

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Модернізація вузла нагнітання одношнекового екструдера марки
А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок

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

(шифр і назва спеціальності)

Оленюк А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Зварич Н.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Ворощук В.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Вітенько Т.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра обладнання харчових технологій

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОХ

Вітенько Т.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 11 » листопада 2024 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

Оленюк Анатолій Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація вузла нагнітання одношнекового екструдера марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок

Керівник роботи Зварич Наталя Миколаївна, к.т.н., доцент

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

Затверджені наказом ректора від « 8 » листопада 2024 року № 4/7-1067.

2. Термін подання завершеної роботи 20 грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи Технічний паспорт та інструкції з експлуатації, монтажу та технічного обслуговування і ремонту одношнекового екструдера марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок.

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

Анотація. Вступ. 1. Аналіз сучасного стану обладнання для екструдювання, вибір та обґрунтування напрямків дослідження. 2. Підбір засобів, методів та методик досліджень.

3. Заходи з модернізації одношнекового екструдера марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок. 4. Моделювання і дослідження матриці одношнекового екструдера марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5.1. Розроблення заходів з охорони праці і техніки безпеки. 5.2. Безпека у надзвичайних ситуаціях. Висновки

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

Екструдер марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок. Вигляд загальний. (1 л. ф. А1)

Екструдер марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок. Схема кінематична. (1 л. ф. А1)

Ріжучий механізм екструдера марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок. Складальне креслення. (1 л. ф. А1)

Постановка задачі моделювання матриці екструдера марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок. (1 л. ф. А1)

Результати моделювання матриці екструдера марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок (3 л. ф. А1)

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 11 листопада 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Анотація		
2	Вступ		
3	1. Аналіз сучасного стану обладнання для екструдювання, вибір та обґрунтування напрямків дослідження.		
4	2. Підбір засобів, методів та методик досліджень		
5	3. Заходи з модернізації одношнекового екструдера марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок.		
6	4. Моделювання і дослідження матриці одношнекового екструдера марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок.		
7	5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.		
8	5.1. Розроблення заходів з охорони праці і техніки безпеки		
9	5.2. Безпека у надзвичайних ситуаціях		
10	Висновки		
11	Графічна частина		
12	Екструдер марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок. Вигляд загальний.		
13	Екструдер марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок. Схема кінематична.		
14	Ріжучий механізм екструдера марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок. Складальне креслення.		
15	Постановка задачі моделювання матриці екструдера марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок.		
16	Результати моделювання матриці екструдера марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок		
17			
18			
19			

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Оленюк А. В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Зварич Н.М.

_____ (прізвище та ініціали)

Анотація

Автор кваліфікаційної роботи – Оленюк Анатолій Васильович

Тема кваліфікаційної роботи: Модернізація вузла нагнітання одношнекового екструдера марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок.

Кваліфікаційна робота виконана у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя в 2024 році

Структура кваліфікаційної роботи складається із розрахунково пояснювальної записки об'ємом 76 сторінок (34 рисунки) та графічної частини обсягом 8 листів А1.

У даній кваліфікаційній роботі запропоновано заходи щодо модернізації одношнекового екструдера марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок. На основі аналізу конструкції обладнання для екструдювання запропоновано рішення змінити конструкцію матриці, а також ріжучого рожа. У роботі представлено кінематичний та конструктивний розрахунок екструдера марки А1-КХ2-П, проаналізовано шляхи вдосконалення матриці, запропоновано три варіанти технічного рішення та виконано порівняльний аналіз напружено-деформованого стану та деформації у процесі експлуатації. Розроблено набір заходів з охорони праці та дії у надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: кукурудзяні палички, екструдер, матриця, модернізація.

Abstract

Anatolii V. Oleniuk. Modernization of the compression unit in the A1-KH2-P single-screw extruder for producing corn sticks. 133 “Industrial Machinery Engineering” – Ternopil Ivan Puluj National Technical University.-Ternopil, 2024.

The structure of the qualification work consists of a 76-page explanatory text (34 figures) and a graphic part of 8 A1 sheets.

This qualification work proposes measures for the modernization of a single-screw extruder A1-KH2-P for the production of corn sticks. Based on the analysis of the design of the extrusion equipment, a solution to change the design of the die and the cutting horn is proposed. The paper presents the kinematic and structural calculation of the A1-KH2-P extruder, analyzes ways to improve the die, proposes three variants of a technical solution, and performs a comparative analysis of the stress-strain state and deformation during operation. A set of measures for labor protection and emergency response has been developed.

Keywords: corn sticks, extruder, die, modernization.

Зміст

Анотація	4
Abstract	5
Зміст	6
Вступ.....	8
1. Аналіз сучасного стану обладнання для екструдувannya, вибір та обґрунтування напрямків дослідження.....	10
1.1 Огляд сучасного обладнання для здійснення екструзії.....	10
1.2. Аналіз та короткий опис машини марки А1-КХ2-П	23
1.3. Мета та задачі, які виконуються у кваліфікаційній роботі.....	25
2. Підбір засобів, методів та методик досліджень	26
2.1 Програмне забезпечення, яке використовується в роботі	26
2.2. Особливості використання SolidWorks Simulation для проведення досліджень.....	28
3. Заходи з модернізації одношнекового екструдера марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок	30
3.1 Опис будови і принципу роботи екструдера марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок	30
3.2. Заходи з модернізації роботи екструдера марки А1-КХ2-П.....	31
3.3 Кінематичний розрахунок екструдера	31
3.3 Розрахунок ножа розрізання жгуту екструдату	34
3.4 Розрахунок шнекового пресу екструдера	36
3.5. Особливості експлуатації і технічного обслуговування екструдера	42
4. Моделювання і дослідження матриці одношнекового екструдера марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок.....	48
4.1 Посановка задач для дослідження.....	48

4.2 Аналіз отриманих результатів	61
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	63
5.1. Розроблення заходів з охорони праці і техніки безпеки	63
5.1.1. Заходи з охорони праці і техніки безпеки при роботі з екструдером.....	63
5.1.2 Санітарно-гігієнічні вимоги до експлуатації лінії для виготовлення кукурудзяних паличок	63
5.2. Безпека у надзвичайних ситуаціях	65
Висновки	68
Перелік посилань.....	69
Специфікації	

Вступ

Екструдовані продукти займають важливе місце в раціоні людини завдяки своїй універсальності, доступності та різноманіттю. Технологія екструзії дозволяє отримувати широкий спектр продуктів: від сухих сніданків і снєків до текстурованих рослинних білків та дитячого харчування. Цей процес покращує засвоюваність поживних речовин, змінює текстуру і смак продуктів, а також забезпечує їхню тривалу зберігання. Екструзія також дозволяє використовувати різноманітну сировину, включаючи зернові, бобові, овочі та фрукти, що сприяє збалансованому харчуванню та розширенню раціону.

Важливість екструдованих продуктів зростає в умовах сучасного ритму життя, коли швидкість приготування та зручність споживання відіграють значну роль. Вони є джерелом вуглеводів, білків, клітковини, вітамінів та мінералів, забезпечуючи людський організм енергією та корисними калоріями. Завдяки можливості регулювати параметри екструзії, можна створювати продукти з різними функціональними властивостями, наприклад, з підвищеним вмістом клітковини або зниженим вмістом цукрів, що відповідає потребам різних груп населення, включаючи людей з особливими дієтичними потребами.

Саме тому вдосконалення наявного та створення нового екструзійного обладнання є критично важливим для розвитку харчової промисловості та забезпечення населення якісними та корисними продуктами. Нові технології дозволяють оптимізувати процес екструзії, знижуючи енергоспоживання та підвищуючи ефективність виробництва. Розробка інноваційного обладнання також сприяє створенню нових видів екструдованих продуктів з покращеними смаковими та поживними властивостями. Тому постійне оновлення обладнання для виробництва екструдованих продуктів, в тому числі екструдера марки А1-КХ2-П, є актуальною науково-практичною задачею.

В роботі виконуються [1] наступні завдання:

аналіз конструкції обладнання;
кінематичний та конструктивний розрахунок екструдера марки А1-КХ2-П;
вибір рішення щодо зміни конструкції матриці;
розробка рішення щодо вдосконалення матриці;
порівняльний аналіз напружено-деформованого стану та деформації для матриці.

розробка питань з охорони праці та комплексу питань щодо дій у надзвичайних ситуаціях

Об'єктом дослідження є розподіл напружень, переміщень і деформації матриці.

Предмет дослідження. Екструдер марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок.

Методи досліджень. В процесі виконання роботи використано емпіричні, теоретичні методи досліджень і моделювання.

Наукова новизна:

запропоновано 3d модель матриці екструдер марки А1-КХ2-П для виконання задач порівняльного дослідження;

визначено вплив конструктивного рішення денця матриці на напруження і деформації.

Отримані результати доцільно використати при виконанні задач модернізації наявних, а також та розробленні нових екструдерів.

Результати, представлені у магістерській роботі були показані на XIII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 11-12 грудня 2024 року.

Обсяг магістерської кваліфікаційної роботи складають п'ять частин пояснювальної записки, додатки та графічна частина обсягом 8 аркушів А1.

1. Аналіз сучасного стану обладнання для екструдуювання, вибір та обґрунтування напрямків дослідження

1.1 Огляд сучасного обладнання для здійснення екструзії

Останнім часом екструдери знаходять все ширше застосування [2,3]. Екструзійна установка [4-10] ЕМТ (рис. 1.1) переробляє попередньо підготовлену сировину. Установка комплектується частотним перетворювачем обертання шнека, турбовузлом. Також можливе встановлення пристрою попереднього зволоження. Турбовузол, розташований у передматричному просторі, забезпечує вирівнювання тиску по всій площині матриці, стабільну рівну форму продукції, збільшення терміну служби основних вузлів.

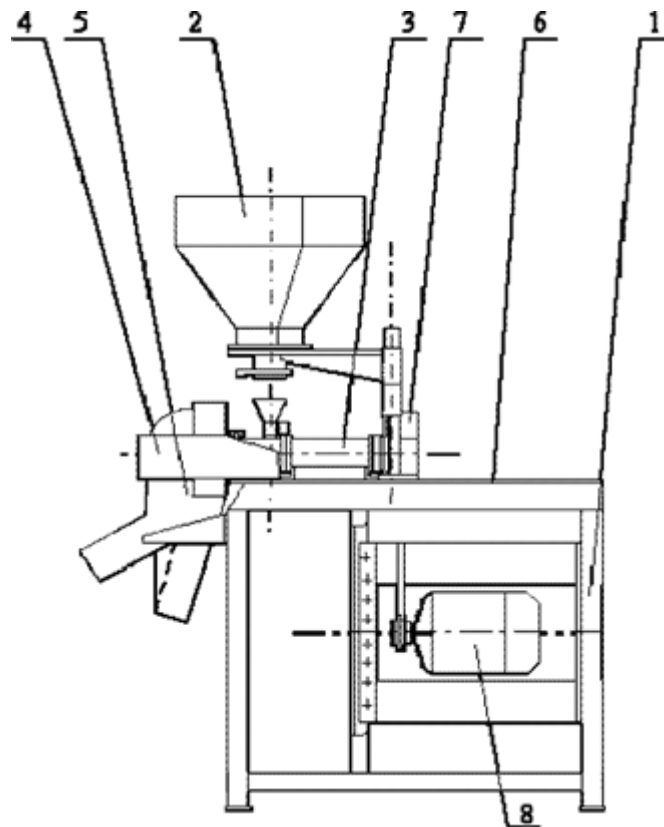


Рис. 1.1. Екструдер ЕМТ

Екструдер складається з рами 1, бункера 2, робочого органу екструдера 3, механізму відрізки 4, лотка 5, плити 6, кожуха приводу 7, електродвигуна 8.

Технічна характеристика екструдера ЕМТ

- Продуктивність, л/год 120
- Діаметр шнека, мм 75
- Довжина робочої зони екструдера, мм 135
- Потужність, кВт 22
- Габаритні розміри, мм 1400×1000×2000

Екструдер Б8-КХ-ЗП (рис. 1.2) призначений для виробництва кукурудзяних паличок шляхом теплової та механічної обробки крупи з подальшим фасуванням.

Екструдер складається зі станини 1, механізму формування 2, ножового механізму відрізання паличок 5, ворухителя 3 крупи та блоку електронагрівачів 4.

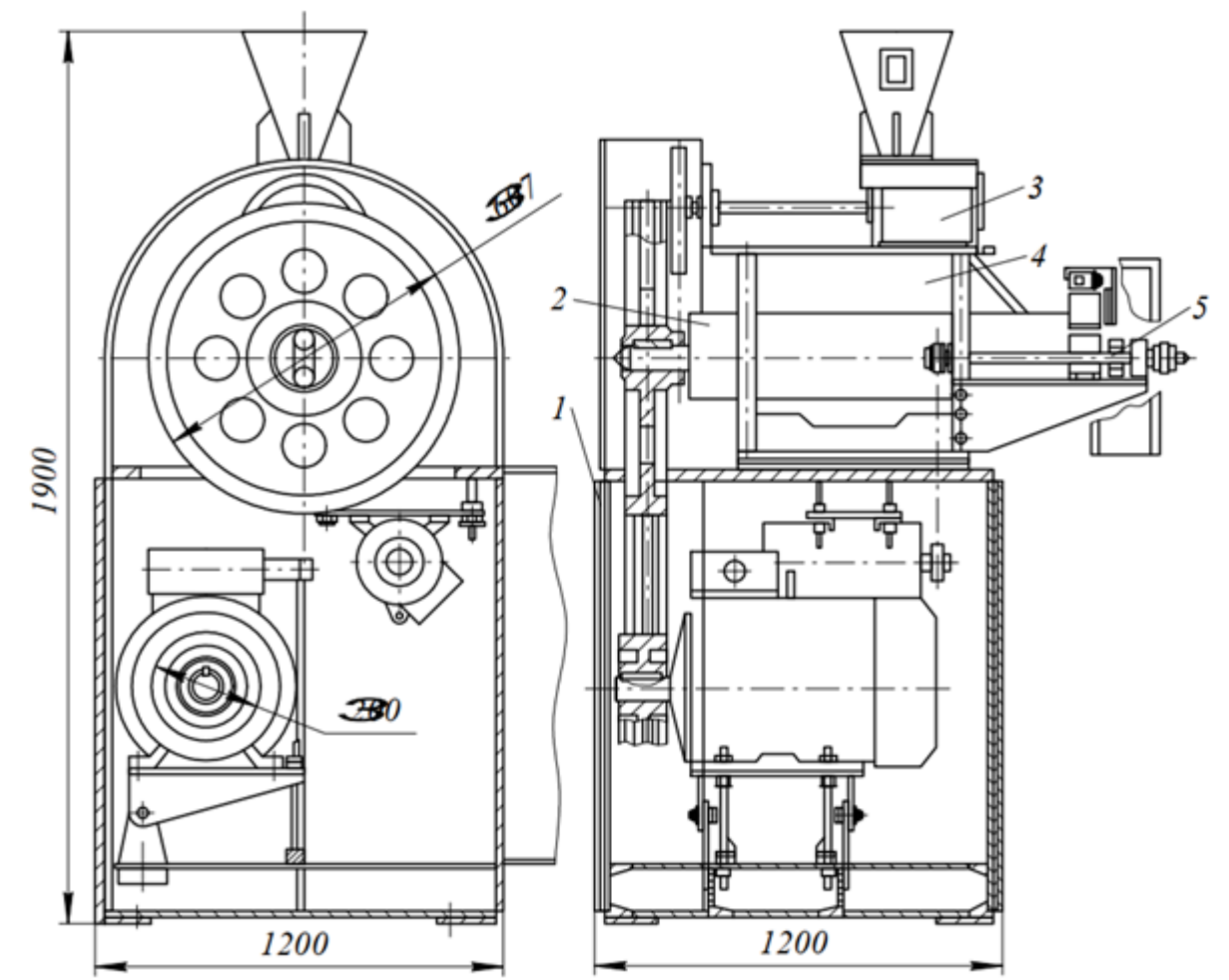


Рис. 1.2. Екструдер Б8-КХ-ЗП

Формувальний механізм складається з правого шнека, лівої гвинтової втулки, матриці з 12 отворами (діаметром 3 мм) і 4-лопатевої клітки та

приводиться в рух електродвигуном за допомогою ланцюгової та клиноременної передачі.

Мішалка - це корпус з валом і лопатями, який перемішує крупу з бункера.

Електричний нагрівач обігріває робочу зону ($160-180^{\circ}\text{C}$). Сам формувальний механізм охолоджується водою для запобігання перегріву.

Управління електроприводом шнека і ножа здійснюється вручну, а нагрівальним агрегатом вручну і автоматично.

Перед початком роботи робочу зону прогрівають до $160-180^{\circ}\text{C}$ протягом 30-35 хвилин. Перша частина крупи готується за 25-30 хвилин (вологість 20-21%). Підготовлена крупа вручну засипається у вхідний отвір при включеній машині. Після виходу бруска відкривається заслінка входу зерна (вологість 13-14%).

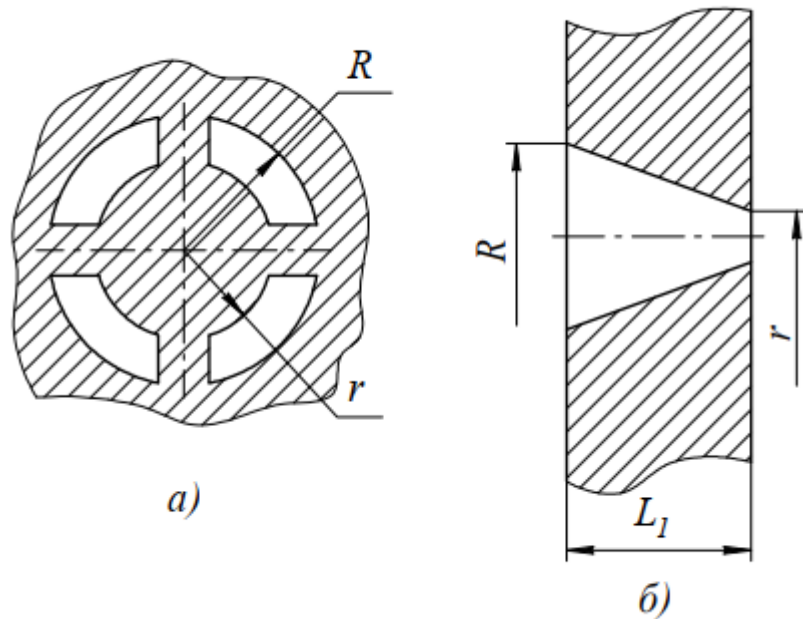


Рис. 1.3. Матриця з кільцевим (а) і конічним (б) отворами

Технічні характеристики екструдера для паличокБ8-КХ-ЗП

- Продуктивність, кг/год 90
- Потужність, кВт: приводу 18,5 електронагрівача 2,8 електронагрівача 2,8
- Число шнеків 1
- Значення частоти обертання робочих шнеків, хв-1 79,3

- Значення діаметра шнеків, мм 74
- Значення максимальної температури в зоні нагрівання, °C 160-180
- Значення максимально допустимого тиску екструзії, МПа 12
- Значення габаритів, мм 1200x1200x1900
- Маса, кг 950



Рис. 1.4. Одношнековий екструдер Е1-1

Екструдер Е1-1 призначений для виробництва хрустких повітряних паличок із крохмалевмісної крупи. Застосовується у виробництві повітряних паличок з кукурудзяної, рисової та інших видів круп, а також для виробництва супів швидкого приготування. Використовується в складі установки для випуску кукурудзяних паличок.

У робочому органі екструдера крупа, що нагнітається шнеком спеціальної форми, піддається інтенсивній термомеханічній обробці під дією тертя і високого

тиску. Виходячи з робочого органу через формоутворювальну фільтру, завдяки миттєвому падінню тиску і скипанню перегрітої вологи, що міститься в продукті, екструдат спучується («вибухає»), набуваючи пористої структури, і нарізається ріжучим пристроєм на шматочки, довжину яких налаштовують кількістю встановлених ножів і регулюванням частоти їхнього обертання.

Екструдер комплектується формоутворювальними фільтрами, що надають виробам необхідну форму перерізу.

Технічні характеристики екструдера Е1-1

Максимальна продуктивність, кг/год	35
Діаметр шнека, мм	46
Потужність головного приводу, кВт	5,5
Встановлена потужність, кВт	5,7
Об'єм завантажувального бункера, л	60
Габаритні розміри, ДхШхВ, мм	1000х500х1600
Маса, кг	250

Екструдер Е1-4 призначений для термомеханічної обробки бобів сої та отримання повножирного соєвого концентрату. Застосовується у виробництві кормів для птахівництва і тваринництва.

У робочому органі екструдера соя, що нагнітається шнеком спеціальної форми, піддається інтенсивній вологотермомеханічній обробці під дією тертя і високого тиску. На виході з фільтри волога, що міститься в сировині, миттєво випаровується, а струмінь екструдату, що вилітає з великою швидкістю з фільтри, дробиться на дрібні частинки.

Підшипниковий вузол робочого органу для змащення та охолодження обладнаний системою примусової циркуляції масла з насосом, фільтрами, витратним баком і теплообмінником.

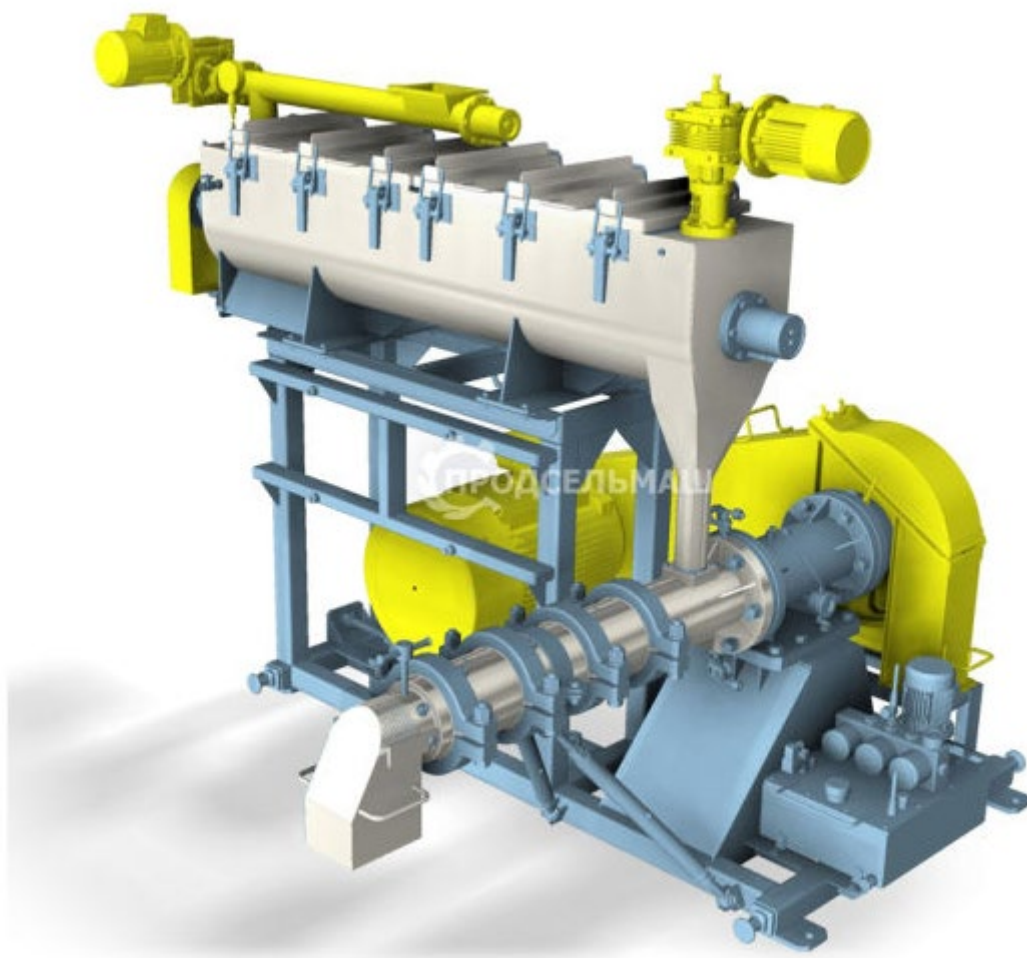


Рис. 1.5. Одношнековий екструдер Е1-4 для сої повножирної

Екструдер обладнаний шнековими живильниками і кондиціонером. Попередня теплова обробка сої парою в кондиціонері дає змогу збільшити продуктивність екструдера і збільшити термін служби інструменту робочого органу.

Для збільшення зносостійкості і терміну служби інструменту його робочі поверхні покриті шаром твердого сплаву. Устаткування для покриття інструменту твердим сплавом може міститися в комплекті поставки екструдера.

Технічні характеристики екструдера Е1-4

Максимальна продуктивність із кондиціонером, кг/год	1800
Максимальна продуктивність без кондиціонера, кг/год	1000

Діаметр шнека, мм	132
Встановлена потужність із кондиціонером, кВт	95,02
Потужність головного приводу, кВт	90
Витрата сухої пари в кондиціонері, кг/год	80
Габаритні розміри, ДхШхВ, мм	2400х3000х2200
Маса, кг	2900

Екструдер Е1-2 призначений для виробництва хрустких повітряних паличок із крохмалевмісної крупи. Застосовується у виробництві повітряних паличок з кукурудзяної, рисової та інших видів круп, а також для виробництва супів швидкого приготування. Використовується в складі установки для виробництва кукурудзяних паличок.



Рис. 1.6. Одношнековий екструдер Е1-2 для паличок і кілець

У робочому органі екструдера крупа, що нагнітається шнеком спеціальної форми, піддається інтенсивній термомеханічній обробці під дією тертя і високого тиску. Виходячи з робочого органу через формоутворювальну фільтру, завдяки миттєвому падінню тиску і скипанню перегрітої вологи, що міститься в продукті, екструдат спучується («вибухає»), набуваючи пористої структури, і нарізається ріжучим пристроєм на шматочки, довжину яких налаштовують кількістю встановлених ножів і регулюванням частоти їхнього обертання.

Екструдер комплектується формоутворювальними фільтрами, що надають виробам необхідну форму перетину. Робочий орган обладнаний системою термостабілізації з водяним охолодженням, а також зовнішніми електронагрівачами для передпускового підігріву робочого інструменту.

Технічні характеристики екструдера Е1-2

Максимальна продуктивність, кг/год, не більше	120
Встановлена потужність, кВт	17,2
Діаметр шнека, мм	38
Потужність головного приводу, кВт	15
Об'єм завантажувального бункера, л	60
Витрата охолоджуваної води, л/год, не більше	100
Габаритні розміри, ДхШхВ, мм	1750x900x2200
Маса, кг	850



Рис. 1.7. Екструдер для виробництва кукурудзяних паличок ЕКП-100, продуктивністю 100 кг/год.

Екструдер ЕКП-100 (100 кг/год) виробляє кукурудзяні палички, кільця, кульки, хлібці та каші швидкого приготування методом екструзії з кукурудзяної крупи. Можливе використання рисової, гречаної, манної крупи, висівок, картопляних пластівців. Діаметр паличок залежить від фільтер (узгоджуються із замовником), довжина – від швидкості ріжучого ножа. Для покращення смаку та харчової цінності наносять добавки, спеції, ароматизатори (цукрова пудра, ванілін, кориця, сухе молоко, ароматизатори сиру, бекону) або глазурують шоколадом.

Екструдер Е-500 виробляє комбікорм для сільськогосподарських, домашніх тварин (котів, собак) та птиці, а також повножирний соєвий шрот з підвищеною засвоюваністю та очищенням від шкідливих речовин. Переробляє зерно та крупу

пшениці, жита, кукурудзи, ячменю, гороху, сої, соняшнику, ріпаку. Переваги: якісний комбікорм, економія до 40% зерна, контроль якості, економія до 30% енергії при підготовці сої, ріпаку, соняшнику до віджиму олії, очищення некондиційної сировини.

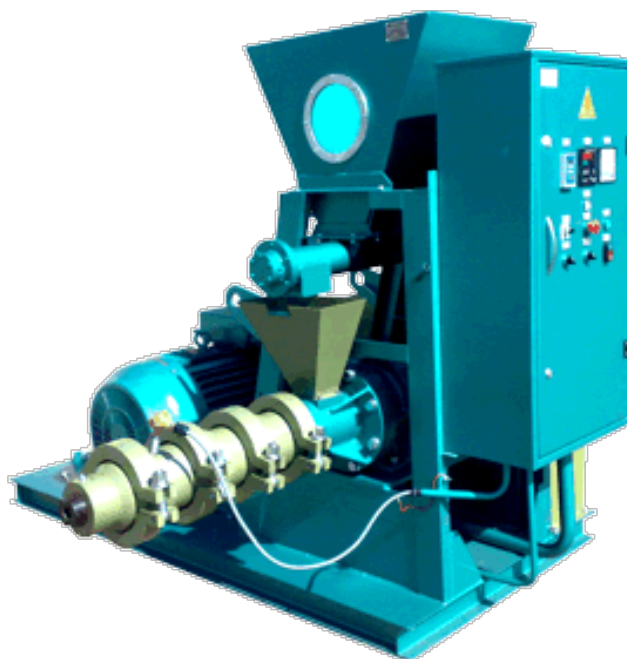


Рис. 1.8. Екструдер Е-500



Рис 1.9. Екструдер Е-150

Екструдер Е-150 виробляє комбікорми для сільськогосподарських, домашніх тварин, птиці, з підвищеною засвоюваністю та очищенням від шкідливих речовин, а також кукурудзяні палички. Переробляє зерно та крупу пшениці, жита, кукурудзи, ячменю, тритикале, гороху, люпину та ін.

Основні переваги застосування екструдера Е-150:

- виробництво високоякісного комбікорму
- економія до 40 % зерна під час годівлі тварин
- контроль якості застосовуваного комбікорму
- очищення некондиційної сировини від мікроорганізмів

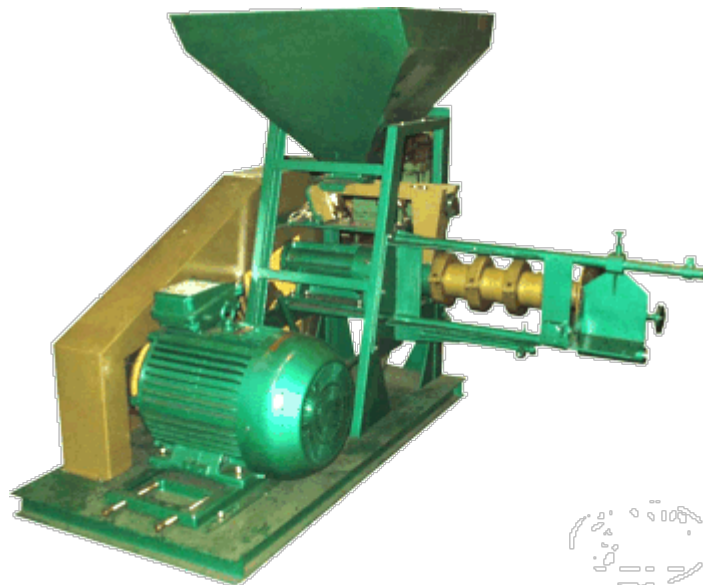


Рис. 1.10. Екструдер Е-250

Екструдери Е-250 та ЕКП-100. Е-250 виробляє комбікорми для сільськогосподарських, домашніх тварин, птиці, повножирний шрот сої, ріпаку та соняшнику з підвищеною засвоюваністю та очищенням від шкідливих речовин. Переробляє зерно та крупу пшениці, жита, кукурудзи, ячменю, гороху, сої, ріпаку, соняшнику. Переваги: якісний комбікорм, економія до 40% зерна, контроль якості, економія до 30% енергії при підготовці олійних культур до віджиму, очищення некондиційної сировини.

ЕКП-100 виробляє кукурудзяні палички, кільця, кульки з кукурудзяної крупки та іншої крохмалевмісної сировини (рисова, гречана, манна, висівки, картопляні пластівці). Екструзія (120-180°C, до 20 МПа) забезпечує випаровування вологи, збільшення об'єму продукту в 3-4 рази та миттєве висихання. Діаметр паличок залежить від фільсера, довжина – від швидкості ножа. Оснащений ТЕНОм для нагріву, водяним охолодженням шнека та вала. Комплектація: відрізний пристрій, дозатор, пульт, формувальна матриця. Можливе нанесення добавок, спецій, ароматизаторів, глазурування, виробництво каш та хлібців.



Рис. 1.11. Екструдер для кукурудзяних паличок марки ЕКП-100

Переваги екструдованого корму (Е-250): Підвищена засвоюваність, знищення патогенів, краща грануляція, менші втрати корму.

Особливості ЕКП-100: Можливість виробництва різних форм продукту (палички, кільця, кульки), регулювання розмірів, додаткова обробка для окращення смаку.

Технічні характеристики екструдера марки ЕКП-100 :

Продуктивність, кг/год :

- Кукурудзяні палички (О 14-15 мм.) 100

- Екструдат 210

Параметри електромережі, В/Гц 380/50 3 фази

Встановлена потужність, кВт :

- Електродвигун 22,0

- Допоміжне обладнання (відрізний пристрій, дозатор-завантажувач сировини, ТЕНи для нагрівання екструзійної камери) 2,17

Габаритні розміри, мм : 1300x820x1900

Маса, кг. 330



Рис. 1.12. Екструдер DR - 250 для виготовлення кукурудзяних паличок

Призначений для виготовлення кукурудзяних паличок, шарииків (діаметр від 6 мм до 24 мм), каш швидкого приготування та дитячого харчування на основі різних злакових культур.

Екструдер здатний переробляти: кукурудзу, пшеницю, ячмінь, рис, гречку, ячку, пшоно та інше.

Екструдер оснащений частотними перетворювачами на головному приводі для регулювання обертів шнека в голівці екструдера, оскільки для різних круп потрібні різні оберти; на пристрій дозування сировини для плавного і точного регулювання подачі сировини; на пристрій обрізки для регулювання довжини продукту.

Продуктивність: до 110 кг/год (кукурудзяна крупа), 60-70 кг/год (ячна/рисова). Потрібне місцеве встановлення охолодження та вентиляції, витяжка та подача води. Сировина – злакові крупи. Вологість крупи при завантаженні в бункер екструдера має бути ~14%.

1.2. Аналіз та короткий опис машини марки А1-КХ2-П

Машина марки А1-КХ2-П призначена для формування кукурудзяних паличок з кукурудзяної крупи шляхом теплової і механічної обробки.

Машина призначена для роботи в складі технологічної лінії. Для одержання кукурудзяних паличок повинна застосовуватися дрібна крупа ГОСТ 60002-69.

Таблиця 1.1

Технічні характеристики машини марки А1-КХ2-П.

Показник	Одиниця виміру	Значення
1	2	3
Продуктивність	кг/год	70...80
Частота обертання шнека	с ⁻¹ (об/хв)	1,18 (71)
Зовнішній діаметр шнека	мм	155
Кількість отворів в матриці	шт.	30

Продовження таблиці 1.1.

1	2	3
Діаметр отворів в матриці	мм	2,8±0,12
Частота обертання ножа механізму різки	с ⁻¹ (об/хв)	2,5;3,04 (150; 182,5)
Електронагрівач ТЕН-42А13 0,50127	шт.	10
Сумарна потужність нагрівачів	кВт	4,0
Електродвигун приводу шнека		4А160М4УПУ3
Частота обертання	с ⁻¹ (об/хв)	25(1500)
Потужність	кВт	18,5
Виконання		1М1081
Редуктор приводу шнека		Ц2У-200-20-11У3
Передаточне число		20
Електродвигун приводу механізму різки		АИР90АВ8750
Частота обертання	с ⁻¹ (об/хв)	12,5 (750)
Потужність	кВт	1,1
Виконання		ІМ1081
Габаритні розміри, мм не більше		
довжина	мм	1700
ширина	мм	945
висота	мм	1635
Встановлена потужність	кВт	23,87
Маса, не більше	кг	1160

1.3. Мета та задачі, які виконуються у кваліфікаційній роботі

Мета роботи – модернізувати конструкцію вузла нагнітання одношнекового екструдера марки А1-КХ2-П для покращання його роботи і спрощення процесу технічного обслуговування.

Виконуються задачі:

аналіз конструкції обладнання;

кінематичний та конструктивний розрахунок екструдера марки А1-КХ2-П;

вибір рішення щодо зміни конструкції матриці;

розробка рішення щодо вдосконалення матриці;

порівняльний аналіз напружено-деформованого стану та деформації для матриці.

розробка заходів з охорони праці та заходів у надзвичайних ситуаціях

2. Підбір засобів, методів та методик досліджень

2.1 Програмне забезпечення, яке використовується в роботі

У кваліфікаційній роботі є ряд завдань, для виконання яких необхідно задіяти спеціалізоване програмне забезпечення, зокрема це Mathcad Express [11] для інженерних розрахунків та SolidWorks з модулем Simulation для задач 3d моделювання.

Mathcad Express є потужним інструментом для інженерних розрахунків завдяки своєму унікальному поєднанню символьних та числових обчислень, зручного інтерфейсу та широкого спектру функцій. Він дозволяє інженерам не просто отримувати числові результати, але й документувати весь процес розрахунків у зрозумілій та наочній формі. Формули, графіки, текст та зображення можуть бути інтегровані в єдиний документ, що значно спрощує обмін інформацією та перевірку результатів. Mathcad Express особливо корисний для вирішення задач, що потребують як числових обчислень (наприклад, розрахунок міцності конструкцій), так і символьних перетворень (наприклад, спрощення математичних виразів).

Однією з ключових переваг Mathcad Express є його орієнтований на документ інтерфейс. Замість того, щоб працювати з абстрактним кодом, користувач вводить математичні вирази в звичній математичній нотації, як на папері. Це значно знижує поріг входження для інженерів, які не є професійними програмістами, та дозволяє зосередитися на суті задачі, а не на синтаксисі мови програмування. Крім того, Mathcad Express забезпечує автоматичне обчислення результатів при зміні вхідних даних, що дозволяє швидко досліджувати різні варіанти та проводити аналіз чутливості.

Mathcad Express також пропонує широкий набір вбудованих функцій для різних галузей інженерії, включаючи лінійну алгебру, диференціальні рівняння, статистику, обробку сигналів та багато іншого. Це дозволяє інженерам вирішувати широкий спектр задач без необхідності розробляти власні алгоритми з нуля. Крім того, Mathcad Express інтегрується з іншими інженерними

інструментами, що дозволяє створювати комплексні рішення, що охоплюють різні етапи проектування та аналізу. Хоча Mathcad Express є безкоштовною версією з обмеженим функціоналом порівняно з повною версією Mathcad Prime, він залишається цінним інструментом для навчання, невеликих проектів та ознайомлення з можливостями програмного забезпечення.

SolidWorks [12–14] з інтегрованим модулем Simulation є потужним інструментом для 3D моделювання та інженерного аналізу, що широко застосовується в різних галузях промисловості. Поєднання інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу SolidWorks для створення 3D моделей з потужними можливостями Simulation для проведення різноманітних видів аналізу (статичний, динамічний, тепловий, частотний, гідродинамічний тощо) дозволяє інженерам не тільки візуалізувати свої проекти, але й досліджувати їхню поведінку в реальних умовах експлуатації. Це дає можливість виявляти можливі проблеми на ранніх стадіях проектування, покращувати конструкцію та значно скорочувати час і витрати на розробку.

Модуль SolidWorks Simulation [15,16] дозволяє проводити аналіз методом скінченних елементів (MCE), який є стандартом в інженерних розрахунках. Завдяки цьому інженери можуть досліджувати напруження, деформації, переміщення, температуру та інші фізичні параметри деталей та збірок під дією різних навантажень та умов. Це дозволяє перевіряти міцність, жорсткість, стійкість та інші важливі характеристики конструкцій. Важливою перевагою є інтеграція Simulation безпосередньо в середовище SolidWorks, що забезпечує безперервний цикл проектування та аналізу. Будь-які зміни в геометрії моделі автоматично відображаються в результатах аналізу, що значно спрощує процес оптимізації.

Застосування SolidWorks з модулем Simulation дозволяє суттєво підняти проектування та конкурентоспроможність продукції. Завдяки віртуальному тестуванню інженери можуть уникнути дорогих та тривалих фізичних випробувань прототипів, а також мінімізувати ризики виникнення дефектів у

готових виробів. Це особливо важливо для складних технічних систем, де помилки на етапі проектування можуть призвести до серйозних наслідків.

2.2. Особливості використання SolidWorks Simulation для проведення досліджень

Використання SolidWorks Simulation [12-16] для виконання досліджень на 3D моделях є ефективним інженерним рішенням для віртуального тестування та оптимізації конструкцій. Воно дозволяє інженерам досліджувати поведінку своїх моделей в умовах, максимально наближених до реальних, без необхідності створення фізичних прототипів. Наведемо етапи дослідження.

1. Створення 3D моделі в SolidWorks.

Першим кроком є створення детальної 3D моделі об'єкта в середовищі SolidWorks. Це включає в себе моделювання геометрії, визначення матеріалів та застосування необхідних з'єднань між деталями у збірках.

2. Підготовка до аналізу в SolidWorks Simulation.

Вибір типу аналізу. Залежно від задачі, обирається відповідний тип аналізу.

Статичний аналіз. Дослідження поведінки моделі під дією постійних навантажень (сили, тиск, гравітація).

Динамічний аналіз. Дослідження поведінки моделі під дією змінних у часі навантажень (вібрації, удари).

Частотний аналіз. Визначення власних частот коливань моделі, що важливо для запобігання резонансу.

Тепловий аналіз. Дослідження розподілу температури в моделі під дією теплових джерел та конвекції.

Аналіз текучості рідини (CFD). Дослідження потоків рідини або газу навколо або всередині моделі.

Визначення граничних умов. Встановлення обмежень на переміщення та обертання моделі (закріплення, опори).

Задання навантажень. Застосування до моделі сил, тиску, моментів, температури та інших впливів.

Створення сітки скінченних елементів. Розбиття моделі на невеликі елементи для чисельного розв'язання рівнянь. Якість сітки суттєво впливає на точність результатів.

3. Проведення аналізу та отримання результатів.

SolidWorks Simulation розв'язує систему рівнянь, які описують поведінку моделі під заданими умовами.

Результати відображаються у вигляді графіків, діаграм, анімацій та числових значень. Це дозволяє візуалізувати розподіл напружень, деформацій, температури, швидкості потоку та інших параметрів.

4. Аналіз та інтерпретація результатів.

Інженер аналізує отримані результати для оцінки міцності, жорсткості, теплових характеристик та інших властивостей моделі.

На основі аналізу приймаються рішення щодо оптимізації конструкції, вибору матеріалів або зміни параметрів експлуатації.

Переваги використання SolidWorks Simulation.

Зниження витрат. Уникнення дорогих фізичних випробувань прототипів.

Скорочення часу розробки. Швидке отримання результатів та можливість оперативно вносити зміни в конструкцію.

Підвищення якості продукції. Виявлення потенційних проблем на ранніх етапах проектування.

Оптимізація конструкції. Покращення характеристик виробу за рахунок аналізу різних варіантів.

Візуалізація результатів. Зрозуміле та наочне представлення результатів аналізу.

Приклади застосування.

Розрахунок міцності деталей машин та механізмів.

Аналіз теплового режиму електронних пристроїв.

Моделювання гідродинамічних процесів у трубопроводах та насосах.

3. Заходи з модернізації одношнекового екструдера марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок

3.1 Опис будови і принципу роботи екструдера марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок

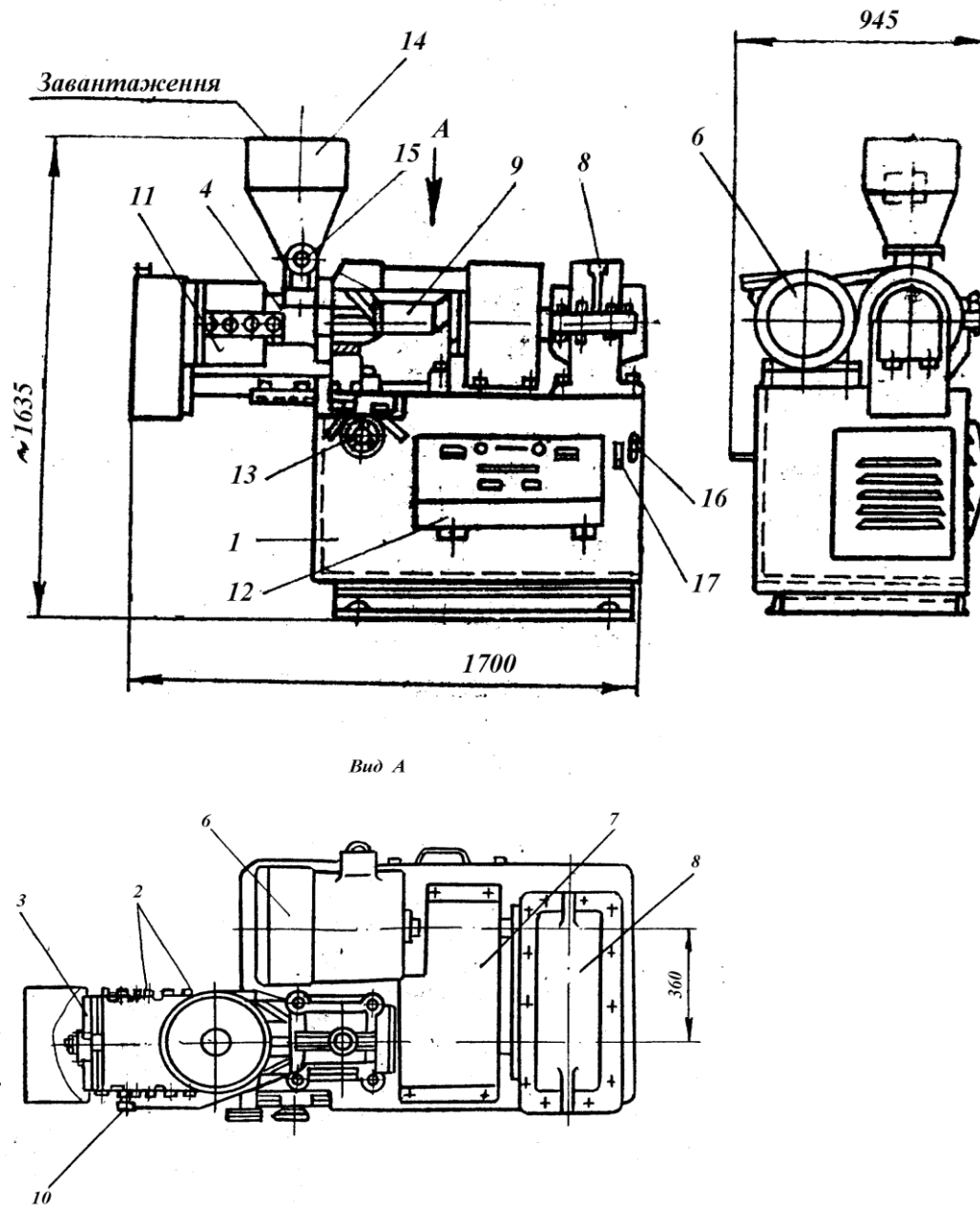


Рис. 3.1.– Загальний вид машини А1-КХ2-П.

На зварній станині 1 (рис. 3.1) встановлено електродвигун приводу шнека 6, з'єднаний через муфту з редуктором 8 та корпусом підшипника 9. В корпусі підшипника – вал на радіальних підшипниках кочення та упорний

шарикопідшипник. До корпусу кріпиться зварний циліндр 4 з гільзою підвищеної міцності та матрицею. Пробки 2 покращують осьове переміщення суміші. Термопара (пробка 10) контролює температуру. Блок електронагрівачів 11 нагріває масу. Механізм різки біля матриці приводиться в рух окремим електродвигуном (150-182,5 об/хв, регулювання – перекидання пасу між шківками $D_p=185$ мм та $D_p=225$ мм, натяг – маховик 13). Над циліндром – бункер 14 з регулюючою засувкою 15 для подачі кукурудзяної крупи, де відбувається пресування та нагрів до $\approx 1450^\circ\text{C}$. Під дією тепла, вологи та тиску крупа перетворюється на пластичну масу, що витискається шнеком через матрицю. Виходячи з матриці, маса під дією пари перетворюється на хрусткий, пористий джгут, який механізм різки ділить на палички.

3.2. Заходи з модернізації роботи екструдера марки А1-КХ2-П

Після проведення аналізу сучасного стану обладнання для екструдювання [17], а також аналізу конструктивних рішень [18, 19] екструдера марки А1-КХ2-П, очевидними стали деякі пов'язані з його роботою і експлуатацією моменти, на які доречно звернути увагу [2,3]. Зокрема, в процесі експлуатації з метою заклепування одних, та вивільнення інших отворів матриці, часто денонтують і монтують камеру з матрицею, яка є доволі важкою. Тому доцільним є після дослідження напружено-деформованого стану використати об'легшений її варіант. Також досить складний у експлуатації, зокрема в процесі заточування і, за потреби, виготовлення, серповидний ніж для порізки екструдованого джгута. В зв'язку з тим, що навантаження на цей ніж невелике, пропонується замінити його на прямий відповідної довжини. На виготовлення прямих ножів треба менше матеріалу, вони простіші у виготовленні і заточуванні.

3.3 Кінематичний розрахунок екструдера

Привод [20,21] екструдера, складається з двох електродвигунів, редуктора та пасових передач. Двигун відрізного механізму (АІРВ8750), має потужність 1,1 кВт та частоту обертання вала 750 об/хв. Він з'єднаний двома пасовими

передачами, на базі чотирьох шківів: Д1, Д2, Д3, Д4 та Д5 з обертовим ножом. Діаметри цих шківів становлять відповідно 90, 180, 225, 185 та 90. Двигун шнекового механізму (4А160М4УПУЗ), має потужність 18 кВт та частоту обертання 1500 об/хв. Він з'єднаний з редуктором типу Ц2У-200-20-11УЗ, а далі зі шнеком. Цей редуктор має передавальне число 20. Вихідний вал редуктора, в свою чергу, з'єднаний з екструдером.

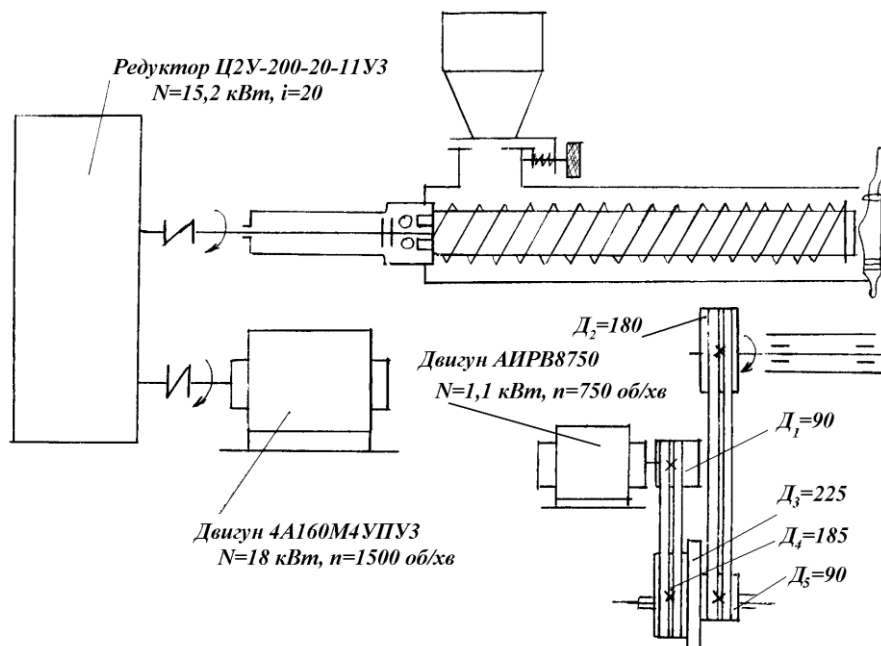


Рис. 3.2. Кінематична схема машини А2-КХ2-П.

Виконаємо розрахунок кінематичних параметрів [22,23] екструдера для випадку, коли задіяний шків Д4, а шків Д3 не сполучений з іншим пасовою передачею.

Параметри двигунів.

Двигун АИРВ8750:

Потужність $N_1 = 1,1 \text{ кВт} = 1100 \text{ (Вт)}$

Частота обертання $n_1 = 750 \text{ (об/хв)}$

Двигун 4А160М4УПУЗ:

Потужність $N_2 = 18 \text{ кВт} = 18000 \text{ (Вт)}$

Частота обертання $n_2 = 1500 \text{ (об/хв)}$

Параметри редуктора.

Тип: Ц2У-200-20-11УЗ:

Потужність $N_p = 15,2 \text{ кВт} = 15200 \text{ (Вт)}$

Передавальне число $i = 20$

ККД редуктора $\eta_p \approx 0.95$

Геометричні параметри пасової передачі різального механізму.

Діаметри шківів :

$D_1 = 90 \text{ (мм)}; D_2 = 180 \text{ (мм)}; D_4 = 185 \text{ (мм)}; D_5 = 90 \text{ (мм)}.$

Розрахунок кінематичних параметрів.

Кутові швидкості валів двигунів:

для двигуна АИРВ8750

$$\omega_1 = (2 \cdot \pi \cdot 750) / 60 = 78.54 \text{ (рад/с)}$$

для двигуна 4А160М4УПУЗ

$$\omega_2 = (2 \cdot \pi \cdot 1500) / 60 \approx 157.08 \text{ (рад/с)}$$

Частота обертання після редуктора:

$$n_p = n_2 / i = 1500 \text{ об/хв} / 20 = 75 \text{ (об/хв)}$$

Кутова швидкість шнека екструдера:

$$\omega_p = (2 \cdot \pi \cdot n_p) / 60 = (2 \cdot \pi \cdot 75) / 60 \approx 7.85 \text{ (рад/с)}$$

Передавальні числа пасових передач:

$$i_{14} = D_4 / D_1 = 185 \text{ мм} / 90 \text{ мм} \approx 2,06$$

$$i_{52} = D_2 / D_5 = 180 \text{ мм} / 90 \text{ мм} = 2$$

Загальне передавальне число пасової передачі:

$$i_{\text{пас}} = i_{14} \cdot i_{52} = 2,06 \cdot 2 = 4,12$$

Частота обертання валу Д4-Д5:

$$n_{4-5} = n_1 / i_{14} = 750 \text{ об/хв} / 2,06 \approx 364 \text{ (об/хв)}$$

Частота обертання на валу Д2:

$$n_{2\text{пас}} = n_{4-5} / i_{52} = 364 \text{ об/хв} / 2 = 182 \text{ (об/хв)}$$

Кутова швидкість на валу Д2 :

$$\omega_{2\text{пас}} = (2 \cdot \pi \cdot n_{2\text{пас}}) / 60 = (2 \cdot \pi \cdot 182) / 60 \approx 19,05 \text{ (рад/с)}$$

Розрахунок крутних моментів.

Крутний момент на валу двигуна АИРВ8750 = 14,0 (Н·м)

Крутний момент на валу Д₄-Д₅.

$$M_{4-5} = M_1 \cdot i_{14} = 14,0 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot 2,06 \approx 28,8 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Крутний момент на валу Д₂.

$$M_{2\text{пас}} = M_{4-5} \cdot i_{52} = 28,8 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot 2 = 57,6 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Крутний момент на валу двигуна 4А160М4УПУЗ

$$M_2 = N_2 / \omega_2 = 18000 \text{ Вт} / 157,08 \text{ рад/с} \approx 114,6 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Крутний момент після редуктора.

$$M_p = M_2 \cdot i = 114,6 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot 20 = 2292 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Розрахунок потужностей.

Приймаємо ККД пасової передачі $\eta_{\text{пас}} \approx 0,90$.

$$N_{\text{рвих}} = 18000 \text{ Вт} \cdot 0,95 = 17100 \text{ (Вт)}$$

Потужність на виході пасової передачі.

$$N_{\text{вих}} = N_1 \cdot \eta_{\text{пас}}^2 = 1100 \text{ Вт} \cdot 0,81 \approx 891 \text{ (Вт)}$$

3.3 Розрахунок ножа розрізання жгуту екструдату

Розрахуємо значення крутного моменту і потужності для прямого ножа і підберемо за отриманими параметрами двигун для механізму різання [24,25].

Вихідні параметри для розрахунку:

Довжина ножа $L = 0,35 \text{ (м)}$

Висота ножа $h = 0,02 \text{ (м)}$

Товщина ножа $S = 0,002 \text{ (м)}$

Частота обертання ножа $n = 182 \text{ (об/хв)}$

Кількість каналів екструдату $z = 30$

Діаметр каналу екструдату $d_k = 0,0028 \text{ (м)}$

Усереднена відстань від осі обертання до каналів $L_n = 0,26 \text{ (м)}$

Кут заточування $\alpha = 20^\circ$

Питомі затрати енергії на різання $A_e = 194000 \text{ (Дж/м}^3\text{)}$

Визначення лінійної швидкості різання (v).

Лінійна швидкість точки на ріжучій кромці ножа:

$$v = (\pi \cdot D \cdot n) / 60$$

де $D = 2 \cdot L_n$ – діаметр кола обертання ножа.

$$v = (\pi \cdot 2 \cdot 0,26 \cdot 182) / 60 \approx 4,96 \text{ (м/с)}$$

Визначення площі поперечного перерізу одного каналу (S_{p1}).

Площа поперечного перерізу одного каналу екструдату:

$$S_{p1} = \pi \cdot (d_k/2)^2 = \pi \cdot (0,0028 / 2)^2 \approx 6,16 \cdot 10^{-6} \text{ (м}^2\text{)}$$

4. Визначення загальної площі зрізу за один оберт (S_p):

За один оберт ніж зрізає екструдат з усіх z каналів:

$$S_p = S_{p1} \cdot z = 6,16 \cdot 10^{-6} \cdot 30 \approx 1,85 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^2\text{)}$$

5. Врахування кута заточування ($\alpha = 20^\circ$).

Кут заточування збільшує ефективну площу різання. Спрощено врахуємо це за допомогою коефіцієнта k :

$$k = 1 / \sin(\alpha) = 1 / \sin(20^\circ) \approx 2,92$$

Визначення ефективної площі зрізу ($S_{\text{реф}}$).

$$S_{\text{реф}} = S_p \cdot k = 1,85 \cdot 10^{-4} \cdot 2,92 \approx 5,39 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^2\text{)}$$

Визначення сили різання (F).

Сила різання залежить від питомих затрат енергії на різання (A_e) та ефективної площі зрізу:

$$F = A_e \cdot S_{\text{реф}} = 194000 \cdot 5,39 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \approx 104,6 \text{ (Н)}$$

Визначення крутного моменту (M).

Крутний момент визначається як добуток сили різання на відстань від осі обертання до точки прикладання сили L_n :

$$M = F \cdot L_n = 104,6 \cdot 0,26 \approx 27,2 \text{ (Н·м)}$$

Визначення потужності різання (P).

Потужність пов'язана з крутним моментом та кутовою швидкістю (ω):

$$P = M \cdot \omega$$

де кутова швидкість:

$$\omega = (2 \cdot \pi \cdot n) / 60 = (2 \cdot \pi \cdot 182) / 60 \approx 19,05 \text{ (рад/с)}$$

$$P = 27,2 \cdot 19,05 \approx 518 \text{ (Вт)}$$

Таким чином:

Крутний момент $M \approx 27,2$ (Н·м)

Потужність різання $P \approx 518$ (Вт)

Отримані значення силових чинників у процесі відрізання жгуту для прямого виконання ножа допускають застосування чинного двигуна АИРВ8750 з параметрами:

Потужність $N_1 = 1,1$ кВт = 1100 (Вт)

Частота обертання $n_1 = 750$ (об/хв)

3.4 Розрахунок шнекового пресу екструдера

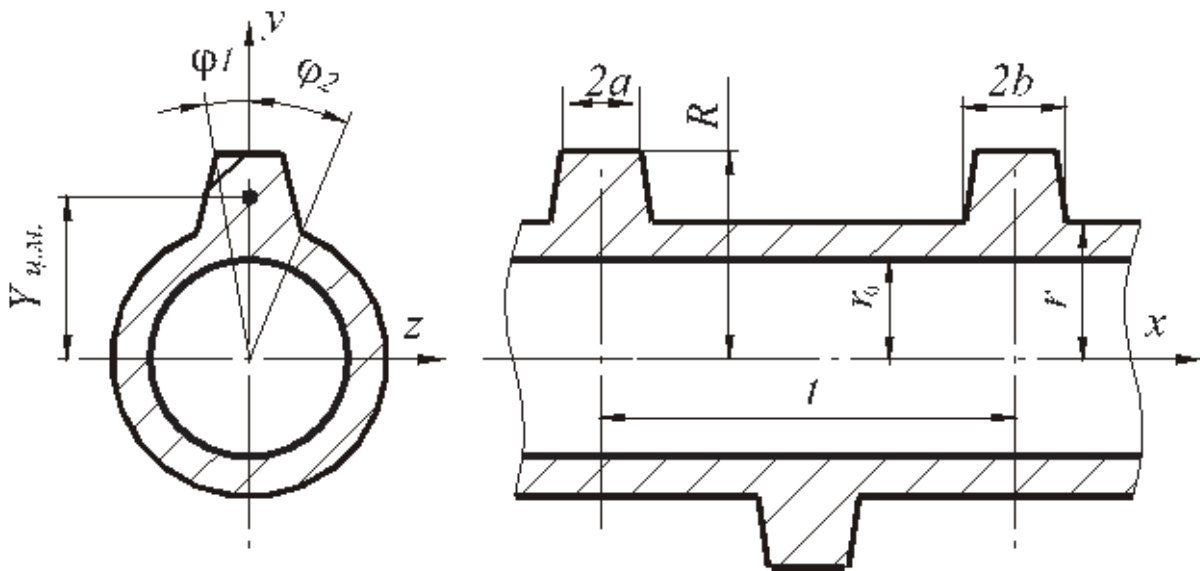


Рис. 3.3. Розрахункова схема шнека екструдера

Найбільш навантажений шнек буде в останній секції. Геометричні параметри шнека:

зовнішній радіус вала шнека: $r := \frac{0.140}{2} = 0.07$ (м)

внутрішній радіус вала шнека: $r_0 := \frac{0.1}{2} = 0.05$ (м)

зовнішній радіус шнека: $\underline{\underline{R}} := \frac{0.172}{2} = 0.086 \quad (\text{м})$

крок шнека $t := 0.150 \quad (\text{м})$

частота обертання шнека: $n := \frac{1500}{20 \cdot 60} = 1.25 \quad (\text{об/с})$

ширина вершини витка $a := 0.01 \quad (\text{м})$

ширина основи витка $b := 0.012 \quad (\text{м})$

Матеріал шнека: DIN 1.2083 (X40Cr14) $\rho := 7700$

Загальна довжина крайньої, найбільш навантаженої ділянки шнека:

$\underline{\underline{L}} := 0.200 \quad (\text{м})$

Кут нахилу бокової лінії трапеції в нормальному січенні:

$$\alpha_n := \arcsin\left(\frac{b - a}{R - r}\right) = 0.125$$

Визначимо момент інерції січення одного однозаходного шнека відносно осі z.

Розрахункові коефіцієнти геометрії витка шнека:

$$\phi_1 := 2 \cdot \pi \cdot \frac{a}{t} = 0.419$$

$$\phi_2 := 2 \cdot \pi \cdot \frac{b}{t} = 0.503$$

Момент інерції січення вала шнека відносно осі z:

$$J_{1z} := \frac{\pi}{4} \cdot (r^4 - r_0^4) = 1.395 \times 10^{-7} (\text{м}^4)$$

Розрахункові лінійні коефіцієнти:

$$x_1 := 2 \cdot R \cdot \sin(\phi_1) = 0.07 \quad (\text{м})$$

$$x_2 := 2 \cdot r \cdot \sin(\phi_2) = 0.067 \quad (\text{м})$$

Подальший розрахунок проводиться для максимального лінійного коефіцієнта

$$H := x_1 = 0.07 \quad (\text{м})$$

Площа поперечного січення витка шнека:

$$F_r := (R \cdot \sin(\phi_1) + r \cdot \sin(\phi_2)) \cdot (R - r) = 1.099 \times 10^{-3} \quad (\text{м})$$

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

$$J_{2z} := \frac{F_r^2 \cdot (R - r \cdot \cos(\phi_2))}{12 \cdot H} = 3.549 \times 10^{-8} \quad (\text{м}^3)$$

Координата центра мас витка шнека:

$$Y_{\text{цм}} := \frac{1}{3} \cdot (R - r) \cdot \frac{r \cdot \sin(\phi_2) + 2 \cdot R \cdot \sin(\phi_1)}{r \cdot \sin(\phi_2) + R \cdot \sin(\phi_1)} + r = 0.078 \quad (\text{м})$$

Момент інерції січення шнека відносно осі z

$$J_z := J_{1z} + (J_{2z} + F_r \cdot Y_{\text{цм}}^2) \quad J_z = 2.068 \times 10^{-5} \quad (\text{м}^4)$$

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 осевого навантаження:

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

де $f := 0.015$ коефіцієнт, що враховує тертя між умовними шарами кукурудзяної крупи.

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

$$\beta := 0.35 \quad (\text{рад})$$

В градусах
$$\frac{\beta \cdot 180}{\pi} = 20.054$$

$p(x)$ - 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 $l_3 := \frac{L}{4} = 0.05$ (м) - довжина частини шнека перед завантажувальною воронкою

$p_0 := 0.1 \cdot 10^6$ (Па) - атмосферний тиск

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

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

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

Позначим $\Delta p = p - p'$:

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

Проведем необхідні підстановки і проінтегруємо вираз. Після інтегрування отримаємо:

Геометрична силова складова:

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

$$HS = -0.019 \quad (M^2)$$

$$S := \frac{\pi \cdot (R^2 - r^2)}{t} \cdot \left(2 \cdot f \cdot \frac{\tan(\beta)}{\cos(\alpha_n)} \cdot p_o \cdot L + \frac{p_{max} - p_o}{L} \cdot HS \right) \quad S = -4.85 \times 10^4 \quad (H)$$

Знак “-” вказує на стискаючу дію осової сили.

Ввиду значної величини осової 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 осових сил визначаються за формулою:

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

де F - площа поперечного січення вала шнека:

$$\underline{F} := \pi \cdot r^2 \quad F = 0.015 \quad (\text{м}^2)$$

$$\sigma := \frac{S}{F} \quad \sigma = -3.151 \times 10^6 \quad (\text{Па})$$

Дотичні напруження визначаються з залежності:

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

$$M := \left(\frac{2}{3}\right) \cdot p_{\max} \cdot \pi \cdot \tan(\beta) \cdot (R^3 - r^3) = 122.771 \quad (\text{Н}^*\text{м})$$

$$\underline{W} := \frac{\pi \cdot r^4}{2} = 3.771 \times 10^{-5} \quad (\text{м}^3)$$

$$\tau := \frac{M}{W} = 3.255 \times 10^6 \quad (\text{Па})$$

Еквівалентне напруження:

$$\sigma_{\text{екв}} := \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot \tau^2} = 7.233 \times 10^6 \quad (\text{Па})$$

Напруження входить в діапазон допустимих.

Кутова швидкість шнека:

$$\omega := 2\pi \cdot n = 7.854 \quad (\text{рад/с})$$

Необхідна потужність :

$$\underline{N} := \frac{M \cdot 1000}{\omega} = 15631.74 \quad (\text{Вт})$$

З врахуванням наявності подаючого вала і необхідного запасу
5 потужності вибираємо двигун 4A160M4УПУЗ з наступними характеристиками:

Потужність: 18,5 кВт
Частота обертання: 1500 об/хв
Напруга живлення: 380 В
Частота струму: 50 Гц
Коефіцієнт корисної дії (ККД): близько 91%
Коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$): 0,88
Ступінь захисту: IP54
Кліматичне виконання: УЗ (для помірного клімату)
Спосіб монтажу: УП (універсальний підвісний)
Маса: приблизно 180 кг

3.5. Особливості експлуатації і технічного обслуговування екструдера

Для проведення розконсервування машини і ревізії шнека необхідно зняти захват, матрицю, вивільнити шнек і розконсервувати його. При виявленні на його поверхні пошкоджень провести зачищення. [26,27]

Перевірку легкості обертання шнека в циліндрі проводять без вмикання електродвигуна, для чого знімають огорожу з муфт і вручну обертають шнек. При заклинюванні або тяжкому обертанні шнека проводиться регулювання пробками.

Регулювання ножів механізму різки проводять вручну. Ножі виставляють таким чином, щоб при обертанні у всіх точках зазор між матрицею і ножами був не більше, ніж 1 мм. При повертанні механізму різки вручну за пас, ножі повинні обертатися легко з постійним зусиллям, при необхідності провести точіння ножів.

Для забезпечення роботи механізму різки необхідно при запуску машини слідкувати за тим, щоб ножі не перекривали отворів матриці.

Перевірити роботу електродвигуна шляхом короткочасного вмикання.

Перед першим запуском машини необхідно провести перевірку термопари, для чого необхідно погрузити її в киплячу воду. Якщо на шкалі мілівольтметра не буде показу 100°C , то потрібно змінити кількість витків компенсаційної котушки, встановленої із задньої сторони мілівольтметра-регулятора.

Провести змащення всіх частин і механізмів тертя і заливання масляної ванни редуктора згідно карти змазки.

Перевірити виконання вимог мір безпеки.

Перевірити машину на холостому ходу на протязі 30-40 хв.

Встановити шліцом на регуляторі температури (мілівольтметрі) потрібний температурний режим $80...100^{\circ}\text{C}$.

Порядок роботи:

Апаратура вмикання, регулювання, контролю режиму обігріву встановлена на пульті управління 12 (рис. 3.4) і безпосередньо в станині машини.

При вмиканні вимикача напруги мережі передається на пульт управління до електродвигунів машини. Наявність напруги на пульті управління сигналізується засвічуванням світлового табло 1 (рис. 3.4), а в колі регулювання температури світлового табло 2 (після вмикання кнопки “пуск” вимикача АП 50-2МТ).

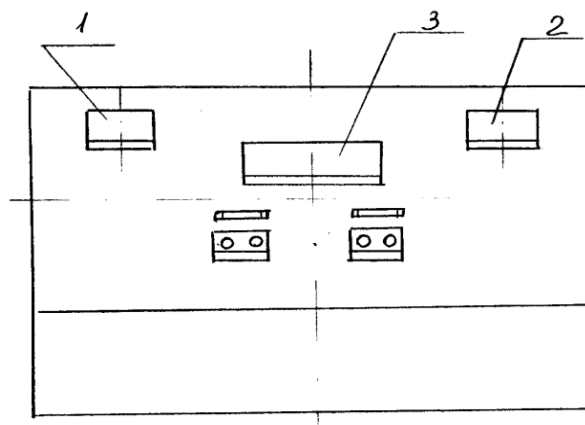


Рис. 3.4. Пульт керування.

Після подачі живлення вмикаються нагрівачі. Вмикання нагрівачів контролюється візуально, температура в циліндрі - по шкалі мілівольтметра. При досягненні температури в межах $80...100^{\circ}\text{C}$, можливий запуск машини, нагрівачі при цьому переключаються автоматично із режиму “Нагрів” в режим “Робота”.

Запуск і зупинка машини, а також вмикання і зупинка механізму різки здійснюється кнопками “пуск-стоп”, встановленими на пульті керування машини.

З метою електробезпеки роботи корпус машини повинен бути надійно заземленим.

В процесі ремонту електрообладнання на машині і безпосередньо в пульті управління необхідно відключити вимикач 17 і відключити лінію подачі напруги на пульт.

Перед перевіркою і заміною нагрівачів необхідно зняти напругу вимкненням перемикачів 16 і 17 (рис. 3.4), при цьому ручка регулятора 15 повертається проти годинникової стрілки.

Запуск машини проводиться на порції крупи, приготовленої попередньо за 30...60 хв. до пуску (1,5-2 кг при температурі циліндра 80...110⁰С вологістю 25-30%, терміном виготовлення крупи не більше одного місяця). Режим нагріву підбирається для кожної машини окремо в залежності від сорту, помолу, вологості кукурудзяної крупи і монтажних зазорів.

Після подачі невеликої кількості зволоженої крупи починається завантаження машини основною масою крупи, вологістю до 13-15%, витриманої не менше 12 годин при кімнатній температурі для рівномірного розподілення вологи, як в самих крупинках, так і по об'єму крупи. В результаті тертя між продуктом, шнеком і циліндром виділяється достатня кількість теплоти і після запуску машина працює. Температура циліндра коливається в межах 140...250⁰ С.

Для зупинки машини необхідно відключити обігрів, зупинити подачу крупи, виробити масу, яка знаходиться в циліндрі і потім зупинити її.

Для очистки машини необхідно зняти захвати, які кріплять фланець до циліндра, зняти матрицю, відкрутити пробки і заглушки з торця шнека при допомозі зйомника витягнути шнек з циліндра. З допомогою ножа і щітки очистити шнек, матрицю, пробки і циліндр.

Запуск підігрітої машини приводить до запікання маси на матриці, в результаті чого може виникнути деформація матриці, захватів і обрив болтів кріплення захватів.

Для забезпечення надійної роботи машини в відповідності з встановленим гарантійним строком необхідно виконувати вимоги по технічному обслуговуванню.

Не допускається попадання в робочий механізм металевих предметів. Рекомендується пропускання крупи здійснювати через магнітний сепаратор.

Своєчасно проводити змащення основних вузлів згідно карти змащування. Перед змащенням поверхні маслянок, розміщених в зоні змазки, повинні бути очищені від пилюки.

Періодично перевіряти натяжні паси, контакти елементи заземлення.

Пристрої електрообладнання завжди повинні бути чистими, контактні з'єднання затягненими, в проводці не повинно бути не заізолюваних проводів.

Регулярно проводити підтягування болтових з'єднань.

По мірі затуплення ножів механізму різки проводити їх заточування.

Таблиця 4.1.

Характерні неполадки при роботі екструдера і способи їх усунення.

Неполадка	Ймовірна причина	Спосіб усунення
1	2	3
Нормальний і нестійкий режим роботи машини, з матриці виходять окремі крупинки, в окремі моменти їх вихід припиняється	Низька температура запуску. Недостатня подача сировини при запуску	Зупинити, очистити машину і знову запустити при більш високій температурі. При повторному запуску забезпечити неперервну подачу крупи
Ненормальний режим роботи машини: із приймального отвору циліндру йде пара	Висока температура запуску	Зупинити, очистити машину і знову запустити при більш низькій температурі
Нерівномірний прохід маси через отвори матриці	Погана очистка машини	Зупинити машину, прочистити отвори

Продовження таблиці 4.1.

1	2	3
Механізм різки зупиняється	Слабкий натяг пасів	Збільшити натяг пасів
Механізм різки дає низьку якість різання	Затупилися можливо ножі, не прилягають до матриці	Заточити ножі, виставити механізм різки таким чином, щоб на ручному обертанні ножі проходили легко, а зазор між матрицею і ножем був мінімальним
При мінімальній швидкості ножів механізму різки, довжина відрізаної палички мала		Зняти з механізму різки один ніж
Паличка виходить з отвору матриці “сирою”	Низька температура в циліндрі, висока вологість	Виставити на регулятори більшу температуру. Завантажувати крупу з меншою вологістю
Паличка виходить із отвору матриці тонкою	Машина перегріта	Відключити нагрівання і знизити температуру пропусканням вологої крупи
Нестійка робота машини, коливається товщина і довжина палички	Крупа нерівномірно завантажена і не вилягалася. Крупа з кукурудзи різних сортів і погано перемішана	Провести ретельне перемішування і забезпечити не менше 12 годин витримання крупи

Продовження таблиці 4.1.

1	2	3
Під час роботи отвори в матриці забруднюються	Забруднена крупа. Погано очищена машина	Завантажувати машину крупою, очищеною від сторонніх включень. Зупинити механізм різки і прочистити отвори.

Механізм різки повинен бути щільно закріплений з мінімальним зазором між матрицею і ножами.

Забезпечити проведення планово-попереджувальних ремонтів згідно розроблених графіків.

4. Моделювання і дослідження матриці одношнекового екструдера марки А1-

КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок

4.1 Посановка задач для дослідження

Задачу дослідження матриці одношнекового екструдера марки А1-КХ2-П поставимо і будемо вирішувати з допомогою SolidWorks Simulation [12, 16, 28, 29]. У зв'язку з тим, що в конструкції матриці на всі площини накладено обмеження, застосовувати механізм топологічної оптимізації недоцільно. Спроекуємо три варіанти матриці з робочою камерою і проведемо дослідження напружено-деформованого стану.

В зв'язку з тим, що ми маємо справу з доволі значними механічними навантаженнями в умовах агресивного середовища, на матеріал накладаються відповідні обмеження. Одним із достатньо підходячих варіантів [30,31] є сталь DIN 1.2083 (X40Cr14). Сталь DIN 1.2083 (X40Cr14) — це високолегована нержавіюча сталь, яка має оптимальні характеристики для виготовлення матриць, що використовуються у харчовій промисловості, включаючи екструдери. Для цього конструктивного матеріалу характерними є наступні властивості.

Корозійна стійкість. Внаслідок великого вмісту хрому (~13%), сталь має чудову корозійну стійкість, що важливо для роботи у вологих умовах та контакту з харчовими продуктами. Це мінімізує ризик корозії від вологи чи залишків сировини.

Механічна міцність і твердість. Після термічної обробки DIN 1.2083 досягає твердості 50-54 HRC, що забезпечує довговічність матриці навіть у разі роботи з абразивними матеріалами, такими як кукурудзяний крохмаль.

Зносостійкість. Висока твердість і карбідна структура сталі гарантують відмінну стійкість до зносу, що є важливим для матриць, які піддаються постійному тертю і навантаженням у процесі екструзії.

Гігієнічні вимоги. DIN 1.2083 відповідає вимогам харчової промисловості завдяки високій стійкості до утворення плівок і корозії, що забезпечує легке очищення та довготривалу експлуатацію без ризику забруднення продукту.

Хороша оброблюваність. Ця сталь добре піддається механічній обробці, поліруванню та термообробці, що дозволяє створювати матриці складної форми з точними розмірами.

Таблиця 4.1.

Основні характеристики сталі DIN 1.2083:

Властивість	Значення
Марка за DIN	1.2083 (X40Cr14)
Хімічний склад (%):	
- Вуглець (C)	0.36-0.42
- Хром (Cr)	12.50-14.50
- Кремній (Si)	≤ 1.00
- Марганець (Mn)	≤ 1.00
- Фосфор (P)	≤ 0.03
- Сірка (S)	≤ 0.03
Твердість (після гартування)	50-54 HRC
Густина	$\sim 7.7 \text{ г/см}^3$
Модуль пружності	$\sim 215 \text{ ГПа}$
Межа міцності на розрив	$\sim 850-1000 \text{ МПа}$
Температура гартування	980-1050°C (з наступним охолодженням у повітрі)
Температура відпуску	200-250°C
Клас корозійної стійкості	Високий (для помірно агресивних середовищ)

Твердотілу модель матриці (рис. 4.1.) сформуємо на базі профіля твірної із застосуванням команди Revolve. Масив всіх фільтер сформуємо у ескізі і створимо за допомогою команди Cut-Extrude.

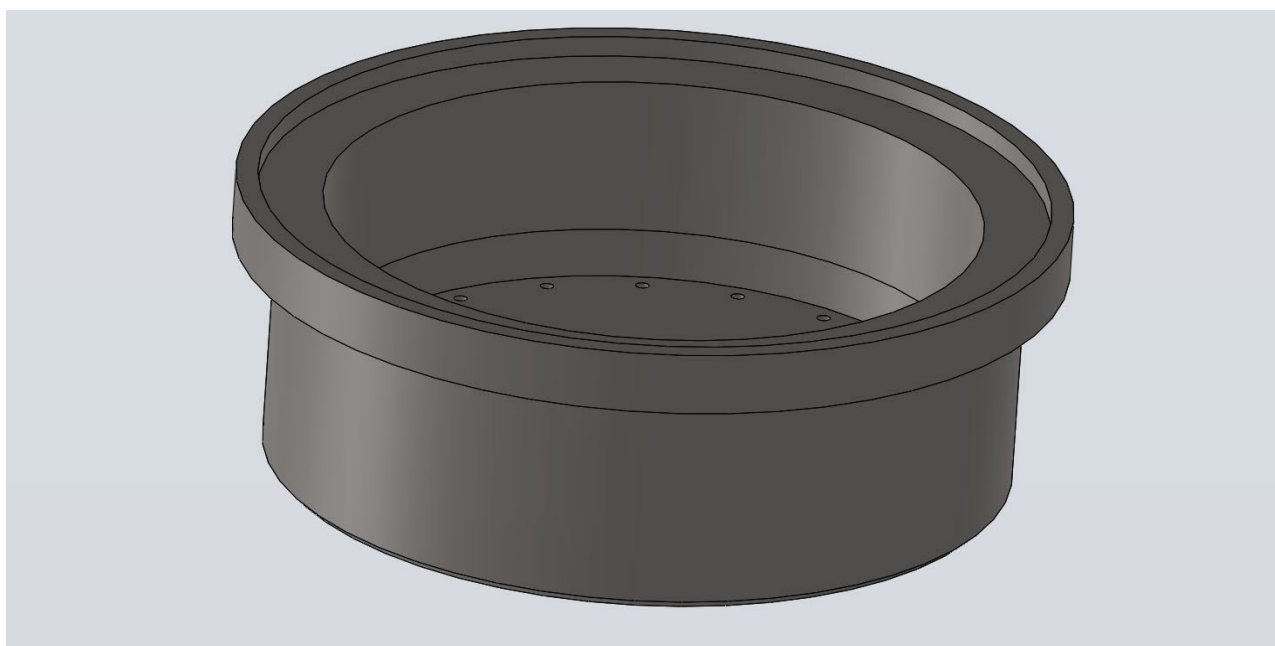
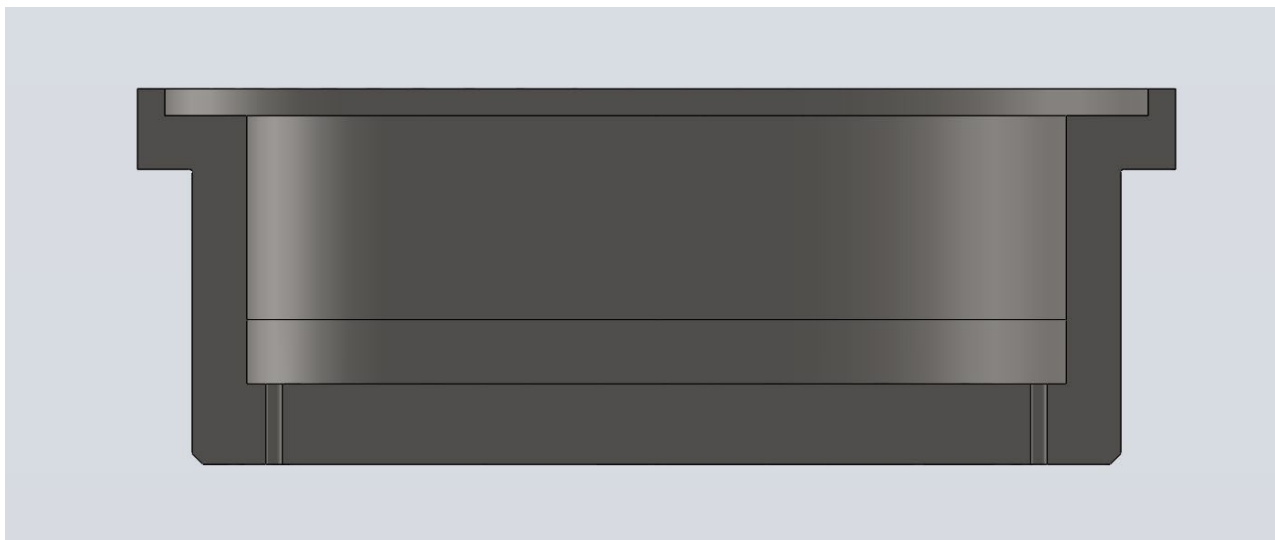


Рис. 4.1. Твердотіла модель матриці.

Геометричні обмеження у моделі застосуємо двох типів: Roller / Slider (рис 4.2) та Fixed Geometry (рис. 4.3).

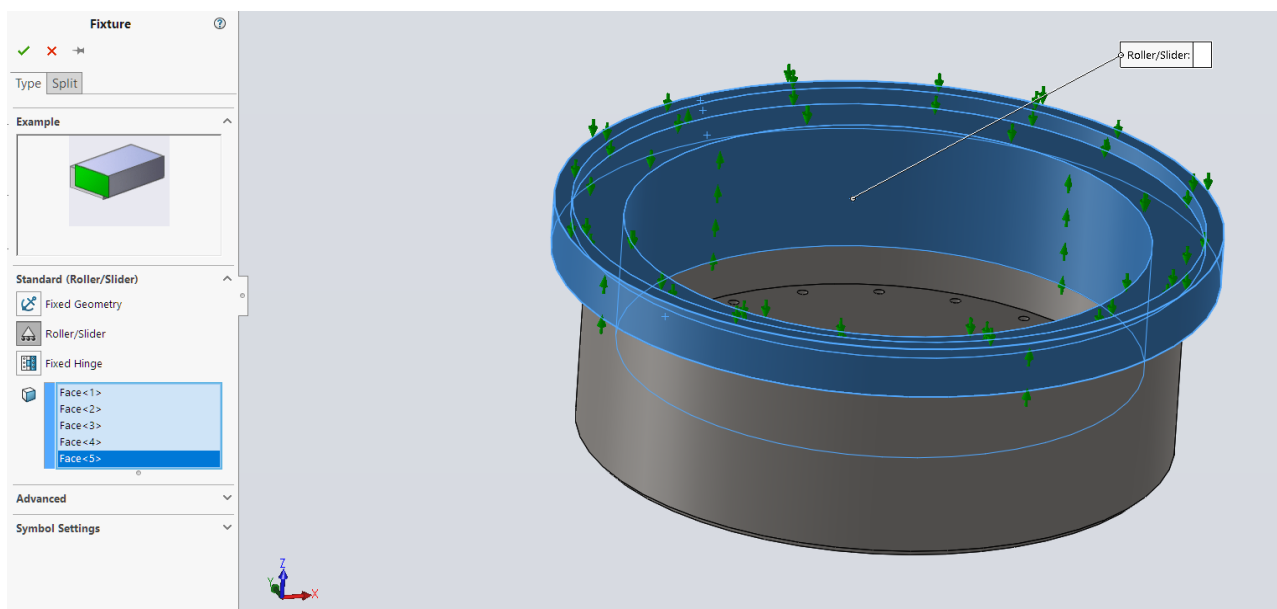


Рис 4.2. Геометричні обмеження ковзання Roller / Slider

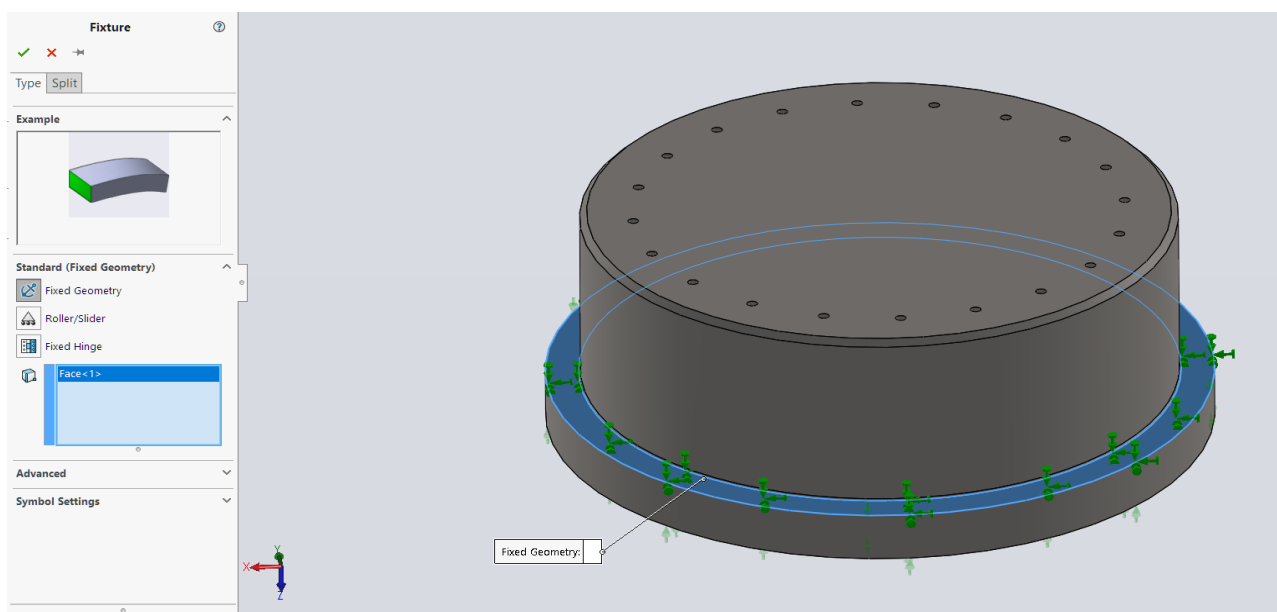


Рис 4.3. Геометричні обмеження Fixed Geometry.

На наступному етапі формування моделі було задано тиск на рівні 10 МПа (рис. 4.4). Після того, як були задані всі геометричні умови і силові чинники створюємо розрахункову сітку Blended curvature based mesh (рис 4.5). Сформована розрахункова сітка представлена на рис. 4.6.

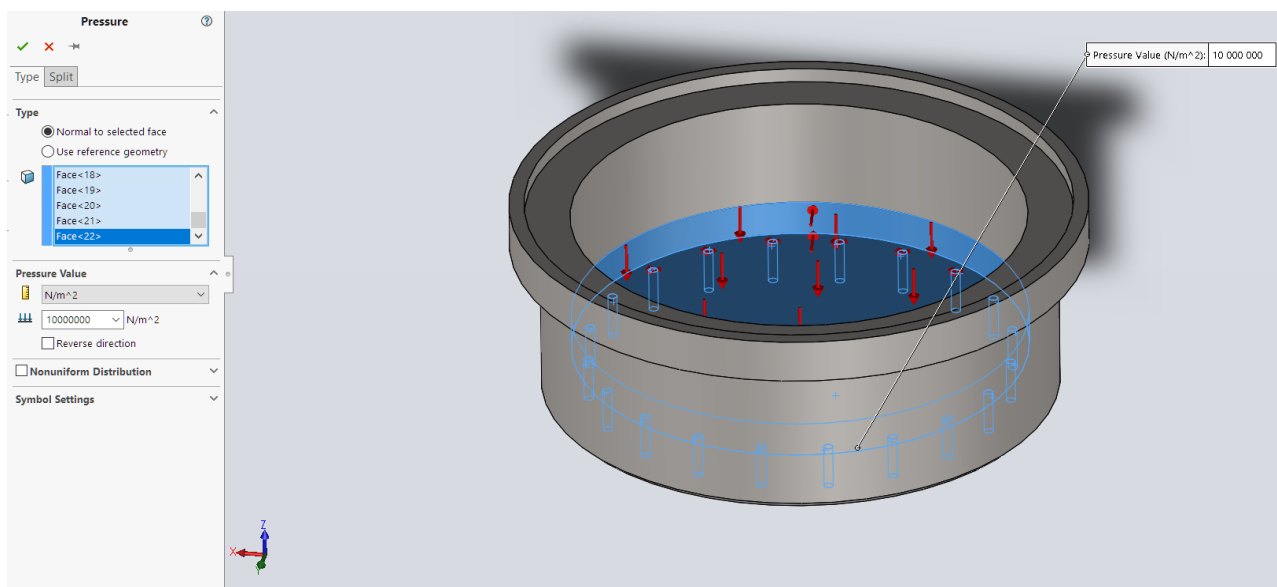


Рис. 4.4. Діюче навантаження на матрицю (тиск 10 МПа).

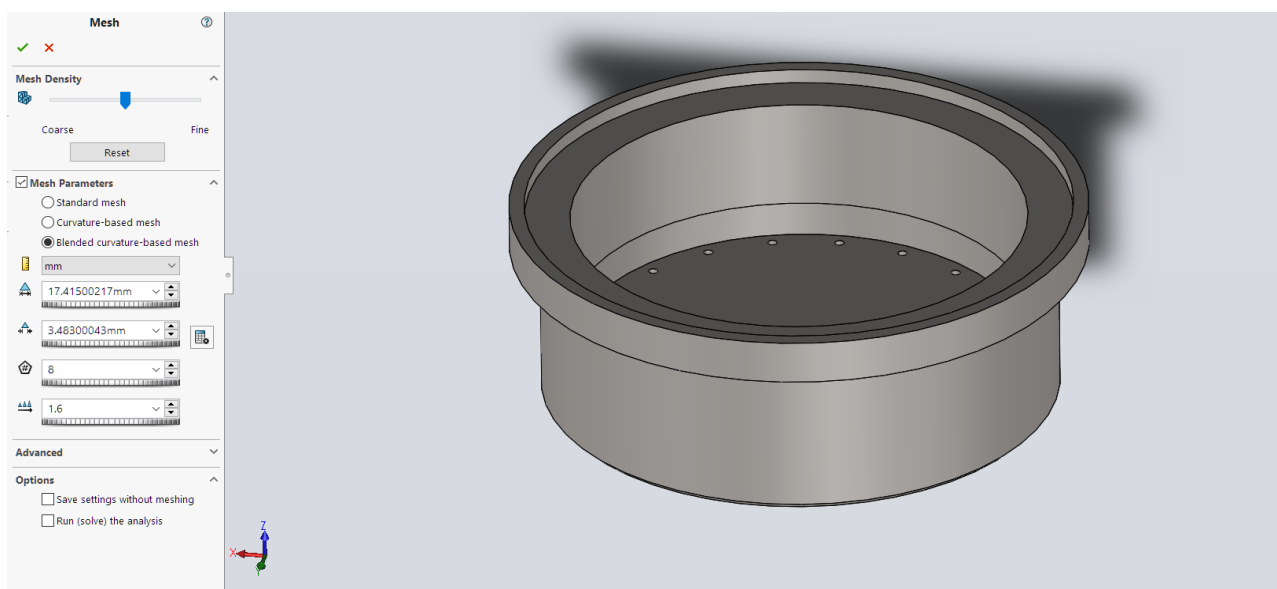


Рис. 4.5. Створення розрахункової сітки Blended curvature based mesh.

За аналогічним алгоритмом здійснювалася підготовка до проведення досліджень моделей з конічним і сфероподібним заглибленнями на внутрішньому торці матриці.

Представимо результати дослідження [32,33] для матриці із плоским торцем з внутрішнього і з зовнішнього боків (рис. 4.7...4.10). За допомогою інструмента Mass properties визначимо масові характеристики деталі:

Mass = 5106.27 grams

Volume = 659724.40 cubic millimeters

Surface area = 123221.84 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 0.00 Y = 0.00 Z = -44.28

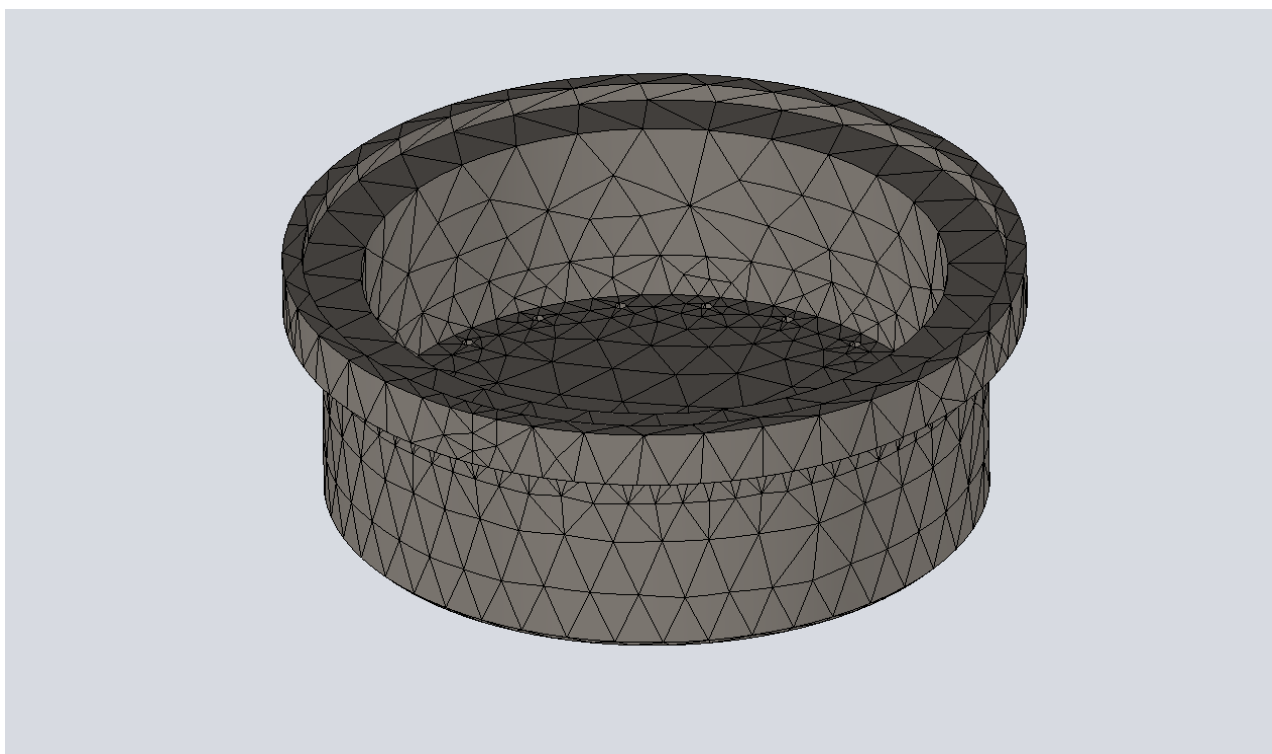


Рис. 4.6. Розрахункова сітка матриці екструдера

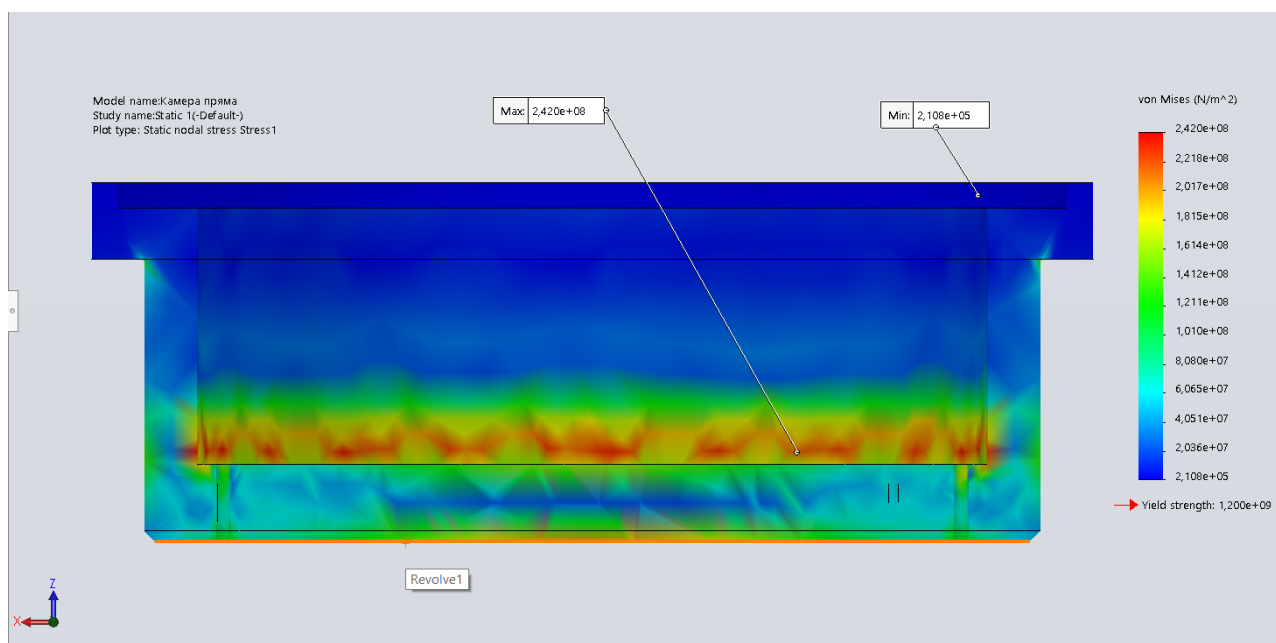


Рис. 4.7. Епюра напружень за фон Мізесом для матриці із пласким торцем з внутрішнього і з зовнішнього боків при тиску в робочій порожнині 10 МПа.

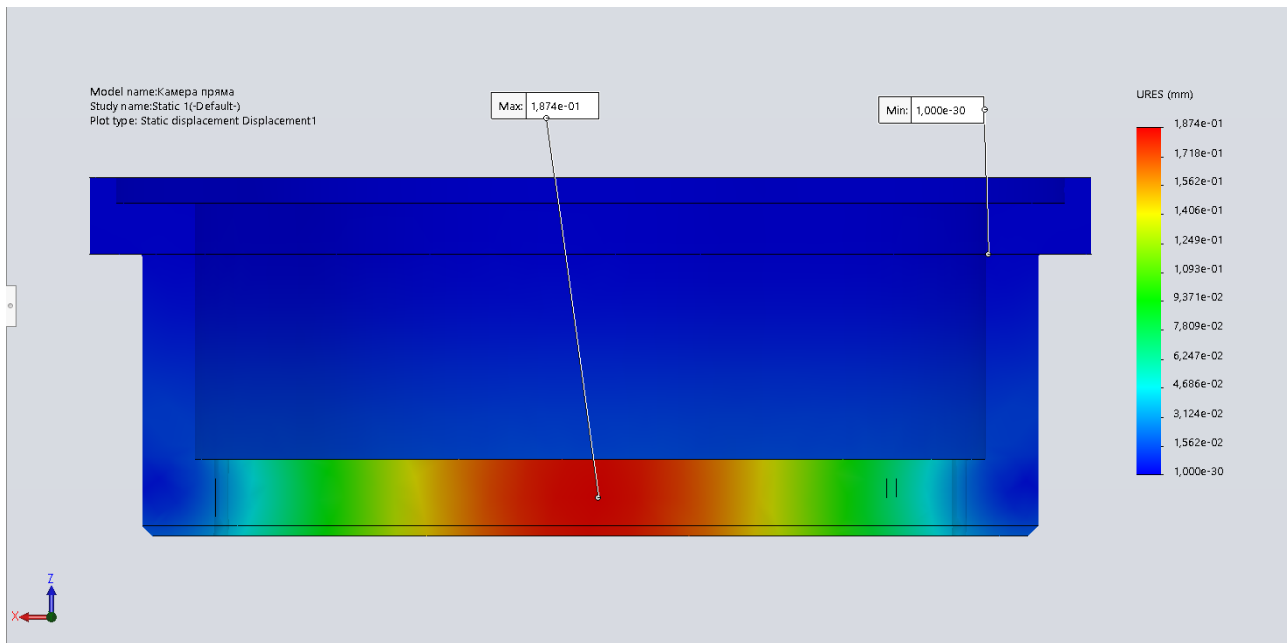


Рис. 4.8. Статичне переміщення для матриці із пласким торцем з внутрішнього і з зовнішнього боків при тиску в робочій порожнині 10 МПа.

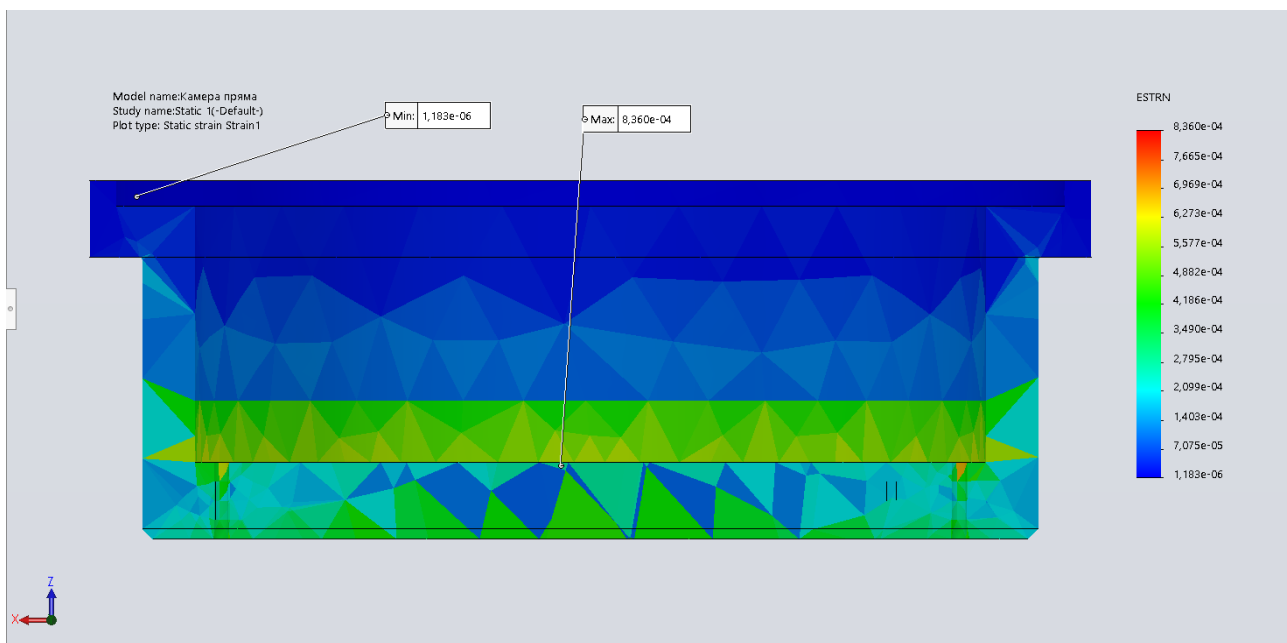


Рис. 4.9. Статична деформація для матриці із пласким торцем з внутрішнього і з зовнішнього боків при тиску в робочій порожнині 10 МПа.

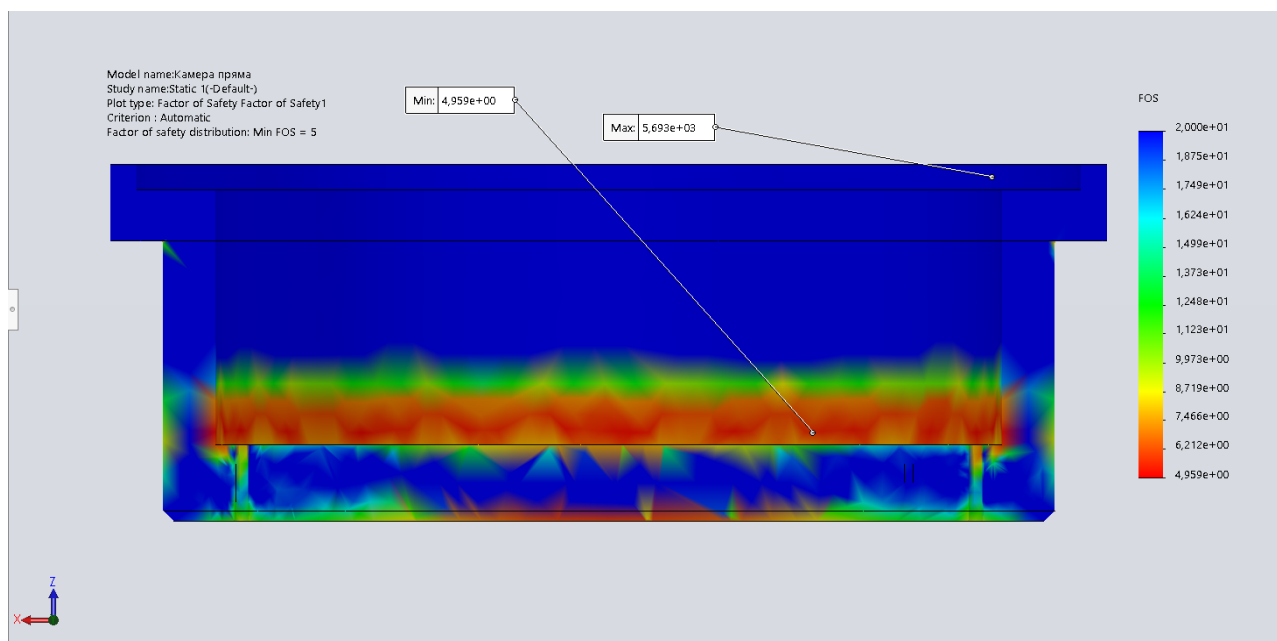


Рис. 4.10. Коефіцієнт запасу міцності для матриці із плоским торцем з внутрішнього і з зовнішнього боків при тиску в робочій порожнині 10 МПа.

Зведемо в таблицю 4.2 найменші і найбільші значення досліджених величин для матриці із плоским торцем з внутрішнього і з зовнішнього боків.

Таблиця 4.2

Найменші і найбільші значення досліджених величин для матриці із плоским торцем з внутрішнього і з зовнішнього боків

Характеристика	Найменше значення	Найбільше значення
Von Mises, Н/м ²	210777.58	241985264
Displacement, мм	0	0.19
Strain	1.18335515e-06	0.00084
Factor of Safety	4.96	5693.21

Представимо результати дослідження для матриці зі сфероподібним заглибленнями з внутрішнього і з плоским торцем з зовнішнього боку (рис. 4.11...4.14).

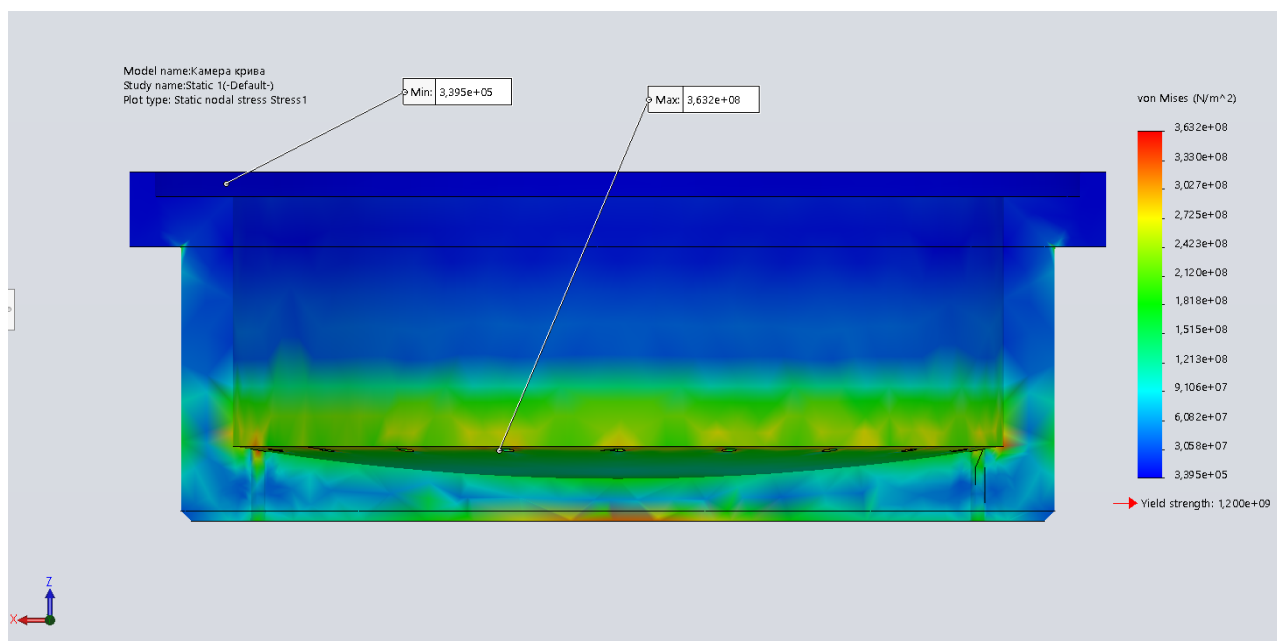


Рис. 4.11. Епюра напружень за фон Мізесом для матриці зі сфероподібним заглибленнями з внутрішнього і з плоским торцем з зовнішнього боку при тиску в робочій порожнині 10 МПа.

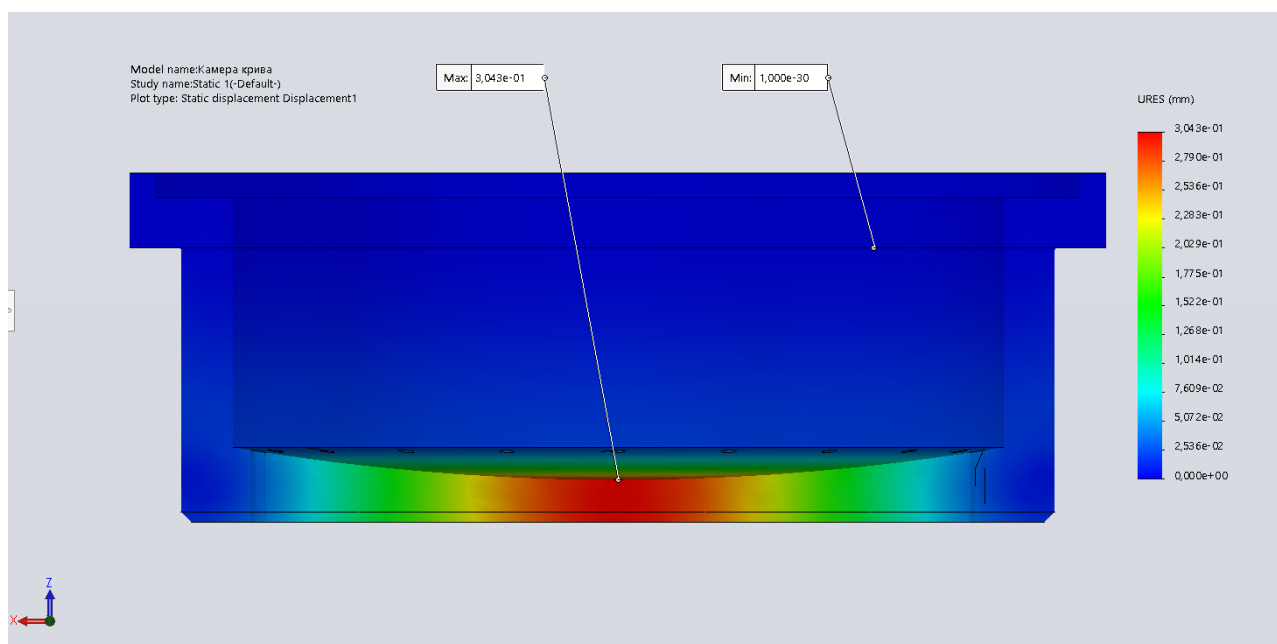


Рис. 4.12. Статичне переміщення для для матриці зі сфероподібним заглибленнями з внутрішнього і з плоским торцем з зовнішнього боку при тиску в робочій порожнині 10 МПа.

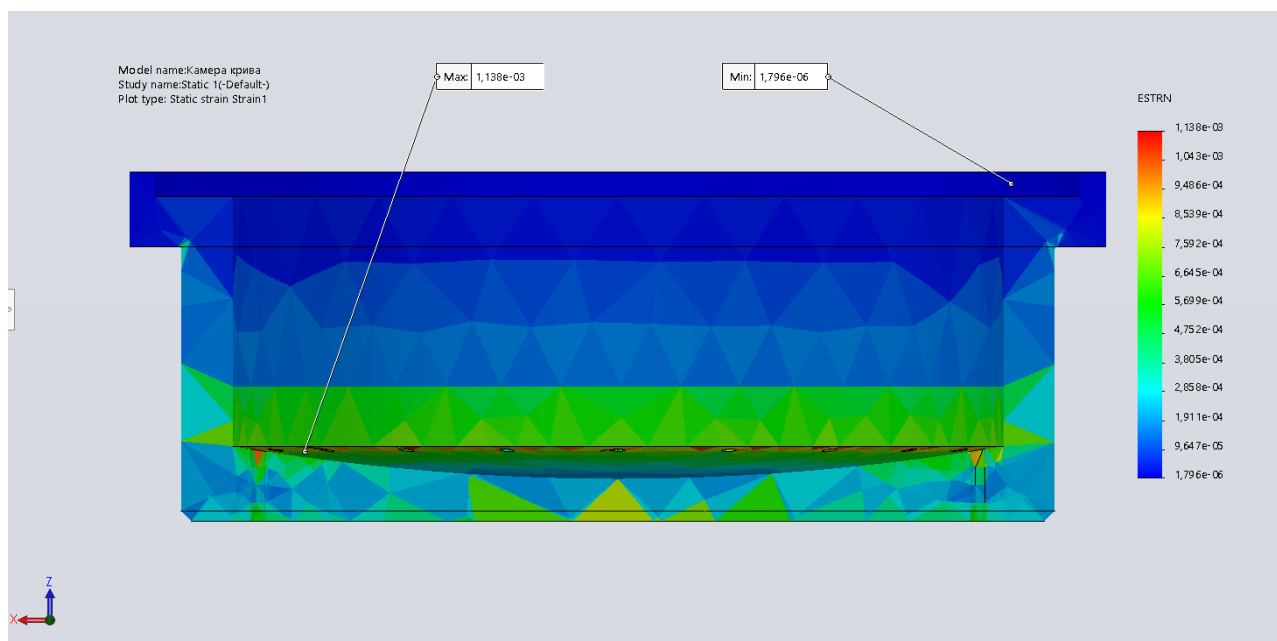


Рис. 4.13. Статична деформація для матриці зі сфероподібним заглибленнями з внутрішнього і з плоским торцем з зовнішнього боку при тиску в робочій порожнині 10 МПа.

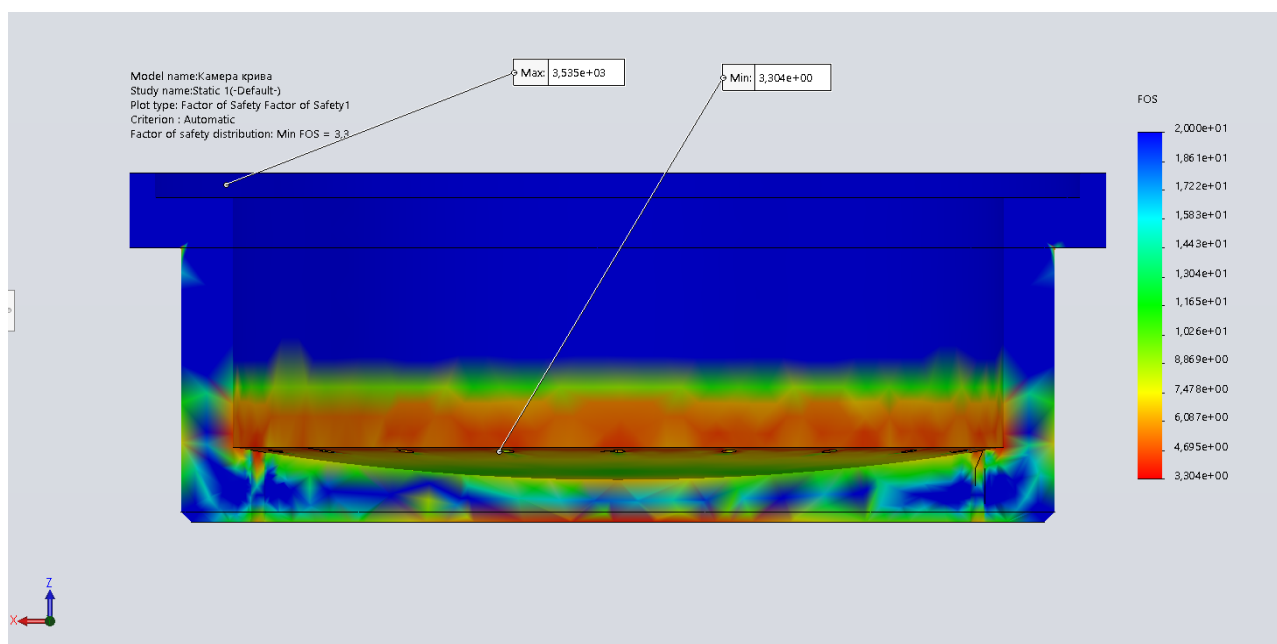


Рис. 4.14. Коефіцієнт запасу міцності для матриці зі сфероподібним заглибленнями з внутрішнього і з плоским торцем з зовнішнього боку при тиску в робочій порожнині 10 МПа.

За допомогою інструмента Mass properties визначимо масові характеристики деталі:

Mass = 4657.42 grams

Volume = 601733.88 cubic millimeters

Surface area = 123195.19 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 0.00 Y = 0.00 Z = -43.04

Зведемо в таблицю 4.3 найменші і найбільші значення досліджених величин для матриці зі сфероподібним заглибленнями з внутрішнього і з плоским торцем з зовнішнього боку.

Таблиця 4.3

Найменші і найбільші значення досліджених величин для матриці зі сфероподібним заглибленнями з внутрішнього і з плоским торцем з зовнішнього боку

Характеристика	Найменше значення	Найбільше значення
Von Mises, Н/м ²	339459.94	363212096
Displacement, мм	0	0.30
Strain	1.79637277e-06	0.0011
Factor of Safety	3.3038547	3535.02685547

Представимо результати дослідження для матриці з конічним заглибленнями з внутрішнього і з плоским торцем з зовнішнього боку (рис. 4.15...4.18).

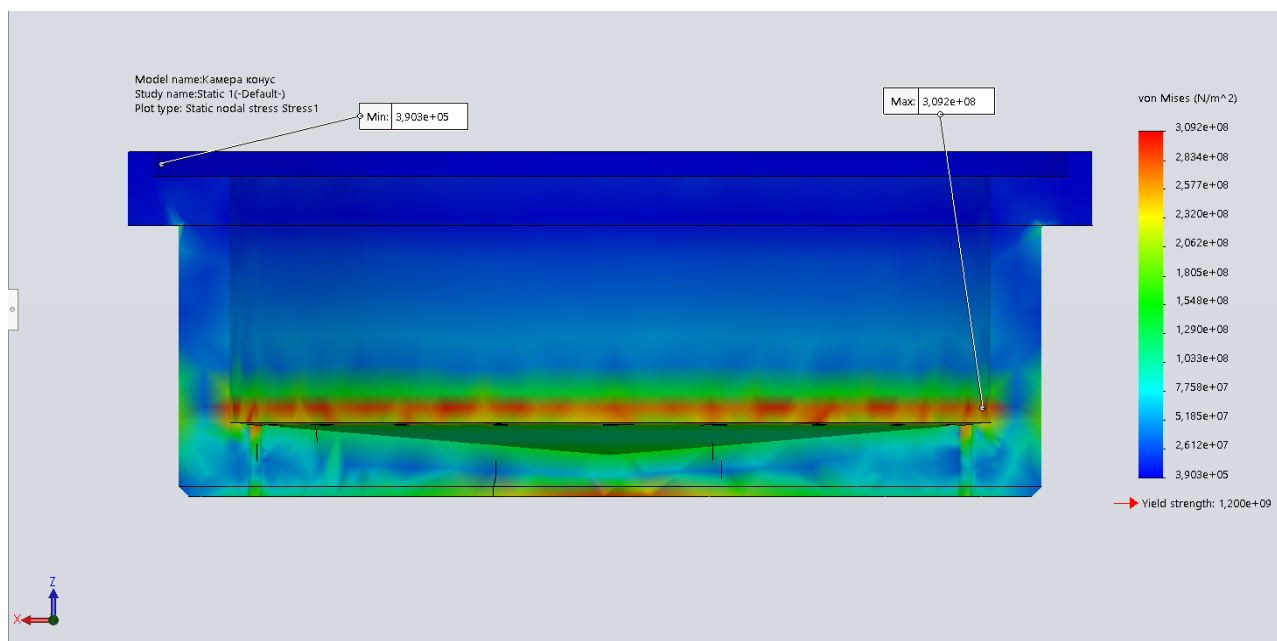


Рис. 4.15. Епюра напружень за фон Мізесом для матриці з конічним заглибленнями з внутрішнього і з плоским торцем з зовнішнього боку при тиску в робочій порожнині 10 МПа.

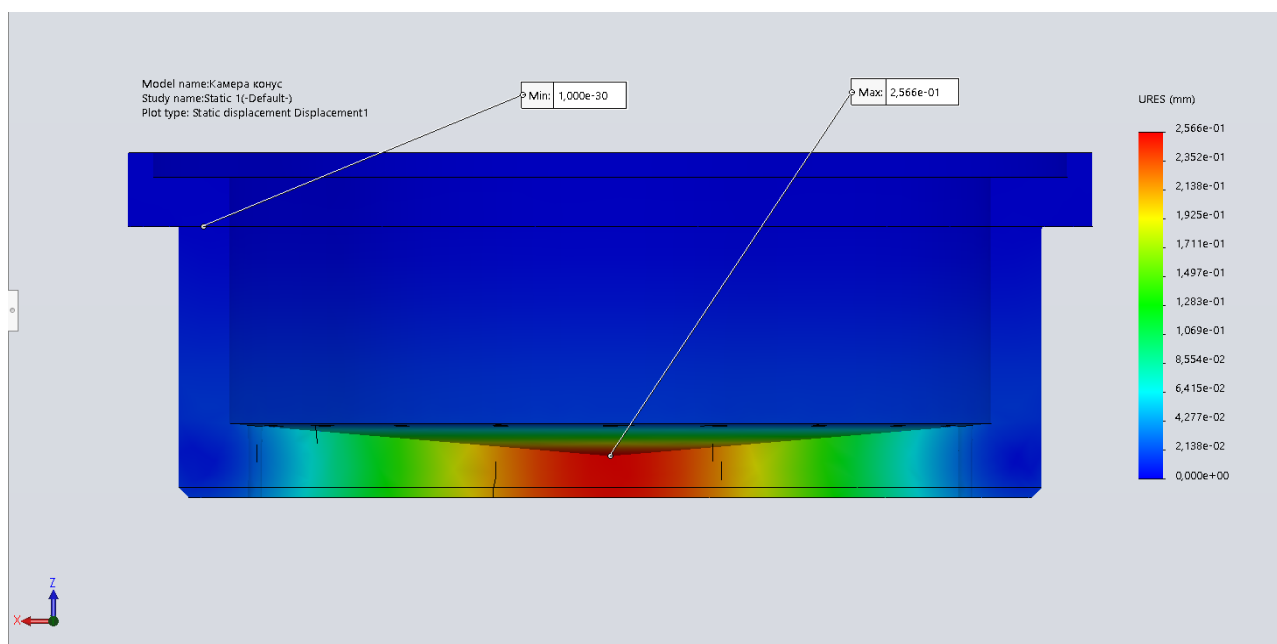


Рис. 4.16. Статичне переміщення для для матриці з конічним заглибленнями з внутрішнього і з плоским торцем з зовнішнього боку при тиску в робочій порожнині 10 МПа.

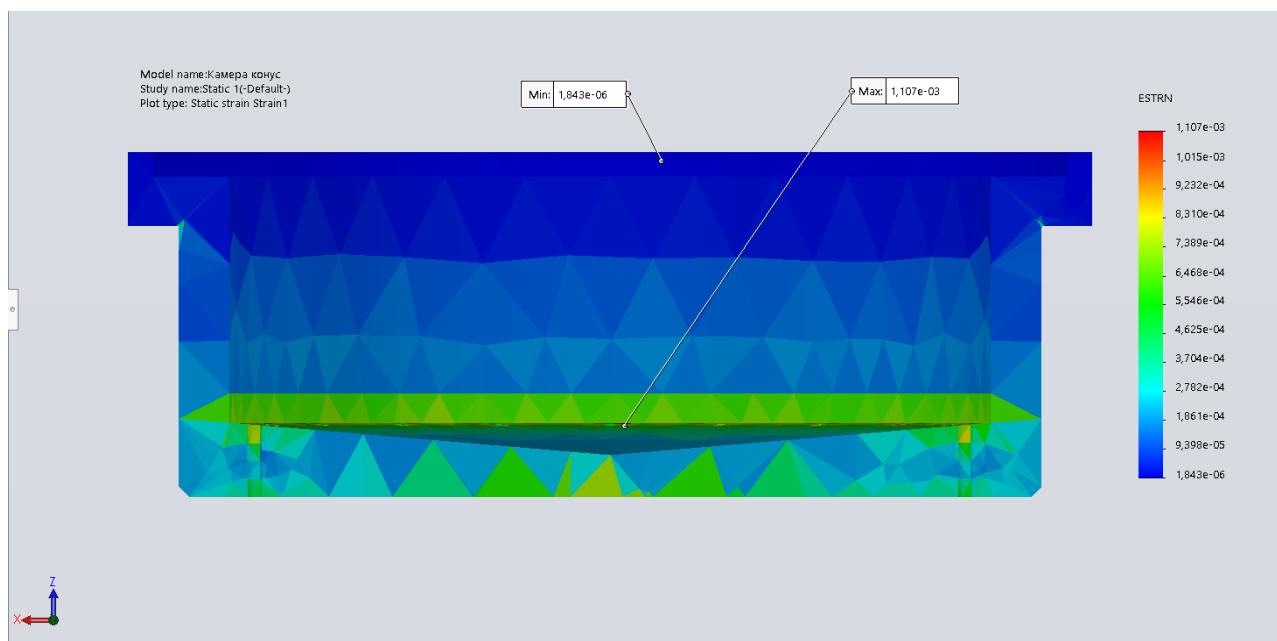


Рис. 4.17. Статична деформація для матриці з конічним заглибленнями з внутрішнього і з плоским торцем з зовнішнього боку при тиску в робочій порожнині 10 МПа.

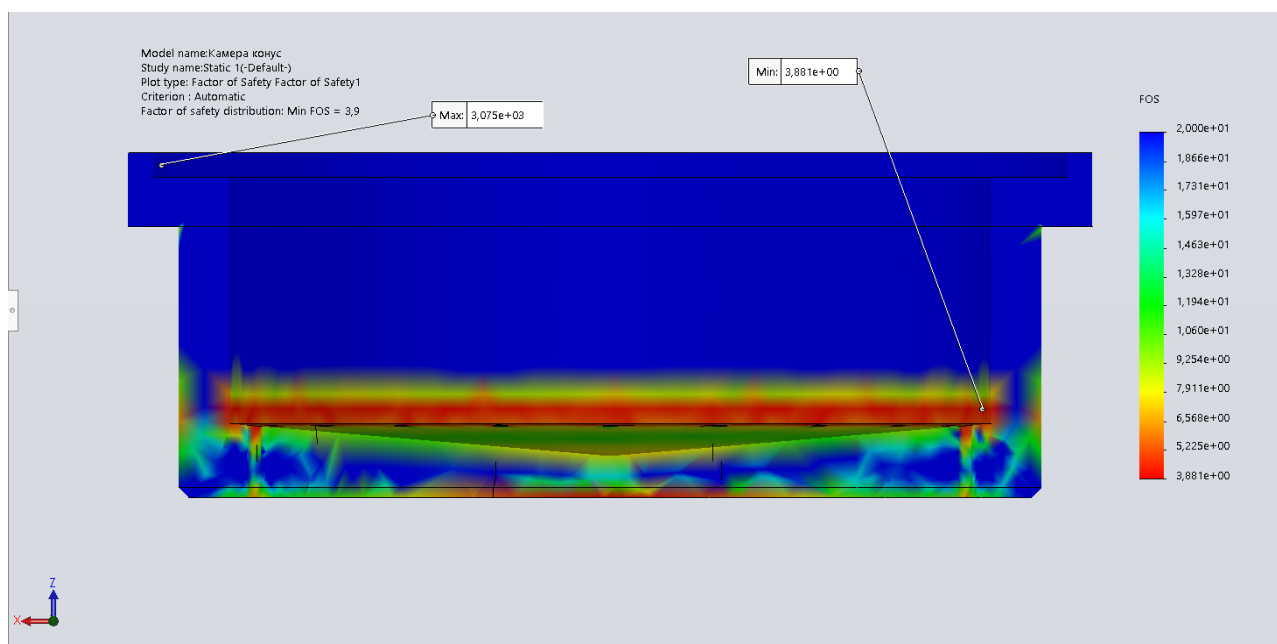


Рис. 4.18. Коефіцієнт запасу міцності для матриці з конічним заглибленнями з внутрішнього і з плоским торцем з зовнішнього боку при тиску в робочій порожнині 10 МПа.

За допомогою інструмента Mass properties визначимо масові характеристики деталі:

Mass = 4807.58 grams

Volume = 621134.49 cubic millimeters

Surface area = 123206.46 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 0.00 Y = 0.00 Z = -43.52

Зведемо в таблицю 4.4 найменші і найбільші значення досліджених величин для матриці з конічним заглибленнями з внутрішнього і з плоским торцем з зовнішнього боку.

Таблиця 4.4

Найменші і найбільші значення досліджених величин для матриці з конічним заглибленнями з внутрішнього і з плоским торцем з зовнішнього боку

Характеристика	Найменше значення	Найбільше значення
Von Mises, Н/м ²	390273.84	390273.84
Displacement, мм	0	0.26
Strain	1.8425568e-06	0.0011
Factor of Safety	3.88	3074.76

4.2 Аналіз отриманих результатів

Розглянуті в розділі конструктивні рішення щодо матриць екструдера для кукурудзяних паличок досить помітно відрізняються за масою. Природньо, що найважчим виявився варіант матриці із плоским торцем з внутрішнього і з зовнішнього боків (5106.27). Інші варіанти виявилися легшими і досить близьким за масою, зокрема матриця зі сфероподібним заглибленнями з внутрішнього і з

плоским торцем з зовнішнього важить 4657.42 г, а матриця з конічним заглибленнями з внутрішнього і з плоским торцем з зовнішнього боку 4807.58 г.

Якщо порівнювати напружено деформований стан, то найбільший коефіцієнт запасу міцності (4.96) у наймасивнішій матриці матриці із плоским торцем з внутрішнього і з зовнішнього боків. У інших двох, хоча і менший, (3.3 у матриці зі сферичним заглибленнями з внутрішнього і з плоским торцем з зовнішнього боку та 3.88 у матриці з конічним заглибленнями з внутрішнього і з плоским торцем з зовнішнього боку), проте є на достатньому рівні зі значним запасом. Тому доцільніше вибрати один із варіантів конструкції з меншою масою. Якщо враховувати, що конічна поверхня є простіша у виготовленні від сферичної, то рекомендується вибрати саме цей варіант.

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5.1. Розроблення заходів з охорони праці і техніки безпеки

5.1.1. Заходи з охорони праці і техніки безпеки при роботі з екструдером

Пуск машини в роботу може проводитися тільки відповідальною за експлуатацію особою, призначеною відповідним наказом або розпорядженням на підприємстві чи цеху.

До обслуговування машини допускається [34,35] працівник, який має досвід роботи, пройшов спеціальну підготовку і вивчив інструкцію з експлуатації.

Перед пуском машини необхідно перевірити:

- відсутність в ній сторонніх предметів, котрі при роботі машини можуть викликати пошкодження робочих органів;

- наявність заземлення;

- надійність кріплення болтових з'єднань шківів, муфт, щільність закриття кришок;

- надійність закріплення і огороження рухомих частин машини.

Забороняється під час роботи (на ходу) відкривати кришки; знімати огороження; змащувати механізми; чистити і оглядати рухомі частини.

Забороняється запускати перегріту машину.

Забороняється запуск машини без попередньої очистки шнека, циліндра і матриці.

Категорично забороняється пуск двигуна в бік, протилежний вказаному напрямку. Напрямок обертання валів двигуна вказано стрілкою на огороженні.

5.1.2 Санітарно-гігієнічні вимоги до експлуатації лінії для виготовлення кукурудзяних паличок

Для нормальної роботи та якісної продукції необхідне водопостачання, що відповідає нормам. Підприємства забезпечуються питною водою в достатній кількості, розрахунок потреби ведеться згідно з "Нормами технологічного

проектування підприємств м'ясопереробної промисловості" та СНіП "Внутрішній водопровід і каналізація будинків". Система водопостачання повинна відповідати СНіП "Водопостачання. Зовнішні мережі і спорудження", "Внутрішній водопровід і каналізація будинків" та діючим санітарним нормам.

Система водопостачання передбачає не менше двох резервуарів чистої води для безперебійного забезпечення водою в години найбільшого споживання, аварійних ситуаціях, для забезпечення часу контакту при хлоруванні, постійної швидкості потоку при УФ-знезараженні та для пожежогасіння. Обмін води в резервуарах – не більше 48 годин. У кожному резервуарі зберігається половина добової потреби води на технологічні та побутові потреби.

Освітлення виробничих приміщень відповідає СНіП "Природне і штучне освітлення. Норми проектування" та "Санітарним вимогам до проектування підприємств м'ясопереробної промисловості". У виробничих приміщеннях бажане природне освітлення: світловий коефіцієнт (СК) – 1:6 - 1:8, у побутових – не менше 1:10. Коефіцієнт природного освітлення (КПО) враховує характер праці та зорову напругу. При недостатньому природному освітленні застосовують штучне – переважно люмінесцентні лампи. У приміщеннях з важкими умовами праці без постійних робочих місць використовують лампи розжарювання. Штучне освітлення – загальне у всіх цехах та приміщеннях, у виробничих – за необхідності місцеве або комбіноване.

При проектуванні та монтажі нового обладнання забезпечують: основні проходи в місцях постійного перебування – не менше 1,5 м; проходи біля вікон – не менше 1 м; проходи для огляду та регулювання апаратів – не менше 0,8 м; проходи для огляду трубопроводів, які не регулюються, – не менше 0,7 м; ширина проходів між автоматичними та механізованими лініями та головних проїздів – не менше 2,4 м. Розриви між окремими машинами, верстатами, ємкостями – не менше 0,35 м.

При розміщенні транспортерів передбачають проходи між стіною та однією стороною транспортера – не менше 0,7 м, між двома паралельними транспортерами – не менше 0,9 м. З протилежної сторони транспортери при

стрічці до 60 см встановлюють впритул до стіни, при стрічці понад 60 см – розрив від стіни не менше 0,4 м.

Допустимі рівні впливу ЕМП оцінюють в діапазоні частот 60кГц-300МГц за напруженістю електричної та магнітної складових поля; у діапазоні 300МГц-300ГГц – за поверхневою щільністю потоку енергії (ППЕ).

Поширені небезпечні ситуації пов'язані з обладнанням, що має рухомі елементи (механічні небезпеки). До них відносять небезпеки, що можуть виникнути біля будь-якого об'єкту, здатного спричинити травму внаслідок контакту об'єкту або його частини з людиною. До таких елементів відносяться ланцюгові та пасові передачі, відкриті зубчаті передачі тощо. Дієві запобіжні заходи – створення умов, коли небезпечна частина не є легкодоступною (наприклад, закривається кожухом), а також застосування кінцевих електричних контактних датчиків, які припиняють подачу струму у разі відкриття запобіжної кришки.

Оптимальні та допустимі температури, відносна вологість і швидкість руху повітря встановлюються для робочої зони виробничих приміщень з урахуванням надлишків тепла, важливості роботи та сезонів року. Температура, вологість і швидкість руху повітря повинні відповідати нормам СНіП.

5.2. Безпека у надзвичайних ситуаціях

Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» запровадив вимогу ідентифікації таких об'єктів та розробки декларації безпеки. Будь-який об'єкт, де використовується, виготовляється, переробляється чи транспортується небезпечна речовина, вважається потенційно небезпечним.

Для ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки [36] всі небезпечні речовини поділені на 7 категорій: 1) горючі гази; 2) горючі рідини; 3) легкозаймисті рідини та горючі рідини під тиском; 4) вибухові речовини; 5) речовини-окисники; 6) токсичні речовини; 7) речовини, небезпечні для довкілля.

За видами аварій та впливом уражальних факторів ці категорії об'єднуються в три групи:

група 1 (вибух): горючі гази, легкозаймисті рідини, горючі рідини під тиском, вибухові речовини, речовини-окисники, речовини, що реагують з водою з виділенням горючих/вибухонебезпечних/токсичних газів;

група 2 (пожежа): горючі гази, горючі рідини, легкозаймисті рідини, горючі рідини під тиском, речовини-окисники, речовини, що реагують з водою з виділенням горючих/вибухонебезпечних/токсичних газів;

група 3 (шкідливі): високотоксичні речовини, токсичні речовини, речовини, небезпечні для довкілля, речовини, що реагують з водою з виділенням горючих/вибухонебезпечних/токсичних газів.

Нормативно-правовий базис:

Закон «Про об'єкти підвищеної небезпеки» №2245-III;

Постанова КМУ «Про Державний реєстр потенційно небезпечних об'єктів» № 1288;

Методика ідентифікації ПНО (Наказ МНС № 98);

Положення про паспортизацію ПНО (наказ МНС № 338);

ДК 019-2010;

Класифікаційні ознаки НС (наказ МНС № 1400);

Методика прогнозування наслідків виливу (наказ МНС № 73/82/64/122);

Методика оцінки збитків від НС (Постанова КМУ № 175);

Порядок класифікації НС (Постанова КМУ № 368);

Порядок видачі дозволів на роботи підвищеної небезпеки (Постанова КМУ № 1107);

Перелік видів діяльності з підвищеною екологічною небезпекою (Постанова КМУ № 808);

Перелік особливо небезпечних боржників (Постанова КМУ № 339);

Перелік суб'єктів для аварійно-рятувального обслуговування (Постанова КМУ № 763);

Постанова КМУ №956 «Про ідентифікацію та декларування безпеки ОПН».

Ідентифікацію проводять відповідальні особи об'єктів. Результат – Повідомлення про результати ідентифікації, яке узгоджується з місцевим органом ДСНС.

Процедура ідентифікації:

Вибір кодів НС (ДК 019-2010);

Аналіз показників ознак НС (наказ МНС №1400);

Виявлення джерел небезпеки;

Визначення видів небезпеки;

Визначення переліку небезпечних речовин та їх кількості;

Оцінка зони поширення НС (наказ МНС № 73/82/64/122);

Оцінка наслідків НС (Постанова КМУ № 175);

Встановлення рівнів НС (Постанова КМУ № 368);

Визначення реєстрів для реєстрації об'єкта;

Визначення відповідності нормативно-правовим актам.

Об'єкт визнається потенційно небезпечним за наявності хоча б одного джерела небезпеки, здатного ініціювати НС місцевого, регіонального або державного рівнів.

Висновки

У кваліфікаційній роботі вирішується питання модернізації вузла нагнітання одношнекового екструдера марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок. Запропоновано заходи щодо модернізації одношнекового екструдера марки А1-КХ2-П для виготовлення кукурудзяних паличок. На основі аналізу конструкції обладнання для екструдювання запропоновано рішення змінити конструкцію матриці, а також ріжучого рожа. У роботі представлено кінематичний та конструктивний розрахунок екструдера марки А1-КХ2-П, проаналізовано шляхи вдосконалення матриці, запропоновано три варіанти технічного рішення та виконано порівняльний аналіз напружено-деформованого стану та деформації у процесі експлуатації. Розроблено набір заходів з охорони праці та дії у надзвичайних ситуаціях.

Пропоновані в роботі конструктивні рішення щодо матриць екструдера для кукурудзяних паличок досить помітно відрізняються за масою. Природньо, що найважчим виявився варіант матриці із плоским торцем з внутрішнього і з зовнішнього боків (5106.27). Інші варіанти виявилися легшими і досить близьким за масою, зокрема матриця зі сфероподібним заглибленнями з внутрішнього і з плоским торцем з зовнішнього важить 4657.42 г, а матриця з конічним заглибленнями з внутрішнього і з плоским торцем з зовнішнього боку 4807.58 г.

Якщо порівнювати напружено деформований стан, то найбільший коефіцієнт запасу міцності (4.96) у наймасивнішій матриці із плоским торцем з внутрішнього і з зовнішнього боків. У інших двох, хоча і менший, (3.3 у матриці зі сферичним заглибленнями з внутрішнього і з плоским торцем з зовнішнього боку та 3.88 у матриці з конічним заглибленнями з внутрішнього і з плоским торцем з зовнішнього боку), проте є на достатньому рівні зі значним запасом. Тому доцільніше вибрати один із варіантів конструкції з меншою масою. Якщо враховувати, що конічна поверхня є простіша у виготовленні від сферичної, то рекомендується вибрати саме цей варіант.

Перелік посилань

1. 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.
2. Гевко Б.М. та ін. Механізми з гвинтовими пристроями. — Львів: Світ, 1993. — 208 с.
3. Рогатинський Р.М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів з сировиною сільськогосподарського виробництва. — Київ, 1997. — 425 с.
4. Лисовенко О.Т. та ін. Технологічне обладнання хлібопекарських і макаронних виробництв. — Київ: Наукова думка, 2000. — 283 с.
5. Петько В.Ф. та ін. Технологічне устаткування хлібопекарського, макаронного і кондитерського виробництв. — Київ: Центр учбової літератури, 2007. — 432 с.
6. Ялпачик В.Ф. та ін. Технологічне обладнання для переробки продукції рослинництва. — Мелітополь: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2017. — 277 с.
7. Самойчук К.О. та ін. Технологічне обладнання хлібопекарської і макаронної галузі. — Мелітополь: «Видавничий будинок ММД», 2021. — 372 с.
8. 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.
9. Дацишин О.В. та ін. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв: Навчальний посібник. — Вінниця: Нова Книга, 2008. — 488 с.

10. Гвоздєв О.В., Ялпачик Ф.Ю., Олексієнко В.О. Машини та обладнання хлібопекарського виробництва: підручник. — Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2010. — 312 с.
11. Ш.В. В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках: навчальний посібник. — ТДТУ, 2001. — 163 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. Оленюк А.В. Шляхи вдосконалення екструдерів для кукурудзяних паличок // Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей XIII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. — Р. 319.
18. Кузнєцов Ю.М., Новосьолов Ю.К., Луців І.В. Теорія технічних систем: підручник. — Севастополь: СевНТУ, 2011. — 246 с.
19. В. К.В. Теорія технічних систем: особливості побудови, створення та розвитку: навчальний посібник. — ФОП Осадця, 2023. — 308 с.
20. Коваленко І.О., Суховський І.В. Механіка і деталі машин. — Київ: ВД «Інжиніринг», 2004. — 312 с.
21. Федоров А.П. Деталі машин і основи конструювання. — Луцьк: ЛНТУ, 2000. — 311 с.
22. Кіркач Н.Ф., Баласанян Р.А. Розрахунки і проектування деталей машини. — Харків: Основа, 1991. — 275 с.
23. Павлице В.Т. та ін. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. — Київ: Вища школа, 1993. — 556 с.

24. Мирончук В.Г. та ін. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості: Навчальний посібник. — Вінниця: Нова книга, 2004. — 228 с.
25. Закалов О.В., Бортник А.І. Розрахунок типових робочих органів технологічного обладнання харчових виробництв. — Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2005. — 105 с.
26. Супрунчук В.К. та ін. Ремонт обладнання підприємств по переробці сільськогосподарської продукції. — Київ: Урожай, 1992. — 176 с.
27. Ялпачик В.Ф. та ін. Монтаж, експлуатація і ремонт машин та обладнання переробних підприємств. — Мелітополь: Таврійський державний агротехнологічний університет, 2014. — 235 с.
28. Corporation S. SolidWorks 2010: Расширенное моделирование деталей. — Dassault Systems SolidWorks Corporation, 2009. — 333 с.
29. Tickoo S. SolidWorks 2016 for Designers. 14th ed. — CAD/CIM Technologies, 2016. — 1825 p.
30. Даниленко О.В., Вербка І.І. Деталі машин: Використання сучасних CAD/CAE систем у розрахунках деталей машин. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. — 53 с.
31. Нікітін О.К., Зайцев В.М. Експериментальна механіка: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Інформативність фізичних процесів.” — Київ: НТУУ «КПІ», 2016. — 138 с.
32. Єріна А.М., Захожий В.Б., Єрін Д.Л. Методологія наукових досліджень. — Київ: Центр навч. літ., 2004. — 270 с.
33. Вітенько Т.М., Ворощук 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.

34. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: підручник. — Київ, 2009. — 408 с.
35. Ткачук К.Н. та ін. Основи охорони праці: підручник. 2-ге видання. — Київ: Основа, 2006. — 448 с.
36. 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.

Дотаток

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)
Університет імені П'єра і Марії Кюрі (Франція)
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет у Кошице (Словаччина)
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)
Наукове товариство ім. Т.Шевченка

АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Збірник
тез доповідей

**XIII Міжнародної науково-практичної
конференції молодих учених та студентів**
11-12 грудня 2024 року



УКРАЇНА
ТЕРНОПІЛЬ – 2024

УДК 664.7

А.В. Оленюк

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕКСТРУДЕРІВ ДЛЯ КУКУРУДЗЯНИХ ПАЛИЧОК

A.V. Oleniuk

WAYS TO IMPROVE CORNSTICK EXTRUDERS

Кукурудзяні снеки займають важливу позицію серед продуктів швидкого харчування завдяки своїй доступності, смаковим властивостям та зручності у споживанні. Вони є популярним перекусом, який не потребує спеціального приготування і підходить для різних вікових груп. До того ж, завдяки низькому вмісту жиру і високому вмісту клітковини в кукурудзі, такі снеки можуть бути включені до раціону як альтернатива більш калорійним закускам. Окрім традиційного використання як закуски, кукурудзяні снеки знаходять місце в спеціалізованих дієтах, наприклад, безглютенових.

Екструдери є ключовим обладнанням у виробництві кукурудзяних снеків. Вони забезпечують технологічний процес, який включає формування структури продукту під впливом високого тиску та температури. У екструдері відбувається обробка кукурудзяної сировини, її нагрівання та змішування, що дозволяє отримати готові снеки з характерною пористою текстурою. Екструзія забезпечує рівномірність обробки, швидкість виробництва та широкий спектр можливостей для створення різних форм і смакових характеристик продукції.

Основними складовими частинами екструдерів для виготовлення кукурудзяних снеків є: бункер для сировини, шнековий механізм, нагрівальні елементи, матриця, система охолодження та ріжучі ножі.

Покращення екструдерів спрямоване на підвищення їхньої продуктивності, зниження витрат енергії та покращення якості готових снеків. Основні напрямки:

- оптимізація дизайну шнека для забезпечення кращого перемішування сировини;
- використання сучасних матеріалів, стійких до високих температур і зносу;
- застосування енергоефективних нагрівальних елементів із можливістю точного контролю температури;
- поліпшення конструкції матриць для забезпечення різноманітності форм продукції.

Для вдосконалення екструдерів активно застосовуються: комп'ютерне моделювання з застосуванням програм типу SolidWorks та ANSYS [1,2], 3D-друк прототипів елементів; лабораторні дослідження конструктивних.

Удосконалення екструдерів є важливим етапом у підвищенні конкурентоспроможності виробників кукурудзяних снеків, що дозволяє відповідати сучасним вимогам ринку та запитам споживачів.

Література

1. Баран Р., Ворошук В. Системи 3D моделювання при вирішенні завдань конструювання та інжинірингу обладнання // Матеріали 89 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті." НУХТ, 2023. Ч. 2. С. 20.
2. 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. / під ред. Дейниченко Г.В. ХДУХТ, 2019. С. 108–109.

2. **Х.Ю. Кравченко, Л.П. Криськова; А.Т. Лялик** **313**
ВИКОРИСТАННЯ НЕТРАДИЦІЙНОЇ СИРОВИНИ У ВИРОБНИЦТВІ МАЙОНЕЗІВ
3. **П.В. Криса; Б.М. Качарай; А.Т. Лялик, Х.Ю. Кравченко, К.Є. Дацишин** **314**
УДОСКОНАЛЕННЯ ЖИРНОКИСЛОТНОГО СКЛАДУ КУПАЖОВАНИХ ОЛІЙ НА
ОСНОВІ СОЄВОЇ ОЛІЇ
4. **Х.Ю. Кравченко, к.т.н.; Ю.М. Ціко** **315**
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ
ЗБАГАЧЕНИХ ЙОДОМ ТА СЕЛЕНОМ
5. **А. М. Коляденко** **316**
ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ВМІСТ МОЛЕКУЛЯРНОГО ВОДНЮ У
КАТОЛІТНИХ РОЗЧИНАХ
6. **А.Б. Заставна** **317**
ВАЖЛИВІСТЬ ОЦІНКИ ФРУКТОВИХ СОКІВ ЗА ПОКАЗНИКОМ PH І РЕДОКС-
ПОТЕНЦІАЛОМ
7. **А.В. Оленюк** **319**
ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕКСТРУДЕРІВ ДЛЯ КУКУРУДЗЯНИХ ПАЛИЧОК
8. **А.В. Сороцька, Г.В. Карпик** **320**
ДОСЛІДЖЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПАЖИТНИКА В ТЕХНОЛОГІЇ
ЗДОБНИХ ВИРОБІВ
9. **А.М.Василишин** **321**
ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ОБРОБКА ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ
10. **А.О. Гриненко, Л.А. Сторож** **323**
ХАРАКТЕРИСТИКА СИРКОВОЇ ПАСТИ З ГАРБУЗОВИМ Й МОРКВЯНИМ
НАПОВНЮВАЧЕМ
11. **Б. І. Петришин, О. І. Вічко** **324**
ВПЛИВ КОНСЕРВАНТУ НІЗИНУ НА МІКРОФЛОРУ КИСЛОМОЛОЧНОГО СИРУ
ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ
12. **Б.В.Буцій** **325**
АНАЛІЗ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВТОРИННОЇ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ
ПИВЗАВОДУ
13. **В. В. Мартинюк, Є. Б. Береженко, Н. І. Хомик** **326**
ВИЯВЛЕННЯ МІКРОПЛАСТИКУ В СЕРЕДОВИЩІ ПРИ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІЙ ДІЯЛЬНОСТІ
14. **В. Є. Олійник; Н. М. Зварич** **327**
ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗАМІШУВАННЯ
ТІСТА
15. **В. С. Вербіцька, А. М. Сідоров** **328**
ТЕХНОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЗДОБНИХ ВИРОБІВ ЗБАГАЧЕНИХ МІКРОБНИМ
МЕТАБОЛІТОМ – ТРЕГАЛОЗОЮ
16. **В.О. Гульовський, Л.А. Сторож** **329**
ВИКОРИСТАННЯ ЛАВАНДИ В ТЕХНОЛОГІЇ АЦИДОФІЛЬНИХ НАПОЇВ
17. **В.О. Пастушенчин ; О.І. Кравець** **330**
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФОРМИ ОХОЛОДЖУЮЧИХ ТРУБОК НА
ОДНОРІДНІСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ДЕФЛЕГМАТОРІ
РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ