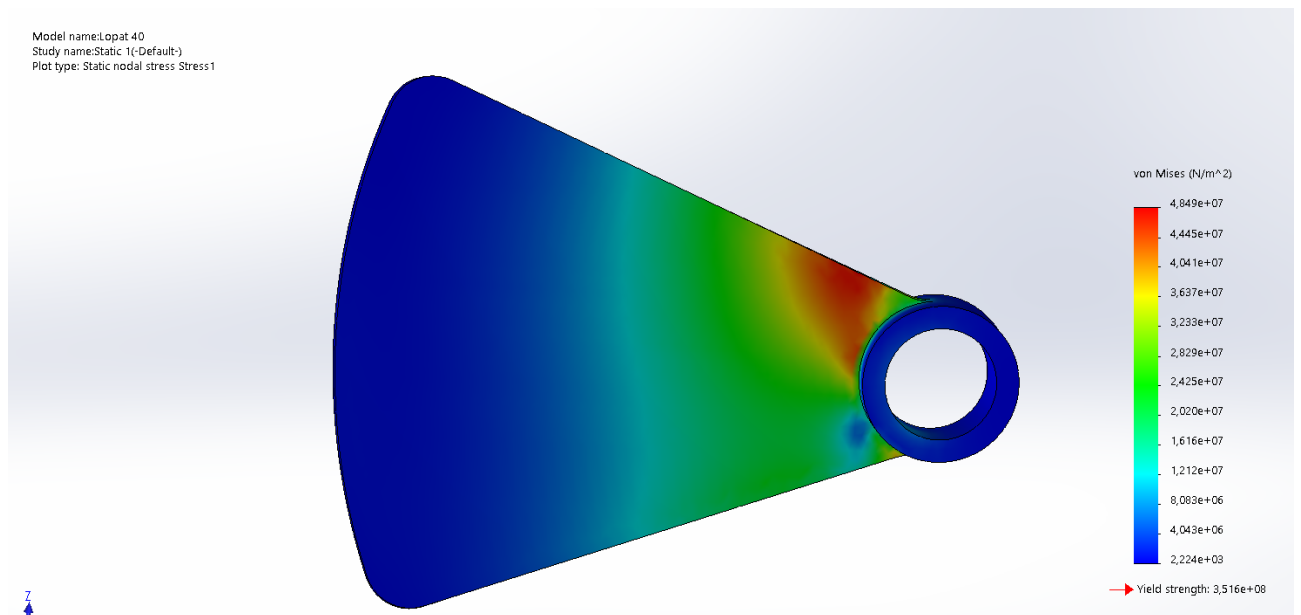


Рисунок 4.8. - Епюра напружень за фон Мізесом (von Mises, Н/м2) робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів з робочим кутом 40°

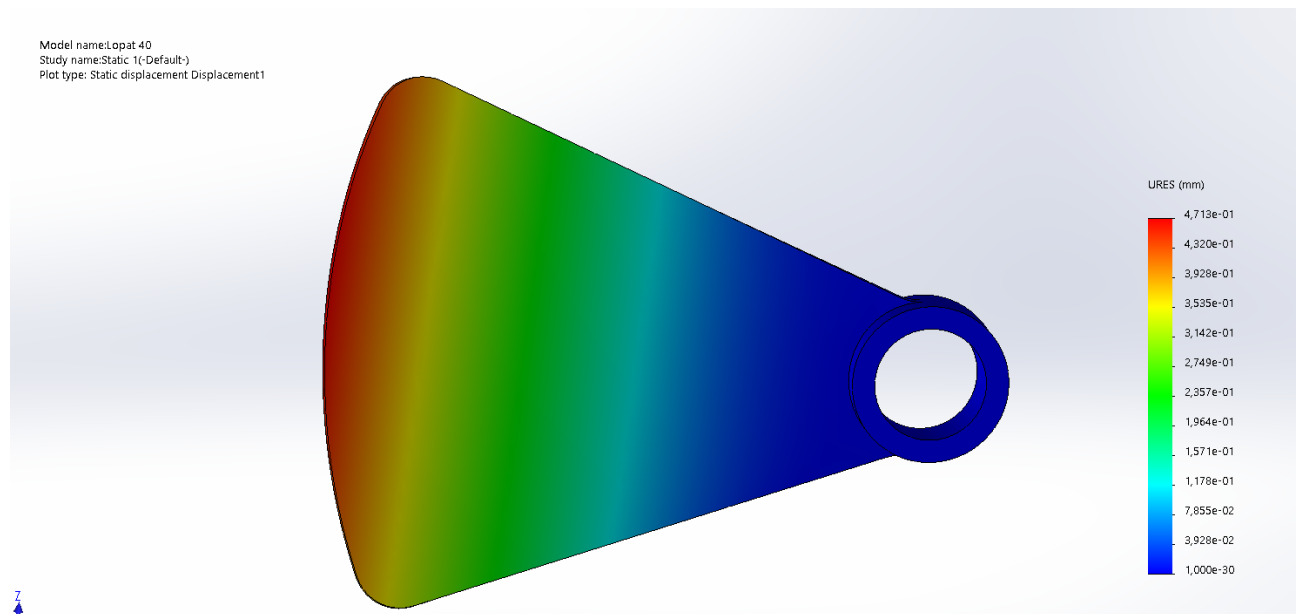


Рисунок 4.9. - Епюра результуючого переміщення URES робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів з робочим кутом 40°

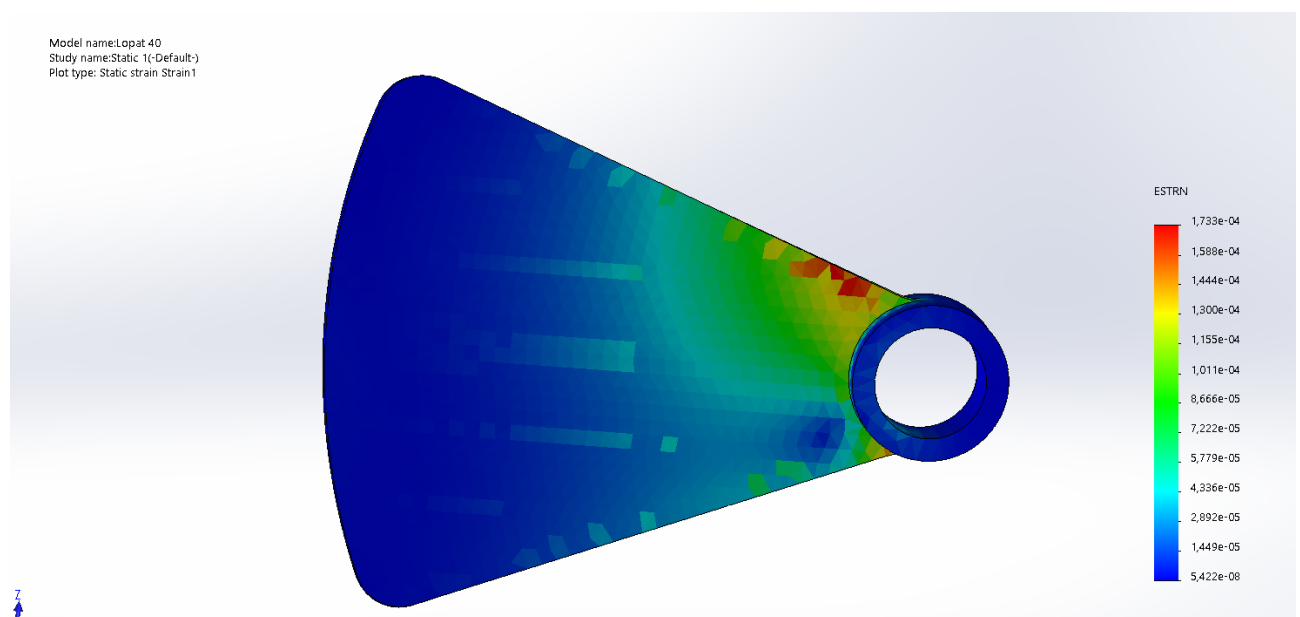


Рисунок 4.10. - Епюра еквівалентної деформація ESTRN робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів з робочим кутом 40°

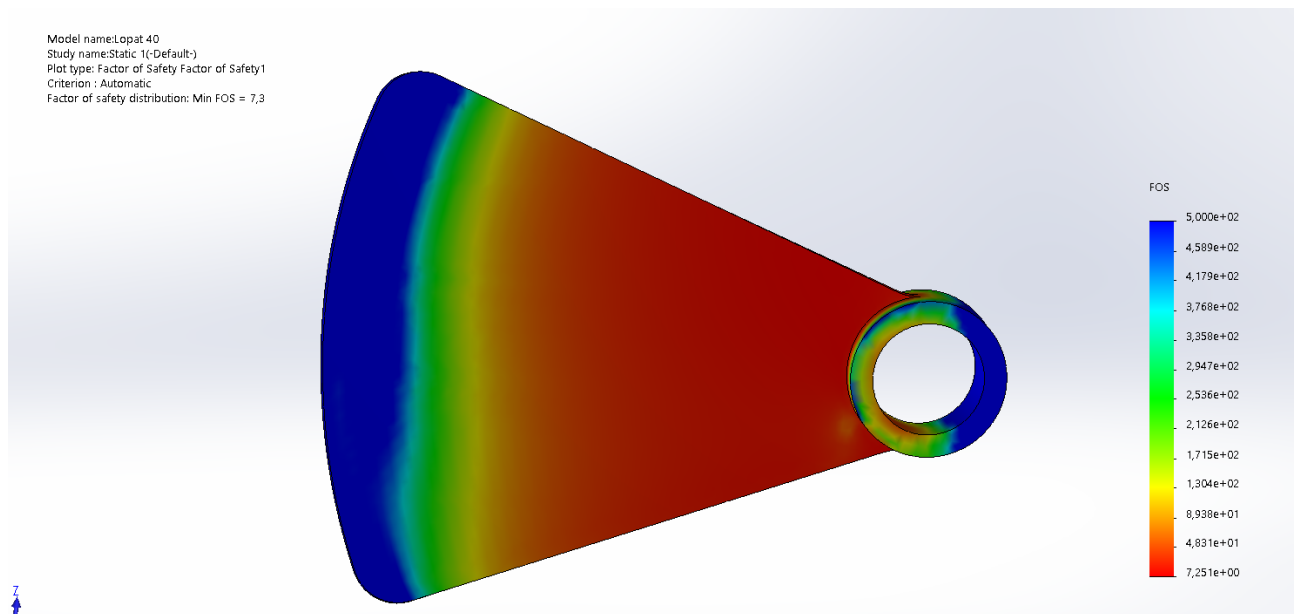


Рисунок 4.11. - Епюра коефіцієнту запасу міцності FOS робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів з робочим кутом 40°

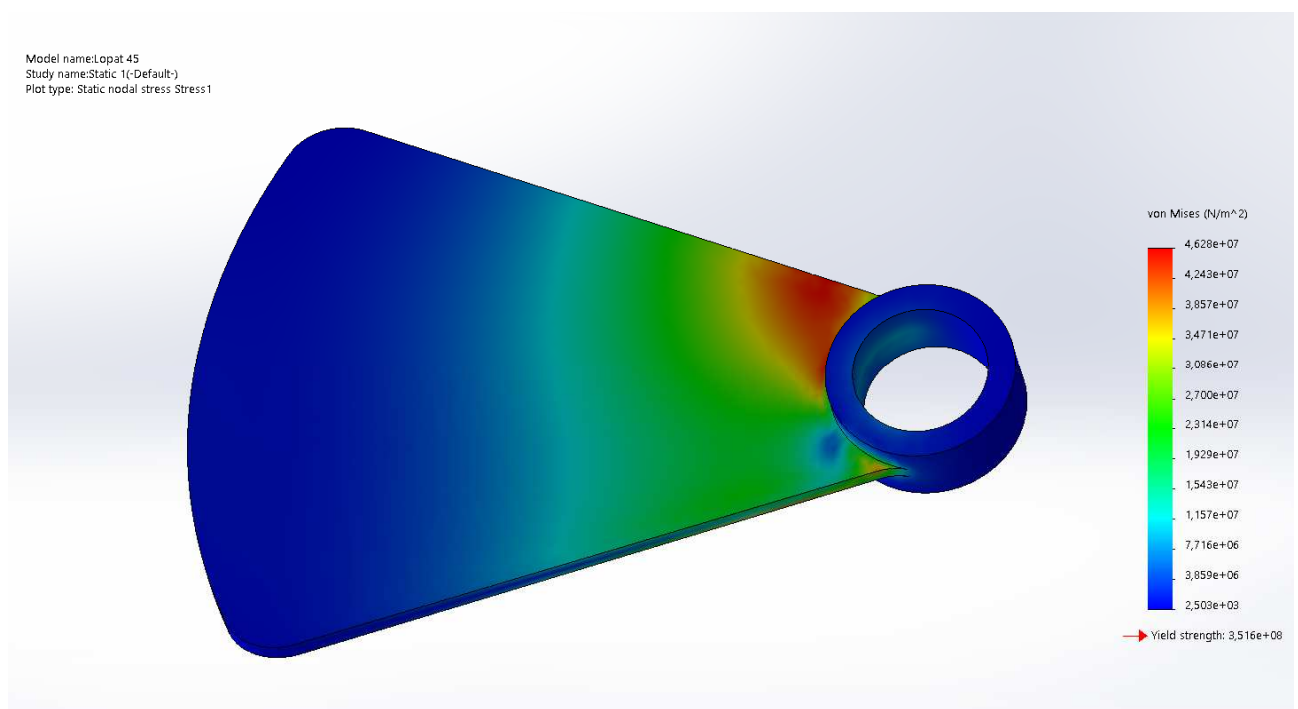


Рисунок 4.12. - Епюра напружень за фон Мізесом (von Mises, Н/м²) робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів з робочим кутом 45°

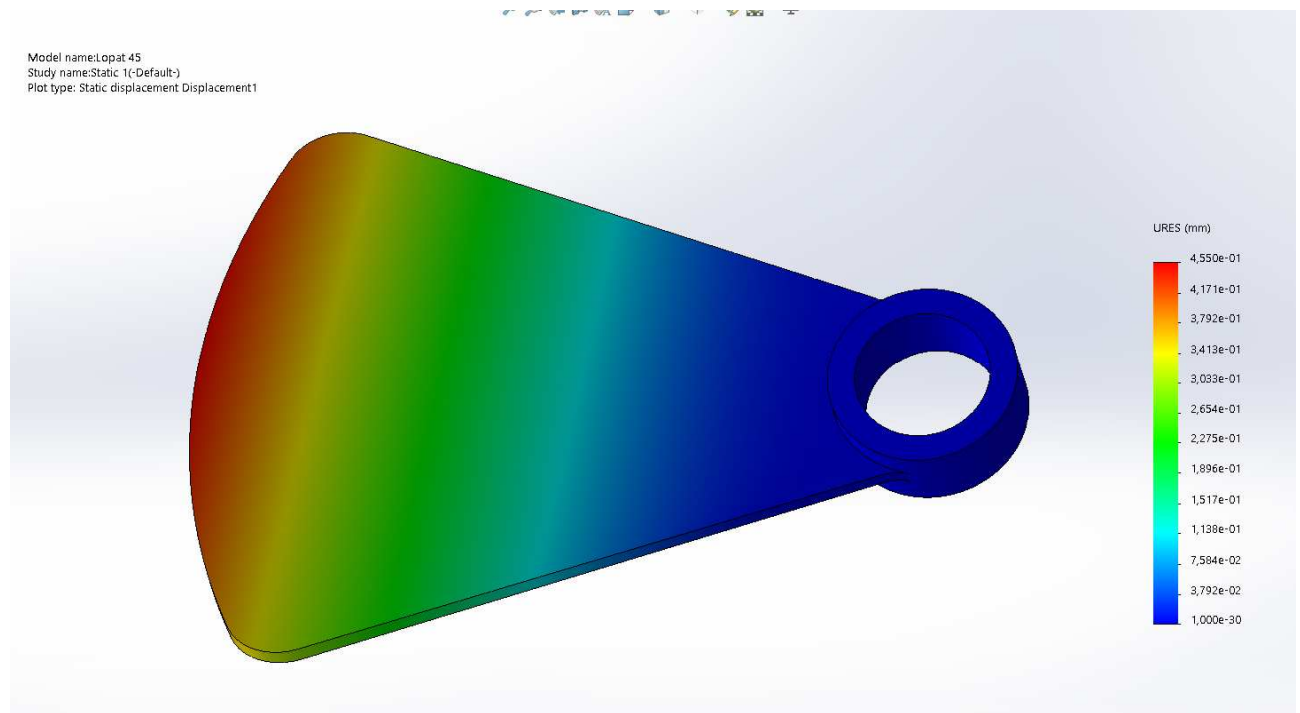


Рисунок 4.13. - Епюра результуючого переміщення URES робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів з робочим кутом 45°

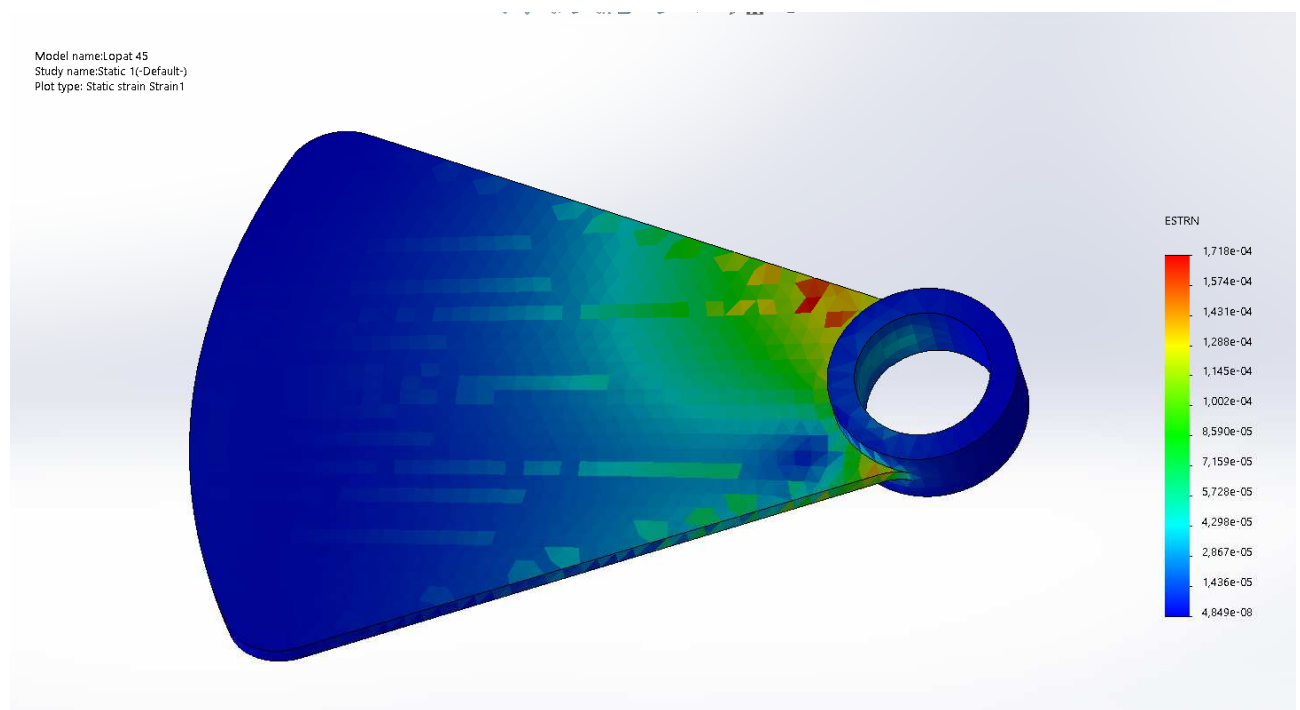


Рисунок 4.14. - Епюра еквівалентної деформація ESTRN робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів з робочим кутом 45°

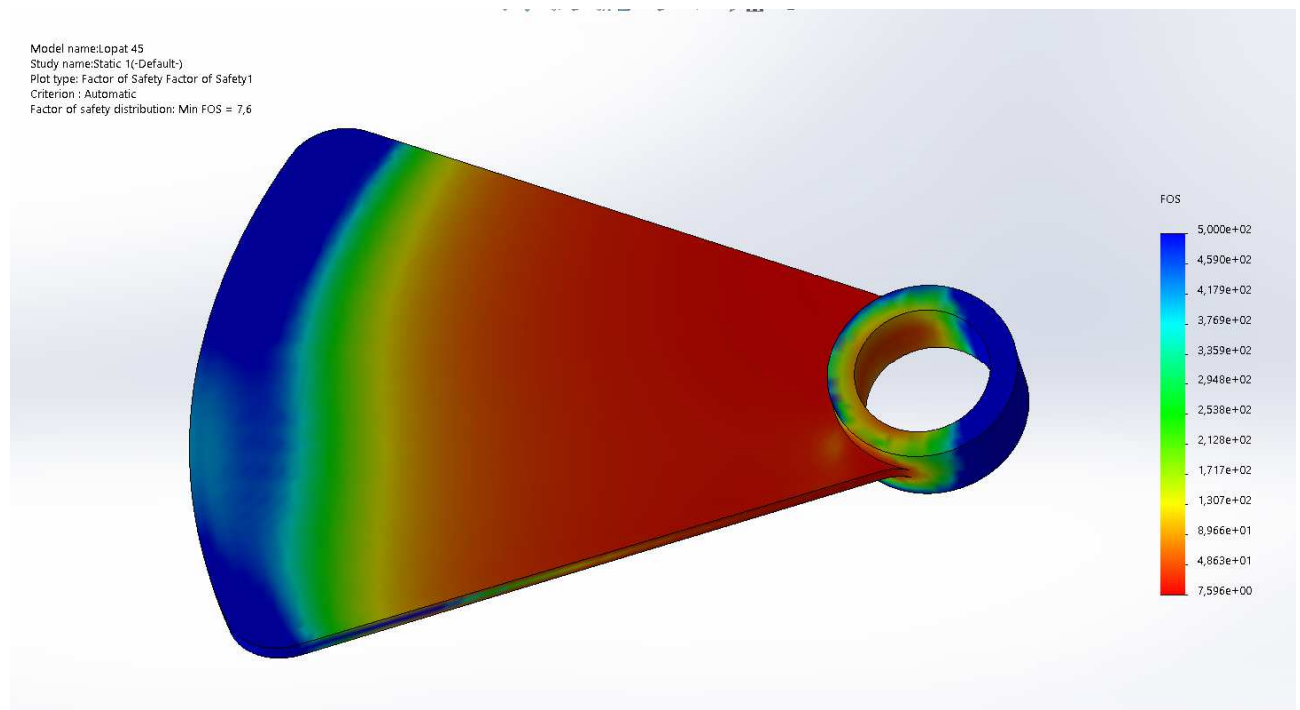


Рисунок 4.15. - Епюра коефіцієнту запасу міцності FOS робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів з робочим кутом 45°

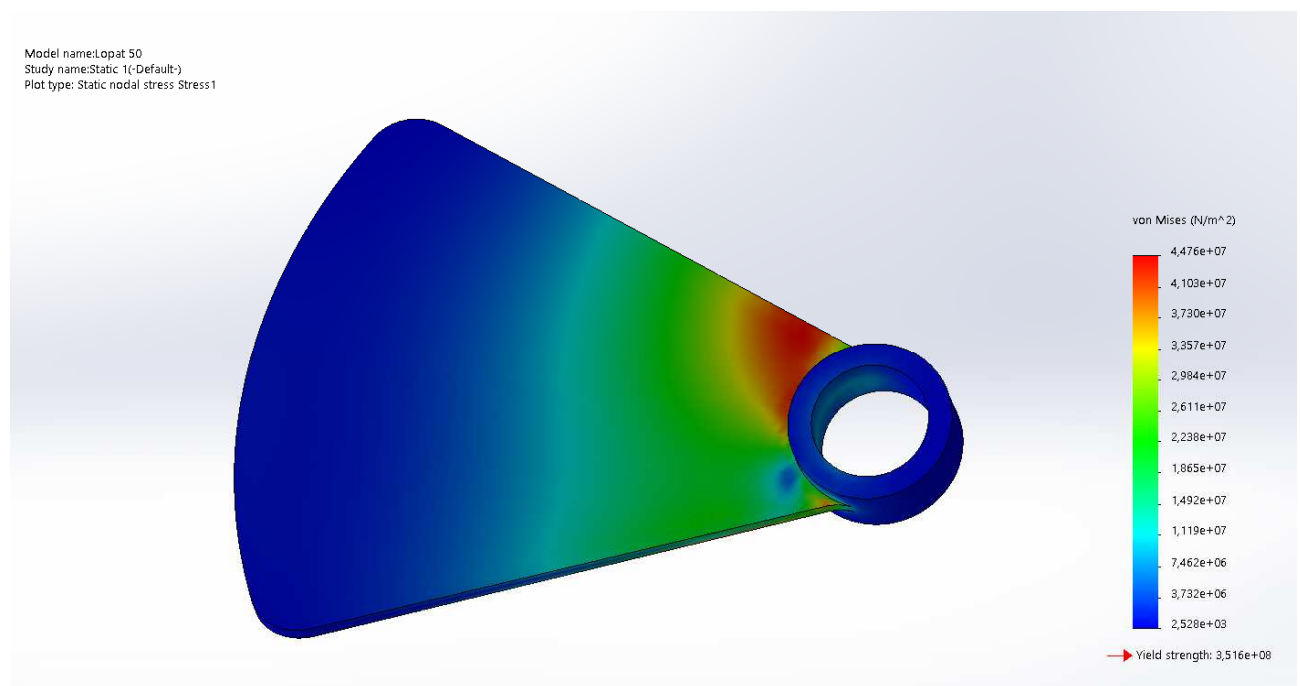


Рисунок 4.16. - Епюра напружень за фон Мізесом (von Mises, Н/м²) робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів з робочим кутом 50°

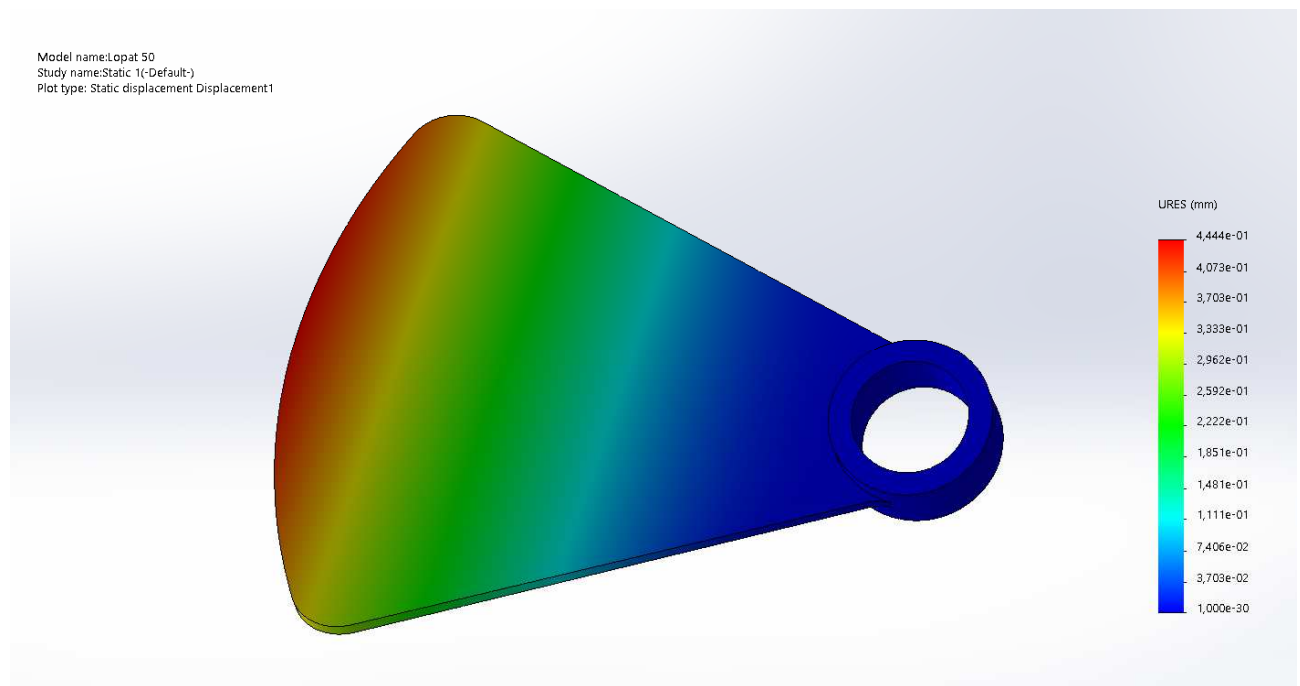


Рисунок 4.17. - Епюра результуючого переміщення URES робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів з робочим кутом 50°

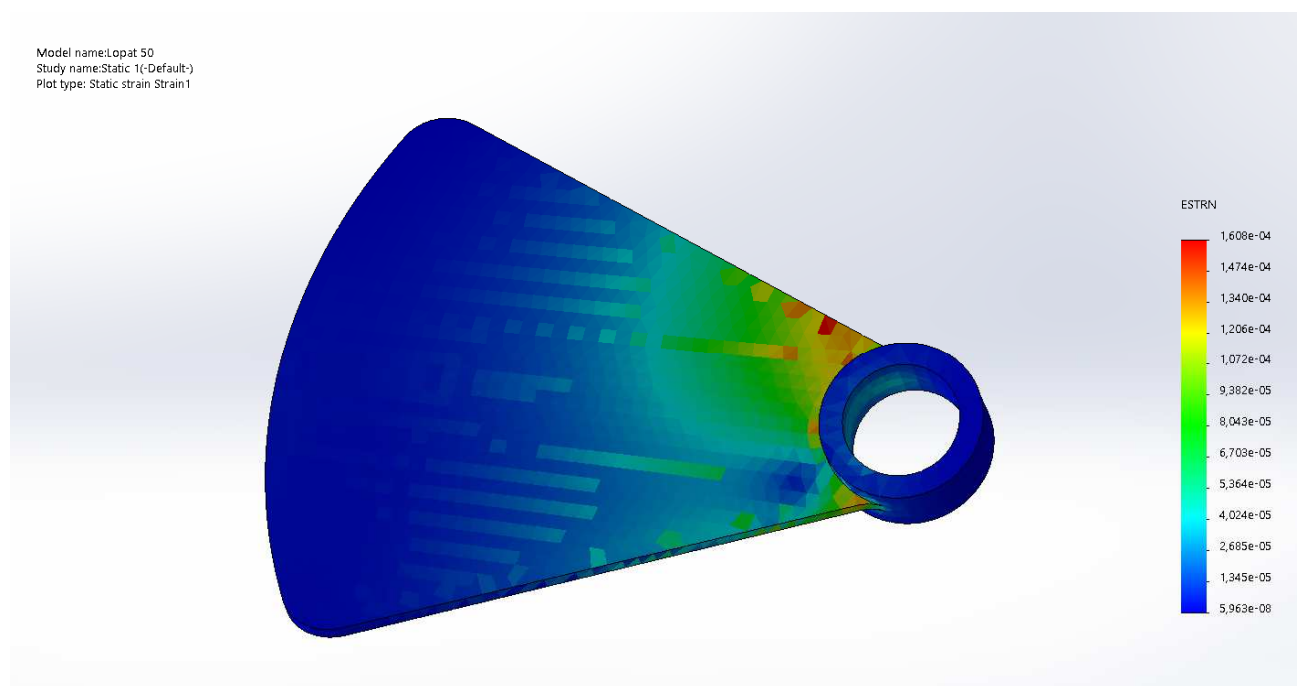


Рисунок 4.18. - Епюра еквівалентної деформація ESTRN робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів з робочим кутом 50°

Model name: Lopat 50
 Study name: Static 1(-Default-)
 Plot type: Factor of Safety Factor of Safety1
 Criterion : Automatic
 Factor of safety distribution: Min FOS = 7,9

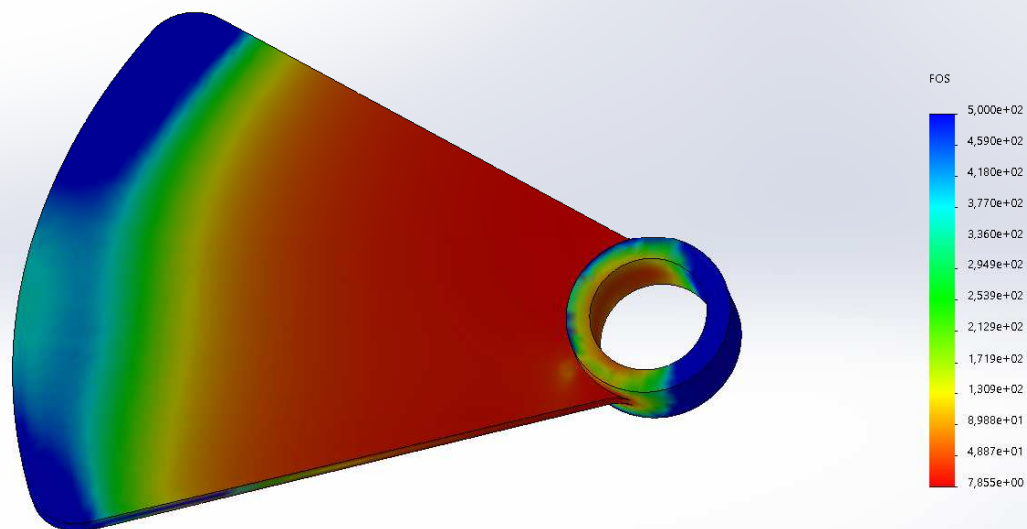


Рисунок 4.19. - Епюра коефіцієнту запасу міцності FOS робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів з робочим кутом 50°

Model name: Lopat 60
 Study name: Static 1(-Default-)
 Plot type: Static nodal stress Stress1

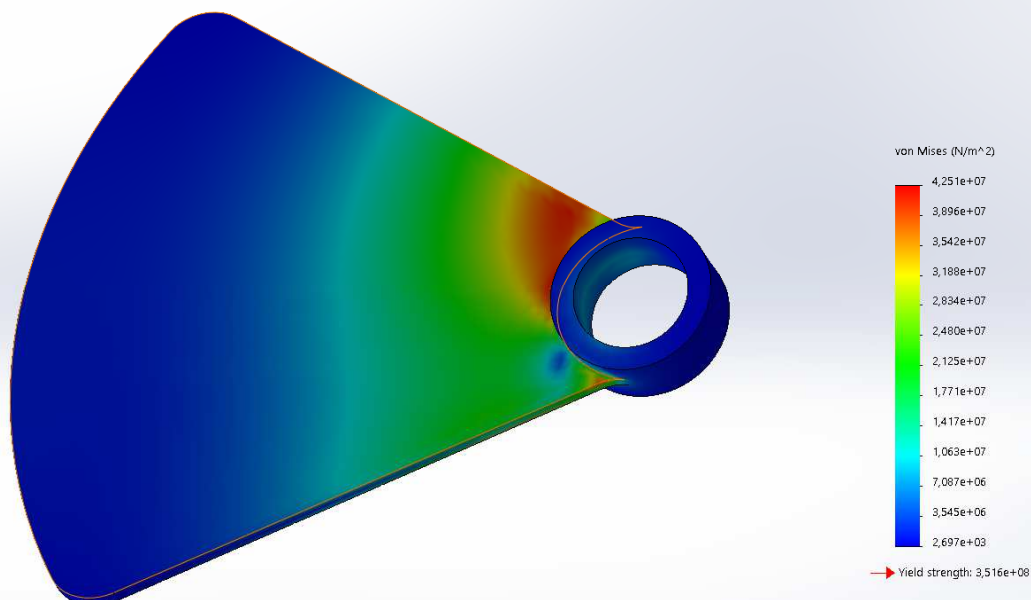


Рисунок 4.20. - Епюра напружень за фон Мізесом (von Mises, Н/м²) робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів з робочим кутом 60°

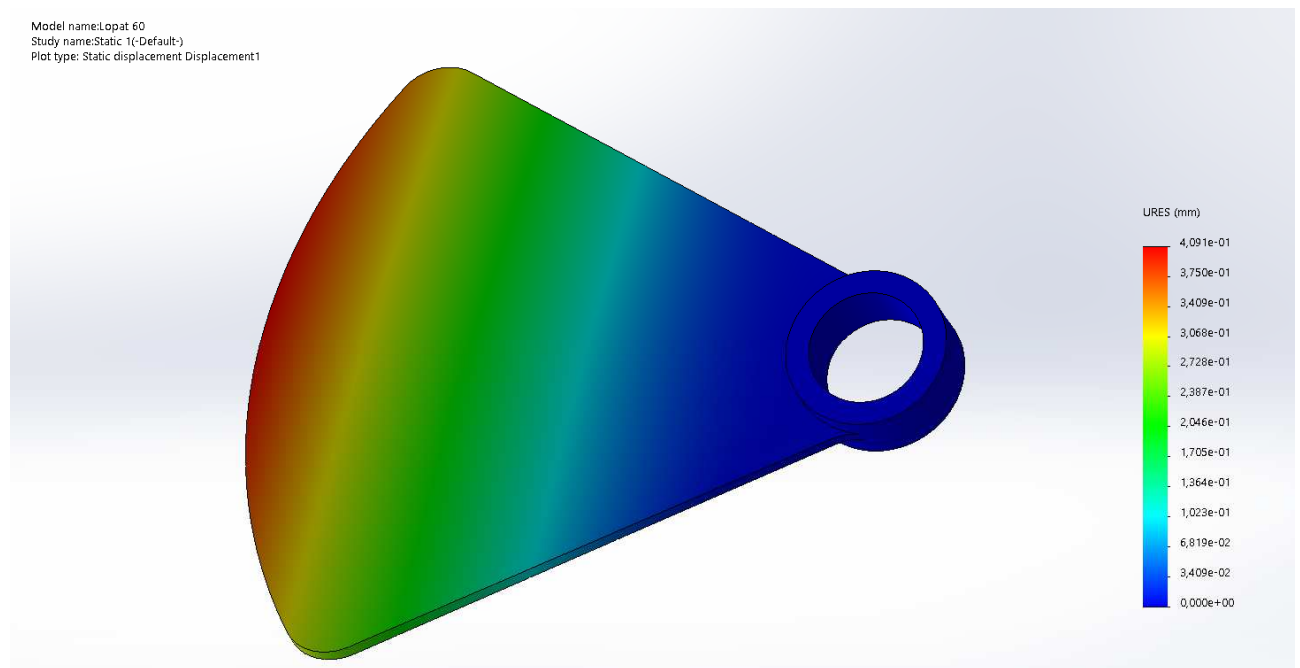


Рисунок 4.21. - Епюра результуючого переміщення URES робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів з робочим кутом 60°

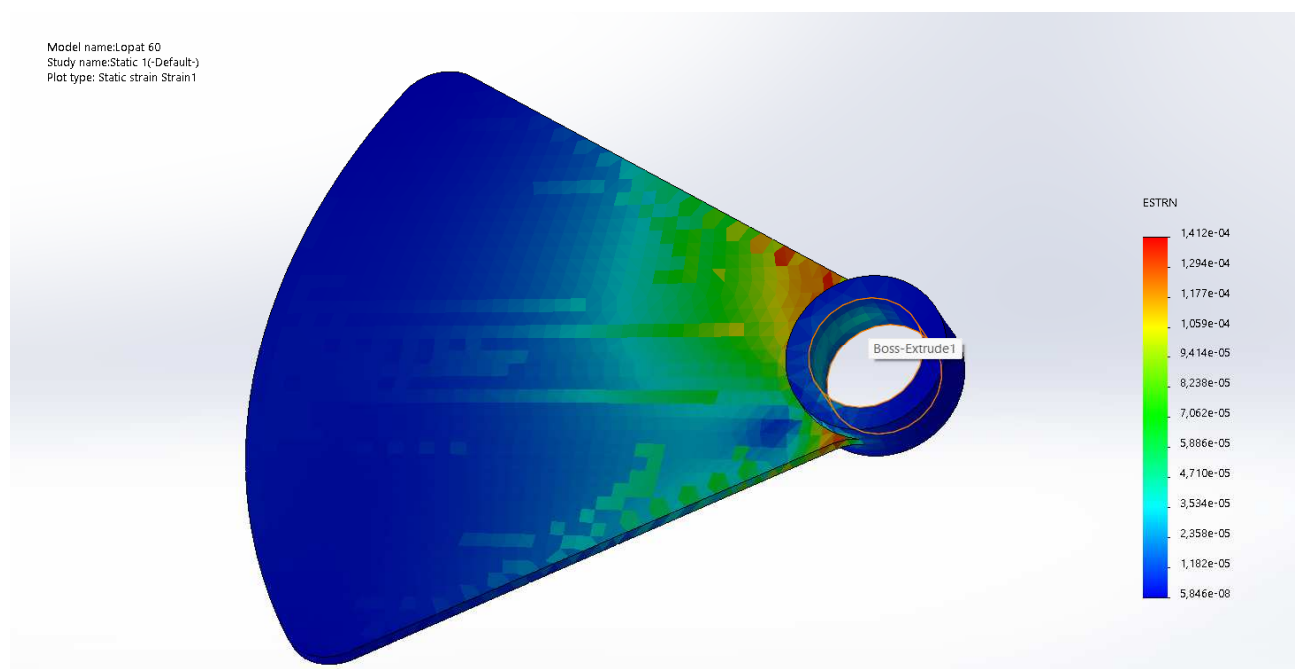


Рисунок 4.22. - Епюра еквівалентної деформація ESTRN робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів з робочим кутом 60°

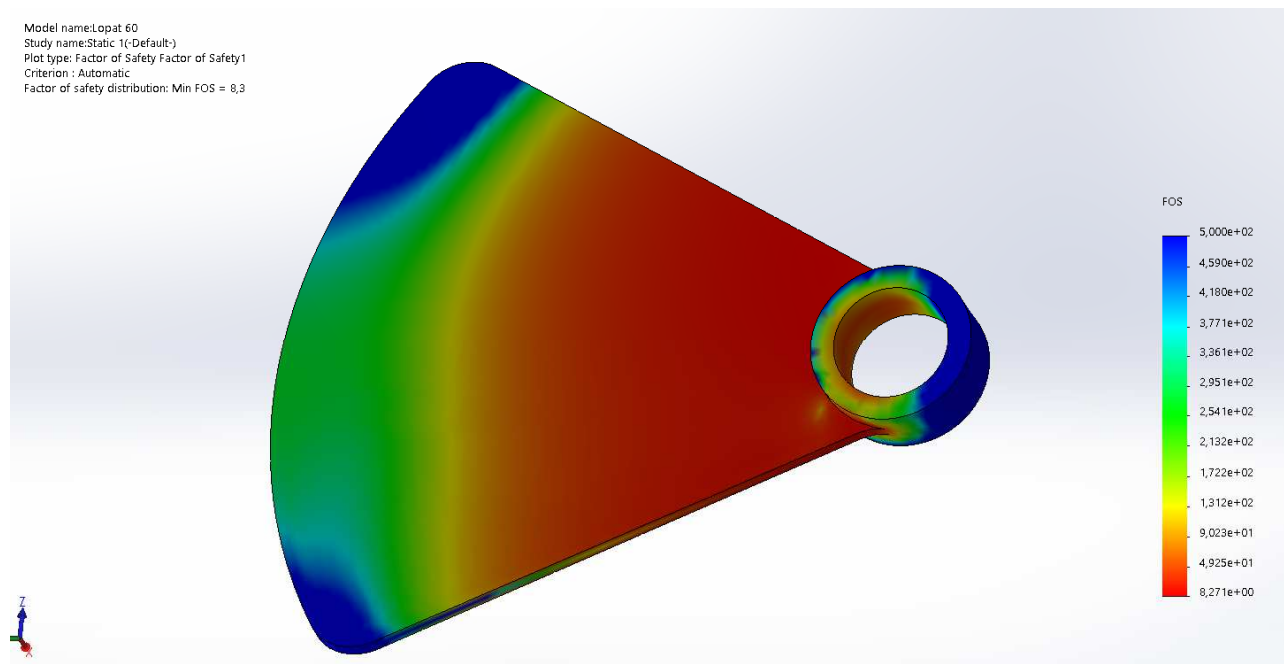


Рисунок 4.23. - Епюра коефіцієнту запасу міцності FOS робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів з робочим кутом 60°

4.2. Аналіз отриманих результатів

Таблиця 4.1. - Результати дослідження робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів з робочим кутом 30°

Параметр	Мінімум	Максимум
Напруження за фон Мізесом von Mises, Н/м ²	1990.97399902	51721024
Результуюче переміщення URES, мм	0	0.496075422
Еквівалентна деформація ESTRN	4.61153142e-08	0.000159246061
Коефіцієнт запасу міцності FOS	6.79744864	176582.421875

Таблиця 4.2. - Результати дослідження робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів з робочим кутом 40°

Параметр	Мінімум	Максимум
Напруження за фон Мізесом von Mises, Н/м ²	2223.85375977	48488152
Результуюче переміщення URES, мм	0	0.471303225
Еквівалентна деформація ESTRN	5.42230225e-08	0.000173258697
Коефіцієнт запасу міцності FOS	7.25065804	158090.890625

Таблиця 4.3. - Результати дослідження робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів з робочим кутом 45°

Параметр	Мінімум	Максимум
Напруження за фон Мізесом von Mises, Н/м ²	2503.05615234	46281800
Результуюче переміщення URES, мм	0	0.4550125
Еквівалентна деформація ESTRN	4.8494968e-08	0.000171756197
Коефіцієнт запасу міцності FOS	7.59631252	140456.703125

Таблиця 4.4. - Результати дослідження робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів з робочим кутом 50°

Параметр	Мінімум	Максимум
Напруження за фон Мізесом von Mises, Н/м ²	2528.17431641	44758632
Результуюче переміщення URES, мм	0	0.444355726
Еквівалентна деформація ESTRN	5.96335141e-08	0.000160795491
Коефіцієнт запасу міцності FOS	7.85482025	139061.218750

Таблиця 4.5. - Результати дослідження робочого органу вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів з робочим кутом 60°

Параметр	Мінімум	Максимум
Напруження за фон Мізесом von Mises, Н/м ²	2697.44726563	42506848
Результуюче переміщення URES, мм	0	0.409127086
Еквівалентна деформація ESTRN	5.84592463e-08	0.000141178665
Коефіцієнт запасу міцності FOS	8.27092648	130334.710930

Виконаємо аналіз кожного параметра та знайдемо відповідні рівняння регресії (де x — робочий кут лопатки в градусах, а y — значення параметра).

Напруження за фон Мізесом (von Mises).

Це ключовий показник механічного навантаження на матеріал. Спостерігається чітка тенденція: зі збільшенням кута лопатки максимальні напруження зменшуються, тоді як мінімальні напруження зростають.

Мінімальне напруження: Зростає з 1990.97 до 2697.45 Н/м².

Рівняння: $y = 23.47x + 1354.3$

Максимальне напруження: Зменшується з 51.72×10^6 до 42.51×10^6 Н/м². Це свідчить про те, що при більших кутах навантаження розподіляється більш рівномірно, що знижує пікові напруження на конструкцію.

Рівняння: $y = -307572x + 61000000$

Результуюче переміщення (URES).

Параметр URES вказує на фізичне відхилення або деформацію робочого органу під навантаженням.

Мінімальне переміщення: Стабільно дорівнює 0 мм для всіх кутів, що відповідає закріпленим частинам вузла.

Максимальне переміщення: Поступово зменшується з 0.496 мм до 0.409 мм при збільшенні кута. Це вказує на підвищення жорсткості конструкції або зміну вектора прикладання сили, що зменшує загальний прогин.

Рівняння: $y = -0.0028x + 0.5824$

Еквівалентна деформація (ESTRN).

Цей безрозмірний параметр описує відносні зміни форми елементів конструкції.

Мінімальна деформація: Має тенденцію до незначного зростання з коливаннями (від 4.61×10^{-8} до 5.85×10^{-8}).

Рівняння: $y = 4.7 \times 10^{-10}x + 3.2 \times 10^{-8}$

Максимальна деформація: Поводиться нелінійно; спочатку зростає до піку на куті 40° (0.000173), після чого стабільно знижується до 0.000141 на куті 60° .

Рівняння: $y = -7.8 \times 10^{-7}x + 0.0002$

Коефіцієнт запасу міцності (FOS).

Параметр FOS демонструє, наскільки конструкція надійна відносно межі текучості матеріалу. Чим вище цей показник, тим безпечніша експлуатація.

Мінімальний FOS: Стабільно зростає з 6.80 до 8.27. Це найважливіший показник, оскільки він визначає «найслабшу ланку». Збільшення кута лопатки прямо покращує загальну надійність вузла.

Рівняння: $y = 0.0487x + 5.3585$

Максимальний FOS: Зменшується з 176582 до 130334. Це свідчить про вирівнювання напружень у конструкції — зони з надлишковим запасом стають більш навантаженими, що робить використання матеріалу ефективнішим.

Рівняння: $y = -1574.6x + 221051$

Таким чином, дослідження показує, що збільшення робочого кута лопатки з 30° до 60° позитивно впливає на механічну стабільність робочого органу. Це виражається у зниженні максимальних напружень на 17.8% та зростанні мінімального коефіцієнта запасу міцності на 21.6%. Оптимальним з точки зору міцності є кут 60° , оскільки він забезпечує найменші переміщення та найвищий рівень безпеки конструкції.

4.3. Висновки по розділу

Проведений аналіз виявив чітку кореляцію між кутом нахилу лопатки та розподілом внутрішніх зусиль у матеріалі. Найважливішим показником є напруження за фон Мізесом, яке характеризує енергію формозмінення та ризик виникнення пластичних деформацій. Зі збільшенням кута від 30° до 60° максимальне значення напруження стабільно знижується з $51.72 \times 10^6 \text{ Н/м}^2$ до $42.51 \times 10^6 \text{ Н/м}^2$. Це свідчить про те, що при більших кутах навантаження від маси тіста розподіляється більш рівномірно по площині лопатки, зменшуючи концентрацію напружень у небезпечних перерізах. Рівняння регресії для прогнозування пікового навантаження має вигляд:

$$y_{\text{max_stress}} = -307572x + 6.1 \times 10^7$$

Паралельно зі зниженням напружень спостерігається підвищення жорсткості системи, що підтверджується даними про результуюче переміщення (URES). Максимальне зміщення конструкції під навантаженням зменшується з 0.496 мм до 0.409 мм. Таке зниження деформативності на 17.5% при збільшенні кута до 60° дозволяє досягти більшої точності геометричних параметрів готових виробів, оскільки робочий орган менше відхиляється від заданої траєкторії під тиском. Лінійна модель цього процесу описується рівнянням:

$$y_{\text{max_disp}} = -0.0028x + 0.5824$$

Особливий інтерес викликає поведінка еквівалентної деформації (ESTRN). На відміну від інших параметрів, вона демонструє нелінійний характер: після початкового зростання при 40° (0.000173) спостерігається її поступове зниження до мінімального рівня при 60° (0.000141). Це вказує на існування критичних зон перерозподілу деформацій у металі при середніх значеннях кутів.

Ключовим критерієм безпеки вузла є коефіцієнт запасу міцності (FOS). Дослідження підтвердили, що конструкція преса ПМ-75 має значний експлуатаційний резерв. Мінімальний коефіцієнт запасу зростає пропорційно куту нахилу: від 6.79 при 30° до 8.27 при 60° . Це означає, що збільшення кута не тільки розвантажує деталь, але й підвищує її стійкість до втомних

руйнувань, що є критичним для обладнання харчової промисловості, яке працює в умовах постійних циклічних навантажень. Прогнозна модель надійності виражається рівнянням:

$$y_{\min_FOS} = 0.0487x + 5.3585$$

На основі отриманих даних можна зробити наступні узагальнення:

Кут лопатки 60° є найкращим з точки зору механічної надійності, оскільки він забезпечує мінімальні напруження та деформації при найвищому коефіцієнті запасу міцності.

Збільшення кута до 60° дозволяє підвищити довговічність вузла приготування тіста на 20-22% порівняно з базовим варіантом у 30° , що знижує витрати на технічне обслуговування.

Оскільки навіть при мінімальному значенні (30°) запас міцності складає 6.79 (що значно вище одиниці), існує можливість для модернізації вузла шляхом зменшення металомісткості або використання полегшених сплавів без ризику руйнування.

Отримані рівняння регресії дозволяють з високою точністю визначати параметри стану робочого органу для будь-яких проміжних значень кутів, що значно спрощує процес проектування модифікацій преса ПМ-75.

5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5.1. Охорона праці

Усі технологічні процеси виробництва макаронної продукції повинні здійснюватися в умовах ретельної чистоти з дотриманням санітарно-гігієнічних норм. Необхідно забезпечити захист продукції від забруднення, псування та потрапляння сторонніх предметів і речовин. Готова продукція має вироблятися у суворій відповідності до чинної нормативної документації.

Відповідальність за дотримання технологічних інструкцій покладається на майстрів, технологів, завідувачів виробництвом та начальників цехів (дільниць).

У технологічному процесі виробництва макаронних виробів використовується наступне обладнання: просіювачі борошна, насоси для води та інших харчових рідин, макаронні преси, транспортери, сушарки для готових виробів, фасувальні та пакувальні автомати.

Основними факторами небезпеки [28-29] при використанні просіювачів є висока ймовірність виникнення аварійних ситуацій внаслідок накопичення статичної електрики, а також загоряння та вибуху борошняного пилу в повітрі. Для запобігання цим ризикам просіювач обов'язково заземлюється, забезпечується достатня вентиляція для відведення повітря із завислими частинками. Елементи приводу просіювача закриваються захисними кожухами.

Під час роботи з просіювачем відбувається обробка легко електризованих матеріалів, тому обслуговуючий персонал може перебувати під впливом електростатичного поля. Гранично допустима напруженість електростатичного поля на робочому місці визначається нормами і не повинна перевищувати: при впливі до 1 години — 60 кВ/м, при впливі від 1 до 9 годин — розраховується за умови не більше 60 кВ/м.

Технологічні трубопроводи повинні забезпечувати повну герметичність. Підтікання є неприпустимим, оскільки створює додаткові небезпеки для

персоналу: слизька підлога, підвищена вологість, що збільшує ймовірність падіння, отримання травм та ураження електричним струмом.

Безпечна експлуатація електричних відцентрових насосів передбачає якісне складання та забезпечення точності монтажу. При складанні насоса необхідно ретельно встановлювати ущільнювальні прокладки, кільця та манжети. Основними небезпечними факторами роботи насосів є вібрації та можливість ураження електричним струмом внаслідок надмірної вологості. Для мінімізації шкідливої дії цих чинників встановлюється віброізоляція та заземлення.

Під час роботи підтікання насоса не повинно перевищувати встановлених для даної конструкції максимальних нормативних значень. Експлуатація несправного насоса (при задіванні робочих органів за корпус або кришку, при підвищеній вібрації та шумі) категорично заборонена.

Макаронний прес являє собою складну систему з електричною, механічною та пневматичною частинами. Для забезпечення безпечної експлуатації необхідно передбачити заземлення електричної частини, а також обмежити доступ до елементів приводу та дозатора борошна й інших сипких продуктів за допомогою захисних кожухів. Важливим є забезпечення герметичності трубопроводів та елементів, що мають контакт з рідинами. Для додаткового захисту на підлозі встановлюється дерев'яна підставка для обслуговуючого персоналу. Наявність кількох рухомих елементів обумовлює виникнення вібрації, тому також впроваджується віброізоляція.

Макаронні преси закритого конструктивного виконання належать до машин малого рівня небезпеки. Як правило, вони не працюють при великих надлишкових тисках чи високих температурах. Робочі елементи машини (шнеки) конструкційно розміщуються в закритому просторі, тому явної небезпеки не становлять. Проте макаронні преси можуть працювати при порівняно великих обертах рухомих елементів, що спричиняє вібрацію та шум.

Преси приводяться в рух електричними двигунами і повинні відповідати ПУЕ, бути надійно заземленими, оскільки під час роботи на них можуть

накопичуватися значні заряди статичної електрики. Передачі приводу закриваються захисними кожухами. Використовуються також запобіжні пристрої для безпеки при ремонті чи оглядах.

Для зниження ризику ураження електричним струмом передбачено окремий вимикач. Протягом усього терміну експлуатації макаронного преса необхідно контролювати стан ізоляції на струмопровідних елементах мережі та використовуюваного заземлення. Заземлення дає можливість уникнути ураження електричним струмом при дотику до корпусу та неізольованих частин преса. Вибір системи заземлення здійснюється згідно з ДСТУ.

Основним джерелом шуму в макаронному пресі є електродвигун приводу шнеків та самі шнеки. Оскільки рівень шуму двигуна перебуває в межах нормативів, додаткові заходи щодо його зниження недоцільні. Для зменшення рівня шуму передач приводу робочих органів вони закриваються захисними кришками, що також знижує шум від самих робочих органів.

При експлуатації транспортерів необхідно забезпечити відсутність фізичного контакту робітників з їх рухомими елементами, що досягається встановленням огорож та захисних кожухів.

При експлуатації сушильної установки суттєву небезпеку становлять ситуації, пов'язані з тепловими опіками. Стандартами передбачається максимально допустима температура поверхонь, доступних для дотику, не більше 50°C. Для забезпечення нормальних умов праці застосовується теплоізоляція, яка унеможливорює вільний дотик до нагрітих поверхонь. У деяких випадках допускається застосування тканинних рукавиць.

У фасувального та пакувального автоматів необхідно забезпечити уникнення механічного та електричного травматизму персоналу при фізичному контакті, що досягається монтажем заземлення та встановленням захисних кожухів.

Технологічне обладнання та апаратура цеху макаронних виробів повинні бути зовні пофарбовані фарбою світлих тонів (за винятком обладнання, виготовленого чи облицьованого нержавіючим матеріалом), що не містить

шкідливих домішок. Фарбування посуду та інвентарю фарбами, що містять свинець, кадмій або хром, не допускається.

Розміщення технологічного обладнання здійснюється відповідно до технологічної схеми, забезпечує потоковість технологічного процесу, короткі та прямі гідравлічні комунікації, виключає зустрічні потоки сировини та готової продукції.

При розміщенні обладнання дотримуються умови, що забезпечують вільний доступ працівників до нього, проведення санітарного контролю за виробничими процесами, якістю сировини, напівфабрикатів та готової продукції, а також можливість миття, прибирання та дезінфекції приміщень і обладнання. Усі частини, що контактують з сировиною, повинні бути доступні для чищення, миття та дезінфекції.

При проектуванні та монтажі нового обладнання забезпечуються такі відстані:

- основні проходи в місцях постійного перебування працівників — не менше 1,5 м;
- проходи біля віконних прорізів, доступних з рівня підлоги або площадки — не менше 1 м;
- проходи для огляду та регулювання апаратів і приладів — не менше 0,8 м;
- проходи для огляду трубопроводів та апаратів, які не потребують регулювання — не менше 0,7 м;
- ширина проходів між автоматичними і механізованими лініями (по їх осях) та головних проїздів — не менше 2,4 м;
- розриви між окремими машинами, верстатами, ємкостями, розміщеними в одному ряду — не менше 0,35 м.

При розміщенні стрічкових, роликкових та інших транспортерів передбачаються проходи між стіною та однією поздовжньою стороною транспортера не менше 0,7 м, а між двома паралельно розміщеними транспортерами — не менше 0,9 м. При цьому з протилежної сторони

транспортери зі стрічкою завширшки до 60 см можна встановлювати впритул до стіни, а при стрічці завширшки понад 60 см залишають розрив від стіни не менше 0,4 м. При наявності на транспортерах перекидних візків проходи збільшують з урахуванням виступаючої частини візка.

Освітлення виробничих приміщень повинно відповідати вимогам СНіП «Природне і штучне освітлення. Норми проектування» та «Санітарним вимогам до проектування підприємств макаронної промисловості».

У виробничих приміщеннях найбільш прийнятним є природне освітлення: світловий коефіцієнт (СК) повинен бути в межах 1:6 — 1:8. У побутових приміщеннях СК повинен бути не менше 1:10. Коефіцієнт природного освітлення (КПО) передбачається з урахуванням характеру праці та зорової напруги.

При недостатньому природному освітленні застосовується штучне освітлення — переважно люмінесцентні лампи. У приміщеннях з важкими умовами праці або без постійних робочих місць використовуються лампи розжарювання.

Штучне освітлення повинно бути представлене загальним освітленням у всіх цехах та приміщеннях, а у виробничих приміщеннях при необхідності — місцевим чи комбінованим.

Однією з найпоширеніших на переробних підприємствах небезпечних ситуацій є ситуації, пов'язані з використанням обладнання, що має рухомі елементи (механічні небезпеки). До механічних належать небезпеки, які можуть виникнути біля будь-якого об'єкта, здатного спричинити травму в результаті неспровокованого контакту об'єкта або його частини з людиною. До таких небезпечних елементів на заводі в першу чергу належать ланцюгові та пасові передачі приводу технологічного обладнання, відкриті зубчаті передачі тощо.

Секції агрегатів повинні мати двері, які легко відчиняються, запобіжні пристрої, що запобігають травматизму працівників і забезпечують свободу рухів та дій операторів. Для цього монтуються механізми фотоелектричного

блокування, що у випадку виникнення перешкод на шляху променя світла не дозволяють увімкнути привід машини.

Найбільш дієвими запобіжними заходами є створення умов, коли небезпечна частина не є легкодоступною (наприклад, закривається кожухом чи кришкою), а також застосування кінцевих електричних контактних датчиків, які припиняють подачу струму у випадку відкриття або демонтажу запобіжної кришки чи кожуха.

Технологічне обладнання, апаратура, посуд, тара, інвентар, плівка та вироби з полімерних та інших синтетичних матеріалів повинні бути виготовлені з матеріалів, дозволених органами санітарно-епідеміологічного нагляду для контакту з харчовими продуктами.

Ванни, металевий посуд, спуски, лотки, жолоби тощо повинні мати гладкі внутрішні поверхні, що легко очищаються, без щілин, зазорів, виступаючих болтів чи заклепок, що утруднюють очищення. Слід уникати використання дерева та інших матеріалів, що погано миються та дезінфікуються.

Робочі поверхні (покриття) столів для обробки харчових продуктів повинні бути гладкими, без щілин та зазорів, виготовлені з нержавіючого металу чи полімерних матеріалів, дозволених органами санітарно-епідеміологічного нагляду для контакту з харчовими продуктами.

5.2. Безпека у надзвичайних ситуаціях

Фабрика виробництва макаронних виробів характеризується специфічними умовами, що створюють ризики виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру [30]. Основними чинниками небезпеки є наявність борошняного пилу, використання природного газу для сушіння продукції та експлуатація електрообладнання високої потужності.

Виробництво належить до категорії Б за пожежовибухонебезпекою відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Борошняний пил при концентрації 50-200 г/м³ утворює вибухонебезпечні суміші з температурою самозаймання 380-420°C. Додаткову небезпеку становлять сушарки, що працюють при температурах 50-90°C, та електродвигуни потужністю до 75 кВт.

Використання природного газу створює ризик витоку з подальшим вибухом. Критичними точками є з'єднання трубопроводів, запірні арматури та пальникові пристрої. Аварійне відключення електроенергії призводить до зупинки вентиляції та накопичення пилу, що підвищує пожежну небезпеку.

Для Тернопільської області характерні природні загрози: зливи з інтенсивністю до 50 мм/добу, сильні вітри понад 20 м/с, снігові навантаження до 180 кг/м² та низькі температури до -25°C.

На фабриці призначається відповідальна особа за пожежну безпеку, проводиться інструктаж персоналу щокварталу та розробляється план евакуації з нанесенням евакуаційних виходів і засобів пожежогасіння.

У виробничих приміщеннях встановлюється адресно-аналогова система пожежної сигналізації з димовими оптико-електронними сповіщувачами типу ДІП-34А щільністю один на 25 м². У зонах з пилом застосовуються теплові сповіщувачі ІП 101-23. Система забезпечує автоматичне визначення місця пожежі, включення оповіщення, передачу сигналу на пульт пожежної охорони та запуск димовидалення.

У складських приміщеннях встановлюється спринклерна система водяного пожежогасіння з інтенсивністю зрошення 0,12 л/(с·м²). У

приміщеннях з технологічним обладнанням передбачається модульна система газового пожежогасіння на основі хладону 227ea.

Первинні засоби пожежогасіння включають вогнегасники порошкові ВП-5 (один на 200 м²), вуглекислотні ВВК-3,5 біля електрощитових, пожежні щити з інвентарем та внутрішні пожежні крани з рукавами Ø 50 мм.

Профілактичні заходи включають щозмінний контроль запиленості, щотижневе вологе прибирання, систему аспірації з кратністю повітрообміну 5-8 год⁻¹, заземлення обладнання з опором до 10 Ом та організацію куріння у спеціально відведених місцях на відстані 15 м від будівель.

Для локалізації можливого вибуху передбачаються легкоскидні конструкції з площею 0,05 м² на 1 м³ об'єму приміщення. Силоси обладнуються мембранними вибухозапобіжними клапанами типу КПВ-100 з тиском спрацювання 5-10 кПа. Між приміщеннями встановлюються швидкодіючі відсічні засувки з часом спрацювання менше 50 мс.

У просіювальному відділенні застосовується флегматизація атмосфери азотом для зниження кисню до 12%. На норіях встановлюються датчики тиску та полум'я, що при детектуванні зростання тиску активують форсунки з вогнегасним порошком або водою під тиском 1,5 МПа.

Теплогенератори обладнуються системою захисту з автоматичним відключенням газу при згасанні полум'я, блокуванням розпалювання при недостатньому розрідженні та сигналізацією витоку газу. У приміщеннях розміщуються сигналізатори загазованості типу СТГ-1, що при досягненні 20% НКМВ дають сигналізацію, а при 50% перекривають відсічні клапани.

Застосовується система заземлення TN-C-S з контуром опором до 4 Ом. На вводі встановлюються ПЗВ з диференційним струмом 30 мА та часом відключення 0,03 с. Виконується вирівнювання потенціалів з приєднанням всіх металевих конструкцій.

Для критичних споживачів передбачається дизель-генераторна установка потужністю 150 кВт з автоматичним запуском за 15 секунд. До мережі аварійного живлення підключаються системи сигналізації, аварійне освітлення,

протипожежні насоси, диспетчеризація та холодильні установки. Акумуляторні батареї забезпечують автономну роботу систем автоматики протягом 3 годин.

Будівля належить до II категорії блискавкозахисту. Застосовується комбінована система з блискавкоприймачами (дріт Ø8 мм), струмовідводами (смуга 24×4 мм з кроком 25 м) та обмежувачами перенапруги на вводі електроживлення.

Наказом директора створюється комісія з НС на чолі з головним інженером, яка розробляє План локалізації та ліквідації аварійних ситуацій. План затверджується директором, погоджується з ДСНС та переглядається щороку.

При виявленні пожежі працівник натискає кнопку сповіщувача, черговий викликає пожежну охорону за телефоном 101, організовується евакуація та відключення обладнання. Добровільна пожежна команда приступає до гасіння первинними засобами до прибуття ДСНС.

При витoku газу оператор перекриває відсічні клапани, зупиняє газоспожне обладнання, організовує провітрювання та евакуацію персоналу з радіусу 50 м. При аварії на електромережах запускається дизель-генератор, зупиняються технологічні лінії, викликається чергова бригада електриків.

Евакуація здійснюється через виходи шириною не менше 0,8 м, позначені світловими покажчиками. Розрахунковий час евакуації 80 осіб становить 3,5 хвилини. Тренування проводяться двічі на рік з фіксацією часу евакуації.

У підвалі обладнується сховище цивільного захисту на 100 осіб з фільтровентиляційною установкою ФВУ-50, дизель-електричною станцією 5 кВт, запасами води та продовольства на 3 доби. Сховище утримується в постійній готовності з перевіркою систем щокварталу.

Створюється резерв матеріально-технічних засобів: мотопомпи, аварійні світильники, бензопили, гідравлічний інструмент, захисний одяг, медичні носилки та запасні частини для ремонту комунікацій.

При виникненні НС викликаються служби за телефоном 112 з повідомленням адреси, характеру ситуації та наявності постраждалих. В'їзні

ворота шириною 3,5 м утримуються у справному стані, під'їзди до будівель шириною 6 м залишаються вільними. Один раз на рік проводяться спільні навчання з ДСНС для відпрацювання взаємодії та перевірки ефективності плану ліквідації аварій.

Основні загрози на фабриці виробництва макаронів пов'язані з пожежовибухонебезпечними властивостями борошняного пилу, використанням природного газу та експлуатацією електрообладнання. Запропонований комплекс заходів включає автоматичні системи сигналізації та пожежогасіння, противибухові пристрої, контроль загазованості, резервування електропостачання та блискавкозахист.

Розроблений План ліквідації аварійних ситуацій визначає чіткі алгоритми дій персоналу при різних сценаріях НС, що мінімізує час реагування та масштаби наслідків. Наявність засобів захисту, запасів матеріально-технічних засобів та відпрацьована взаємодія з аварійно-рятувальними службами забезпечують готовність підприємства до дій у надзвичайних ситуаціях.

Загальні висновки

У дипломній роботі запропоновано технічні рішення з удосконалення вузла приготування тіста преса марки ПМ-75 для формування макаронних виробів.

Дипломна робота присвячена модернізації макаронного преса ПМ-75, який через відсутність системи вакуумування тіста виробляє продукцію з пониженою міцністю, повітряними включеннями та погіршеним товарним виглядом. Модернізація передбачає заміну шнека з постійним кроком на варіант зі змінним кроком різьби для рівномірнішого ущільнення тіста та вдосконалення конструкції лопаток живильного пристрою для забезпечення рівномірного завантаження і підвищення якості готової продукції.

Результати проведеного комп'ютерного моделювання вузла приготування тіста преса ПМ-75 дозволяють сформулювати цілісне уявлення про вплив геометрії робочого органу на його надійність та експлуатаційні характеристики. Дослідження підтверджує, що зміна робочого кута лопатки в діапазоні від 30° до 60° суттєво переформатовує напружено-деформований стан усієї конструкції.

Головною закономірністю, виявленою в ході аналізу, є поступове зміцнення конструктивної стабільності при збільшенні робочого кута. Зокрема, максимальні напруження за фон Мізесом демонструють стійку тенденцію до зниження: від пікового значення 51.72 МПа при куті 30° до мінімального показника 42.51 МПа при куті 60° . Це свідчить про те, що при більших кутах нахилу лопатка ефективніше розподіляє механічний опір маси тіста, уникаючи критичної концентрації внутрішніх зусиль. Математично цей процес описується рівнянням регресії $y = -307572x + 61000000$, що дозволяє прогнозувати навантаження для будь-якої модифікації вузла.

Паралельно зі зниженням напружень спостерігається зростання жорсткості робочого органу. Показник максимального результуючого переміщення (URES) скорочується з 0.496 мм до 0.409 мм при переході до кута

60°. Така динаміка, що відображена у рівнянні $y = -0.0028x + 0.5824$, вказує на зменшення пружних деформацій лопатки, що безпосередньо впливає на стабільність процесу формування макаронних виробів та точність дотримання технологічних зазорів у пресі.

Найбільш показовим критерієм безпеки є коефіцієнт запасу міцності (FOS). Дослідження зафіксувало його зростання з 6.80 до 8.27 при збільшенні кута нахилу. Лінійна залежність $y = 0.0487x + 5.3585$ підкреслює, що варіант із кутом 60° є найбільш захищеним від раптового руйнування чи втомного зносу.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що з погляду механічної витривалості та мінімізації деформацій, оптимальним є кут лопатки 60°. Водночас високі значення коефіцієнта запасу міцності (понад 6.0) на всіх етапах дослідження вказують на значний конструктивний резерв преса ПМ-75. Це дає інженерам підстави для подальшої оптимізації вузла, наприклад, через зменшення металомісткості лопаток або використання матеріалів із меншою вагою без загрози для цілісності обладнання.

Таким чином, запропоновані рішення показали свою технічну і економічну доцільність.

Перелік посилань

1. Мецан М.В. Шляхи удосконалення вузла замішування тіста у макаронних пресах. Актуальні задачі сучасних технологій : матеріали XIV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів (Тернопіль, 11–12 груд. 2025 р.). Тернопіль : ТНТУ, 2025. С. 106. (Сучасні технології в будівництві, машино- та приладобудуванні).
2. Крупа В.В., інші. 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. Тернопіль: ТНТУ, 2023. 66 с.
3. Гевко Б.М. та ін. Механізми з гвинтовими пристроями. — Львів: Світ, 1993. — 208 с.
4. Рогатинський Р.М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів з сировиною сільськогосподарського виробництва. — Київ, 1997. — 425 с.
5. Лисовенко О.Т. та ін. Технологічне обладнання хлібопекарських і макаронних виробництв. — Київ: Наукова думка, 2000. — 283 с.
6. Петько В.Ф. та ін. Технологічне устаткування хлібопекарського, макаронного і кондитерського виробництв. — Київ: Центр учбової літератури, 2007. — 432 с.
7. Ялпачик В.Ф. та ін. Технологічне обладнання для переробки продукції рослинництва. — Мелітополь: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2017. — 277 с.
8. Самойчук К.О. та ін. Технологічне обладнання хлібопекарської і макаронної галузі. — Мелітополь: «Видавничий будинок ММД», 2021. — 372 с.

9. Черевко О.І. та ін. Технологічне обладнання малих харчових та переробних виробництв. Частина 3. Технологічне обладнання малих хлібопекарських і макаронних виробництв: Навчальний посібник. — Харків: Харківський державний університет харчування та торгівлі, 2013. — 96 с.
10. Дацишин О.В. та ін. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв: Навчальний посібник. — Вінниця: Нова Книга, 2008. — 488 с.
11. Гвоздєв О.В., Ялпачик Ф.Ю., Олексієнко В.О. Машины та обладнання хлібопекарського виробництва: підручник. — Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2010. — 312 с.
12. Ворощук В.Я., Вітенько Т.М. Інжиніринг та 3D моделювання в середовищі SolidWorks: навч. посіб. — Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. — 164 с.
13. Lombard M. Mastering SolidWorks. — Sybex, 2019. — 1219 p.
14. Keska P. SolidWorks 2021: Part Modeling, Assemblies, and Drawings. — CADvantage, 2021. — 1586 p.
15. Systemes D. Theoretical Manual SolidWorks Simulation. — Dassault Systemes, 2015. — 114 p.
16. Weber M., Verma G. SolidWorks Simulation 2017 Black Book. — CAD/CAM/CAE Works, 2016. — 362 p.
17. Коваленко І.О., Суховський І.В. Механіка і деталі машин. — Київ: ВД «Інжиніринг», 2004. — 312 с.
18. Кіркач Н.Ф., Баласанян Р.А. Розрахунки і проектування деталей машин. — Харків: Основа, 1991. — 275 с.
19. Павлице В.Т. та ін. Основи конструювання та розрахунків деталей машин. — Київ: Вища школа, 1993. — 556 с.
20. Мирончук В.Г. та ін. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості: Навчальний посібник. — Вінниця: Нова книга, 2004. — 228 с.

21. Закалов О.В., Бортник А.І. Розрахунок типових робочих органів технологічного обладнання харчових виробництв. — Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2005. — 105 с.
22. Супрунчук В.К. та ін. Ремонт обладнання підприємств по переробці сільськогосподарської продукції. — Київ: Урожай, 1992. — 176 с.
23. Ялпачик В.Ф. та ін. Монтаж, експлуатація і ремонт машин та обладнання переробних підприємств. — Мелітополь: Таврійський державний агротехнологічний університет, 2014. — 235 с.
24. Tickoo S. SolidWorks 2016 for Designers. 14th ed. — CADCIM Technologies, 2016. — 1825 p.
25. Єріна А.М., Захожий В.Б., Єрін Д.Л. Методологія наукових досліджень. — Київ: Центр навч. літ., 2004. — 270 с.
26. Вітенько Т.М., Ворошук В.Я. Сучасні підходи до конструювання і моделювання робочих органів технологічного обладнання харчових виробництв // Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності: третя міжнародна науково-практична конференція, 4–6 вересня 2019 р. / ред. Дейниченко Г.В. — ХДУХТ, 2019. — С. 108–109.
27. Development of digital twin interface for Industry 4.0 production line / Y. Skorenkyy et al. CEUR Workshop Proceedings. 2024. Vol. 3742. P. 358–369.,
28. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: підручник. — Київ, 2009. — 408 с.
29. Ткачук К.Н. та ін. Основи охорони праці: підручник. 2-ге видання. — Київ: Основа, 2006. — 448 с.
30. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня “магістр” всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.

Додатки

Додаток А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет у Кошице (Словаччина)
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)
Краківський економічний університет (Польща)
Вроцлавський економічний університет (Польща)
Університет «Опольська Політехніка» (Польща)
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Вінницький національний аграрний університет
Львівський національний університет ім. І. Франка
Головне управління Пенсійного фонду в Тернопільській області
Наукове товариство ім. Шевченка
Тернопільський обласний комунальний інститут післядипломної педагогічної освіти
Сумський державний педагогічний університет
Запорізький національний університет

АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Збірник

тез доповідей

**XIV Міжнародної науково-технічної
конференції молодих учених та студентів**
11-12 грудня 2025 року



УКРАЇНА
ТЕРНОПІЛЬ – 2025

29.	Р.Ю. Кружілька, В.А. Лясота ВИМОГИ ДО КОНСТРУЮВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТІ		95
30.	В.-Н.В. Кубах, О.В. Прокопів, А.О. Блащисин ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ЗАВАЛЬЦЮВАННЯ КУЛЬОК У ТОНКОСТІННІ ЦИЛІНДРИЧНІ ВТУЛКИ		96
31.	К.М. Лукіянчук, А. Грагі, А.П. Сорочак ВПЛИВ НЕОДНОРІДНОСТІ ҐРУНТОВИХ УМОВ НА ОСІДАННЯ ФУНДАМЕНТІВ БУДІВЛІ ЛОГІСТИЧНОГО ЦЕНТРУ		97
32.	О.Л. Ляшук, О.І. Павлусь, Ю.В.Омелянський СИНТЕЗ КОНВЕЄРІВ З РОЗШИРЕНИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ		98
33.	В. І. Макаров ШНЕКОВИЙ ТРАНСПОРТЕР ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ТА ЗМІШУВАННЯ КОРМІВ		101
34.	М.П. Марковський РОЗРОБКА ПРИВОДУ ЗАТИСКУ ПАТРОНА ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА		103
35.	О. П. Маруніч, О.В. Лах, А.О. Старих ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА КОНІЧНОЇ ФОРМИ		104
36.	М.В. Мецан ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ВУЗЛА ЗАМІШУВАННЯ ТІСТА У МАКАРОННИХ ПРЕСАХ		106
37.	Д. В. Мірута ВКЛАД РИМО-КАТОЛИЦЬКОЇ ЦЕРКВИ У НАУКУ В ЕПОХУ СЕРЕДНЬОВІЧЧЯ		108
38.	О.О. Окунський, О.П. Цюнь ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ АКТИВНОГО ПЛОСКОГО НОЖА ДООБРІЗУВАЧА ГИЧКИ НА ОСНОВІ БАГАТОФАКТОРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ		109
39.	А.В. Олексюк, Т.А. Довбуш, В.П. Олексюк ПОШУК ОПТИМАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ СЕПАРУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН		110
40.	О.Ю. Островський, В.Ю. Грасовник, Т.Ю. Гинда ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНЬ ТА ДЕФОРМАЦІЙ, ЩО ВИНИКАЮТЬ У ГВИНТОВІЙ ЗАГОТОВЦІ ПІД ЧАС ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ		112
41.	К.С. Польшин, М.Р. Фецович ОПТИМІЗАЦІЯ КОМПАНУВАЛЬНОЇ СХЕМИ ПРОЕКТОВАНОГО ВЕРСТАТУ		113
42.	В.Б. Савків, І.П. Федорів, В.В. Довжанин, Я.М. Довжанин УДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ ТИРИСТОРНИМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ		114
43.	В.Б. Савків, І.П. Федорів, В.М. Скицько, М.О. Федчук АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ТІСТОВИХ ЗАГОТОВОК У ТІСТОРІЗДІЛЮВАЧАХ		116
44.	Т.М. Савулій, Т.М. Вітенько ЗАСТОСУВАННЯ АБРАЗИВНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЛУЩІННЯ КРУП ЛУЩИЛЬНО-ШЛІФУВАЛЬНОЮ МАШИНОЮ А1-ЗШН-З		118

ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ВУЗЛА ЗАМІШУВАННЯ ТІСТА У МАКАРОННИХ ПРЕСАХ

M.V. Metsan

WAYS TO IMPROVE THE DOUGH MIXING UNIT IN PASTA PRESSES

Вузол замішування тіста є одним із найважливіших елементів макаронного преса, що безпосередньо впливає на якість готової продукції. Від ефективності процесу замішування залежать реологічні властивості тіста, однорідність його структури, вологість та міцність макаронних виробів. Сучасні вимоги до продуктивності обладнання та якості продукції зумовлюють необхідність постійного вдосконалення конструкції замішувальних пристроїв.

У класичних макаронних пресах вузол замішування часто характеризується недостатньою інтенсивністю перемішування, нерівномірним розподілом вологи, утворенням комків та перегріванням тіста внаслідок тривалого механічного впливу. Ці недоліки призводять до погіршення пластичності тіста, збільшення кількості браку та зниження продуктивності устаткування. Крім того, традиційні конструкції мають високе питоме енергоспоживання та складні в обслуговуванні.

Одним із найперспективніших напрямків удосконалення змішувального обладнання є кардинальна зміна форми та просторового розташування замішувальних лопатей. Традиційні прямолінійні або простої геометрії лопаті поступово замінюються складнопрофільними конструкціями, розробленими на основі комп'ютерного моделювання потоків та експериментальних досліджень динаміки тістових мас.

S-подібні лопаті змінної кривизни представляють собою якісно новий підхід до організації процесу замішування. Їх геометрія характеризується плавною зміною радіуса кривизни вздовж робочої поверхні, що створює складний тривимірний профіль. При обертанні такі лопаті генерують багаторівневі потоки матеріалу: основний потік уздовж напрямку руху лопаті поєднується з вторинними вихровими потоками, що виникають завдяки змінній кривизні поверхні. Це забезпечує більш інтенсивне переміщення компонентів не тільки в горизонтальній, але й у вертикальній площині, що критично важливо для досягнення максимальної однорідності тістової маси.

Спіральні лопаті з оптимізованим кутом нахилу реалізують принцип безперервного осьового транспортування матеріалу одночасно з його інтенсивним перемішуванням. Оптимальний кут нахилу спіралі, який знаходиться в діапазоні 35-45° залежно від реологічних властивостей тіста, дозволяє досягти ідеального балансу між швидкістю переміщення маси та ефективністю її гомогенізації.

Перспективним та інноваційним підходом є використання комбінованих робочих органів, що поєднують елементи різної конфігурації в межах однієї змішувальної системи. Така концепція базується на розумінні того, що оптимальні умови замішування змінюються на різних стадіях процесу, і жоден універсальний тип лопатей не може забезпечити максимальну ефективність впродовж усього циклу.

Імпульсний режим роботи, що передбачає чергування періодів інтенсивного перемішування та пауз, сприяє кращому набухання борошна та формуванню клейковинного каркасу без надмірного механічного навантаження.

Удосконалення системи зволоження є критичним фактором покращення якості тіста. Застосування форсунок розпилювачів замість простого зливу води забезпечує утворення дрібнодисперсного аерозолю, що рівномірно розподіляється по всьому об'єму борошна. Це дозволяє скоротити час змочування та уникнути утворення крупних згустків.

Перспективним є впровадження систем з багатоточковим подаванням рідини через декілька розпилювачів, розташованих по периметру змішувальної камери. Автоматичне регулювання температури води (40-45°C) прискорює процеси гідратації та покращує реологічні властивості тіста.

Модернізація форми змішувальної камери з урахуванням аеродинамічних та гідродинамічних властивостей відіграє ключову роль у забезпеченні ефективного процесу змішування. Рационально спроектована геометрія камери дозволяє уникнути утворення застійних зон, де матеріал залишається нерухомим або недостатньо перемішаним, що призводить до нерівномірності структури готового продукту.

Облицювання внутрішніх поверхонь камери матеріалами з низьким коефіцієнтом тертя та високою зносостійкістю (нержавіюча сталь, спеціальні полімерні покриття) зменшує налипання тіста та полегшує очищення обладнання.

Встановлення датчиків контролю консистенції тіста, що працюють за принципом вимірювання крутного моменту на валу приводу, дозволяє в реальному часі коригувати кількість води або тривалість замішування. Це забезпечує стабільність якості тіста незалежно від коливань властивостей сировини.

Впровадження програмованих логічних контролерів (ПЛК) з можливістю збереження рецептур для різних типів макаронних виробів дозволяє швидко перенастроювати обладнання та мінімізувати вплив людського фактора.

Оснащення змішувальної камери системою охолодження (водяна сорочка або повітряне обдування) запобігає перегріванню тіста вище критичної температури 40°C, що призводить до часткової денатурації білків та погіршення пластичності маси. Підтримання температури в діапазоні 30-35°C забезпечує оптимальні умови для формування структури тіста.

Впровадження запропонованих удосконалень дозволяє досягти значних економічних переваг. Зниження часу замішування на 20-25% підвищує продуктивність лінії. Покращення якості тіста зменшує кількість браку на 10-15% та підвищує міцність готових виробів. Оптимізація енергоспоживання забезпечує економію електроенергії до 18%. Автоматизація процесу знижує вимоги до кваліфікації персоналу та зменшує операційні витрати.

Удосконалення вузла замішування тіста у макаронних пресах є комплексним завданням, що вимагає системного підходу. Найбільший ефект досягається при одночасному впровадженні декількох напрямків модернізації: оптимізації геометрії робочих органів, вдосконалення системи дозування води, автоматизації процесу та забезпечення термостабілізації. Правильно спроектований та модернізований вузол замішування є запорукою високої якості продукції, підвищення продуктивності та зниження собівартості макаронних виробів.

Подальший розвиток конструкцій замішувальних вузлів пов'язаний з впровадженням інтелектуальних систем керування на базі штучного інтелекту, що здатні самостійно оптимізувати параметри процесу залежно від властивостей конкретної партії сировини та аналізувати тренди для прогнозування якості продукції.

Література

1. Ворошук В., Вітенько М. Інжиніринг та 3D моделювання в середовищі SolidWorks : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2023. 164 с.
2. Вітенько Ю., Ворошук В. Особливості удосконалення робочих органів обладнання із застосуванням Solidworks // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті : матеріали 91-ї Міжнар. наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів (Київ, 7–11 квіт. 2025 р.). Київ : НУХТ, 2025. Ч. 2. С. 24.