

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Інженерно-хімічний факультет
Кафедра хімічного полімерного і силікатного машинобудування**

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ О.Л.Сокольський
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2025 р.

Магістерська дисертація

**на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою**

**«Інжиніринг та комп'ютерно-інтегровані технології проектування
інноваційного галузевого обладнання»**

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

на тему: «Лінія рециклінгу вторинного полімеру з модернізацією дробарки»

Виконав (-ла):

студент (-ка) 2 курсу, групи ЛП-41мп

Квашук Артем Сергійович _____

Науковий керівник:

зав. каф., доктор технічних наук

Сокольський Олександр Леонідович _____

Консультант з ТМ та Е

ст. викл. Борщик Сергій Олександрович _____

Консультант з модернізації

д.т.н., проф. Щербина Валерій Юрійович _____

Консультант зі стартап-проєкту

К.е.н., доцент Юдіна Наталія Володимирівна _____

Рецензент: _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2025 рік

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інженерно-хімічний факультет

Кафедра хімічного полімерного і силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-професійна програма «Інжиніринг та комп'ютерно-інтегровані технології проектування інноваційного галузевого обладнання»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олександр СОКОЛЬСЬКИЙ

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Квашук Артем Сергійович

1. Тема дисертації «Лінія рециклінгу вторинного полімеру з модернізацією дробарки», науковий керівник дисертації Сокольський Олександр Леонідович, зав. каф., доктор технічних наук, затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження Лінія рециклінгу вторинного полімеру

4. Вихідні дані: матеріал, що подрібнюється, діаметр валка; межа міцності матеріалу, густина матеріалу, діаметр черв'яка

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: вступ, призначення та галузь застосування роторної дробарки, літературно – патентний огляд варіантів модернізації роторної дробарки, обґрунтування вибору варіантів модернізації роторної дробарки, розрахунки, які підтверджують працездатність роторної дробарки, доцільність розробки та використання роторної дробарки

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Базова конструкція роторної дробарки (формат А1); Модернізовані конструкції роторної дробарки (формат А1); Технологічна лінія переробки вторинного полімеру (формат А1); Модернізований вал ротора(формат А1); Модернізований механізм регулювання зазору (бил) (формат А1); Результати 3D проектування (формат А1); Результати чисельних розрахунків бил в Ansys (формат А1)

7. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Монтаж експлуатація і	Борщик С.О., ст. викл.		
Модернізація	Щербина В.Ю., проф.		
Стартап-проект	Юдіна Н.В.		

8. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Вступ. Опис лінії.	28.10 – 13.11.2025	
2	Літературно-патентний огляд.	13.11 – 20.11.2025	
3	Монтаж та експлуатація	20.11 – 23.11.2025	
4	Стартап	23.11 – 24.11.2025	
5	Охорона праці	24.11 – 25.11.2025	
6	Розрахунки	25.11 – 01.12.2025	
7	Креслення	01.12 – 12.12.2025	
8	Редагування розроблених розділів	13.12 – 14.12.2025	

Студент

Квашук А.С.

Науковий керівник

Сокольський О.Л.

РЕФЕРАТ

Виконано магістерську дисертацію на тему «Лінія рециклінгу вторинного полімеру з модернізацією дробарки».

Пояснювальна записка магістерської дисертації складається зі вступу, шести розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків. У роботі наведено 30 таблиць та 14 рисунків, а загальний обсяг пояснювальної записки становить 119 сторінок. Графічна частина дисертації включає 8 креслень формату А1, що відображають конструктивні та технологічні рішення проєкту.

Актуальність виконаної роботи зумовлена зростаючою потребою у переробці полімерних відходів та підвищенні ефективності їх вторинного використання. Особливу увагу приділено забезпеченню стабільної, надійної та безпечної роботи дробильного обладнання, яке є ключовою ланкою лінії рециклінгу, а також зниженню зношування основних вузлів дробарки в умовах інтенсивної експлуатації.

Метою магістерської дисертації є розроблення та обґрунтування модернізації дробарки у складі лінії рециклінгу вторинного полімеру з метою підвищення її продуктивності, надійності роботи та ресурсу основних елементів конструкції.

Об'єктом дослідження є технологічна лінія рециклінгу полімерних матеріалів.

Предметом дослідження є дробарка для подрібнення вторинного полімеру з модернізованим механізмом регулювання та робочими органами.

У роботі проведено аналіз конструкції базової дробарки та умов її експлуатації у складі лінії рециклінгу. Виконано розрахунки основних параметрів дробильного механізму, а також міцнісні розрахунки елементів модернізованої конструкції. Розроблено тривимірні моделі деталей і вузлів у програмному середовищі SolidWorks та виконано чисельне моделювання напружено-деформованого стану конструкції в програмному комплексі ANSYS.

Ключові слова: ЛІНІЯ РЕЦИКЛІНГУ, ВТОРИННИЙ ПОЛІМЕР, ДРОБАРКА, МОДЕРНІЗАЦІЯ, МІЦНІСТЬ, ANSYS.

ABSTRACT

A master's thesis has been completed on the topic "Secondary polymer recycling line with crusher modernization."

The explanatory note to the master's thesis consists of an introduction, six chapters, conclusions, a list of sources used, and appendices. The work contains 30 tables and 14 figures, and the total volume of the explanatory note is 119 pages. The graphic part of the thesis includes 8 A1 drawings reflecting the design and technological solutions of the project.

The relevance of the work is due to the growing need for the processing of polymer waste and increasing the efficiency of its reuse. Particular attention is paid to ensuring the stable, reliable, and safe operation of crushing equipment, which is a key link in the recycling line, as well as to reducing the wear of the main components of the crusher under conditions of intensive operation.

The purpose of the master's thesis is to develop and justify the modernization of a crusher as part of a secondary polymer recycling line in order to increase its productivity, reliability, and the service life of its main structural elements.

The object of the study is a technological line for recycling polymer materials.

The subject of the study is a crusher for grinding secondary polymer with a modernized control mechanism and working parts.

The work analyzes the design of the base crusher and the conditions of its operation as part of the recycling line. Calculations of the main parameters of the crushing mechanism, as well as strength calculations of the elements of the modernized design, were performed. Three-dimensional models of parts and assemblies were developed in the SolidWorks software environment, and numerical modeling of the stress-strain state of the structure was performed in the ANSYS software complex.

Keywords: RECYCLING LINE, SECONDARY POLYMER, CRUSHER, MODERNIZATION, STRENGTH, ANSYS.

Перелік позначень

$D_{\max}$ - Розмір максимального шматка продукту дроблення, мм

σ_p - межа міцності матеріалу, Мпа

ρ - густина подрібнюваного матеріалу, т/м³

u_p - колова швидкість бил ротора

b - розмір найменшої вихідної щілини, мм

$Q_o^{\min}$ та $Q_o^{\max}$ - граничні значення продуктивності

D – діаметр черв'яка, мм

N – потужність встановленого електродвигуна, Вт

η_1 – ККД приводу машини

η_2 – ККД електродвигуна

η_3 – ККД перетворення механічної енергії в теплову

Q_{N1} – кількість тепла, що підводиться до корпусу електронагрівачами, Вт

G_M – продуктивність черв'ячної машини, кг/с

C_M – питома теплоємність полімеру, Дж/(кг К)

t_k – температура, до якої потрібно нагрівати полімер, ° С

t_{II} – температура, з якою полімер подається в машину, ° С

G_B – витрата води, кг/с

F – площа теплообмінної поверхні кожуха, м²

ЗМІСТ

ВСТУП

1. Призначення та галузь застосування роторної дробарки.....	10
1.1 Призначення та галузь застосування роторної дробарки.....	10
2. Опис конструкції, її основних частин та принципу дії.....	11
2.1 Опис конструкції формуючої головки.....	12
3. Технологічна схема з використання роторної дробарки.....	15
3.1 Склад виробу.....	18
3.2 Будова та принцип роботи лінії та її складових частин.....	23
4. Літературно - патентний огляд варіантів модернізації роторної дробарки.....	30
4.1 Обґрунтування обраної модернізації.....	37
5. Розрахунки елементів базової конструкції роторної дробарки.....	38
5.1 Параметричні розрахунки.....	38
5.2 Розрахунок екструдера.....	40
5.3 Розрахунок коефіцієнта геометричної форми головки.....	40
5.4 Розрахунок геометричних параметрів черв'яка.....	43
5.5 Розрахунок продуктивності черв'ячної машини.....	44
5.6 Розрахунок перепаду тиску в екструзійній головці.....	45
5.7 Розрахунок потужності двигуна черв'ячної машини.....	47
5.8 Тепловий розрахунок екструдера.....	48
5.9 Розрахунок потужності для заданого часу розігріву корпусу.....	51
5.10 Розрахунок черв'яка на міцність.....	52
6. Монтаж та експлуатація.....	55
6.1 Креслення роторної дробарки з модернізацією валка.....	55
6.2 Специфікація роторної дробарки з модернізацією валка.....	56
6.3 План розміщення фундаментних болтів.....	59
6.4 Карта ескізів монтажу роторної дробарки.....	60
6.5 Операційна карта збирання дробарки.....	62
6.6 Схема змащення дробарки.....	65
6.7. Таблиця змащування	66

					ЛП41мп.077616.001-70ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.	Квашук А.С.				Лінія рециклінгу вторинного полімеру з модернізацією дробарки		Лит.	Лист
Провер.	Сокольський О. Л.							Листов
								127
Н. Контр.							КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФАПІЕ	
Утв.								

7. Стартап проект по лінії переробки вторинного полімеру.....	67
7.1 Опис ідеї проекту.....	66
7.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	72
7.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	74
7.4 Розробка ринкової стратегії проекту.....	91
7.5 Розробка ринкової стратегії проекту.....	97
8. Охорона праці.....	107
8.1 Повітря робочої зони.....	108
8.2 Освітлення.....	109
8.3 Небезпека ураження електричним струмом.....	110
8.4 Пожежна безпека.....	111
8.5 Шум і вібрація.....	112
8.6 Промислове освітлення.....	113
9. Модернізація роторної дробарки.....	115
9.1 Розрахунок модернізованого механізму регулювання зазору роторної дробарки.....	115
10. Очікувані механіко - економічні показники та висновки.....	118

ВИСНОВКИ

ЛІТЕРАТУРА

ДОДАТКИ

ВСТУП

У сучасному світі проблема накопичення пластикових відходів набуває все більшого екологічного й економічного значення. Зростання споживання полімерних матеріалів у різних сферах — пакуванні, будівництві, автомобільній та побутовій промисловості — призводить до утворення величезних обсягів відходів, які часто потрапляють на звалища або стають джерелом забруднення середовища.

В Україні щорічно генерується значна кількість побутових і промислових відходів, і пластик становить вагомую частину цих відходів. Приблизно 40 % від загального обсягу — це пластикова упаковка, пляшки, плівки, полімерні матеріали, що не піддаються ефективній переробці через відсутність інфраструктури або технологічних рішень.

Однією з найперспективніших стратегій у вирішенні цієї проблеми є вторинна переробка полімерних відходів — тобто перетворення вже використаних полімерів у речовини або матеріали, придатні для повторного використання. Такий підхід сприяє зменшенню тиску на первинні природні ресурси, зменшенню викидів CO₂ і скороченню забруднення довкілля.

Однією з ключових ланок у лінії вторинної переробки є дроблення полімерних відходів до крихти або гранул, придатних для наступної обробки. У цьому контексті **роторні дробарки** — важливий елемент, відповідають за розрив і подрібнення матеріалу до заданих розмірів. Ефективність, надійність, довговічність роторної дробарки істотно впливають на якість грануляту, енерговитрати та собівартість продукції.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ РОТОРНОЇ ДРОБАРКИ

1.1 Призначення та галузь застосування роторної дробарки

Роторні дробарки призначені для дроблення малоабразивних гірських порід середньої міцності типу вапняку, доломіту, мергелю, гіпсу та інших подібних матеріалів.

За технологічною ознакою розрізняють роторні дробарки великого, середнього і дрібного дроблення. За конструктивною ознакою набув поширення в основному один тип дробарок - однороторні нереверсивні з відбивними плитами.

Дробарки великого дроблення призначені, головним чином, для першої стадії дроблення, дробарки середнього і дрібного дроблення - для наступних стадій дроблення.

Роторні дробарки, порівняно з щоківними і конусними, більш продуктивні, мають меншу масу і габарити, простіші у виготовленні та обслуговуванні, менш чутливі до потрапляння недробимих предметів, мають вибірковість дроблення і забезпечують вихід щебеню кращої форми (більше кубоподібних частинок). Основним недоліком роторних дробарок, що перешкоджає їхньому широкому розповсюдженню, є невисокий ресурс бив, які необхідно часто замінювати при дробленні простих і абразивних матеріалів. [1]

2 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ, ЇЇ ОСНОВНИХ ЧАСТИН ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ

У роторних дробарках матеріал дробиться ударом бил, які жорстко закріплені на роторі, що обертається у робочому просторі дробарки, обмеженому футерованим броньовими плитами корпусом. На рис. 1.1 наведені схеми основних типів роторних дробарок. [2]

Принцип дії роторних дробарок аналогічний принципу дії молоткових дробарок. У роторних дробарках дроблення здійснюється жорстко закріпленими на роторі 2 билами 3. Матеріал завантажується в зону ротора, що обертається з великою швидкістю. Ударами бил грудки руйнуються, і їх уламки відкидаються на відбійні броньові плити 5 або колосники, що утворюють камеру дроблення. Ударяючись об футеровку, грудки руйнуються і знову потрапляють на ротор. Це повторюється доти, поки грудки, досягши визначеної крупності, не вийдуть із дробарки через вихідну щілину або отвори колосникових решіток.

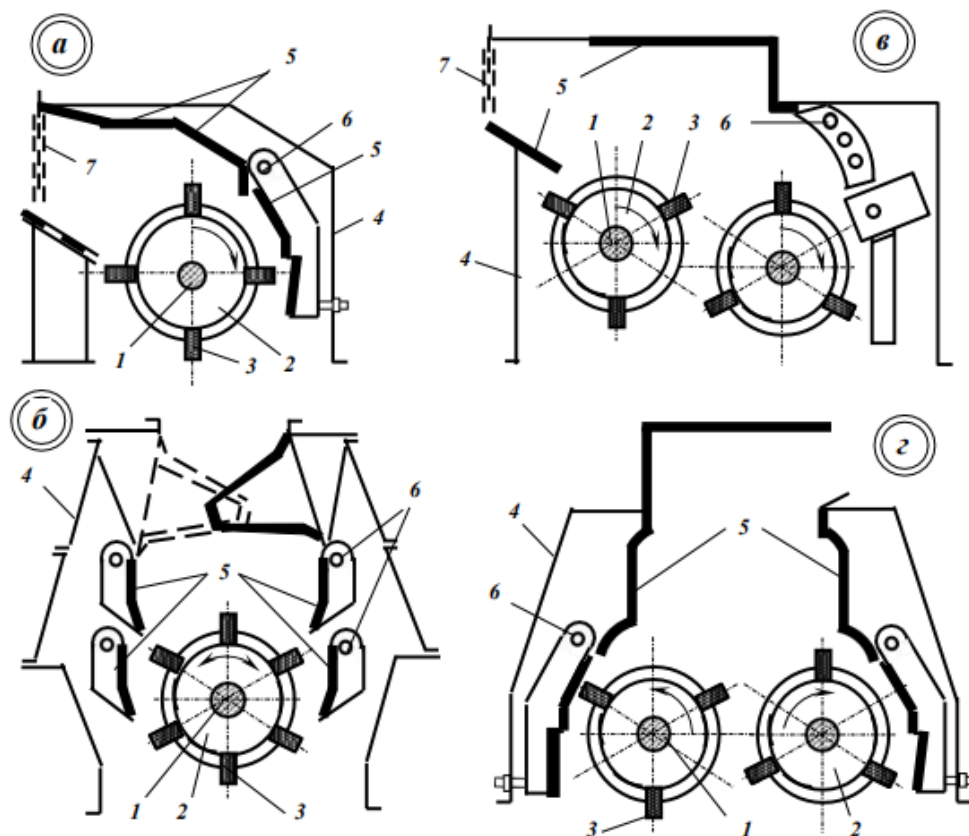


Рисунок 2.1 - Схеми основних типів роторних дробарок

Однороторні: а – нереверсивна; б – реверсивна. Двуроторні: в – послідовного дроблення; г – паралельного дроблення. 1 – горизонтальний вал; 2 – масивний ротор; 3 – била; 4 – корпус дробарки; 5 – відбійні плити; 6 – осі підвісу відбійних плит; 7 – ланцюгові штори.

2.1 Опис конструкції формуючої головки

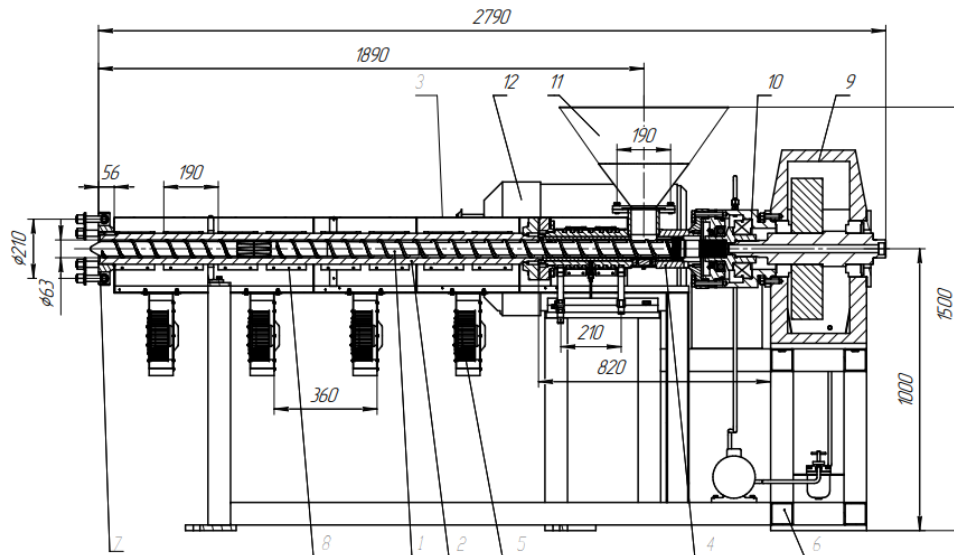


Рисунок 5.2.1 – Креслення екструдера

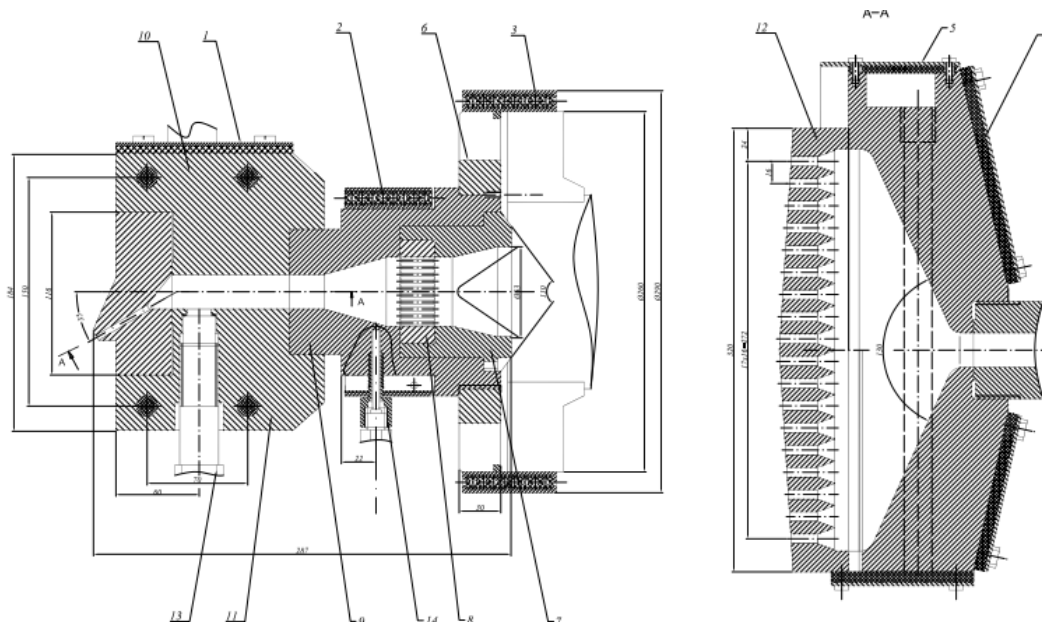


Рисунок 2.2 - Креслення

Гранулювання – важливий допоміжний процес переробки термопластів, він являє собою продовження технологічного процесу виробництва термопластичних матеріалів. Використання гранульованих пластмас дозволяє забезпечити рівномірне живлення литтєвих та екструзійних машин та підвищення продуктивність основного обладнання. Полімерні композиції піддають гранулюванню при проведенні процесів підготовчого виробництва - забарвлення, введення наповнювачів (крейда, каолін, тальк та ін), пом'якшувачів, стабілізаторів, суміщення полімерів один з одним, видалення з полімерів летких та інших інгредієнтів. Його використовують також для переробки промислових і побутових

(попередньо відмитих і подрібнених) відходів поліетилену високого та низького тиску, поліпропілену, полістиролу в сировину, придатну для подальшого використання.

Гранули можуть мати форму циліндра, кулі, куба або прямокутної пластинки. Їх отримують на екструзійних агрегатах, які складаються з екструдера і власне гранулюючого пристрою, який включає формуючий інструмент, гранулятор та пристрій для охолодження гранул. В промисловості використовують різноманітні способи гранулювання.

Гранулювання безпосередньо на фільтрі. Різання розплаву відбувається на мундштуці. Міцність гранул забезпечується охолодженням їх в області різання – повітрям, розпиленням води або омиванням водою. Наступне остаточне охолодження гранул здійснюється також водою чи повітрям.

Сухе гранулювання на фільтрі. Різання розплаву відбувається безпосередньо на фільтрі і здійснюється за допомогою ножів, що обертаються, які встановлені співвісно з головкою або ексцентрично до неї. При співвісному розташуванні ріжучих ножів отвори на решітці розташовані концентричними колами, а при ексцентричному розташуванні отвори розташовані рівномірно у всій площині плити. При гранулюванні використовується повітряне охолодження. Такий спосіб гранулювання застосовується при переробці матеріалів з відносно низькою ентальпією при відповідній температурі екструзії при підвищеній міцності розплаву і незначному його прилипанні до металів (пластифікований та на пластифікований ПВХ, високо наповнені поліолефіни).

Гаряче гранулювання у зволоженому середовищі. Різання розплаву відбувається безпосередньо на площині фільтри ножами, що обертаються і які розташовані співвісно або ексцентрично, а зміцнення зрізів досягається водяним пилом (туманом). Остаточне охолодження гранул здійснюється холодним повітрям. Спосіб застосовується для полімерів, схильних до прилипання до металевих поверхонь і високою ентальпією, але відносно невисокою міцністю розплаву, зміцнення якого потребує інтенсивного попереднього охолодження (поліолефіни, полістирол).

Мокре гранулювання з гарячим різанням. Різання відбувається так само, як і в попередньому випадку, але зміцнення зрізу здійснюється повітрям, а остаточне охолодження – водою, що подається різними пристроями. Такий спосіб застосовується для розплавів полімерів з високою ентальпією і відносно високою міцністю розплаву, але схильних до прилипання до металевих поверхонь (поліолефіни, АБС-пластик, полікарбонат).

Напівмокрый спосіб гранулювання з гарячим різанням розплаву. Гаряче різання у водяному тумані супроводжується охолодженням водою. Як і попередній спосіб, застосовується для матеріалів з високою ентальпією, відносно високою міцністю розплаву, але схильних до прилипання до металевих поверхонь.

Підводне гранулювання. Різання відбувається співвісно розташованими ножами, зміцнення зрізу й охолодження гранул здійснюється водою. Цей спосіб застосовується при переробці матеріалів з високою ентальпією і малою міцністю розплаву, а також при великотоннажному виробництві гранул, коли екструдери розвивають високу продуктивність (1000 кг/год і більше). Через безпосередній контакт холодної води з решіткою виникає небезпека її переохолодження. Для уникнення цього застосовується додатковий підвід теплоти, а також теплоізоляцію решітки.

Холодне гранулювання. Виготовляються круглі прутки або стрічки, які попередньо охолоджуються повітрям або водою, а потім ріжуться спеціальним ріжучим пристроєм. Гранулятори, що працюють за механізмом різання охолоджених прутків, широко застосовують для гранулювання поліамідів, полістиролу та його різних сополімерів, поліетилентерефталату, поліетилену високої густини. Необхідний розмір гранул досягається підбором частоти обертання роторів ріжучого пристрою. Торці гранул, отриманих холодним гранулюванням, найчастіше мають неправильну форму. Гранулят містить багато пилу, а іноді навіть і дрібні металеві вclusions, оскільки різання охолоджених прутків супроводжується помітним зносом ножів.

З ТЕХНОЛОГІЧНА ЛІНІЯ З ВИКОРИСТАННЯ РОТОРНОЇ ДРОБАРКИ

Лінія гранулювання полімерних відходів призначена для переробки в гранули вторинної полімерної сировини, що складається з відходів полімеру.

Процес переробки відходів містить у собі такі етапи:

- подрібнення полімерної продукції;
- транспортування подрібнених шматків полімерних виробів у бункер-накопичувач;
- завантаження подрібнених шматків у черв'ячний прес;
- екструзія подрібнених шматків (розплавлення, гомогенізація, дегазація, транспортування, видавлювання матеріалу у вигляді стренг);
- гаряче гранулювання (різання стренг, охолодження гранул);
- пакування гранул.

Кінцевий продукт процесу переробки відходів - гранули розміром 2-5 мм.

Майданчик обслуговування бункера-накопичувача виготовляється з урахуванням вимог правил техніки безпеки під час роботи на висоті та особливостей приміщення, в якому монтується ця лінія.

Технічні характеристики лінії для гранулювання полімерних відходів наведено в табл. 1.1.

Таблиця 3.1

п/п	Найменування параметра	Значення параметра
Лінія гранулювання полімерних відходів		
.	Продуктивність лінії залежно від перероблюваного матеріалу (максимальна), кг/год, не менше:	120
.	Розмір одержуваних гранул, мм	2-5
.	Діаметр черв'яка, мм	90 _{-0,2}
.	Об'ємна витрата води, м ³ /год, не більше	5
.	Габаритні розміри, мм:	
	довжина	8920±200
	ширина	4300±100
	висота	5800±100
.	Маса, кг	11000 ±100
Подрібнювач		
.	Перероблювані відходи - полімери	1
.	Розміри завантажувального отвору, мм	464x170
.	Тип ротора - поліножовий	
.	Номінальний діаметр ротора, мм	300 ₋₁
.	Номінальна робоча довжина ротора, мм	600 ₋₁
.	Номінальний діаметр отворів калібрувальних сит, мм	2,4; 4; 6; 8

·	Привід подрібнювача від асинхронного електродвигуна типу 4АС 180S4УЗ, потужність, кВт	21 22,8
·	Частота обертання, об./хв.	30,8
·	Частота обертання барабана живильника, об./хв., не більше	990
0	Частота обертання ротора за номінальної потужності, об./хв., не більше	1580±10 1190±10 1470±10
1.	Габаритні розміри, мм:	1370±20
Бункер-накопичувач		
·	Матеріал, що транспортується, - подрібнені відходи поліетиленових плівок	
·	Маса завантажуваного матеріалу за насипної густини 0,03-0,05 г/м ³ , кг	180-1200
·	Діаметр шнека номінальний, мм	150
·	Частота обертання шнека, с-1 (об./хв.), не більше	3,94 (237)
·	Діапазон регулювання частоти обертання 1:10	
·	Кількість рукавних фільтрів, шт.	1
·	Привід шнека:	
·	електродвигун ПБ2П132МГУХЛ4, 3,0 кВт, 1500 об./хв., 220 В.	
	Габаритні розміри, мм:	2830±15
	довжина	1660±15

	ширина	4330±100
.	висота	970±10
Живильник-дозатор		
.	Матеріал, що транспортується, - подрібнені полімерні відходи.	
.	Діаметр шнека номінальний, мм	75, 90
.	Частота обертання шнека, с-1 (об./хв.), не більше	4,83 (290)
.	Привід шнека:	
.	електродвигун ПБ2П132МГУХЛ4, 3,0 кВт, 1500 об./хв., 220 В	
	Габаритні розміри, мм:	1200±10
	довжина	775±10
	ширина	1690±10
.	висота	430±10
Прес черв'ячний ЧП 90х30		
.	Діаметр черв'яка номінальний, мм	90
.	Відношення робочої довжини черв'яка до його діаметра	30
.	Частота обертання черв'яка, регульована безступінчато в діапазоні 1:10, с-1 (об./хв.)	0,25 ... 2,5 (15 ... 150)
.	Продуктивність, кг/год, не менше	180 ... 260
.	Привід преса:	

·	Електродвигун постійного струму 90 кВт, 1170 об./хв., 440 В.	
·	Охолодження вентилятором типу "Наїзник" з тахогенератором ТС-1М, редуктор спеціальний.	6
·	Обігрів циліндра - електричний, нагрівачами опору.	21,7
·	Кількість зон циліндра, що обігріваються, шт.	
0.	Сумарна потужність нагрівачів, кВт	4
1.	Охолодження зон циліндра - повітряне від індивідуальних вентиляторів	4,4
2.	Кількість зон охолодження циліндрів, шт.	50...350
3.	Сумарна потужність електродвигунів вентиляторів, кВт	94,65
4.	Діапазон регулювання температури, °С	3900±8 1150±5 1290±5
5.	Загальна встановлена потужність, кВт	3810±100
Фільтр шибєрний ручний, ФШР-90		
·	Призначення - фільтрація розплаву термопласту	
·	Кількість зон обігріву, шт.	2
·	Потужність нагрівачів, кВт	3,43
·	Максимальна температура нагрівання корпусу, С	300

.	Максимальний робочий тиск, Мпа	16
.	Габаритні розміри, мм:	300±1 600±2 400±1
.	Довжина	150±1
Пристрій гранулювання		
.	Масова продуктивність за гранулятом, кг/год, не менше ніж	120
.	Гранульований матеріал - термопласти	
.	Кількість формувальних отворів, шт.	24
.	Частота обертання ножового ротора, об./хв.	2500...5000
.	Кількість ножових крильчаток на роторі, шт.	24
.	Робочий зазор різання, мм	0,05...0,1
.	Привід ротора від електродвигуна постійного струму 2ПБ90МГУ4, N=0,5 кВт, n=3000 об./хв., U=220 В.	
.	Габаритні розміри, мм:	635±10 560±10 500±10
0.	довжина	85±5
Ванна охолодження		
.	Тип пристрою - проточний	

.	Об'ємна витрата охолоджувальної води, м ³ /год, не більше	3,5
.	Габаритні розміри, мм:	1406±15 1072±10 1222±10
.	довжина	235±10
Вивантажувач		
.	Тип пристрою - шнековий	
.	Діаметр шнека, мм	94-0,5
.	Частота обертання шнека, об./хв.	69
.	Привід шнека - від електродвигуна АІР69, N=0,25 кВт, n=1320 об./хв., U=380 В.	
.	Маса, кг	25±3
Осушувач		
.	Масова продуктивність кг/год, не менше (максимальна)	300
.	Привід крильчатки осушувача - від електродвигуна змінного струму АІР80А2У3, N=1,5 кВт, n=2850 об./хв., U=380 В.	
.	Габаритні розміри, мм:	865±15 860±10 880±10
.	довжина	127±5

Установка вакуум-насоса		
·	Об'ємна подача номінальна (за тиску всмоктування 0,04 МПа), м3/хв	3,33
·	Об'ємна витрата води, л/хв.	7
·	Температура води на вході, °С, не більше	20
·	Тиск води, МПа	0,4...0,6
·	Потужність електродвигуна, кВт	7,5
·	Частота обертання вала електродвигуна, об./хв.	1500
·	Габаритні розміри, мм:	1195±8 1045±8 755±5
·	довжина	450±10

3.1 СКЛАД ВИРОБУ

Таблиця 3.2

п/п	Найменування складових частин	Кількість	Позначення
	Прес черв'ячний ЧПСп 90х30	1	
	Фільтр шибєрний ручний ФШР-90	1	
	Подрібноувач ИРНП 300х600-3/3	1	
	Подрібноувач ИРНП 300х600-5/3		

	Вентилятор	1	
	Бункер-накопичувач	1	
	Живильник-дозатор	1	
	Вивантажувач	1	
	Осушувач	1	
	Ванна охолодження	1	
	Приймач гранул	1	
	Пристрій гарячого гранулювання	1	
	Установка вакуум-насоса	1	
	Пульт керування	1	
	Шафа керування	1	

3.2 БУДОВА ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ЛІНІЇ ТА ЇЇ СКЛАДОВИХ ЧАСТИН

3. 1 Лінія гранулювання вторинних термопластів призначена для переробки в гранули очищеної від механічних включень вторинної полімерної сировини з полімерної сировини з поліетилену, полістиролу шляхом її подрібнення, пластикації, фільтрації з подальшим гранулюванням.

Централізована система управління й автоматичне регулювання основних параметрів переробки вторинної сировини забезпечують за мінімальних витрат ручної праці стійкість технологічного процесу.

Система пневмотранспорту і бункеризації подрібненого матеріалу дає змогу реалізувати безперервну роботу лінії під час подрібнення різних видів сировини на різному обладнанні для подрібнення, яке входить до лінії.

3.2 До обладнання для подрібнення вторинної сировини належать:

3.2.1 Подрібнювач ИРНП 300х600-3/3.

3.2.2 Подрібнювач ИРНП 300х600-5/3.

3.3 До обладнання, що здійснює пластикацію подрібненої вторинної сировини та формування її в правильну геометричну форму належать:

3.3.1 Черв'ячний прес із фільтром шибєрним.

3.3.2 Живильник-дозатор.

3.3.3 Пристрій гарячого гранулювання.

3.3.4 Ванна охолодження.

.3.5 Осушувач.

3.4 Подрібнювач ИРНП 300х600-3/3.

Складається з роз'ємного корпусу, ротора з дев'ятьма зміщеними відносно один одного ножами, трьох корпусних ножів, сита, станини, електромеханічного приводу, завантажувального бункера і воронки.

Подрібнювач ИРНП 300х600-3/3 максимально уніфікований з ИРНП 300х600-5/3.

Подрібнювач ИРНП 300х600-3/3 призначений для подрібнення вторинних вторинних термопластів у вигляді порожнистих виробів, кускових відходів товщиною в моноліті не більше 10 мм.

Матеріал подається на подрібнення через завантажувальний бункер. Принцип подрібнення та евакуації подрібненого матеріалу з ИРНП 300х600-3/3 такий самий, як і у ИРНП 300х600-3/3.

3.5 Подрібнювач ИРНП 300х600-5/3.

Подрібнювач ИРНП 300х600-5/3 складається з роз'ємного, відлитого з чавуну корпусу, ротора з п'ятьма ножами, трьох корпусних ножів, сита, електромеханічного приводу ротора і приводу живильника, завантажувального бункера, опори.

Передня і задня стінки корпусу скріплені прецезійними болтами з лівою і правою щокою.

Підшипникові опори ротора кріпляться до щік зовні.

Станина подрібнювача збірної конструкції з окремих елементів листового матеріалу і кутового прокату.

Електромеханічний привід складається з асинхронного двигуна і клиноремінної передачі. Електродвигун закріплений на станині і фіксується за допомогою болтів.

Живильник подрібнювача складається з корпусу прямокутної форми, закріпленого жорстко до корпусу подрібнювача. Усередині лотка встановлений на важелях живильний барабан із рифленою поверхнею.

Барабан закріплений на підшипниках кочення, вмонтованих у тілі важелів. Привід барабана здійснюється від асинхронного двигуна через черв'ячний редуктор, клиноремінну і ланцюгову передачі.

Подрібнювач призначений для подрібнення термопластів, що надходять у вигляді плівок.

Вихідний матеріал, що надходить через патрубок живильника, захоплюється барабаном і подається в камеру різання. Розрізання плівок відбувається хаотично, але до таких розмірів частинок, коли вони виявляються в змозі просипатися через отвори сита. Цьому сприяють потоки повітря, що відсмоктується через воронку вентилятором пневмосистеми.

Ступінь подрібнення вихідної сировини (насипна щільність) великою мірою залежить від розмірів отворів сит. З цієї причини подрібнювач забезпечується набором сит.

3.6 Черв'ячний прес ЧПВСП-90х30.

Черв'ячний прес призначений для переробки подрібнених відходів термопластів в однорідний розплав.

Подрібнені відходи термопластів подаються в завантажувальну лійку черв'ячного преса, де захоплюються черв'яком і переміщуються вздовж циліндра. Під впливом теплової енергії електронагрівачів вихідний продукт у міру просування до фільтра шибєрного пластикується, ущільнюється, перемішується і гомогенізується, перетворюючись на розплав.

Розплав перед зоною дегазації дроселюється, що дає змогу, під'єднавши до патрубка дегазації вакуум-насос, видалити з розплаву леткі пари води і газу.

Обертання черв'яка преса здійснюється від електродвигуна постійного струму через триступеневий циліндричний редуктор. Плавне регулювання частоти обертання черв'яка здійснюється з пульта управління лінії. Обігрів шести зон циліндра преса здійснюється електронагрівачами, охолодження чотирьох зон - повітрям від індивідуальних електроventilatorів.

Обігрів 1-ї зони (завантажувальної воронки) здійснюється тільки в разі пуску преса після аварійної зупинки лінії під навантаженням.

Охолодження завантажувальної воронки і масла в редукторі - знесоленою водою. Підтримка по зонах преса необхідного температурного режиму здійснюється автоматично, за допомогою системи контролю і регулювання температури типу K 4504-00.

У завантажувальній зоні преса встановлений конічний черв'як, що забезпечує заживлення всієї номенклатури відходів термопластів, зокрема і з малою насипною вагою.

Черв'як преса спільно з конічним черв'яком монтується так, щоб шліцьовий хвостовик черв'яка преса входив у зачеплення зі шліцьовим отвором втулки редуктора, а шліцьовий отвір конічного черв'яка завантажувальної воронки входив у зачеплення із зовнішніми шліцами втулки редуктора.

При цьому необхідно забезпечити плавний перехід витків черв'яка преса до витків конічного черв'яка. Для забезпечення візуального контролю під час стикування черв'яків завантажувальна воронка виконана роз'ємною в горизонтальній площині.

3.7 Фільтр шибєрний ручний ФШР-90.

3.7.1 Фільтр шибєрний ФШР-90 призначений для фільтрації розплаву термопласту від сторонніх механічних домішок.

3.7.2 Принцип роботи наступний - розплав термопласту продавлюється через фільтр грубого очищення, потім через пакет сіток, що встановлений у шибєрі фільтра, та прямує в головку стрєнгову. При цьому розплав термопласту очищається від механічних включень, які затримуються сітками і накопичуються на їхній поверхні.

3.7.3 У міру засмічення сіток механічними включеннями опір руху розплаву термопласту збільшується, а при досягненні тиску 15 МПа вмикається світлова і звукова сигналізація про необхідність перемикаання шибєра в інше положення із заміною засмічених сіток на нові.

Шибера переміщається з одного крайнього положення в інше, при цьому на місце засмічених сіток встановлюється пакет чистих сіток, а засмічені сітки вручну замінюються новими. Перемикання шибера - ручне.

3.7.4 Фільтр складається з таких основних елементів: корпусу, фланця для кріплення фільтра до преса, фланця для кріплення готування, шибера, решітки дроселяційної і решітки з сіткою для тонкої фільтрації.

У фільтрі передбачено кран для зливу грубих включень.

У фільтрі встановлено первинний прилад, перетворювач тиску ПДП, сигнал якого передається на вторинний прилад ПДП і манометр, встановлені на пневмопанелі, яка кріпиться на стійці поблизу фільтра.

Два термоелектричні перетворювачі регулюють обігрів ламелевими обігрівачами.

3.8 Електрообладнання.

3.8.1 До складу електрообладнання лінії входять:

- шафа і пульт керування, що стоять окремо;
- встановлені на технологічному обладнанні - електродвигуни, коробки розподільні, пости кнопкові та інша допоміжна апаратура. Живлення електрообладнання передбачено від трифазної мережі змінного струму напругою 380 В, частотою 50 Гц із глухозаземленою нейтраллю. Напруга ланцюгів керування і сигналізації 220 В, 50 Гц.

3.9 Система вимірювання та регулювання температури містить у собі нагрівачі, систему охолодження і прилади теплової автоматики.

Усі теплові зони циліндра преса, фільтра, головки обігріваються електричними нагрівачами опору.

Вимірювання і регулювання кожної із зон здійснюється автоматично приладами теплової автоматики, встановленими в системі контролю і регулювання температури, за сигналами перетворювачів термоелектричних відповідних зон.

Система охолодження преса разом із нагрівачами призначена для автоматичного підтримання заданої температури за зонами.

Охолодження зон циліндра преса автоматичне, повітряне, індивідуальне для кожної зони, для чого встановлені відцентрові вентилятори.

3.10 Сировиною для лінії є вторинна полімерна сировина з поліетилену низького тиску, поліпропілену і полістиролу.

Подрібнення відходів ведеться на відповідних подрібнювачах: кускових на ІРНК-300х600-3/3, плівкових - на ІРНП-300х600-5/3.

Завантаження відходів у подрібнювач проводиться вручну, дотримуючись при цьому можливої рівномірності.

Під час переробки термопластів не допускається змішання відходів із різних видів термопластів для одночасної їх переробки, особливо термопластів, які не поєднуються між собою. Під час подрібнення кускових і плівково-ниткових відходів допускається їхнє спільне перероблення за умови частого чергування цих видів відходів для того, щоб забезпечити усереднення подрібненої маси в бункері-накопичувачі.

Під час переходу до роботи з одного на інший подрібнювач необхідно перемкнути відповідні шибера на всмоктувальному повітропроводі вентилятора. Одночасна робота двох шиберів не допускається.

За допомогою регульованого приводу шнека бункера-накопичувача в живильник-дозатор вивантажується стільки подрібненого матеріалу, скільки потрібно для підтримання постійного рівня в дозаторі, що забезпечує рівномірне заживлення черв'ячного преса.

У черв'ячному пресі подрібнений матеріал пластифікується, звільняється в зоні вакуумування від парів і газів і у вигляді розплаву проходить через шиберний фільтр.

Відфільтрований розплав подається в пристрій гарячого гранулювання, де безпосередньо на фільтрній плиті здійснюється грануляція за допомогою ножів, що швидко обертаються.

Відокремлені гранули, потрапляючи у водний потік ванни охолодження, охолоджуються в ній і потоком води подаються у вивантажувач. Інтенсивний водний потік у ванній утворюється за допомогою циркуляційного насоса. Висоту поперечного перерізу водяного потоку і величину швидкості його можна регулювати підйомом жолоба. Охолоджені гранули вивантажуються в осушувач,

де за допомогою відцентрових сил здійснюється осушення гранул і винос останніх у приймач гранул. З приймача гранули надходять у цехову тару.

4 ЛІТЕРАТУРНО – ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД ВАРІАНТІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ РОТОРНОЇ ДРОБАРКИ

Було оглянуто технічну літературу та патенти, щоб проаналізувати елементи роторної дробарки та її вузли, переваги та недоліки тих та інших конструкцій.

З метою вдосконалення конструкції та усунення виявлених недоліків був проведений аналіз патентної літератури. Для оцінки можливих варіантів модернізації було виявлено чотири технічні рішення, кожне з яких має свої унікальні особливості. Розглянемо їх детальніше.

У патенті GB2455203A [3] запропоновано ударну дробарку з регульованим відбійним щитом. Відомі ударні дробарки, що містять дробарну камеру, ротор з билами та відбійний щит з ударною поверхнею, який може відхилитися при попаданні неподібнюваного матеріалу. Однак застосування наведених дробарок обмежене, оскільки після відхилення щита потрібне складне повторне встановлення його робочого положення за допомогою гідроциліндрів та датчиків, що збільшує час простою та знижує надійність. Крім того, існуючі конструкції схильні до зношування через вібрації та мікропереміщення елементів кріплення щита.

Метою даного винаходу є створення ударної дробарки, яка забезпечує автоматичне повернення відбійного щита у вихідне положення після проходження неподібнюваного матеріалу, підвищує надійність роботи та спрощує регулювання зазору між щитом і ротором.

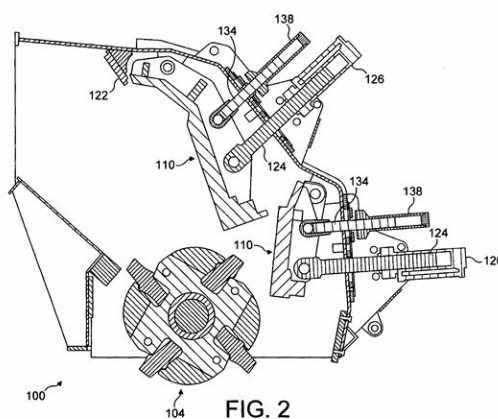


Рисунок 4.2 – Ударна дробарка з регульованим відбійним щитом

У патенті US2017348696A1 [4] запропоновано удосконалення конструкції вторинної подрібнювальної машини (secondary shredder) шляхом розробки модульного ротора з симетричними лезами та системою клинового кріплення (рис 4.3). Відомі подрібнювачі шин мають недоліки у вигляді складної заміни зношених лез, нерівномірного навантаження на ротор та низької зносостійкості ріжучих елементів, що призводить до зниження ефективності подрібнення.

У даному винаході запропоновано модульну роторну систему, у якій кожен ротор складається з радіальних виступів із пазами для лез, що фіксуються за допомогою клиноподібних елементів і шпонок. Леза мають симетричну форму відносно горизонтальної та вертикальної осей, що дозволяє використовувати їх у чотирьох різних положеннях, тим самим збільшуючи термін служби. Модульність конструкції забезпечує можливість швидкої заміни окремого ротора або леза без розбирання всієї системи, а також дозволяє регулювати довжину ротора залежно від потреб.

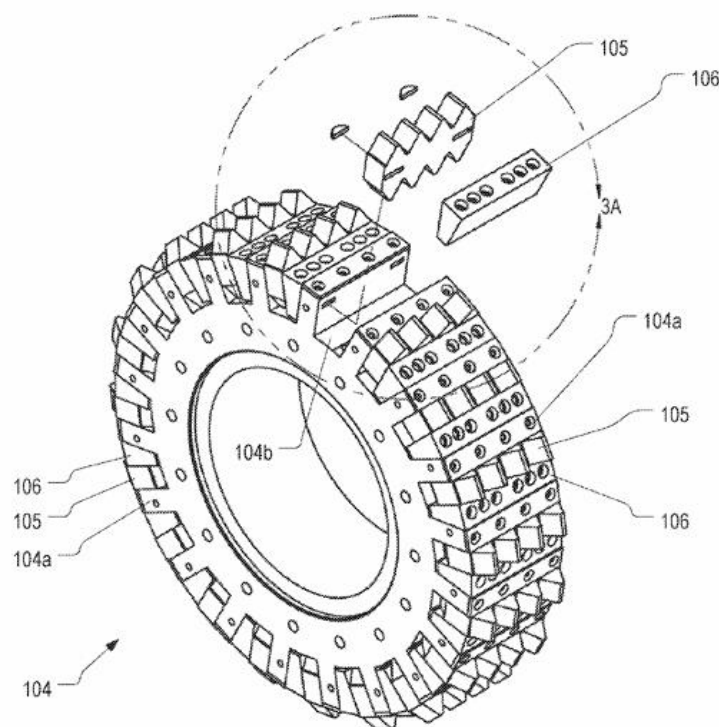


FIG. 3

Рисунок 4.3 – Модуль ротора з симетричними лезами та системою клинового кріплення

У патенті US4082232A [5] запропоновано удосконалення конструкції шредера шляхом розробки вала з кільцевими пазами для точного кріплення ріжучих лез та системи фіксації, що запобігає осьовому зміщенню ротора. Відомі шредери мають недоліки у вигляді накопичення похибок при встановленні лез та зсуву вала вздовж осі під час роботи, що призводить до нерівномірного різання, швидкого зношування деталей і зниження ефективності подрібнення.

Тому метою даного винаходу є створення конструкції дробарки з удосконаленим ротором, у якому леза точно встановлюються у спеціальні трапецієподібні пази та фіксуються ключами особливої форми, що забезпечує їх точне позиціонування і надійну роботу. Також передбачено торцеві підшипники високої точності, які повністю усувають осьове зміщення вала. Така модернізація підвищує точність роботи, зменшує зношування ріжучих елементів, спрощує заміну лез і продовжує термін служби дробарки.

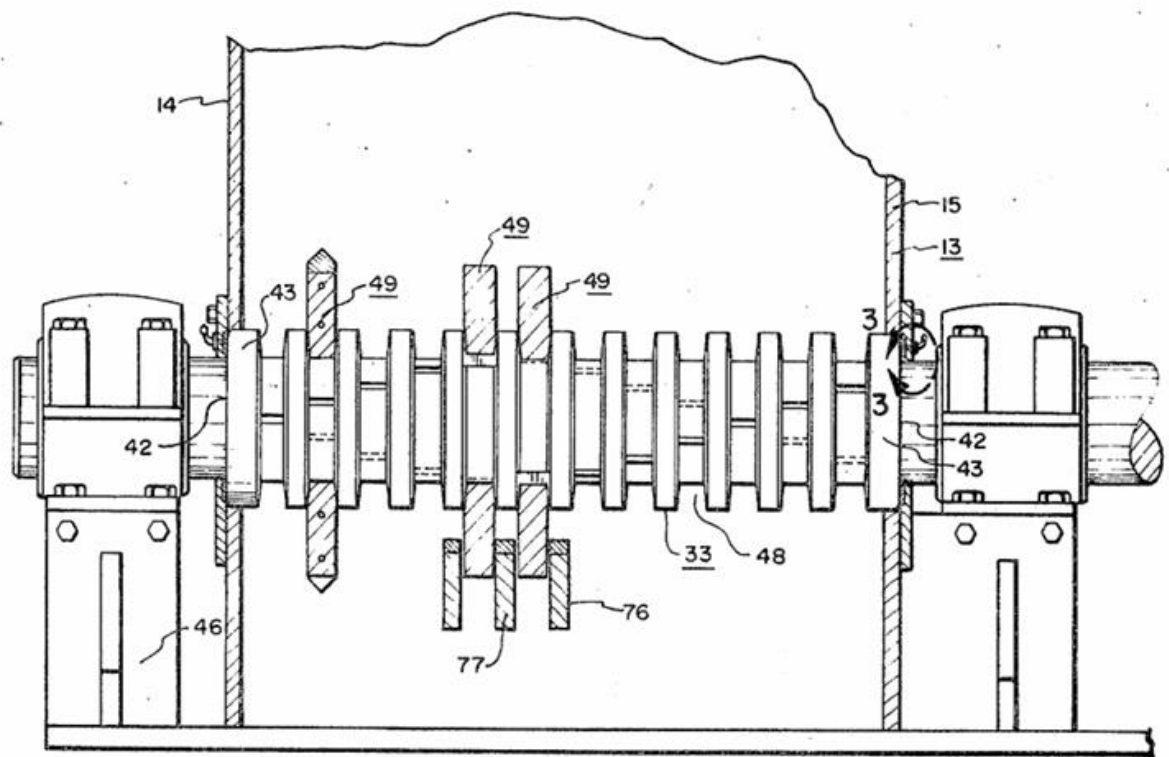


Рисунок 4.4 - Вал з кільцевими пазами для точного кріплення ріжучих лез та системами фіксації

У патенті US2004118958A1 [6] Запропоновано роторний подрібнювач із удосконаленою системою ріжучих елементів (рис 4.5). Відомі конструкції мають

недоліки — під час подрібнення волокнистих матеріалів відбувається обмотування ротора й накопичення відходів між зубцями, що знижує ефективність і спричиняє знос. Для усунення цих недоліків у винаході передбачено ротор із V-подібними ножами та додатковими плоскими ріжучими елементами, розташованими між ними. Плоскі ножі працюють спільно з протиножем, запобігаючи накопиченню матеріалу. Конструкція забезпечує рівномірне подрібнення, зниження навантаження на привід і підвищення довговічності подрібнювача.

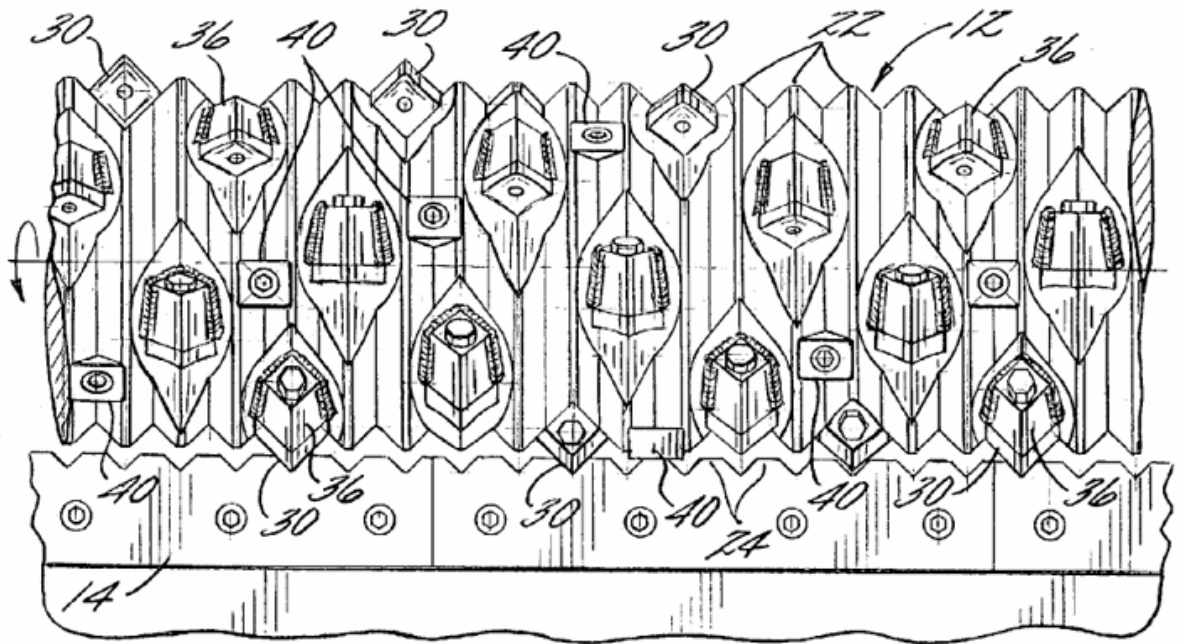


Рисунок 4.5 - Роторний подрібнювач із удосконаленою системою ріжучих елементів

У патенті US2019308197A1 [7] запропоновано розробку підшипникового картриджа для вертикально-ударної дробарки (рис 4.6). Відомі конструкції таких дробарок містять вузли з металевими кріпленнями, які під час тривалої експлуатації піддаються значним вібраційним навантаженням, що призводить до деформацій і ускладнює технічне обслуговування. Однак використання подібних кріплень є нераціональним, оскільки вони мають підвищену вагу, складні в монтажі та швидко зношуються. Тому метою даного винаходу є розробка вдосконаленого підшипникового картриджа з полімерним утримувальним кільцем, яке забезпечує легке встановлення, зменшення вібрацій і підвищення довговічності роботи дробарки.

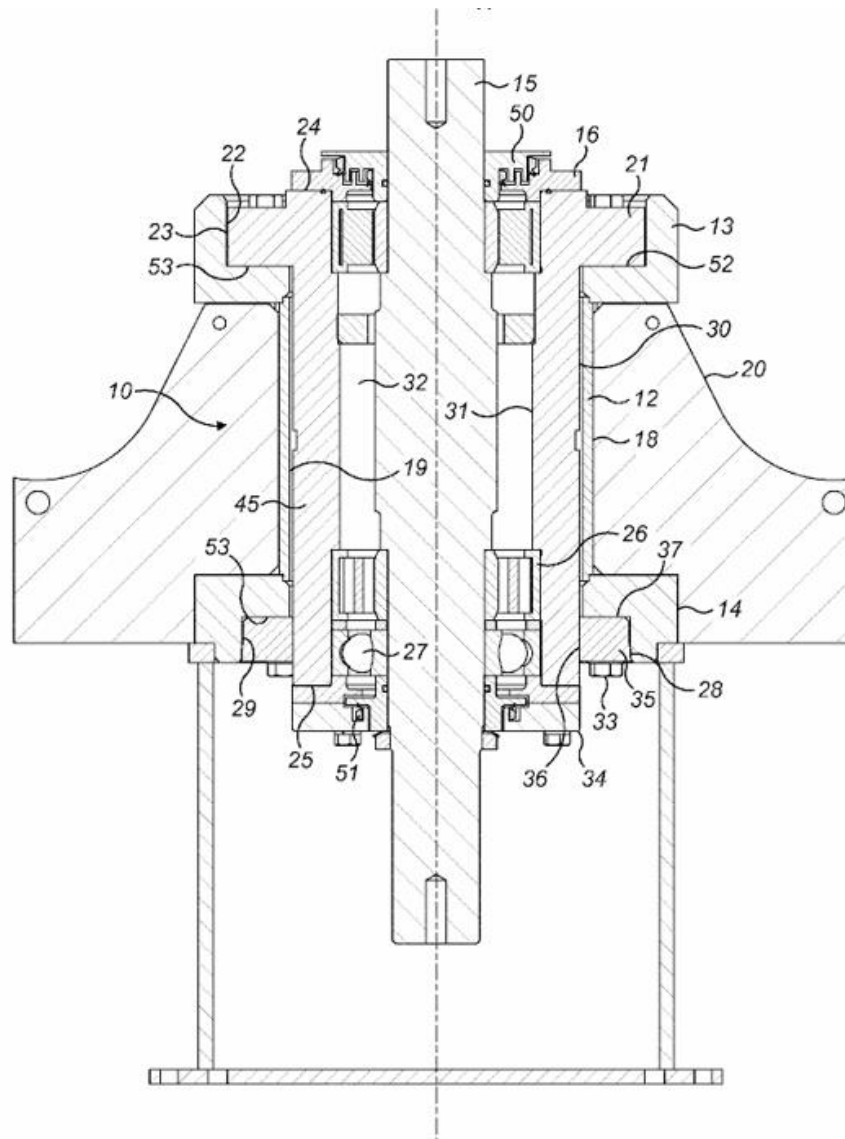


Рисунок 4.6 – підшипниковий картридж для вертикально-ударної дробарки

У патенті CN203972019U [8] Запропоновано розробку молотка відбійно-молоткової дробарки (рис 4.7). Відомі відбійно-молоткові дробарки, що містять корпус, роторний вал, відбійну плиту та молотки, шарнірно закріплені на роторі. Однак застосування наведених дробарок неефективне, тому що під час їх експлуатації при зустрічі з недробимого включенням опорний виступ у хвостовику молотка зазнає жорсткого удару, що призводить до передчасного руйнування самого молотка. Це знижує термін служби оснастки та збільшує простой обладнання.

Метою даного корисного патенту є розробка рішення оптимального закріплення молотка у відбійно-молотковій дробарці для підвищення терміну його служби. Для досягнення цієї мети в хвостовій частині молотка жорстко закріплено демпфуючу пружину. Демпфуюча пружина встановлена між молотком і

розстібною втулкою на роторному валу. Така конструкція забезпечує гнучку опору молотка на поверхню втулки. При зустрічі з недробимого тілом молоток здійснює не жорсткий удар, а демпфоване коливання, що дозволяє йому відскочити та уникнути руйнування. Це сприяє зменшенню шуму та зношування обладнання. Додатково, для зниження аеродинамічного опору та пилоутворення, в середній частині молотка виконано проріз прямокутної форми.

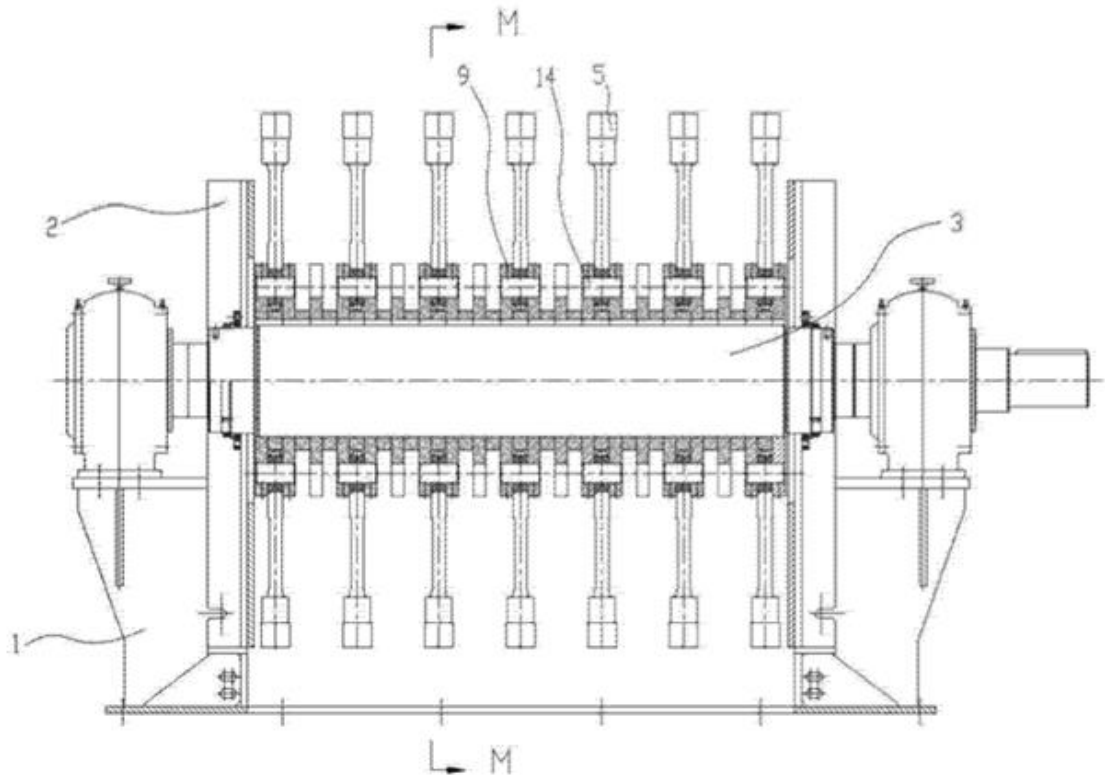


Рисунок 4.7 - Розробка молотка відбійно-молоткової дробарки

У патенті US2007272779A1 [9] запропоновано розробку мікромолоткової дробарки з покращеною системою подрібнення (рис 4.8). Відомі молоткові дробарки, що містять корпус, ротор з шарнірно закріпленими молотками, ріжучі пластини та перфоровані сита для контролю розміру частинок. Однак застосування наведених дробарок неефективне для отримання дуже дрібного продукту, оскільки наявність сит обмежує тонкість подрібнення, а робота з жорсткими ножами-молотками призводить до їх інтенсивного зношування. Крім того, традиційна конструкція не забезпечує оптимального контрольованого переміщення матеріалу через камеру подрібнення.

Метою даного винаходу є розробка рішення для отримання вкрай дрібних частинок із зменшеним зношуванням обладнання. Для досягнення цієї мети

запропоновано молоткову дробарку, в якій відсутні перфоровані сита, а процес подрібнення та транспортування матеріалу відбувається в камері, обмеженій циліндричною ріжучою пластиною з похилими прорізами. Молотки, встановлені на роторі, мають скісну передню кромку. Поєднання похилих прорізів у пластині та скісних кромок молотків спричиняє рух матеріалу всередині камери гвинтовою траєкторією (гелікоїдальний профіль).

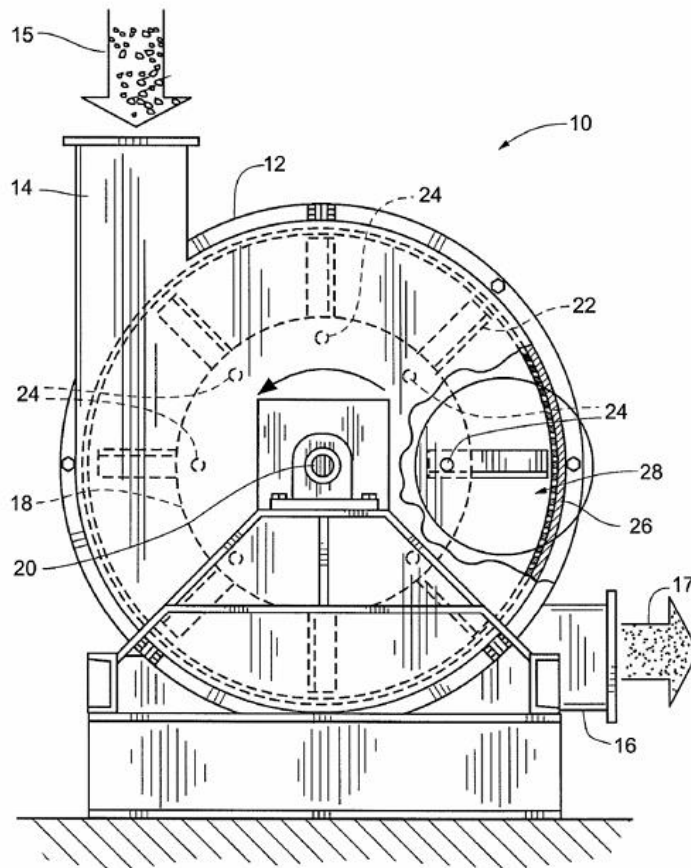


Рисунок 4.8 - Розробка мікромолоткової дробарки з покращеною системою подрібнення

4.1 Обґрунтування обраної модернізації

Після проведення огляду наукових і патентних джерел було обрано модифікацію для удосконалення механізму регулювання зазору, яка базується на патенті [3] та [4].

Патент під номером GB2455203A пропонує удосконалення конструкції молоткової дробарки шляхом розробки системи самовирівнювання та зручного кріплення молотків на роторі.

Відомі молоткові дробарки мають недолік у вигляді нерівномірного зношування молотків і складності їх заміни, що знижує ефективність подрібнення та збільшує витрати на технічне обслуговування. Застосування таких дробарок є нерациональним, оскільки під час експлуатації молотки швидко зношуються і потребують трудомісткого демонтажу. Тому метою даного винаходу є створення конструкції дробарки з удосконаленим кріпленням та балансуванням молотків, що забезпечує рівномірне навантаження, підвищення зносостійкості робочих елементів і збільшення терміну служби дробарки.

Патент під номером US2017348696A1 пропонує удосконалення конструкції вторинної подрібнювальної машини (secondary shredder) шляхом розробки модульного ротора з симетричними лезами та системою клинового кріплення.

Відомі подрібнювачі шин мають недоліки у вигляді складної заміни зношених лез, нерівномірного навантаження на ротор та низької зносостійкості ріжучих елементів, що призводить до зниження ефективності подрібнення.

5 РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ РОТОРНОЇ ДРОБАРКИ

5.1 Параметричні розрахунки

Вихідні дані:

- Матеріал: ПВХ
- Межа міцності: 35 МПа
- Густина: 1400 кг/м^3
- Колова швидкість бил ротора: 20 м/с

Розмір максимального шматка продукту дроблення, мм [1]:

$$D_{\max} = 0,5 \left(\frac{21,3\sigma_p}{\rho u_p^{1,5}} + b \right)$$
$$D_{\max} = 0,5 \left(\frac{21,3 \cdot 35}{1400 \cdot 20^{1,5}} + 80 \right) = 40 \text{ мм}$$

де σ_p - межа міцності матеріалу, МПа; ρ - густина подрібнюваного матеріалу, т/м³; u_p - колова швидкість бил ротора (приймаємо значення в 20 м/с), м/с; b - розмір найменшої вихідної щілини, мм.

Необхідна глибина проникнення грудки у зону обертання ротора [2]

$$h = 0,6D_{\max}$$
$$h = 0,6 \cdot 40 = 24 \text{ мм}$$

де n – частота обертання ротора, хв^{-1} ; z – число подовжніх рядів молотків на роторі.

Діаметр ротора відповідно до прийнятих стандартів визначається у залежності від максимального розміру грудки вихідного матеріалу:

- для роторних дробарок середнього і дрібного дроблення:

$$D_p = 3,3D_{\max}$$
$$D_p = 3,3D_{\max} = 3,3 \cdot 40 = 132 \text{ мм}$$

З умов продуктивності і завантаження дробарки довжина ротора відповідно до прийнятих стандартів визначається пропорційно до його діаметра:

- для роторних дробарок середнього і дрібного дроблення:

$$L = D_p = 132 \text{ мм}$$

Об'ємна продуктивність може бути розрахована з використанням таких формул:

- для роторних дробарок:

$$Q_o^{\max} = 47k(D_p L)^{1,6}, \text{ м}^3 / \text{год}$$

$$Q_o^{\max} = 47 \cdot 1(1,32 \cdot 1,32)^{1,6} = 114 \text{ м}^3 / \text{год}$$

$$Q_o^{\min} = 22k(D_p L)^{1,3}, \text{ м}^3 / \text{год}$$

$$Q_o^{\min} = 22 \cdot 1(1,32 \cdot 1,32)^{1,3} = 45 \text{ м}^3 / \text{год}$$

де $Q_o^{\min}$ та $Q_o^{\max}$ - граничні значення продуктивності; k – коефіцієнт, що залежить від конструктивних особливостей дробарки ($k = 0,6 \div 1,4$); D_p і L – розміри ротора, м.

Потужність електродвигуна молоткових і роторних дробарок визначається за емпіричними формулами:

- роторних дробарок середнього і дрібного дроблення

$$N = 120D_p L, \text{ кВт}$$

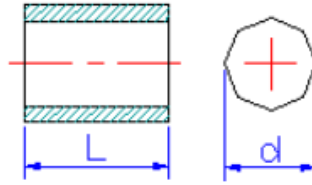
$$N = 120 \cdot 0,132 \cdot 1,3 \cdot 1,3 = 27 \text{ кВт}$$

5.2 РОЗРАХУНОК ЕКСТРУДЕРА

5.3 Розрахунок коефіцієнта геометричної форми головки

1. Круглий циліндричний:

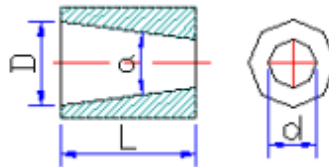
$L=26$ мм $d=23$ мм



$$K = \frac{\pi d^4}{128l} = \frac{3,14 \cdot 23^4}{128 \cdot 26} = 264,03 \text{ мм}^3$$

2. Круглий конічний з великим діаметром на вході:

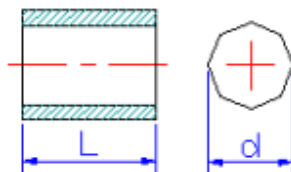
$D = 46$ мм; $d = 23$ мм; $L = 52$ мм;



$$K = \frac{3\pi D^3 d^3}{128L(D^2 + Dd + d^2)} = \frac{3 \cdot 3,14 \cdot 46^3 \cdot 23^3}{128 \cdot 52(46^2 + 46 \cdot 23 + 23^2)} = 452,627 \text{ мм}^3$$

3. Круглий циліндричний:

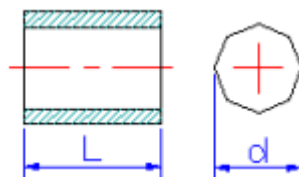
$L = 25$ мм; $d = 6$ мм;



$$K = \frac{\pi d^4}{128L} \cdot z = \frac{3,14 \cdot 6^4}{128 \cdot 25} \cdot 70 = 89,019 \text{ мм}^3$$

4. Круглий циліндричний:

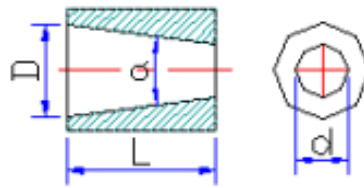
$L = 24$ мм; $d = 5$ мм;



$$K = \frac{\pi d^4}{128L} \cdot z = \frac{3,14 \cdot 5^4}{128 \cdot 24} \cdot 18 = 11,499 \text{ мм}^3$$

5. Круглий конічний з великим діаметром на вході:

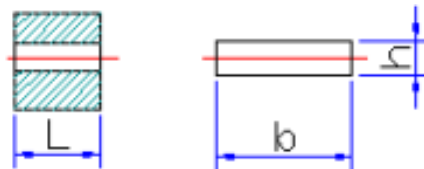
$D = 16 \text{ мм}; d = 9 \text{ мм}; L = 14 \text{ мм};$



$$K = \frac{3\pi D^3 d^3}{128L(D^2 + Dd + d^2)} \cdot z = \frac{3 \cdot 3.14 \cdot 16^3 \cdot 9^3}{128 \cdot 14(16^2 + 16 \cdot 9 + 9^2)} \cdot 18 = 587.391 \text{ мм}^3$$

6. Плоский щілинний:

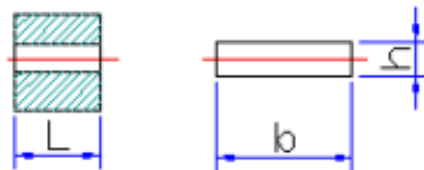
$L = 24 \text{ мм}; b = 266 \text{ мм}; h = 20 \text{ мм};$



$$K = \frac{bh^3}{12L} = \frac{266 \cdot 20^3}{12 \cdot 24} = 7388.8 \text{ мм}^3$$

7. Плоский щілинний:

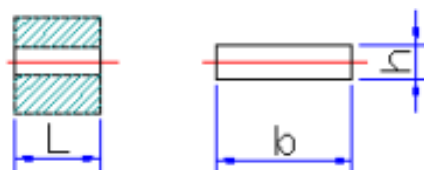
$L = 24 \text{ мм}; b = 214 \text{ мм}; h = 22 \text{ мм};$



$$K = \frac{bh^3}{12L} = \frac{214 \cdot 22^3}{12 \cdot 24} = 7912.05 \text{ мм}^3$$

8. Плоский щілинний:

$L = 28 \text{ мм}; b = 160 \text{ мм}; h = 26 \text{ мм};$



$$K = \frac{bh^3}{12L} = \frac{160 \cdot 26^3}{12 \cdot 28} = 8369.52 \text{ мм}^3$$

Загальний коефіцієнт геометричної форми головки:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3} + \frac{1}{K_4} + \frac{1}{K_5} + \frac{1}{K_6} + \frac{1}{K_7} + \frac{1}{K_8} + \frac{1}{K_9} + \frac{1}{K_{10}} + \frac{1}{K_{11}}} = 9.41017 \text{ мм}^3$$

5.4 Розрахунок геометричних параметрів черв'яка

1. Довжина робочої гвинтової частини:

$$l_p = 90 \cdot 30 = 2700 \text{ мм}$$

2. Крок нарізки витків черв'яка:

$$t = D = 90 \text{ мм}$$

3. Довжина зони завантаження:

$$l_3 = 5 \cdot D = 5 \cdot 90 = 450 \text{ мм}$$

4. Довжина зони стискання:

$$l_c = 10 \cdot D = 10 \cdot 90 = 900 \text{ мм}$$

5. Довжина зони дозування:

$$l_d = 0.4 \cdot l_p = 0.4 \cdot 2700 = 1080 \text{ мм}$$

6. Ширина гребня витка нарізки:

$$e = 0.09 \cdot D = 0.09 \cdot 90 = 8,1 \text{ мм}$$

7. Глибина нарізки в зоні завантаження:

$$h_1 = 0.14 \cdot D = 0.14 \cdot 90 = 12,6 \text{ мм}$$

8. Глибина нарізки в зоні дозування:

$$\begin{aligned} h_2 &= 0.5 \cdot \left[D - \sqrt{D^2 - \frac{4 \cdot h_1}{i} (D - h_1)} \right] = 0.5 \cdot \left[90 - \sqrt{90^2 - \frac{4 \cdot 12,6}{2} (90 - 12,6)} \right] \\ &= 5,8 \text{ мм} \end{aligned}$$

9. Зазор між гребнем черв'яка і корпусом:

$$\delta = 0.002 \cdot D = 0.002 \cdot 90 = 0,18 \text{ мм}$$

5.5 Розрахунок продуктивності черв'ячної машини

1. За заданою годиною продуктивністю визначаємо об'ємну секундну продуктивність Q (мм³/с):

$$Q = \frac{10^9 \Pi}{3600 \rho} = \frac{10^9 \cdot 90}{3600 \cdot 1260} = 19841.26 \frac{\text{мм}^3}{\text{с}}$$

2. Кут нахилу лінії нарізки:

$$\varphi = \arctg \frac{t}{\pi D} = \arctg \frac{90}{3.14 \cdot 90} = 0.308 \text{ рад}$$

3. Коефіцієнт прямого потоку:

$$\alpha = \frac{\pi D h_2 (t - e) \cos^2 \varphi}{2} = \frac{3.14 \cdot 90 \cdot 5.8 (90 - 5.67) \cdot \cos^2(0.308)}{2} = 62500 \text{ мм}^3$$

4. Коефіцієнт зворотного потоку:

$$\beta = \frac{h_2^3 (t - e) \sin 2\varphi}{24 l_d} = \frac{5.8^3 \cdot (90 - 8.1) \cdot \sin(2 \cdot 0.308)}{24 \cdot 1080} = 0.355 \text{ мм}^3$$

5. Коефіцієнт потоку витoku:

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{\pi^2 D^2 \delta^3 \cdot \tg \varphi \cdot \sin \varphi}{10 e \cdot l_d} = \frac{3.14^2 \cdot 90^2 \cdot 0.18^3 \cdot \tg(0.308) \cdot \sin(0.308)}{10 \cdot 8.1 \cdot 1080} \\ &= 5.1 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^3 \end{aligned}$$

6. Кількість обертів:

$$n = \frac{Q(K + \beta + \gamma)}{\alpha K} = \frac{19841.26(9.4101 + 0.355 + 5.1 \cdot 10^{-4})}{62500 \cdot 9.4101} = 0.329$$

5.6 Розрахунок перепаду тиску в екструзійній головці

Для кожної ділянки постійної геометрії визначають швидкість зсуву γ , після якої з табличних даних визначають в'язкість μ .

$$\Delta P = \frac{Q \cdot \mu}{K}$$

1. Круглий циліндричний канал:

$$L=26 \text{ мм} \quad d=23 \text{ мм}$$

$$\gamma = \frac{32 \cdot Q}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 19841.26}{3.14 \cdot 23^3} = 16.619 \text{ с}^{-1}$$

Для температури 230°C і швидкості зсуву 16.619 с⁻¹ $\mu = 831,452 \text{ Па} \cdot \text{с}$

$$\Delta P = \frac{19841,26 \cdot 831,452}{246,03} = 67053,023 \text{ Па}$$

2. Круглий конічний з великим діаметром на вході:

$$D = 46 \text{ мм}; d = 23 \text{ мм}; L = 52 \text{ мм};$$

$$\gamma = \frac{256 \cdot Q}{\pi(D + d)^3} = \frac{256 \cdot 19841,26}{3.14 \cdot (46 + 23)^3} = 4.9241 \text{ с}^{-1}$$

Для температури 230°C і швидкості зсуву 4.9241 с⁻¹ $\mu = 862,767 \text{ Па} \cdot \text{с}$

$$\Delta P = \frac{19841,26 \cdot 862,767}{452,627} = 37820,068 \text{ Па}$$

3. Круглий циліндричний канал:

$$L=25 \text{ мм} \quad d=6 \text{ мм}$$

$$\gamma = \frac{32 \cdot Q}{\pi \cdot d^3} \cdot \frac{1}{70} = \frac{32 \cdot 19841.26}{3.14 \cdot 6^3} \cdot \frac{1}{70} = 13.373 \text{ с}^{-1}$$

Для температури 230°C і швидкості зсуву 13.373 с⁻¹ $\mu = 838,7736 \text{ Па} \cdot \text{с}$

$$\Delta P = \frac{19841,26 \cdot 838,7736}{89,019} = 186952,505 \text{ Па}$$

4. Круглий циліндричний канал:

$$L=24 \text{ мм} \quad d=5 \text{ мм}$$

$$\gamma = \frac{32 \cdot Q}{\pi \cdot d^3} \cdot \frac{1}{18} = \frac{32 \cdot 19841.26}{3.14 \cdot 5^3} \cdot \frac{1}{18} = 89.868 \text{ с}^{-1}$$

Для температури 230°C і швидкості зсуву 89.868 с⁻¹ $\mu = 734,116 \text{ Па} \cdot \text{с}$

$$\Delta P = \frac{19841,26 \cdot 734,116}{11,499} = 1,2667 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

5. Круглий конічний з великим діаметром на вході:

$$D = 14 \text{ мм}; d = 9 \text{ мм}; L = 16 \text{ мм};$$

$$\gamma = \frac{256 \cdot Q}{\pi(D+d)^3} \cdot \frac{1}{z} = \frac{256 \cdot 19841,26}{3.14 \cdot (14+9)^3} \cdot \frac{1}{18} = 7.386 \text{ c}^{-1}$$

Для температури 230°C і швидкості зсуву 7.386 c⁻¹ μ= 854,679 Па·с

$$\underline{\Delta P} = \frac{19841,26 \cdot 854.679}{587,391} = 28869,88 \text{ Па}$$

6. Плоский щілинний:

L = 24 мм b = 266 h = 20

$$\gamma = \frac{5.58 \cdot Q}{bh^2} = \frac{5.58 \cdot 19841.26}{266 \cdot 20^2} = 1.0405 \text{ c}^{-1}$$

Для температури 230°C і швидкості зсуву 1.0405 c⁻¹ μ= 880,151 Па·с

$$\underline{\Delta P} = \frac{19841,26 \cdot 880.151}{7388,8} = 2363,48 \text{ Па}$$

7. Плоский щілинний:

L = 24 мм b = 214 h = 22

$$\gamma = \frac{5.58 \cdot Q}{bh^2} = \frac{5.58 \cdot 19841.26}{214 \cdot 22^2} = 1.06892 \text{ c}^{-1}$$

Для температури 230°C і швидкості зсуву 1.06892 c⁻¹ μ= 879,965 Па·с

$$\underline{\Delta P} = \frac{19841,26 \cdot 879.965}{7912,05} = 2206,71 \text{ Па}$$

8. Плоский щілинний:

L = 28 мм b = 160 h = 26

$$\gamma = \frac{5.58 \cdot Q}{bh^2} = \frac{5.58 \cdot 19841.26}{160 \cdot 26^2} = 1,0236 \text{ c}^{-1}$$

Для температури 230°C і швидкості зсуву 1.0236 c⁻¹ μ= 880,264 Па·с

$$\underline{\Delta P} = \frac{19841,26 \cdot 880.264}{8369,52} = 2086,803 \text{ Па}$$

9. Загальний перепад тиску в головці:

$$\underline{\Delta P} = \sum \underline{\Delta P}_i = 1594052.47 \text{ Па} = 1.59405247 \text{ МПа}$$

5.7 Розрахунок потужності двигуна черв'ячної машини

1. Потужність, споживана в гвинтовому каналі:

$$I = \frac{\pi^2 \cdot D^2 - 4t^2}{\pi^2} + \frac{\pi^2 \cdot D^5}{t^2 + \pi^2 \cdot D^2} = \frac{3,14^2 \cdot 90^2 - 4 \cdot 90^2}{3,14^2} + \frac{3,14^2 \cdot 90^5}{90^2 + 3,14^2 \cdot 90^2}$$
$$= 666684,32 \text{ мм}$$

$$\gamma_k = \frac{\pi^2 D^2 n}{60 \cdot h_2 \sqrt{\pi^2 D^2 + 2t^2}} = \frac{3,14^2 \cdot 90^2 \cdot 52,68}{60 \cdot 5,8 \sqrt{3,14^2 \cdot 90^2 + 2 \cdot 90^2}} = 39,00617 \text{ с}^{-1}$$

Для температури 230°C і швидкості зсуву 39,00617 с⁻¹ $\mu = 792,428 \text{ Па} \cdot \text{с}$

$$N_1 = \frac{\pi^3 \cdot (t - e) l_d \cdot I \cdot \mu_K \cdot n^2}{136 \cdot t} 10^{-13} + \frac{\alpha \cdot \Delta P \cdot n}{6} 10^{-5}$$
$$= \frac{3,14^3 \cdot (90 - 8,1) \cdot 1080 \cdot 666684,32 \cdot 792,428 \cdot 52,68^2}{136 \cdot 90} \cdot 10^{-13}$$
$$+ \frac{62500 \cdot 1,59405247 \cdot 52,68}{6} \cdot 10^{-5} = 41,5 \text{ кВт}$$

2. Потужність, споживана в зазорі між гребнем і корпусом:

$$\gamma_3 = \frac{\pi D n}{60 \cdot \delta} = \frac{3,14 \cdot 90 \cdot 52,68}{60 \cdot 0,18} = 1378,46 \text{ с}^{-1}$$

Для температури 230°C і швидкості зсуву 1378,46 с⁻¹ $\mu = 396,82 \text{ Па} \cdot \text{с}$

$$N_2 = \frac{\pi^2 \cdot D^3 \cdot e \cdot l_d \cdot \mu \cdot n^2}{36 \cdot \delta \cdot t} \cdot 10^{-13}$$
$$= \frac{3,14^2 \cdot 90^3 \cdot 8,1 \cdot 1080 \cdot 396,82 \cdot 52,68^2}{36 \cdot 0,18 \cdot 90} \cdot 10^{-13} = 11,9 \text{ кВт}$$

3. Потужність, споживана черв'яком:

$$N_d = N_1 + N_2 = 41,5 + 11,9 = 53,4 \text{ кВт}$$

4. Потужність двигуна:

ККД приводу $\eta = 0,7$

$$N_{дв} = \frac{N_q}{\eta} = \frac{53,4}{0,7} = 76,33 \text{ кВт}$$

5.8 Тепловий розрахунок екструдера

Тепловий баланс черв'ячної машини можна представити як:

$$Q_N + Q_{N1} = G_M \cdot C_M \cdot (t_k - t_{\pi}) + Q_o + Q_{втр},$$

де Q_N – потужність, що виділяється при споживанні механічним приводом, Вт:

$$Q_N = N \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3$$

$$Q_N = 76,33 \cdot 0,7 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 38,5 \text{ кВт}$$

N – потужність встановленого електродвигуна, Вт; η_1 – ККД приводу машини; η_2 – ККД електродвигуна; η_3 – ККД перетворення механічної енергії в теплову, зазвичай приймається рівним 0,75-0,8; Q_{N1} – кількість тепла, що підводиться до корпусу електронагрівачами, Вт; G_M – продуктивність черв'ячної машини, кг/с; C_M – питома теплоємність полімеру, Дж/(кг К); t_k – температура, до якої потрібно нагрівати полімер, °С; t_{π} – температура, з якою полімер подається в машину, °С; Q_o – кількість тепла, що відводиться водою, яка охолоджує черв'як (якщо це передбачено конструктивно).

$$Q_o = G_b \cdot C_b \cdot \Delta t_b$$

$$Q_o = 7,9 \cdot 10^{-2} \cdot 4,18 \cdot 10 = 3,3$$

де G_b – витрата води, кг/с; C_b – питома теплоємність води, Дж/(кг К); Δt_b – перепад температур води між входом та виходом, для попереднього розрахунку приймається рівним 5-10°С.

Витрата води приймається таким чином, щоб її швидкість в охолоджувальному каналі v не перевищувала 0,1-0,8 м/с. Тоді її можна визначити з рівняння

$$G_b = f \cdot v \cdot \rho$$

$$G_b = 1,13 \cdot 10^{-4} \cdot 0,7 \cdot 997 = 7,9 \cdot 10^{-2} \text{ кг/с}$$

де f – площа перерізу охолоджувального каналу, м²; ρ – густина води, кг/м³.

$Q_{втр}$ – втрати тепла в навколишнє середовище:

$$Q_{втр} = Q_k + Q_{випр}$$

$$Q_{втр} = 152,49 + 228 = 380,5 \text{ Дж}$$

де Q_k – втрати тепла в навколишнє середовище конвекцією:

$$Q_k = a_k \cdot F \cdot (t_{кож} - t_{\pi})$$

$$Q_k = 4,485 \cdot 1,36 \cdot (45 - 20) = 152,49 \text{ Дж}$$

де F – площа теплообмінної поверхні кожуха, м^2 ; $t_{\text{кож}}$ – температура поверхні кожуха машини, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{п}}$ – температура навколишнього повітря, $^{\circ}\text{C}$; a_k – коефіцієнт тепловіддачі від кожуха черв'ячної машини в навколишнє середовище конвекцією:

$$a_k = \text{Nu} \cdot \frac{\lambda}{D}$$

$$a_k = 44,85 \cdot \frac{0,027}{0,27} = 4,485 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$$

де Nu – критерій Нусельта; λ – коефіцієнт теплопровідності повітря за визначальної температури, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; D – діаметр кожуха, м .

Значення визначальної температури визначається з формули:

$$t_{\text{в}} = \frac{t_{\text{кож}} + t_{\text{п}}}{2}$$

$$t_{\text{в}} = \frac{45 + 20}{2} = 32,5^{\circ}\text{C}$$

Критерій Нусельта вираховується з рівняння:

$$\text{Nu} = C(\text{Gr} \cdot \text{Pr})^n$$

$$\text{Nu} = 0,54 \cdot (4,76 \cdot 10^7)^{\frac{1}{4}} = 44,85$$

де Gr – критерій Грасгофа,

$$\text{Gr} = \frac{g \cdot D^3 \cdot \beta \cdot (t_{\text{кож}} - t_{\text{п}})}{\nu^2}$$

$$\text{Gr} = \frac{9,81 \cdot 0,27^3 \cdot 0,003 \cdot (45 - 20)}{(1,46 \cdot 10^{-5})^2} = 6,8 \cdot 10^7$$

g – прискорення вільного падіння, $\text{м}^2/\text{с}$; β – коефіцієнт об'ємного розширення:

$$\beta = \frac{1}{273 + t_{\text{в}}}$$

$$\beta = \frac{1}{273 + 32,5} = 0,003$$

Pr – критерій Прандля повітря, ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря за визначальної температури.

Значення параметрів C і n обирається залежно від діапазону значень добутку $Gr \cdot Pr$. $Gr \cdot Pr = 6,8 \cdot 10^7 \cdot 0,7 = 4,76 \cdot 10^7$. Виходячи з цього приймаємо значення $C=0,54$ і $n=1/4$

$Q_{\text{випр}}$ – втрати тепла в навколишнє середовище випромінюванням:

$$Q_{\text{випр}} = 5,67 \cdot \varepsilon \cdot F \left(\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right)$$

$$Q_{\text{випр}} = 5,67 \cdot 0,6 \cdot 1,36 \cdot \left(\left(\frac{333}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right) = 228 \text{ Дж}$$

де ε – ступінь чорноти поверхні кожуха, для сталі $\varepsilon = 0,6$; T_1 – абсолютна температура поверхні кожуха, К; T_2 – абсолютна температура навколишнього повітря, К.

З наведеного рівняння теплового балансу можна визначити кількість тепла Q_{N1} , яке необхідно підвести до машини електронагрівачами. Якщо значення виявилось від'ємним, можна зробити висновок, що в даному режимі електронагрівачі повинні бути відключені і має бути включена система охолодження корпусу.

5.9 Розрахунок потужності для заданого часу розігріву корпусу

Температура переробки $t_p = 230^\circ\text{C}$

Початкова температура $t_n = 20^\circ\text{C}$

Внутрішній діаметр $D_{\text{вн}} = 90 \text{ мм}$

Зовнішній діаметр $D_{\text{зов}} = 210 \text{ мм}$

1. Об'єм корпусу:

$$V = \frac{\pi}{4} L_p (D_{\text{зов}}^2 - D_{\text{вн}}^2) = \frac{3,14}{4} 2,700 (0,210^2 - 0,090^2) = 76,302 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

2. Маса корпусу:

$$\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$$

$$G = \rho_{\text{ст}} V = 7800 \cdot 76,302 \cdot 10^{-3} = 595,16 \text{ кг}$$

3. Кількість теплоти:

$$c = 0,46 \frac{\text{Дж}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

$$Q_{\text{корп}} = CG(t_p - t_n) = 0,46 \cdot 10^3 \cdot 595,16 \cdot (230 - 20) = 57,5 \text{ МДж}$$

4. Необхідна потужність нагрівника при часі розігріву корпусу 30 хв:

$$N_{\text{нагр}} = \frac{Q_{\text{корп}}}{\tau} = \frac{57,5 \cdot 10^6}{1800} = 31944,4 = 31,944 \text{ кВт}$$

5.10 Розрахунок черв'яка на міцність

Крутний момент (Н·м) становить

$$M_{\text{кр}} = \frac{30 N}{\pi n}$$

$$M_{\text{кр}} = \frac{30 \cdot 53,4 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 75} = 6802,5 \text{ Нм}$$

де N – потужність, яка споживається черв'яком, Вт; n – швидкість обертання черв'яка, об/хв.

Осьове зусилля

$$P_{\text{ос}} = \frac{2 M_{\text{кр}}}{D} \operatorname{tg} \varphi$$

$$P_{\text{ос}} = \frac{2 \cdot 6802,5}{0,09} \cdot \operatorname{tg}(0,308) = 48089,7 \text{ Н}$$

де D – зовнішній діаметр черв'яка, м; φ – кут підйому нарізки

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{t}{\pi D}$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{90}{3,14 \cdot 90} = 0,308 \text{ рад}$$

де t – крок нарізки, м.

Розподілене навантаження від власної ваги черв'яка (Н·м)

$$q = \frac{9,8 G}{l_p}$$

$$q = \frac{9,8 \cdot 134}{2,7} = 486,4 \text{ Нм}$$

де G – маса черв'яка, кг, l_p – довжина робочої частини, $l_{\text{ц}}$ – довжина циліндричної частини, м.

$$G = \frac{\pi D^2}{4} \rho l_p$$

$$G = \frac{3,14 \cdot 0,09^2}{4} \cdot 7800 \cdot 2,7 = 134 \text{ кг}$$

Стискальне напруження в тілі черв'яка виникає від осьової сили та згинального моменту, спричиненого його вагою. Перша складова напруження рівномірна по перерізу, а друга змінюється від розтягувальної у верхній частині перерізу до стискальної в нижній. Тому величина стискального напруження має найбільше значення на нижніх волокнах і розраховується за формулою

$$\sigma_{\text{ст}} = \frac{P_{\text{ос}}}{F} + \frac{M_{\text{тах}}}{W_x}$$

$$\sigma_{\text{ст}} = \frac{48089,7}{0,003} + \frac{1772,9}{2,34 \cdot 10^{-5}} = 91,8 \text{ МПа}$$

де F – площа небезпечного перерізу (під завантажувальною лійкою, у місці початку нарізки, де найбільші навантаження та найменша площа, без урахування площі перерізу витків), м^2

$$F = \frac{\pi d_1^2}{4} (1 - \alpha^2)$$

$$F = \frac{3,14 \cdot 0,062^2}{4} \cdot (1 - 0,194^2) = 0,003 \text{ м}^2$$

$\alpha = d_0/d_1 = 0,012/0,062 = 0,194$, d_1 – діаметр осердя в зоні завантаження, м;

$M_{\text{тах}}$ – максимальний згинальний момент від власної ваги (у місці початку нарізки), Н·м,

$$M_{\text{тах}} = \frac{1}{2} q l_p^2$$

$$M_{\text{тах}} = \frac{1}{2} \cdot 486,4 \cdot 2,7^2 = 1772,9 \text{ Нм}$$

W_x – осьовий момент опору, м^3

$$W_x = \frac{\pi d_1^3 (1 - \alpha^4)}{32}$$

$$W_x = \frac{3,14 \cdot 0,062^3 (1 - 0,194^4)}{32} = 2,34 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

Дотичні напруження

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_p}$$

$$\tau = \frac{6802,5}{4,67 \cdot 10^{-5}} = 1,46 \cdot 10^8 \text{ Па} = 146 \text{ МПа}$$

де W_p – полярний момент опору, м^3

$$W_p = \frac{\pi d_1^3 (1 - \alpha^4)}{16}.$$

$$W_p = \frac{3,14 \cdot 0,062^3 \cdot (1 - 0,194^4)}{16} = 4,67 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

Еквівалентне напруження за III теорією міцності

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma_{ст}^2 + 4\tau^2}$$

$$\sigma_{екв} = \sqrt{91,8^2 + 4 \cdot 146^2} = 306,1 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт запасу не повинен перевищувати допустиме значення

$$n = \frac{\sigma_t}{\sigma_{екв}} \leq [n]$$

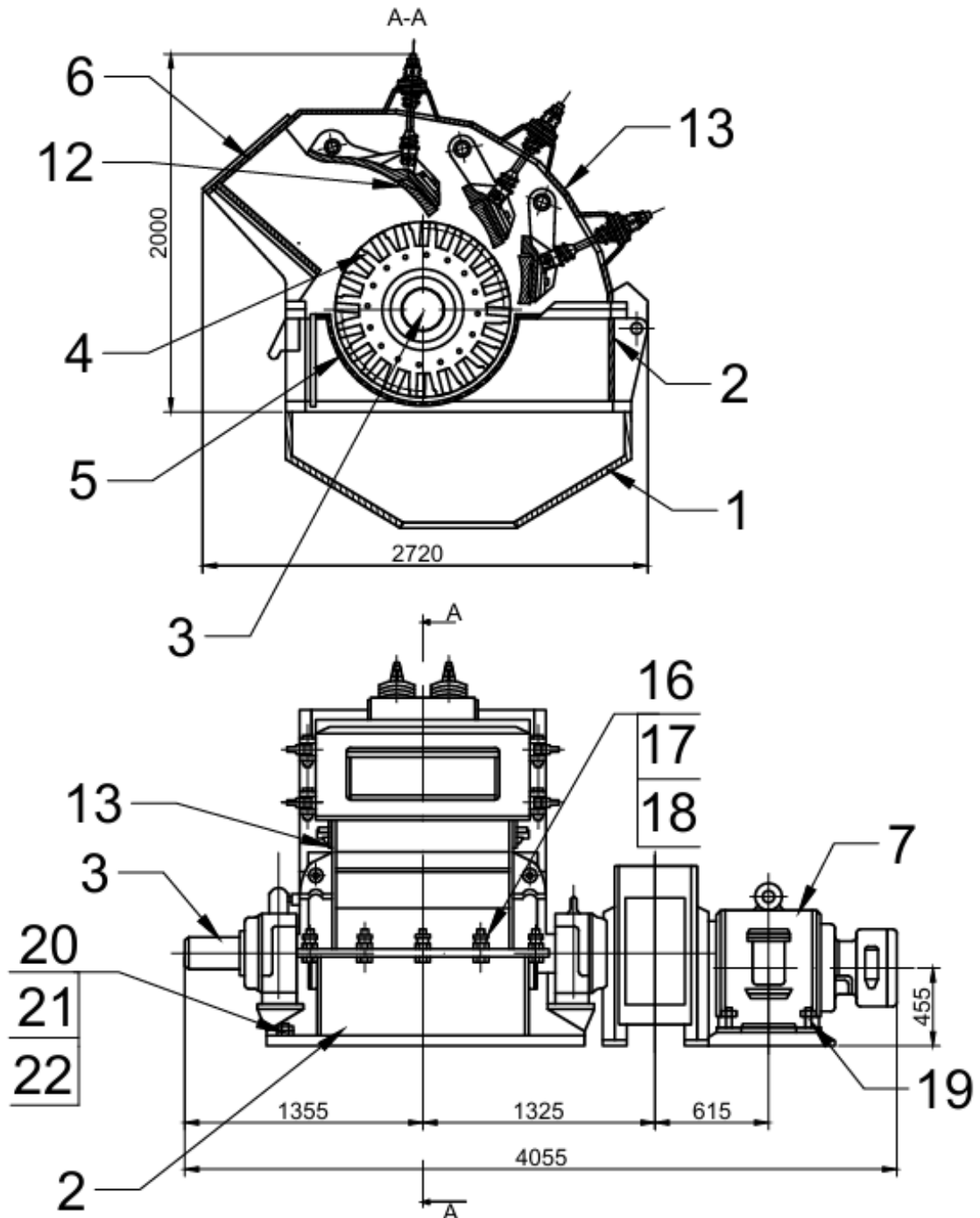
$$n = \frac{500}{306,1} = 1,6 \leq [2]$$

де допустимий коефіцієнт запасу $[n]$ зазвичай беруть рівним 1,6...2,0.

6 МОНТАЖ І ЕКСПЛУАТАЦІЯ

6.1 Креслення роторної дробарки з модернізацією валка

Роторна дробарка з модернізацією валка



					Роторна дробарка з модернізацією валка	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2 Специфікація роторної дробарки з модернізацією валка

<u>Факт</u> <u>р-м</u> <u>т</u>	<u>Поз</u> <u>-</u>	<u>Позначення</u>	<u>Найменування</u>	<u>Кі</u> <u>л.</u>	<u>Примі</u> <u>тка</u>
			<u>Документація</u>		
			<u>Складальне креслення</u>		
			<u>Складальні одиниці</u>		
	1		Рама	1	
	2		Корпус дробарки	1	
	3		Ротор з віссю	1	
	4		Молотки (набір)	20	
	5		Сито/решітка	1	
	6		Завантажувальний бункер	1	
	7		Електродвигун	1	
	8		Шків ведучий	1	
	9		Шків ведений	1	
	10		Підшипниковий вузол	2	
	11		Кришка підшипника	2	
			<u>Деталі</u>		
	12		Відбійна плита	4	
	13		Кришка корпусу	2	
	14		Фланець кріплення корпусу	1	
	15		Плита кріплення двигуна	1	
			<u>Стандартні вироби</u>		
	16		<u>Болт М20х70</u>		
			ГОСТ 7798-70	24	
	17		<u>Гайка М20</u>		
			ГОСТ 5915-70	24	
	18		<u>Шайба 20</u>		

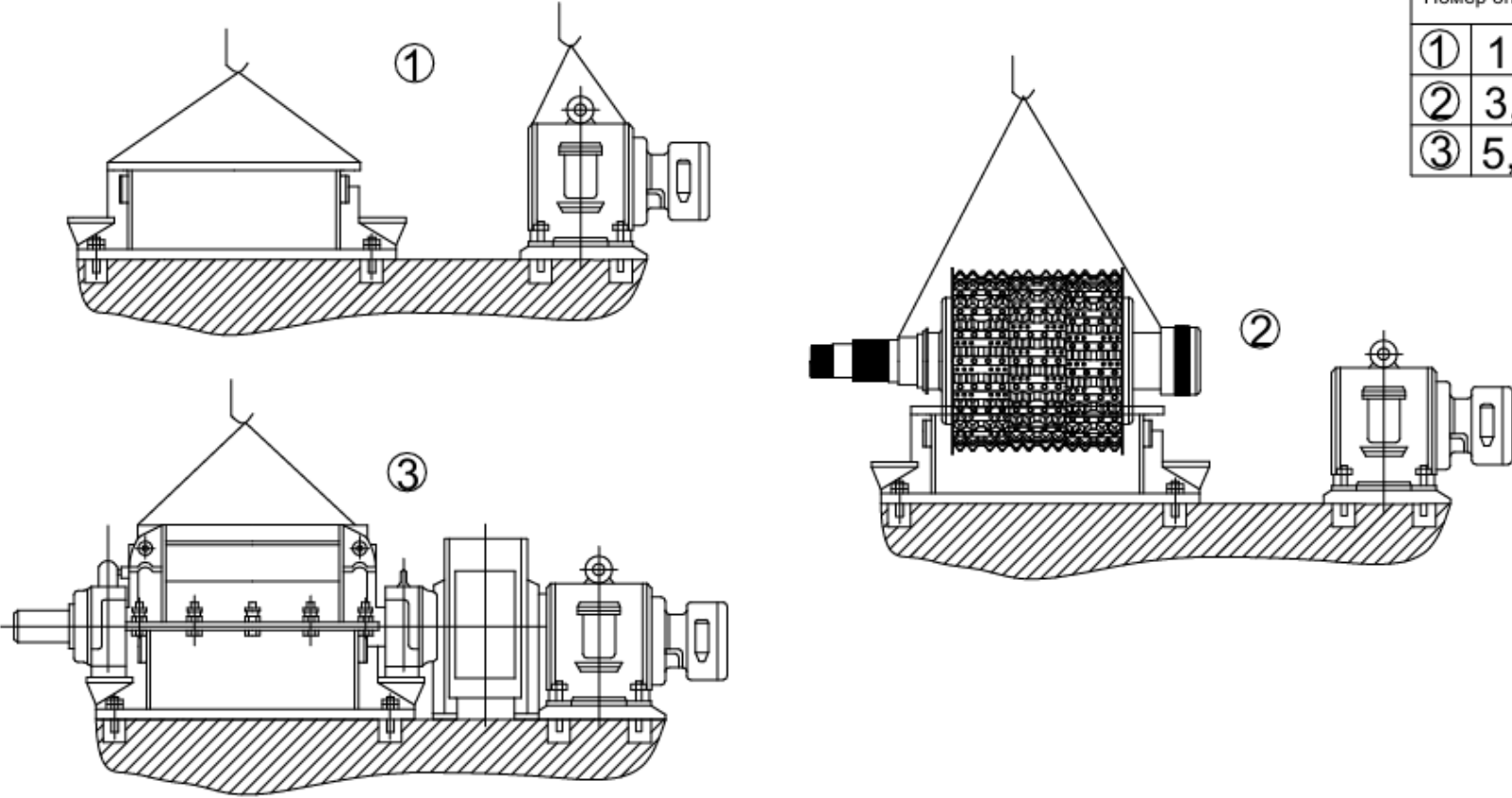
[illegible]

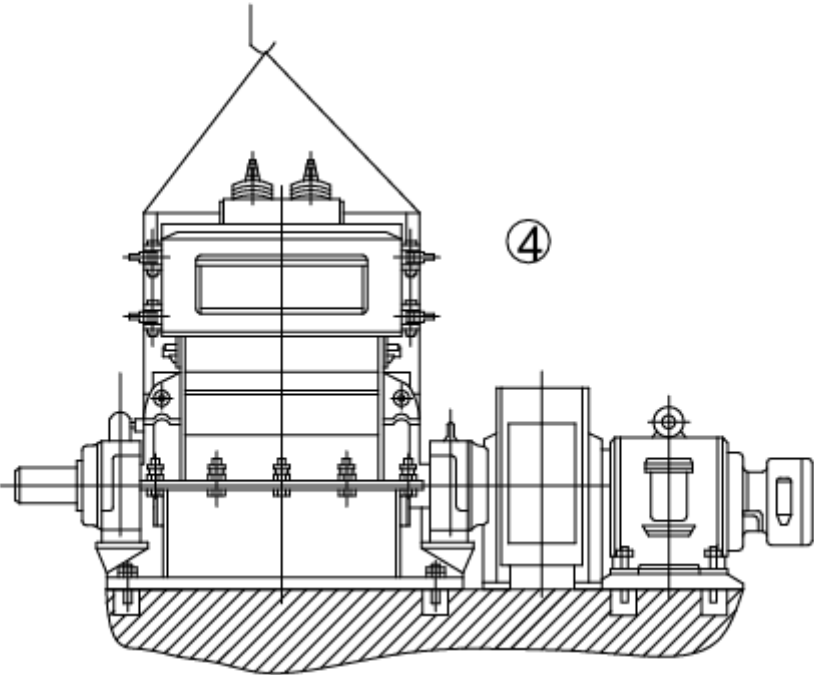
[illegible]

6.3 План розміщення фундаментних болтів

Карта ескізів										Номер операції				
План розміщення фундаментних болтів														
										Розроб. Арк. Зм. Аркуш Недокумента Підпис Дата Зм. Аркуш Недокумента Підпис Дата Н.контр				

6.4 Карта ескізів монтажу роторної дробарки

Карта ескізів														
										Номер операції				
										①	1,2,8			
										②	3,4,9			
										③	5,6			
										Розроб.				
										Арк.				
										Аркушів				
Зм.	Аркуш	Недокумента	Підпис	Дата	Зм.	Аркуш	Недокумента	Підпис	Дата	Н.контр				

Карта ескізів														
					Номер операції									
					④ 7,8									
														
											Розроб.			Арк.
														Аркушів
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата	Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата	Н.контр				

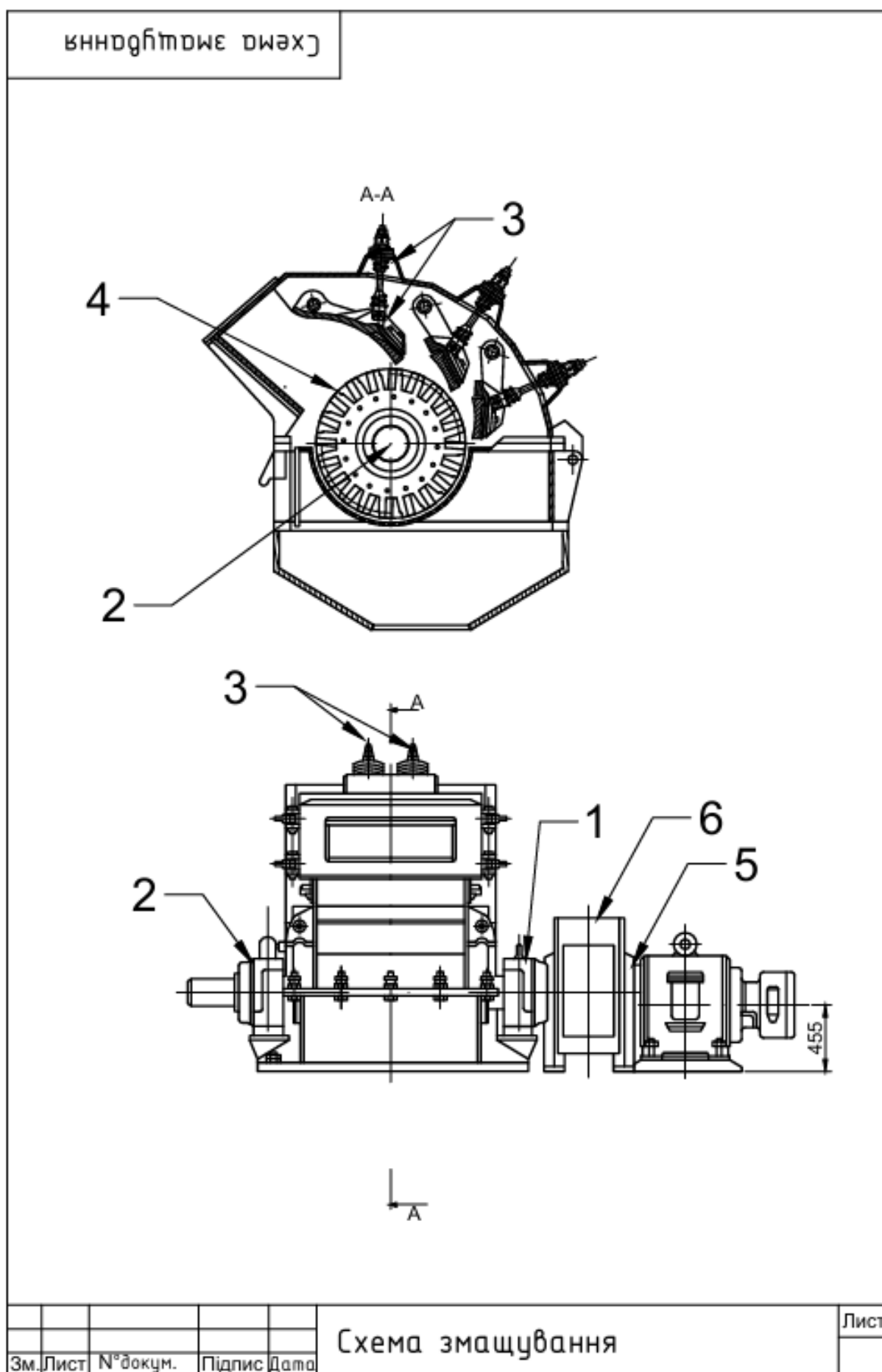
6.5 Операційна карта збирання дробарки

[illegible]

№ докум. п.		Підпис і дата		№ докум. п.		Підпис і дата		ГОСТ 3.1407 – 74 Форма 1а									
№ п/п	Зміст переходу	Технологічний режим	К-ть	Прийняття (код, та найменування)	Інструмент (код, та найменування)	Тр.	Хв.										
3	Застропувати, підняти, встановити вал ротора 3 у підшипникові вузли 10, закріпити кришками 11.	Вал ротора 3	1	Кран підйомний	Ключ S=17												
		Підшипниковий вузол 10	2	Q=3t													
		Кришка підшипника 11	2	Трос а=16мм													
		Болт 19	16														
		Гайка 20	16														
		Шайба 21	16														
4	Застропувати, підняти, встановити ротор 3 на вал.	Ротор 3	1	Кран підйомний	Молоток												
	Встановити молотки 4 та закріпити кріпленнями 19,	Молоток 4	40	Q=2t	Викрутка												
	зафіксувати шпінтами 28.	Кріплення 19	80	Трос а=10мм													
		Шпінт 23	20														
5	Встановити відбійні плити 12 та механізм регулювання зазору у корпус, закріпити болтами.	Відбійна плита 12	2	Кран підйомний	Ключ S=17												
		Механізм регулювання	1	Q=1t													
				Трос а=10мм													
6	Встановити решітку 5 у розвантажувальну зону корпусу.	Решітка 5	1	Кран підйомний	Монтажні пристосування												
				Q=0,5t													
				Трос а=10мм													
7	Закріпити кришку корпусу 13 болтами 19, шайбами 21,	Кришка корпусу 13	1		Гайковерт												
Вим. Арк. № докум. Підпис Дата Вим. Арк. № докум. Підпис Дата Вим. Лист № докум. Підп. Дата																	

Інв. № дубл.		Підпис і дата		Вза-інв. №		Інв. № дубл.		Підпис і дата		ГОСТ 3.1407 – 74 Форма 1а									
Номер переходу	Зміст переходу								Технологічний режим		К-ть	Прийомування (код, та найменування)	Інструмент (код, та найменування)	Тр. хв					
	гайками 20.								Болт 19		12								
									Шайба 21		12								
									Гайка 20		12								
8	Приєднати завантажувальний бункер 6 до корпусу, закріпити болтами 16, гайками 17, шайбами 18.								Бункер 6		1	Кран підйомний	Ключ S=13						
									Болт 16		8	Q=1m							
									Гайка 17		8	Трос а=10мм							
									Шайба 18		8								
9	Застропити, підняти, встановити електродвигун 7 на плиту кріплення 15, закріпити болтами.								Електродвигун 7		1	Кран підйомний	Ключ S=19						
									Плита кріплення 15		1	Q=1m							
												Трос а=10мм							
10	Встановити ведучий шків 8 на вал двигуна, ведений шків 9 на вал ротора, закріпити шпонками 24 та гайками.								Шків ведучий 8		1		Молоток						
									Шків ведений 9		1		Ключ						
									Шпонка 24		2								
11	Напрягти клинові паси на шків, відрегулювати натяг.																		
Вим. Арк. № докум. Підпис Дата Вим. Арк. № докум. Підпис Дата Вим. Лист № докум. Підпис Дата Арк. 3																			

6.6 Схема змащення дробарки



6.7 Таблиця змащування

№ п/п	Змащуванні місця	Кількість точок змащення	Змазка	Метод змащуванн я	Періодичніс ть змащуван ня
1	Система змащування та герметизації ротора	4	Масло “Індустріальне- 20”	Циркуляційн асистема	Постійно під час роботи
2	Підшипники основного валу: а) радіальні б) упорні	2 2	АК-15 вліткуАК- 10 взимку	Заливка	2 рази/місяць
3	Відбійні плити та регулювальні механізми	4	УС-2 (солідол)	Обмащенн я	1 раз/зміну
4	Шарнірні з'єднання молотків (бил)	40	УС-2 (солідол)	Обмащенн я	1 раз/тижден ь
5	Підшипники електродвигуна	2	УС-2	Набивка	1 раз/6 місяців
6	Редуктор	1	Трансмійсна олива ТАп- 15В	Заливка	1 раз/місяць

7 СТАРТАП ПРОЕКТ ПО ЛІНІЇ ПЕРЕРОБКИ ВТОРИННОГО ПОЛІМЕРУ

7.1 Опис ідеї проєкту

«Рецикл-тех» --- це сучасний стартап, що займається повним циклом переробки полімерних відходів, перетворюючи їх на технічну та будівельну сировину. Це значно знижує обсяги сміття та скорочує використання первинних ресурсів. Основою технологій є передове обладнання для подрібнення, миття та екструзії, яке відповідає європейським екологічним стандартам переробки.

Цей підхід не лише мінімізує негативний вплив на довкілля, але й створює економічно привабливу альтернативу для виробників за рахунок заміни первинної сировини. Продукція компанії активно використовується у виготовленні будівельних матеріалів, таких як полімерний бордюр, тротуарна плитка чи композитні вироби, а також у виробництві пакування та предметів побуту. Місія «Рецикл-тех» полягає у сприянні розвитку циркулярної економіки в Україні та перетворенні сфери переробки відходів на високотехнологічну та інноваційну галузь.

Комерціалізація ідеї реалізується шляхом створення власного замкнутого виробничого циклу. Основний акцент робиться на масовому виготовленні вторинної полімерної гранули з її подальшим продажем промисловим споживачам. На відміну від моделей, що ґрунтуються на наданні послуг або передачі технологій, цей підхід дозволяє компанії зберігати повний контроль як над якістю кінцевого продукту, так і над ефективністю всього процесу створення доданої вартості.

Таблиця 7.1. Опис ідеї стартап-проєкту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Відкриття заводу з переробки пластикових відходів у чисту гранулу для	Будівельна індустрія	Зниження собівартості будівельних матеріалів (тротуарна плитка, композити)

подальшого використання у промисловості.	Виробництво упаковки та товарів народного споживання	Забезпечення екологічно чистою та економічно вигідною сировиною
	Розвиток переробної галузі	Створення нових робочих місць та сприяння розвитку циркулярної економіки в регіоні.

Рішення «Рецикл-Тех» може знайти широке застосування у будівельній галузі та виробництві товарів масового споживання, активно сприяючи впровадженню принципів циркулярної економіки й суттєвому скороченню обсягів полімерних відходів.

Проект гармонійно поєднує екологічну місію зі ступенем економічної вигоди, пропонуючи не лише сировину, а й комплексне рішення для переходу до моделі циркулярної економіки. Це дозволяє значно зменшити екологічний вплив виробництв і водночас забезпечити стабільність постачань в умовах глобальної нестабільності та зростання вартості первинних матеріалів.

Логотип проекту втілює дві ключові ідеї: переробку та технології. Нижні лінії, що нагадують контури електронної схеми, символізують технічний прогрес і сучасний підхід. Їх контур створює замкнуту форму, яка відображає концепцію циклічного використання ресурсів та сталого розвитку.

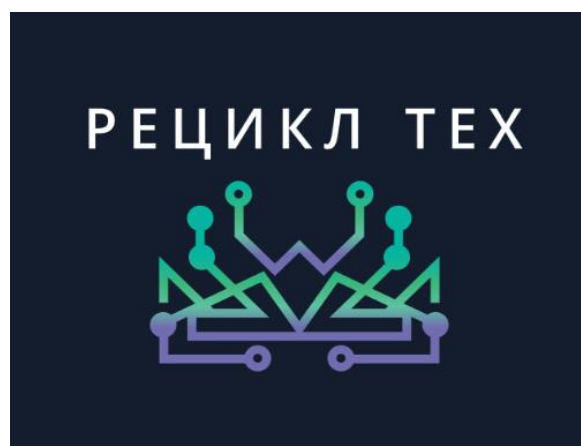


Рисунок 7.1 – Логотип

Зелено-фіолетовий градієнт символізує зв'язок з екологією та інноваціями, а простий, чіткий шрифт робить назву легшою для розуміння та надає логотипу сучасний вигляд.

Щоб об'єктивно оцінити потенціал проекту, потрібно порівняти його основні ознаки з тими, що мають конкуренти.

Наступна таблиця допоможе виділити сильні (S), слабкі (W) та нейтральні (N) сторони.

Таблиця 7.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко – економічні характеристик и ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W	N	S
		Мій проект	«Укр папір»	«Еко полімер»	«Грин Пласт»			
1	Чистота гранули (рівень забруднень), %	<0.5%	1.5-2.5%	0.8-1.2%	2.0-3.0%			+
2	Стабільність технічних характеристик (коефіцієнт варіації)	Висока (CV<5%)	Низька (CV>15%)	Середня (CV 8- 12%)	Низька (CV>15%)			+
3	Широта асортименту	Широкий асортимент гранул різних полімерів (ПЕТ, ПЕВП, ПП) та	Вузька спеціалізація на 1-2 видах полімерів.	Вузька спеціалізація на 1-2 видах полімерів.	Стандартний набір продукції для будіндустрії, відсутність			+

		різного ступеня очищення.			преміум- сегменту.			
4	Продуктивність лінії, кг/год	2000-2500	1500-1800	1000-1200	800-1000			+
5	Рівень технологій та автоматизації	Використа ння сучасного європейсь кого та вітчизняно го обладнанн я з автоматизо ваними лініями сортуванн я, миття та грануляції.	Обмежені виробничі потужності, обладнання середнього рівня.	Обмежені виробничі потужност і, обладнанн я середнього рівня.	Стандартн е обладнанн я, відсутність глибокої переробки «важких» фракцій.			+
6	Вартість обробки за одиницю, грн/кг (орієнтовно)	15-18	10-12	12-14	8-10	+		
7	Екологічна сертифікація	Прозора логістика та видача клієнтам сертифікат	Часткова сертифікаці я, обмежена інформація про	Часткова сертифікац ія, обмежена інформаці	Робота переважно з несортова ними			+

		ів на утилізацію відходів.	походження сировини.	я про походженн я сировини.	відходами, що ускладнює сертифікац ію.			
8	Початкові інвестиції	Потреба у значних капіталовк ладеннях у сучасне обладнанн я та запуск виробницт ва.	Інвестиції в основному направлені на підтримку існуючих потужносте й.	Інвестиції в основному направлені на підтримку існуючих потужност ей.	Менші вимоги до інвестицій через використа ння більш простих технологій .	+		
9	Цінова конкуренто- спроможність	Вища собівартіст ь через якісну сировину та сучасне обладнанн я.	Ціни залежать від спеціалізаці ї, можуть бути конкуренто спроможни ми.	Ціни залежать від спеціаліза ції, можуть бути конкурент оспромож ними.	Низькі ціни як основна конкурент на перевага.	+		

Основним слабким місцем можна вважати високу вартість початкових інвестицій у сучасне обладнання для переробки та сортування, що призводить до того, що собівартість готової продукції виявляється вищою порівняно з конкурентами, які використовують старе обладнання та працюють з менш якісною сировиною.

Сильною стороною є висока та стабільна якість вторинної полімерної гранули, яку досягають завдяки багатоступінчастій системі очищення та суворому контролю якості на всіх етапах виробництва. Це забезпечує надійність та довговічність будівельних матеріалів та виробів, що виготовляються з нашої сировини. Також значною перевагою є широка асортиментна лінійка продукції та можливість повного забезпечення клієнтів екологічною сертифікацією, яка відповідає сучасним вимогам сталості.

7.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Аналіз технологічної частини підтверджує, що ідея проекту повністю реалізована на сучасному рівні промислового розвитку. Пропонований виробничий процес не вимагає створення принципово нових технологій, а використовує комерційно доступні та перевірені промислові рішення. Головним завданням є їх ефективна інтеграція в єдину спільну лінію. Усі етапи — від початкового сортування сировини до остаточного пакування гранули — є типовими для галузі переробки полімерів. Це значно зменшує технологічні та інвестиційні ризики.

Таблиця 7.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Технологія	Ідея використання	Наявність технології	Доступність технологій
1	Технологія сортування та подрібнення полімерних відходів	Попередня підготовка сировини: розділення за типами полімерів, видалення сторонніх включень, подрібнення до необхідної фракції	Так	Висока доступність (вітчизняні та імпорتنі установки)

		для подальшої переробки		
2	Технологія інтенсивного миття та сепарації	Очищення подрібнених полімерів від забруднень, етикеток та клейових основ з використанням флотації та центрифугування для отримання чистої сировини	Так	Середня доступність (переважно імпордне обладнання)
3	Технологія агломерації та грануляції	Перетворення очищених полімерних відходів у вторинну гранулу високої якості з заданими технічними характеристиками для подальшого використання у виробництві	Так	Середня доступність (наявні вітчизняні аналоги, але європейське обладнання вищої якості)
4	Технологія фільтрації розплаву	Додаткове очищення розплаву полімеру від мікрочастинок забруднень для отримання гранули високої якості,	Так	Обмежена доступність (високотехнологічне імпордне обладнання)

		придатної для food-grade застосувань		
--	--	--------------------------------------	--	--

Технологічна основа проекту є реально виконуваною, оскільки всі необхідні кроки переробки полімерних відходів — від сортування та подрібнення до миття та грануляції — вже розроблені та доступні на ринку. Як видно з таблиці, базові процеси, такі як сортування та подрібнення, мають високий рівень доступності як на вітчизняному, так і на імпортному ринках, що дозволяє отримати початкову технологічну основу. Більш складні технології, наприклад, інтенсивне миття з використанням флотації та сепарації, а також агломерація та грануляція, також є доступними, хоча їх реалізація може вимагати спеціалізованого обладнання, яке переважно виготовляється за кордоном. Найскладніший і новаторський елемент — технологія фільтрації розплаву для отримання грануляції високої якості, прийнятної для харчової промисловості — також технічно реалізований, що підтверджує можливість виробництва продукту преміум-класу. Отже, проект не потребує створення принципово нових технологій, а використовує вдале поєднання та оптимізацію існуючих промислових рішень, що значно зменшує ризики та забезпечує прогнозований початок впровадження.

7.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Для проекту "Рецикл-Тех", який присвячений переробці полімерних відходів, аналіз ринку дуже важливий, щоб зрозуміти, чи зможе він існувати. Сучасний ринок змінюється під впливом сильних тенденцій циркулярної економіки, ускладнення екологічних законів, зокрема під час євроінтеграції, та зростання попиту на вторинну сировину з боку будівництва та виробництва.

Головними факторами, які підтримують стартап, є: законодавчі вимоги щодо збільшення обсягів переробки, державна підтримка цієї галузі та зростання "зелених" інвестицій.

Таблиця 7.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5-7 великих компаній на національному рівні (Укрпапір, Екополімер, ГринПласт тощо) та численні регіональні переробники
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	Орієнтовно 2-3 млрд грн/рік на ринку вторинної полімерної сировини в Україні
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Високі капітальні витрати на обладнання; технологічні бар'єри; необхідність сертифікації; конкуренція з великими гравцями
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відповідність стандартам; екологічна сертифікація; технічні регламенти для експорту в ЄС
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	20-35% для якісної переробки; до 50% для спеціалізованої продукції (food-grade)

Аналіз основних показників ринку показує, що на Україні існує стабільний та постійно розвиваючийся ринок вторинної полімерної сировини. Ринок утворюється під впливом змін у законодавстві та екологічних тенденцій. Незважаючи на те, що для входу на ринок є певні перешкоди, наприклад, високі

витрати на капітал та технічні вимоги, ринок пропонує хорошу прибутковість, особливо для якісних і спеціалізованих товарів. Це створює добрий шанс для стартапів, здатних надати високий рівень якості та сертифікації.

Розуміння наших майбутніх клієнтів є ключовим при створенні правильної пропозиції.

Наступна таблиця розглядає потреби та поведінку різних груп потенційних покупців.

Таблиця 7.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Економічна ефективність	Великі та середні виробники будівельних матеріалів	Головний фактор — ціна та стабільність поставок. Робота з великими обсягами (оптові закупівлі). Рішення приймаються технологом або закупівельником на основі технічного завдання.	Висока та стабільна якість, відповідність технічним регламентам (міцність, розмір гранул, чистота).
2	Відповідність екологічним стандартам	Виробники упаковки та відповідальні бренди	«Зелений» імідж та законодавство (вимоги до вмісту вторинної сировини). Менш	Сертифікація якості можливість traceability (прослідковуваність походження),

		споживчих товарів	чутливі до ціни, більше — до сертифікації та походження сировини. Рішення можуть приймати маркетингологи разом із технологами.	стабільність кольору та властивостей.
3	Організація замкнутого циклу	Промислові підприємства, що генерують полімерні відходи	Законодавчий тиск щодо утилізації відходів, економічна доцільність. Шукають комплексного партнера «під ключ». Рішення приймаються на рівні керівництва з фінансовим та юридичним обґрунтуванням.	Сировина, яку можна повторно використати у власному виробництві або реалізувати

Аналіз можливих покупців показує, що їхні потреби та умови прийняття рішень відрізняються. Це дозволяє «Рецикл-Тех» створювати різні способи комунікації та пропонувати різні види цінності: для будівельників — звертати увагу на технічні показники та витрати; для «зелених» брендів — на сертифікації та екологічному іміджі; для промислових виробників відходів — на повному партнерстві «під ключ». Таке розуміння є основою для ефективного вибору аудиторії та створення довгострокових стосунків.

Для повноцінного аналізу ринку потрібно визначити можливі загрози, з якими може зустрітися проект, та запропонувати способи на них реагувати.

Таблиця 7.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактори	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція з боку великих переробників	Значна конкуренція від великих гравців ринку	Акцент на якості продукції, спеціалізація на преміум-сегменті, розвиток унікальних видів гранули (food-grade).
2	Зміни в екологічному законодавстві	Зміни в правовому середовищі, що можуть вплинути на виробництво, збут продукції або вимоги до переробки відходів.	Активний моніторинг законодавчих змін, участь в робочих групах, адаптація виробничих процесів до нових вимог.
3	Коливання цін на первинну сировину	Різке зниження цін на первинну полімерну сировину	Розвиток довгострокових контрактів з клієнтами, підвищення

			ефективності виробництва для зниження собівартості.
4	Технологічні ризики	Вихід з ладу обладнання, невідповідність технологій сучасним вимогам	Регулярне технічне обслуговування, створення резервного фонду, впровадження системи контролю якості.
5	Нестабільність постачань сировини	Нерегулярні надходження та коливання якості вхідних полімерних відходів	Диверсифікація джерел сировини, створення запасів, впровадження гнучкої системи сортування.
6	Економічна нестабільність	Зменшення інвестиційної активності у будівельній та виробничій галузях, зниження попиту на полімерну сировину.	Розвиток гнучкої цінової політики, пошук нових ринків збуту, оптимізація виробничих витрат.

Сучасне українське бізнес-середовище має особливості, пов'язані з впливом військових та енергетичних обставин, які вважаються важливою загрозою. Можливі припинення електропостачання, пошкодження інфраструктури, проблеми з логістикою та мобілізація працівників. Для цього потрібно створити плани бізнес-безпеки, інвестувати в альтернативні джерела енергії та розробляти гнучкі логістичні системи.

При цьому існують сильні сторони, які створюють хороших умов для розвитку проекту.

Таблиця 7.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактори	Зміст можливостей
1	Зростання попиту на вторинну сировину	Збільшення обсягів продажу завдяки зростанню попиту на екологічні матеріали та вторинну полімерну сировину з боку будівельної та виробничої галузей.
2	Технологічні інновації	Використання передових технологій сортування, миття та грануляції для підвищення якості продукції та розширення асортименту.
3	Державна підтримка переробки	Отримання грантів, податкових пільг або іншої підтримки для розвитку переробної промисловості та впровадження екологічних технологій.
4	Підвищення екологічної свідомості	Збільшення обізнаності про проблему пластикових відходів серед споживачів та бізнесу, що стимулює попит на перероблені матеріали.
5	Євроінтеграційні процеси	Розширення ринків збуту шляхом експорту продукції до країн ЄС, де існують жорсткі вимоги щодо використання вторинної сировини.

6	Розвиток циркулярної економіки	Можливість участі в муніципальних та корпоративних програмах з переробки відходів, що забезпечить стабільні джерела сировини.
---	--------------------------------	---

Ретельне вивчення можливостей показує, що проєкт "Рецикл-Тех" має добрі шанси на успішне впровадження. Особливо важливі такі аспекти, як зростання попиту на вторинні матеріали з полімерів, використання нових технологій переробки та можливість розглянути компанію як лідера в сфері циркулярної економіки. Це створює добру основу для розвитку та збільшення конкурентоздатності. Підтримка держави у справах щодо утилізації відходів та розширення євроінтеграційних процесів дає додаткові шанси на розширення виробництва та відкриття нових ринків.

Використання моделі п'яти сил Майкла Портера дозволяє чітко оцінити стан конкурентного середовища.

Таблиця 7.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
монополістична	На ринку присутні численні конкуренти, що пропонують диференційовану продукцію (вторинну гранулу різної якості та спеціалізації)	Необхідно постійно підвищувати якість продукції, розширювати асортимент та розвивати унікальні конкурентні переваги
національний	Основна конкуренція відбувається в межах України, але з	Слід розвивати мережу дистрибуції по всій країні, одночасно

	урахуванням можливості експорту в ЄС	вивчаючи можливості експорту в суміжні регіони
внутрішньогалузева	Конкуренція між підприємствами, що спеціалізуються на переробці полімерних відходів	Важливо розрізнятися серед інших переробників через якість, сервіс та спеціалізацію на певних видах полімерів
товарно-видова	Конкуренція між різними видами вторинної полімерної гранули (ПЕТ, ПЕВП, ПП тощо)	Розробляти спеціалізовані види гранули під конкретні потреби клієнтів (наприклад, food-grade)
переважно нецінова	Ключові фактори: якість сировини, стабільність поставок, екологічна сертифікація, технологічні переваги	Акцент у маркетингу на екологічних перевагах, якості продукції та відповідності міжнародним стандартам
марочна	На ринку формуються бренди переробників, що асоціюються з певним рівнем якості	Створення сильного бренду "Рецикл-Тех", асоційованого з високоякісною та сертифікованою сировиною

Стартап "Рецикл-Тех", який працює в умовах монополістичної конкуренції, є унікальним українським підприємством, яке змагається на ринку переробки полімерів завдяки різницевій продукції. Він набуває переваг перед іншими переробниками через нецінові фактори, такі як висока якість гранули, сертифікація

на екологічність і інноваційні технології очищення. Підприємство веде інтенсивну конкуренцію за маркою, що допомагає створити унікальне екологічне відображення на ринку вторинної сировини і привертає увагу клієнтів з будівельної та виробничої галузей, забезпечуючи конкурентоспроможність у вибраному преміум-сегменті.

Для кращого розуміння своїх переваг та слабких місць проводився порівняльний аналіз ключових факторів успіху на ринку вторинної сировини.

Таблиця 7.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	1. «Укрпапір» 2. «Екополімер» 3. «ГринПласт» 4. Регіональні малі переробники	Бар'єри входження: • Високі капітальні потреби • великі інвестиції в обладнання • Технологічні: необхідні знання та дозволи. • Доступ до сировини: потрібно налагодити	Фактори сили: • Обмежена кількість великих сортувальних станцій. • Можливість диктувати ціну та якість відсортованої сировини. • Важливість довгострокових контрактів для стабільності.	Фактори сили: • Висока конкуренція серед постачальників сировини дає вибір. • Великі клієнти (виробники) можуть вимагати знижок. • Чутливість до ціни у бюджетному сегменті.	Фактори загроз: • Первинна полімерна гранула: основний замінник, ціна на який може різко падати. • Біопластики та інші матеріали (дерево, метал, скло) у конкретних застосуваннях.

		логістику збору відходів. • Економія на масштабі: існуючі гравці вже мають переваги.		• Вимоги до якості та сертифікації у преміум-сегменті.	• Експорт дешевої вторинної сировини з інших країн.
Висновки:	Інтенсивність боротьби висока. Конкуренція ведеться за рахунок ціни, якості та доступу до сировини. Великі гравці мають переваги масштабу, нові — можуть конкурувати через	Можливість входу в ринок обмежені, але вони є. Потенційними конкурентами можуть стати: • Інвестори, що будують нові потужності (термін виходу: 2-3 роки). • Великі виробники, що	Постачальники мають помірну силу. Їх вплив можна зменшити через диверсифікацію джерел, створення власних пунктів прийому або укладання довгострокових партнерських угод.	Сила клієнтів залежить від сегменту. У сегменті будматеріалів сила висока (ціновий тиск). У преміум-сегменті (food-grade, екологічні бренди) сила менша, оскільки вони готові платити за якість та	Основна загроза — коливання цін на первинну сировину. Загроза з боку біопластиків поки що низька через ціну. Мінімізувати загрози можна через фокус на якості, що недоступна первинній сировині за

	спеціалізація на якісній продукції.	інтегрують переробку у свій ланцюжок (backward integration).		сертифікацію.	такою ціною, та формуванні довгострокових контрактів з клієнтами.
--	-------------------------------------	--	--	---------------	---

Для визначення ключових аспектів, які формують переваги на ринку вторинної сировини, було виділено низку критичних факторів конкурентоспроможності. Далі наведено їх детальне обґрунтування, що пояснює, чому саме ці характеристики є вирішальними для порівняння проекту «Рецикл-Тех» з іншими учасниками ринку.

Таблиця 7.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (визначення характеристики, що робить фактор важливим для порівняння конкурентних проектів)
1	Якість гранули (чистота)	Рівень забруднень (<0.5%) є критичним для виробників преміум-продукції (food-grade), гарантує стабільність техпроцесів клієнта та високу якість їхнього кінцевого продукту. Без цього неможливе входження у високомаржинальні сегменти.
2	Стабільність властивостей гранули (однорідність)	Низький коефіцієнт варіації (<5%) забезпечує передбачуваність у виробництві клієнта, знижує кількість шлюбу, зменшує витрати на переналагодження обладнання та формує довіру до постачальника.

3	Технологічний рівень та інноваційність обладнання	Сучасне, автоматизоване європейське обладнання безпосередньо впливає на якість та повторюваність продукту, енергоефективність (0.25 кВт/кг) та загальну продуктивність лінії, знижуючи довгострокові операційні витрати.
4	Рівень екологічної сертифікації (EN 15343, «зелені» сертифікати)	Наявність міжнародних сертифікатів є обов'язковою вимогою для експорту в ЄС та роботи з відповідальними брендами. Дозволяє клієнтам легітимізувати використання вторинної сировини у своїй ESG-звітності та покращити екологічний імідж.
5	Цінова конкурентоспроможність для клієнта (співвідношення ціна/якість)	У преміум-сегменті клієнти оцінюють загальну економічну вигоду, а не лише абсолютну ціну. Співвідношення має демонструвати значну економію порівняно з первинною сировиною при забезпеченні відповідної якості.
6	Гнучкість та комплексність сервісу (консультації, гарантії, логістика)	Комплексний сервіс формує додаткову цінність, зменшує транзакційні витрати клієнта, сприяє довгостроковому партнерству та є конкурентною перевагою у B2-секторі, де важливі надійність і підтримка.
7	Широта асортименту (наявність різних типів полімерів, food-grade)	Широкий асортимент дозволяє закривати більше потреб клієнтів, пропонувати комплексні поставки та займати високомаржинальні ніші (наприклад, food-grade), збільшуючи загальну прибутковість і

		захищаючи від коливань попиту на окремі види полімерів.
--	--	---

Аналіз ключових факторів конкурентоспроможності підтверджує стратегічний фокус проекту «Рецикл-Тех» на якості та спеціалізації. Основними джерелами його конкурентної переваги є:

- Висока якість та стабільність продукту, що відкриває доступ до преміум- та food-сегментів;
- Сучасне обладнання та повна сертифікація, які забезпечують технічну легітимність для роботи з відповідальними брендами та на європейському ринку;
- Комплексний підхід, що включає широкий асортимент і розвинутий сервіс для гнучкої роботи з клієнтами.

Ці сильні сторони дозволяють компанії ефективно конкурувати в ніші високоякісної вторинної сировини, де ключовими критеріями вибору є не мінімальна ціна, а гарантована технічна надійність, дотримання стандартів та додана цінність у вигляді сервісу. Це обґрунтовує стратегію диференціації та лідерства в окремих сегментах ринку.

Щодо кількісної оцінки конкурентної позиції «Рецикл-Тех» щодо ключових факторів успіху на ринку було проведено порівняльне бальне оцінювання. Це дозволило зрозуміти, в яких областях проект має переваги, а в яких потрібно розвиватися.

Таблиця 7.11. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з ... (назва підприємства)						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Якість гранули (чистота)	18		-2					
2	Стабільність властивостей гранули (однорідність)	17	-3						
3	Технологічний рівень	16		-2					
4	Рівень екологічної сертифікації (EN 15343, "зелені" сертифікати)	17			-1				

5	Цінова конкурентоспроможність для клієнта (співвідношення ціна/якість)	12						+2	
6	Широта асортименту (наявність різних типів полімерів, food-grade)	14		-2					

Сильні сторони проекту:

- Перевага за якістю продукції та її стабільністю (високі бали важливості та негативні оцінки конкурентів).
- Лідерство в технологіях, інноваціях та екологічній сертифікації, що підтверджує обрану стратегію диференціації.
- Широкий асортимент та комплексний сервіс, що дозволяє закривати більше потреб клієнтів порівняно з конкурентами.

Слабкі сторони проекту:

- Низька цінова конкурентоспроможність у порівнянні з усіма основними конкурентами. Це прямий наслідок високих витрат на якісну сировину та сучасне обладнання.
- Відсутність економії на масштабі та історичної присутності на ринку, що може впливати на довіру окремих консервативних клієнтів на початковому етапі.

Таблиця 7.12. SWOT-аналіз стартапу "Рецикл-Тех"

Сильні сторони	Слабкі сторони
1. Висока та стабільна якість вторинної гранули з унікальними технічними характеристиками (чистота, однорідність).	1. Висока собівартість продукції та відсутність цінової конкурентоспроможності на початковому етапі.
2. Сучасне обладнання з системою глибокого очищення та високий технологічний рівень.	2. Значні початкові інвестиції та висока вартість капіталу.
3. Повна екологічна сертифікація та відповідність стандартам ЄС.	3. Відсутність історичної репутації та налагодженої мережі збуту на старті.
	4. Залежність від якісних джерел сировини.

4. Широкий асортимент продукції, включаючи food-grade гранулу.	
5. Комплексний сервіс та клієнтоорієнтованість.	
Можливості 1. Зростання попиту на вторинну сировину з боку європейських ринків та відповідальних брендів. 2. Державна підтримка переробної промисловості та "зелених" технологій. 3. Можливість створення власного сильного бренду в преміум-сегменті. 4. Розвиток циркулярної економіки та корпоративних програм переробки. 5. Євроінтеграційні процеси та спрощення експорту.	Загрози 1. Коливання цін на первинну полімерну сировину. 2. Поява нових технологій переробки у конкурентів. 3. Зміни в законодавстві щодо експорту вторсировини або стандартів переробки. 4. Військові та енергетичні ризики в Україні (перебої з енергією, логістикою, кадрами). 5. Потенційне зниження інвестиційної активності в цільових секторах економіки.

На основі проведеної аналітики SWOT для проекту "Рецикл-Тех" визначено стратегії розвитку, які дозволяють компанії усунути недоліки, розкрити свої сильні сторони, скористатися можливостями та зменшити вплив загроз. Такий підхід спрямований на ефективне використання виробничих засобів та технологій, щоб компанія могла легко адаптуватися до змін у зовнішньому середовищі, забезпечуючи їй стратегічну вигоду на ринку переробки полімерних відходів та виробництва вторинної сировини. Це дозволить компанії добре представити себе на українському та європейському ринках циркулярної економіки.

Перед вибором кінцевої стратегії розглянуто кілька варіантів входження на ринок.

Таблиця 7.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап проекту

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки	Опис і строки реалізації
1	Розширення асортименту продукції	Розробка нових видів вторинної гранули (food-grade, спеціалізовані полімерні композиції) протягом 6-8 місяців. Поетапне впровадження на ринок протягом наступного року.
2	Запуск масштабної маркетингової кампанії	Розробка рекламних матеріалів та запуск цілеспрямованої кампанії протягом 3-4 місяців. Спрямування на будівельні компанії та виробників полімерної продукції через спеціалізовані майданчики.
3	Укладання стратегічних партнерств з переробниками відходів	Проведення переговорів та укладення довгострокових угод з міськими комунальними підприємствами та сортувальними станціями протягом 6-12 місяців. Забезпечення стабільних поставок сировини.
4	Вдосконалення сервісу та підтримки клієнтів	Створення системи технічної підтримки клієнтів протягом 4-6 місяців. Впровадження послуг з консультування щодо вибору сировини та надання сертифікатів якості.
5	Розвиток експортних дистриб'юційних каналів	Пошук та укладення договорів з європейськими дистриб'юторами протягом 8-12 місяців. Запуск експортних поставок вторинної гранули на ринки ЄС протягом наступного року.

Стратегія «Рецикл-Тех» може бути описана як адаптивна диференціація з елементами нішевого лідерства. Компанія не змагається напряду з великими постачальниками, а розвиває свою власну, добре захищену нішу. Важливими для неї є якість, стандарти та довіра, а не мінімальні ціни. Такий підхід допомагає уникнути руйнівної цінової боротьби, створити стабільних клієнтів, які вірні компанії, та забезпечити вищу прибутковість. У довгостроковій перспективі ця ніша може стати найбільш перспективною у світлі зростання екологічних вимог.

7.4 Розробка ринкової стратегії проекту

Першим кроком у створенні стратегії є визначення тих груп людей, на яких будуть спрямовані основні зусилля.

Таблиця 7.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Цільова група потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах сегменту	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Виробники будівельних матеріалів	Висока	Великий	Висока	Середня
2	Виробники полімерної упаковки	Висока	Великий	Середня	Середня
3	Промислові підприємства (виробники побутових товарів)	Середня	Середній	Низька	Легка

4	Дилерські та дистриб'юторські компанії	Висока	Середній	Середня	Легка
5	Комунальні підприємства з переробки відходів	Середня	Середній	Низька	Легка

На основі аналізу вибрано сегмент для старту: відповідальні бренди споживчих товарів та виробники преміум-упаковки. Цей сегмент цінує якість, стабільність та екологічну чистоту, що підходить до наших основних переваг.

Відповідно до обраного сегменту та конкурентного середовища визначено основну стратегію розвитку — стратегію диференціації, яка зосереджена на якості, сертифікації та екологічній вартості.

Таблиця 7.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Створення власного повного виробничого циклу (від збору/сортування до випуску гранули) з фокусом на якість та сертифікацію	Спочатку охоплення вузького, але перспективного сегменту ринку — виробників, що потребують високоякісної та сертифікованої	1. Якість продукту: Стабільна, висока чистота гранули, відповідність міжнародним стандартам 2. Екологічна цінність: Сертифікація та можливість клієнтів	Проект уникає прямої цінової конкуренції в масовому сегменті. Замість цього він пропонує унікальну

	для виходу у преміум-сегмент.	вторинної сировини (напр., будівельні компанії з «зеленими» стандартами, виробники відповідальної упаковки). Після закріплення — поступове розширення на суміжні сегменти.	покращити власний екологічний імідж. 3. Технологічна перевага: Використання обладнання глибокого очищення для досягнення властивостей, близьких до первинної сировини. 4. Надійність: Гарантовані поставки як результат контролю над власним виробничим ланцюжком.	цінність (якість + екологічність + сертифікація) за конкурентну, але не найнижчу ціну. Це дозволяє зайняти міцну позицію в обраній ніші та створити стійку конкурентну перевагу, важку для копіювання.
--	-------------------------------	--	--	--

Ключовим елементом стратегії є створення чіткого позиціонування — це набір асоціацій, які має викликати проект у свідомості тих, хто його отримує.

Таблиця 7.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або	Чи буде компанія копіювати основні	Стратегія конкурентної поведінки
-------	--	---	------------------------------------	----------------------------------

		забирати існуючих у конкурентів?	характеристики товару конкурента, і які?	
1	Ні. Проект не є першопрохідцем на ринку переробки полімерних відходів в Україні. Ринок вже сформований та має усталених гравців (наприклад, «Укрпапір», «Екополімер»).	Буде виконуватися комбінований підхід. 1. Забирати існуючих клієнтів у конкурентів у сегменті якісної сировини. Багато виробників незадоволені нестабільністю якості від нинішніх постачальників. 2. Створювати нових споживачів серед виробників, які раніше не використовували вторинну сировину через	Компанія не буде сліпо копіювати конкурентів. Будеться запозичена лише базова технологічна схема (сортування-миття-грануляція), яка є стандартом галузі. Відмінності, що не копіюються, а покращуються: • Якість кінцевого продукту (рівень очищення, стабільність).	Проект уникає прямої цінової конкуренції з лідерами ринку. Замість копіювання їхньої масової дешевої продукції, пропонується кращий за якістю та сертифікацією товар для вимогливих клієнтів. Це дозволяє зайняти свою унікальну нішу («преміум» серед вторинної сировини) та конкурувати за рахунок

		сумніви в її якості, але зацікавлені в економії та екологічному іміджі.	- Рівень сертифікації (орієнтація на EN стандарти). - Комплекс сервісних послуг (консультації, сертифікати утилізації).	унікальної цінності, а не ціни.
--	--	---	--	---------------------------------

Стратегія, яку вибрали для «Рецикл-Тех», може бути названа адаптивною диференціацією з елементами нішевого лідерства. Компанія не бере прямої участі в боротьбі з великими гравцями на ринку, а створює свою власну, добре захищену нішу. У цій ніші найважливішими вважаються не мінімальна ціна, а якість, стандарти та довіра. Такий підхід допомагає уникнути руйнівної цінової конкуренції, забезпечує стабільний потік лояльних клієнтів та вищу рентабельність. У довгостроковій перспективі саме ця ніша може стати найперспективнішою, особливо у зв'язку з ростом екологічних вимог.

На основі обраної стратегії диференціації та аналізу потреб цільової аудиторії створюється кінцева стратегія позиціонування проекту «Рецикл-Тех». Позиціонування — це сукупність основних асоціацій, які мають залишитися в уяві клієнтів та партнерів, щоб виділити компанію серед конкурентів.

Таблиця 7.17. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентноспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного
-------	-------------------------------------	---------------------------	---	---

				проекту (три ключових)
1	- Якість та стабільність: Клієнти потребують сировини з передбачуваними технічними характеристиками (міцність, чистота, розмір). - Екологічна легітимність: Наявність сертифікатів (EN 15343), що підтверджують безпеку та відповідність стандартам. - Економічна вигода: Конкурентна ціна порівняно з первинним пластиком. - Надійність постачальника: Гарантовані	Стратегія диференціації з фокусом на якість, сертифікацію та екологічну цінність.	1. Якість продукту: Вторинна гранула високої чистоти зі стабільними властивостями, близькими до первинної сировини. 2. Сертифікація та відповідність: Документальне підтвердження якості за європейськими стандартами, можливість «зеленої» звітності для клієнта. 3. Повний цикл контролю: Власне виробництво від сировини до гранули забезпечує контроль якості та стабільність. 4. Клієнтоорієнтованість: Комплекс послуг (консультації, сертифікати утилізації, гнучкі умови).	1. «Європейська якість вдома» / «Надійний стандарт»: Асоціація з високими стандартами якості, стабільністю та передбачуваністю, що відрізняє продукт від нестабільної ринкової маси. 2. «Зелений партнер для бізнесу» / «Екологічний ресурс»: Асоціація з екологічною відповідальністю, циркулярною економікою та інструментом для покращення ESG-показників клієнта.

	обсяги та строки поставок.			3. «Технологічне перетворення відходів» / «Інноваційна сировина»: Асоціація з сучасними технологіями, прогресивним переосмисленням відходів та створенням нового цінного ресурсу для промисловості.
--	----------------------------	--	--	---

Таке позиціонування дозволяє чітко визначити, хто такий «Рецикл-Тех» — не просто один із багатьох переробників, а технологічного партнера, який надає преміум-сировину для вимогливого бізнесу. Усі подальші дії — комунікація, дизайн, взаємодія з клієнтами — мають послідовно підкреслювати ці три основні асоціації, щоб створити міцний та визнаний бренд у сфері циркулярної економіки.

7.5 Розробка ринкової стратегії проекту

Маркетингова програма визначає елементи комплексу маркетингу, які потрібно реалізувати для обраної стратегії.

Політика щодо продукту базується на моделі товару з кількох рівнів. Це включає базову вигоду, яка складається з економії та відповідності стандартам, сам продукт з чіткими технічними параметрами та сертифікацією, а також додаткові послуги, такі як консультації, гарантії та документи. Основну увагу приділяють гарантованій якості та можливості виробництва спеціалізованої продукції, що

відповідає вимогам для виготовлення продовольчих товарів. Це є фізичним проявом стратегії диференціації.

Таблиця 7.18. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Базова потреба: Забезпечення якісної та екологічної альтернативи первинним полімерам для виробників Основна функціональна вигода: Зниження собівартості продукції + покращення екологічного іміджу клієнтів + відповідність євростандартам		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	1. Тип полімеру (ПЕТ, ПП, ПЕВП)	Нм	Тх
	2. Розмір гранул (3-5 мм)	М	Тх
	3. Рівень забруднення (<0.5%)	М	Тх
	4. Вологість (<1%)	М	Тх
	5. Колір (прозорий/натуральний)	Нм	Ор
	Якість: Відповідність згідно стандартів, сертифікація кожної партії, контроль якості на всіх етапах Пакування: Мішки 25 кг/1000 кг big-bag, палетне пакування Марка: ТОВ "Рецикл-Тех" - Вторинна полімерна гранула		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: Консультації, тестові зразки, технічна документація Після продажу: Техпідтримка, гарантія якості, сертифікати утилізації, логістичні послуги		

Для захисту потенційного продукту від копіювання планується укладення конфіденційних угод із ключовими партнерами та постачальниками. Ці угоди мають забороняти розголошення будь-якої конфіденційної інформації без попередньої згоди. Крім того, важливим є формування сильного бренду і створення унікального образу продукту, що забезпечить його впізнаваність на ринку.

Цінова політика встановлюється в умовному діапазоні між нижньою межею, яка забезпечує рентабельність і здатність конкурувати з продуктами середньої якості, та верхньою межею, яка обмежена вартістю початкового матеріалу. Такий підхід дозволяє займати чільну позицію у преміум-сегменті, де покупці готові платити більше за якість, сертифікацію та екологічну вигоду.

Таблиця 7.19. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	- Первинна полімерна гранула: 40-60 грн/кг (залежно від типу полімеру та ринкових коливань). - Інші матеріали (дерево, метал):	- Вторинна гранула низької/середньої якості (від дрібних переробників, несортована): 18-28 грн/кг. - Вторинна гранула середньої якості (від середніх	Доходи цільових груп (виробників): Вироби будівельних матеріалів: маржинальність 15-30%. Чутливі до ціни сировини, прагнуть максимізувати різницю між своєю ціною продажу та собівартістю.	Діапазон ціни на продукцію "Рецикл-Тех": Нижня межа: ~28-30 грн/кг (Мінімальна ціна, що забезпечує рентабельність та дозволяє конкурувати з аналогами

	Варіюються значно, не є прямими замінниками, але формують альтернативні витрати клієнта.	гравців): 25-35 грн/кг.	• Вироби упаковки/відповідальні бренди: маржинальність 20-40%. Менш чутливі до абсолютної ціни, більше цінують стабільність, якість та маркетингові переваги («зелена» сировина).	середньої якості, залишаючи простір для якісної переваги). Верхня межа: ~40-45 грн/кг (Максимальна ціна, обмежена вартістю первинної сировини (замінника). Ціна виправдана для преміум-сегменту (напр., food-grade) та клієнтів, які готові платити за сертифікацію, гарантію якості та екологічний імідж).
--	---	--------------------------------	--	--

Політика розподілу передбачає створення гібридної системи збуту. Основним способом буде прямий збут (B2B) для ключових промислових покупців, що дозволить отримати найбільші прибутки, глибокі зв'язки та більший контроль. Для розповсюдження продуктів на регіональні ринки та середні підприємства планується використання дистриб'юторів. Також важливим напрямом є розвиток експорту через партнерство з європейськими торговими агентами або через прямі угоди.

Таблиця 7.20. Формування системи збуту

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	- Первинна полімерна гранула: 40-60 грн/кг (залежно від типу полімеру та ринкових коливань). - Інші матеріали (дерево, метал): Варіюються значно, не є прямими замінниками,	- Вторинна гранула низької/середньої якості (від дрібних переробників, несортована): 18-28 грн/кг. - Вторинна гранула середньої якості (від середніх гравців): 25-35 грн/кг.	Доходи цільових груп (виробників): - Вироби будівельних матеріалів: маржинальність 15-30%. Чутливі до ціни сировини, прагнуть максимізувати різницю між своєю ціною продажу та собівартістю. - Вироби упаковки/відповідальні бренди: маржинальність 20-40%. Менш чутливі до	Діапазон ціни на продукцію "Рецикл-Тех": Нижня межа: ~28-30 грн/кг (Мінімальна ціна, що забезпечує рентабельність та дозволяє конкурувати з аналогами середньої якості, залишаючи простір для

	але формують альтернативні витрати клієнта.		абсолютної ціни, більше цінують стабільність, якість та маркетингові переваги («зелена» сировина).	якісної переваги). Верхня межа: ~40-45 грн/кг (Максимальна ціна, обмежена вартістю первинної сировини (замінника). Ціна виправдана для преміум-сегменту (напр., food-grade) та клієнтів, які готові платити за сертифікацію, гарантію якості та екологічний імідж).
--	---	--	--	---

Комунікаційна політика (пропозиція) направлена на ефективні B2B-комунікації через професійні платформи. Використовуватимуться такі інструменти: участь у професійних виставках, публікації у спеціалізованих медіа, активна робота в LinkedIn, прямі розсилки та сарафанний маркетинг у

професійному середовищі. Головна ідея буде базуватися на трьох ключових асоціаціях позиціонування («Надійний стандарт», «Зелений партнер», «Технологічне перетворення») та має показати реальну економічну та іміджеву вигоду для бізнесу клієнта.

Таблиця 7.21. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікації, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	- Вирішення проблеми (problem-solving): Шукають надійне рішення для зниження собівартості та/або покращення екологічного іміджу. - Раціональне прийняття рішень: Оцінюють технічні характеристики	1. Професійні та галузеві ЗМІ та портали (наприклад, «Будматеріал и», «Паковальники», «Еко-Бізнес»). 2. Спеціалізовані виставки та конференції з будівництва, упаковки, переробки відходів.	1. «Надійний стандарт якості» (стабільність, сертифікація EN). 2. «Зелений партнер для бізнесу» (інструмент для ESG, циркулярна економіка). 3. «Економічно вигідна альтернатива» (значна	1. Інформувати цільову аудиторію про існування нового високоякісного постачальника вторинної сировини. 2. Сформувати довіру через демонстрацію технічних переваг, сертифікатів	«Рецикл-Тех: Сировина майбутнього вже сьогодні. Стабільна якість. Сертифікована екологічність. Ваша вигода.» Концепція: Чітке, фактологічне та переконливе звернення до розуму бізнес-споживача.

ки, сертифікати, економічну вигоду. Рішення приймаються на основі даних і переговорів.	3. Професійні соціальні мережі: LinkedIn для B2B-комунікацій.	економія порівняно з первинною сировиною).	та результатів.	Акцент на конкретних вигодах:
• Професійне середовище: Спілкуються в рамках галузевих мереж, відвідують спеціалізовані і заходи.	4. Прямі комунікації (особисті зустрічі, дзвінки, email-розсилки).		3. Стимулювати перший контакт (запит на зразки, комерційну пропозицію, зустріч).	технічний передбачуваності («стабільна якість»), юридичній та репутаційній безпеці («сертифікована
	5. Рекомендації та сарафанне радіо у професійних колах.		4. Позиціонувати продукт як вигідне інвестиційне рішення, а не просто витрати.	на екологічність») та фінансовому результату («ваша вигода»). Візуально підкріплюється зображеннями якісної гранули, графіками порівняння витрат, логотипами стандартів. Заклик до дії

					— отримати технічний паспорт продукту або безкоштовні тестові зразки.
--	--	--	--	--	--

Таким чином, маркетингова програма — це повна та збалансована група інструментів, кожен з яких сприяє виявленню унікальної цінності «Рецикл-Тех» та забезпечує його успішне входження на ринок.

Висновок

У результаті виконання аналізу з'ясовано, що проект "Рецикл-Тех" має багатий потенціал для успішного виконання на ринку переробки полімерних відходів. Виявлено стабільний попит на якісну вторинну сировину з боку будівельної та виробничої галузей. Також встановлено позитивні тенденції розвитку циркулярної економіки в Україні та ЄС.

Техніко-економічний аналіз підтвердив доцільність проекту, зокрема:

- Виробництво продукції, яка має конкурентні властивості та високу додану вартість
- Переваги перед конкурентами через якість продукту та сертифікацію
- Високі шанси виходу на європейські ринки збуту

Хоча наявні бар'єри входження, які включають високу початкову вартість інвестування та різку конкуренцію, проект виявляє значні конкурентні переваги через:

- Унікальну технологію переробки
- Можливість виробництва гранули food-grade якості
- Сильною екологічною позиціонування

Для успішного впровадження проекту рекомендовано здійснити таку стратегію:

- Провести активну маркетингову кампанію, спрямовану на створення бренду

- Розширити дистриб'юторську мережу
- Укласти стратегічні угоди з постачальниками сировини та ключовими споживачами

Запропонована бізнес-модель є реальною та перспективною для виконання, що робить проект "Рецикл-Тех" привабливим для інвесторів та відповідає сучасним напрямкам сталого розвитку.

8 ОХОРОНА ПРАЦІ

Згідно з чинним законодавством у сфері охорони праці [23], виробничі приміщення, технологічне обладнання та процеси переробки повинні відповідати нормативним вимогам щодо забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці для персоналу. Особлива увага приділяється виробництвам, пов'язаним з механічною обробкою та подрібненням вторинних полімерних матеріалів.

Тема дипломного проєкту – «Лінія рециклінгу вторинного полімеру з модернізацією роторної дробарки» – спрямована на підвищення ефективності подрібнення та стабільності процесу переробки матеріалу, що характеризується пиловиділенням та потенційною горючістю.

Оператор здійснює керування процесом з пульта управління, розміщеного в ізольованій зоні на відстані приблизно 3 м від вузла подрібнення. Площа виробничого приміщення становить $S = 200 \text{ м}^2$, а об'єм – $V = 1200 \text{ м}^3$, що забезпечує можливість організації необхідної вентиляції та безпечних проходів.

Усі розроблені вузли та механізми, зокрема модернізована роторна дробарка, повинні відповідати вимогам безпеки праці, промислової санітарії та ергономіки [5, 6, 7]. Особливістю цього виробництва є необхідність захисту працівників від пилу полімерних матеріалів, який може спричиняти подразнення слизових оболонок, шкіри та органів дихання, а також небезпеки механічного травмування.

Розділ з охорони праці охоплює правові, організаційні та технічні заходи, спрямовані на запобігання травматизму, професійним захворюванням і аварійним ситуаціям. До основних шкідливих і небезпечних виробничих факторів належать:

- запиленість повітря робочої зони частинками полімерних матеріалів;
- підвищений рівень шуму та вібрації від роботи роторної дробарки та транспортерів;
- небезпека контакту з обертовими частинами обладнання;
- ризик ураження електричним струмом;
- фактори пожежної небезпеки, пов'язані з горючістю полімерів та роботою електрообладнання.

8.1 Повітря робочої зони

Робота операторів лінії рециклінгу вторинного полімеру належить до категорії фізично напружених, оскільки передбачає постійне обслуговування мобільних та стаціонарних вузлів, контроль роботи роторної дробарки та транспортуючих механізмів і виконання допоміжних операцій у двозмінному режимі. У процесі роботи працівники перебувають в умовах підвищеного рівня шуму та значної запиленості повітря робочої зони полімерним пилом, що негативно впливає на загальний стан організму [20, 21].

Характер праці є виснажливим, оскільки енергетичні витрати під час виконання робіт можуть перевищувати 293 Вт, що вимагає організації спеціально обладнаного приміщення для короточасного відпочинку персоналу, а також дотримання регламентованих перерв у роботі.

У таблиці 6.2, згідно з ГОСТ 12.1.005-88 [21], наведені нормативні параметри мікроклімату робочої зони операторів.

Таблиця 8.1– Рекомендовані параметри мікроклімату в робочій зоні операторів

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Роботи середньої тяжкості	17-21	40–60	до 0,3
Теплий	Роботи середньої тяжкості	19-23	40–60	до 0,5

Відповідно до вимог ГОСТ 12.1.005-88, у робочій зоні повинні підтримуватися оптимальні мікрокліматичні параметри: температура, відносна вологість та швидкість руху повітря. У теплий період року необхідний мікроклімат

забезпечується системами загальнообмінної та місцевої вентиляції, а в холодний період – регулюванням температури теплоносія в системі водяного опалення в межах 70–90 °С.

Згідно з вимогами, під час експлуатації обладнання для подрібнення сипких полімерних матеріалів особливу увагу необхідно приділяти герметизації робочих зон та транспортувальних каналів [20]. Це дозволяє мінімізувати виділення полімерного пилу в повітря виробничого приміщення та запобігти його негативному впливу на органи дихання та шкіру працівників. Для ефективного видалення пилу передбачено обладнання лінії системою аспірації та пиловловлювання.

8.2 Освітлення

Виробниче приміщення лінії рециклінгу має природне освітлення за рахунок бокових світлових прорізів у зовнішніх стінах у світлу пору доби. Контроль та обслуговування обладнання лінії, відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2018, відноситься до VI розряду зорових робіт, підрозділ «а».

Нормована освітленість робочої зони оператора повинна становити не менше:

$$E_{\text{норм}} = 150 \text{ лк.}$$

Оскільки виробництво працює у безперервному режимі в три зміни, розрахунок штучного освітлення проводиться для темного періоду доби. Для загального освітлення застосовуються люмінесцентні світильники типу ЛДЦ-40 потужністю 40 Вт, зі світловим потоком $F = 2100 \text{ лм}$.

Розрахунок виконаний методом коефіцієнта використання світлового потоку із застосуванням ламп розжарювання типу Г зі світловим потоком $F = 8300 \text{ лм}$, потужністю 500 Вт і напругою 220 В. У результаті забезпечується фактична освітленість:

$$E_f = 170 \text{ лк, при загальній кількості світильників 40 шт., що відповідає вимогам ДБН В.2.5-28:2018.}$$

8.3 Небезпека ураження електричним струмом

Обладнання лінії для рециклінгу вторинного полімеру розміщується у сухому виробничому приміщенні з нормованими параметрами температури та вологості повітря. Підлогове покриття виконане з бетону, що підвищує вимоги до заходів електробезпеки.

Електроживлення обладнання здійснюється від трифазної мережі із глухозаземленою нейтраллю напругою 220/380 В та частотою 50 Гц. Потенційна небезпека ураження електричним струмом може виникати внаслідок:

- появи напруги на струмопровідних частинах при помилковому вмиканні установки;
- виникнення крокової напруги у разі замикання струмопровідника на землю;
- появи напруги на металевих корпусах обладнання при пошкодженні ізоляції;
- випадкового дотику до відкритих частин, що перебувають під напругою.

Для запобігання електротравматизму застосовуються такі технічні заходи безпеки:

- захисне заземлення металевих корпусів обладнання та електродвигунів з опором заземлювального пристрою не більше 4 Ом;
- автоматичне аварійне відключення живлення при коротких замиканнях та струмах витоку;
- занулення струмопровідних частин;
- розміщення небезпечних елементів у захисних кожухах та огорожах з блокуючими пристроями;
- використання розділювальних трансформаторів для переносного електроінструменту.

Персонал забезпечується індивідуальними засобами захисту: діелектричними рукавичками, гумовими килимками та ізольованим інструментом. Забороняється виконання робіт на несправному або незаземленому обладнанні, а

також допуск до роботи осіб без відповідного навчання та інструктажу з електробезпеки.

8.4 Пожежна безпека

У процесі рециклінгу вторинного полімеру можлива поява джерел пожежної небезпеки, пов'язаних із:

- горючістю полімерних матеріалів та пилу;
- мастильними матеріалами;
- електродвигунами та апаратурою;
- пошкодженою електропроводкою.

Вторинні полімери є горючими матеріалами, а полімерний пил, що утворюється при подрібненні, може утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям. Це створює умови для виникнення пожежі та поширення полум'я.

Виробниче приміщення відноситься до категорії пожежної небезпеки «В» згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016 та має клас зони В-Па за ПУЕ, ступінь вогнестійкості будівлі — II відповідно до ДБН В.1.1-7:2016.

Основні причини можливого виникнення пожежі:

- короткі замикання в електромережі обладнання;
- перевантаження електромереж;
- підвищений перехідний опір у контактних з'єднаннях;
- утворення іскор під час ремонту обладнання;
- самозаймання полімерного пилу.

Для запобігання пожежам застосовуються організаційні та технічні заходи: герметизація обладнання та ефективна робота системи аспірації для зменшення пилу, використання негорючих матеріалів де це можливо, регулярне прибирання пилу, правильне зберігання мастильних матеріалів, планові огляди та обслуговування електрообладнання.

Для ліквідації пожежі передбачено використання:

- вогнегасників порошкових ОП-10 – 4 шт. (для гасіння електроустановок та полімерів);
- вогнегасників вуглекислотних ОВ-5 – 4 шт. для гасіння електрообладнання.

У приміщенні встановлена теплова пожежна сигналізація. Відповідно до ДБН, передбачено не менше двох евакуаційних виходів. Ширина шляхів евакуації становить не менше 1,2 м, а ширина дверей — не менше 0,9 м.

8.5 Шум і вібрація

Основними джерелами шуму під час роботи лінії рециклінгу вторинного полімеру є роторна дробарка, електродвигуни приводу, редуктори, вентилятори аспіраційної системи та транспортувальні механізми [6, 7]. Середній рівень шуму в робочій зоні становить до 85 дБА, що потребує додаткових заходів для відповідності вимогам ДСН 3.3.6.037-99.

Для зниження рівня шуму передбачені такі заходи:

- встановлення шумопоглинальних кожухів на камері подрібнення роторної дробарки та електроприводах;
- монтаж звукоізоляційних екранів між обладнанням та робочими місцями;
- регулярне технічне обслуговування та змащування рухомих вузлів;
- своєчасна заміна зношених підшипників та різальних ножів дробарки.

Персонал забезпечується індивідуальними засобами захисту органів слуху: протишумовими вкладишами та навушниками, які знижують рівень шуму на 18–25 дБА.

Джерелами вібрації є обертові частини роторної дробарки, електроприводи та вузли кріплення обладнання до фундаменту. Вібрація виникає внаслідок дисбалансу обертових елементів, нерівномірності навантаження при подрібненні матеріалу та неточностей монтажу.

Рівень загальної технологічної вібрації не повинен перевищувати допустимих значень, установлених ДСН 3.3.6.039-99.

Для зменшення впливу вібрації передбачено:

- встановлення обладнання, особливо дробарки, на вібропоглинальні гумові та пружинні опори;
- застосування демпфуючих прокладок між обладнанням і фундаментом;
- використання підсилених металоконструкцій каркасу з підвищеною жорсткістю;
- регулярне балансування ротора та інших обертових частин.

Для контролю рівнів шуму та вібрації застосовуються прилади типу ВШВ-003 та шумовібровимірвальний комплекс ШВК-1. Тривалість безперервного впливу шуму та вібрації на персонал обмежується. Передбачені регламентовані перерви для відпочинку тривалістю не менше 10-15 хвилин кожні 1,5-2 години роботи.

8.6 Промислове освітлення

Освітлення приміщення лінії рециклінгу вторинного полімеру здійснюється природним та штучним способом. У денний час природне освітлення забезпечується через бокові світлові прорізи у зовнішніх стінах.

У приміщенні операторської передбачено два вікна розмірами 1,5 × 2,3 м. Згідно з вимогами ДБН В.2.5-28:2018, роботи, що виконуються оператором з контролю та управління технологічним процесом, відносяться до IV розряду зорових робіт, підрозділ «в». Нормована освітленість робочої зони оператора становить: $E_{\text{норм}} = 200$ лк.

У вечірній та нічний час використовується штучне освітлення. Для освітлення операторської прийняті люмінесцентні лампи типу ЛБ-40 потужністю 40 Вт зі світловим потоком 2850 лм, встановлені у світильники типу ЛПО 02-2×40.

Розрахунок кількості світильників

Кількість світильників визначається за формулою:

$$N = \frac{E * S * k * z}{n * F * \eta} = \frac{200 * 50 * 1.5 * 1.1}{2 * 2850 * 0.57} = 5$$

де:

$E = 200$ лк — нормована освітленість;

$S = 50$ м² — площа операторської;

$k = 1,5$ — коефіцієнт запасу;

$z = 1,1$ — коефіцієнт нерівномірності;

$n = 2$ — кількість ламп у світильнику;

$F = 2850$ лм — світловий потік однієї лампи;

$\eta = 0,57$ — коефіцієнт використання світлового потоку.

Таким чином, для забезпечення нормованого освітлення в операторській необхідно встановити 5 світильників типу ЛПО 02-2×40 з лампами ЛБ-40, що повністю відповідає вимогам ДБН В.2.5-28:2018.

9 МОДЕРНІЗАЦІЯ РОТОРНОЇ ДРОБАРКИ

9.1 Розрахунок модернізованого механізму регулювання зазору роторної дробарки

Для розрахунку конструкції на міцність використовувалося програмне забезпечення ANSYS, призначене для подібних задач. Розрахунок проводився із урахуванням статичних навантажень. Для цього використовувалися такий модуль програмного забезпечення як Static Structural.

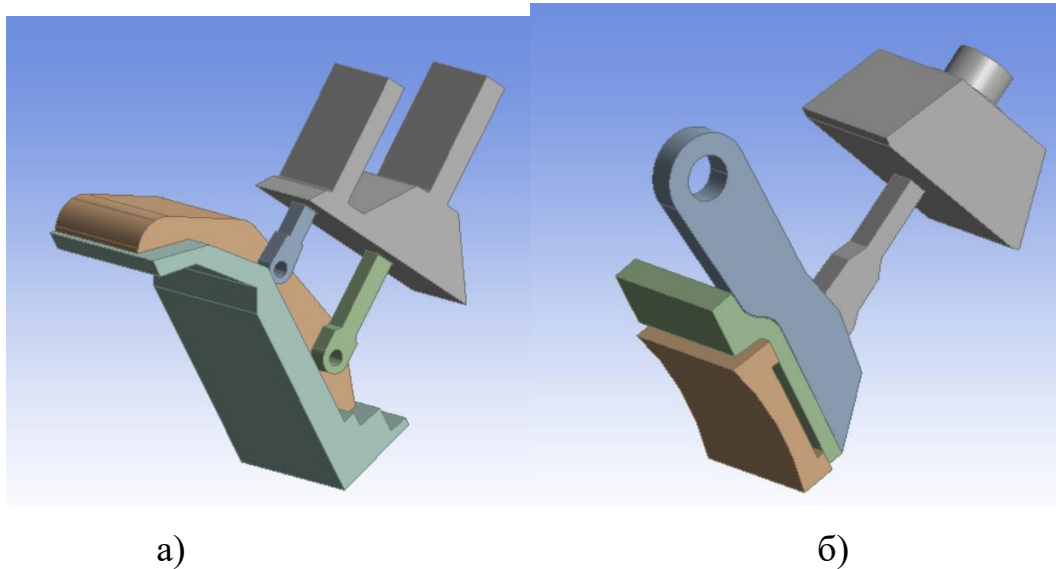
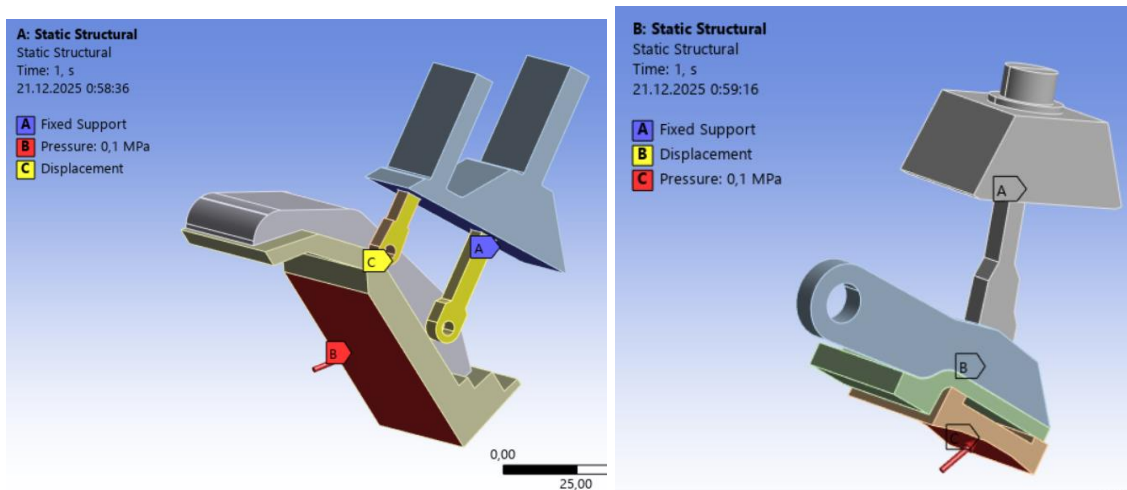


Рисунок 9.1 – Моделі для розрахунку

Для розрахунку було взято механізм регулювання зазору, а саме його модернізована версія (рис. 9.1 - а) та базова (рис 9.1 - б)

Для подальшого прорахунку закріплюємо моделі у потрібних місцях та задаємо напруження

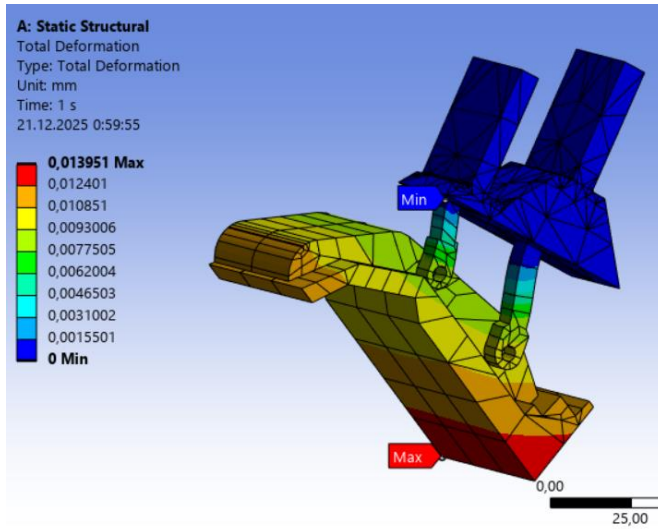


а - модернізована

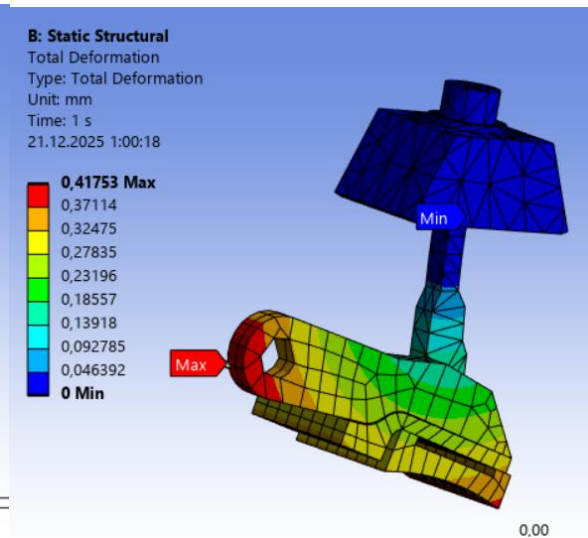
б) - базова

Рис 9.2 – Закріплення моделей та задання напружень

В розділі Solution обираємо розрахунки які нам потрібні, а саме: загальні деформації (Total Deformation), еквівалентні напруження (Equivalent Stress) та коефіцієнт запасу міцності (Safety Factor).

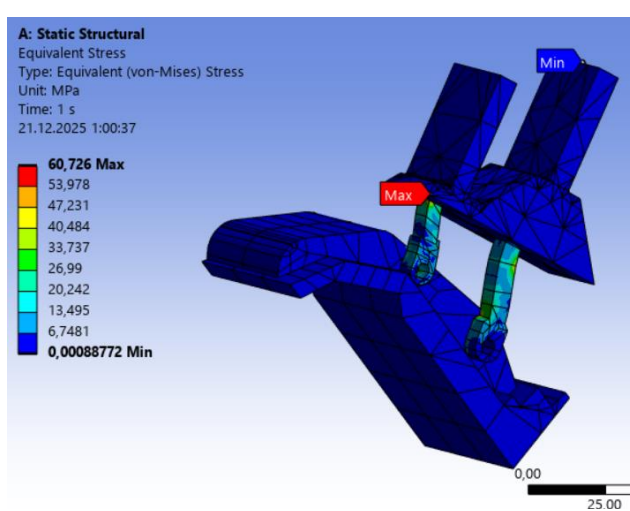


а - модернізована

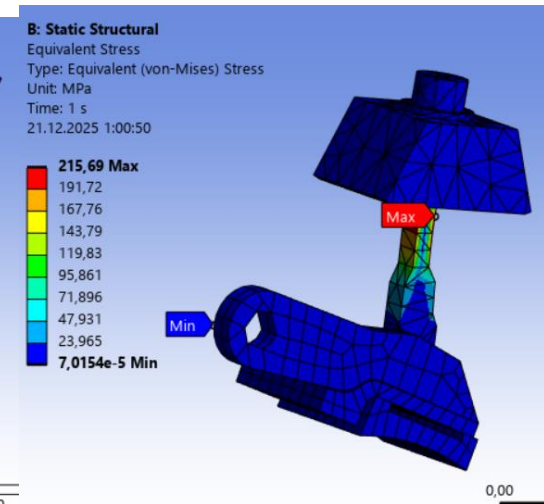


б) - базова

Рисунок 9.3 – Розрахунок загальних деформацій

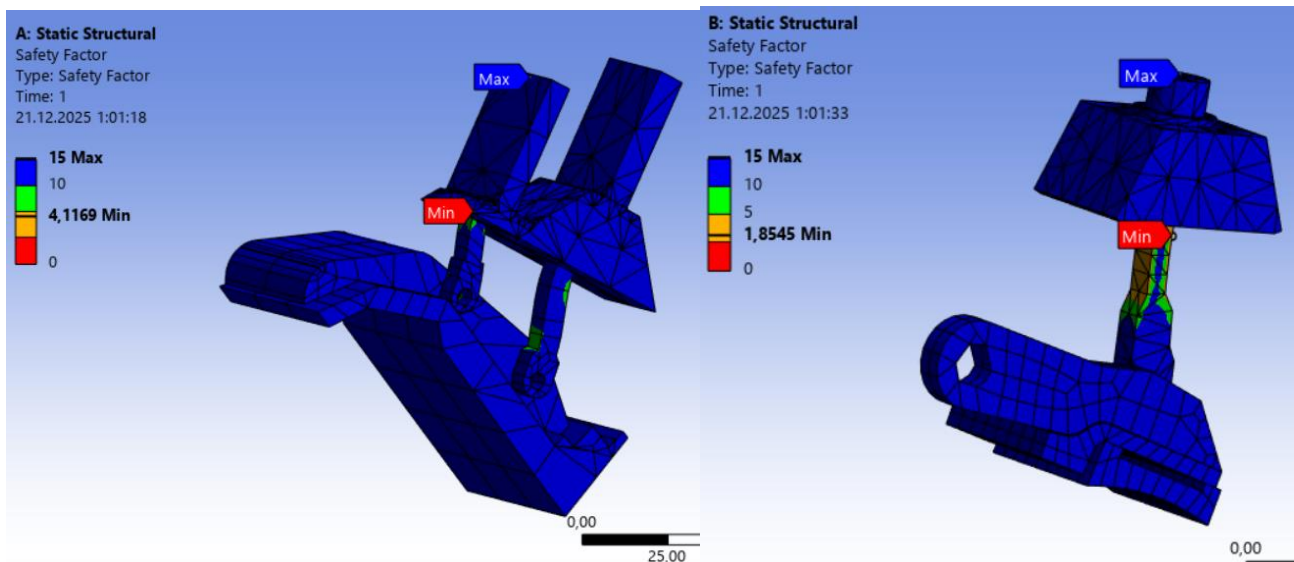


а - модернізована



б) - базова

Рисунок 9.4 – Розрахунок еквівалентних напружень



а - модернізована

б) - базова

Рисунок 9.5 – Розрахунок коефіцієнту запасу міцності

Отримані в середовищі ANSYS результати числового аналізу підтверджують працездатність модернізованого механізму регулювання зазору та його відповідність діючим експлуатаційним навантаженням. Проведений порівняльний аналіз показав, що внесені конструктивні зміни забезпечують кращий розподіл напружень, а також більш кращий результат на витримування великих навантажень.

Згідно проведеного розрахунку, модернізований механізм має запас міцності 4.1 (рис 9.5 - а), що набагато вищий, ніж у базовій конструкції зі значенням 1.8 (рис 9.5 - б). Також згідно еквівалентних напружень (рис 9.4), модернізована конструкція набагато краще витримує навантаження у порівнянні з базовою.

10 ОЧІКУВАНІ МЕХАНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТА ВИСНОВКИ

Відповідно до мети роботи в магістерській дисертації виконано модернізацію роторної дробарки шляхом змінення вала ротору та механізму регулювання зазору, що посприяло підвищенню продуктивності та якості вихідного матеріалу. Встановивши ротор зі змінними сегментами, ми отримали можливість швидкої заміни певної частини ротору, замість повного демонтуювання, що не сильно вдарить на продуктивність. Більш покращений механізм регулювання зазору дозволить не витрачати лишній час на налаштування та допоможе запобігти потраплянню чужорідних предметів.

ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації на тему «Лінія рециклінгу вторинного полімеру з модернізацією дробарки» розглянуто актуальну проблему ефективної переробки полімерних відходів та підвищення продуктивності дробильного обладнання у складі лінії рециклінгу.

Під час виконання роботи було проаналізовано сучасні технології переробки вторинних полімерів та конструкції дробарок, що застосовуються у промисловості. Встановлено, що базові конструкції дробильного обладнання мають ряд недоліків, які знижують ефективність подрібнення, надійність роботи та ресурс основних вузлів.

На основі проведеного аналізу запропоновано модернізацію дробарки шляхом зміни конструкції робочих органів, таких як вал ротора та механізм регулювання зазору. Запропоноване конструктивне рішення дозволяє збільшити робочу поверхню дроблення, покращити захоплення матеріалу та забезпечити більш рівномірний процес подрібнення, що позитивно впливає на продуктивність і якість отриманого продукту.

У роботі виконано необхідні кінематичні та міцнісні розрахунки, які підтверджують працездатність модернізованої конструкції. Також розроблено тривимірні моделі базової та модернізованої дробарки в середовищі SolidWorks і проведено розрахунки напружено-деформованого стану в програмному комплексі ANSYS. Отримані результати показали, що модернізовані елементи мають достатній запас міцності та можуть бути використані в реальних умовах експлуатації.

Окрему увагу приділено питанням монтажу, експлуатації та охорони праці. Запропоновані заходи спрямовані на забезпечення безпечної роботи персоналу та стабільної роботи обладнання в умовах переробки полімерних матеріалів. У стартап-проекті обґрунтовано економічну доцільність впровадження розробленої лінії рециклінгу.

Таким чином, поставлену мету магістерської дисертації досягнуто, а запропонована модернізація дробарки є доцільною та може бути рекомендована для практичного використання у складі ліній переробки вторинних полімерів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Поскрёбышев В.А., Радина Т.Н., Ефремов И.М. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий: Учебное пособие. – Братск: БрГТУ, 2002. – 124 с.
2. Білецький В.С., Олійник Т.А., Смирнов В.О., Скляр Л.В. Основи техніки та технології збагачення корисних копалин : навч. посібн. Київ : Видавництво Ліра-К 2020. 634 с.
3. Impact crusher with adjustable apron: Patent № GB2455203A GB / TEREX PEGSON LTD. Priorities GB0723505A, 30.11.2007, Publication 03.06.2009.
4. SECONDARY SHREDDER: Patent № US2017348696A1 US / ECO GREEN EQUIPMENT LLC. Priorities US201615176010A, 07.06.2016, Publication 07.10.2017.
5. SHREDDER STRUCTURE: Patent № US4082232A US / GARBALIZER CORP. Priorities US77385477A, 03.03.1977, Publication 04.04.1978.
6. Shredder: Patent № US2004118958A1 US / VECOPLAN MASCHINENFABRIK GMBH. Priorities US32450602A, 20.12.2002, Publication 24.06.2004.
7. VSI CRUSHER BEARING CARTRIDGE: Patent № US2019308197A1 US / SANDVIK INTELLECTUAL PROPERTY. Priorities EP2016063895W, 16.06.2016, Publication 10.10.2019.
8. Hammer handle of impact hammer crusher: Patent № CN203972019U CN / JIAO YATONG. Priorities CN201420451197U, 11.08.2014, Publication 03.12.2014.
9. MICRON HAMMERMILL: Patent № US2007272779A1 US / CARTER DAY INT INC. Priorities US25851805A, 25.10.2005, Publication 29.11.2007
10. Маркетинг стартап-проектів : навчальний посібник для усіх спеціальностей другого освітнього ступеню «магістр» / С. О. Солнцев, О. В. Зозульов, Н. В. Юдіна, Т. О. Царьова, Н. В. Язвінська ; за заг. ред. С.О. Солнцева ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 218 с. URL : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27437>
11. Розроблення стартап-проекту : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. Київ : НТУУ «КПІ», 2016. 28 с.
12. Semeniuk, S., Levytskyi, V., Fomina, O., Fedorchenko, K., Yudina, N., Ratynskiy, V., Shcherbatiuk, O., Bendiuh, V., & Zhurakivska, Y. (2024). Overcoming barriers to digitalization of small and medium-sized enterprises under martial law. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(13 (129)), 57–69. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.304997> <https://journals.urau.ua/eejet/article/view/304997> .
13. Щербина В.Ю., Сівецький В.І., Гондляр О.В. Механічні процеси і обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів. Підготовка сировинних матеріалів і устаткування для змішування та формування [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2022. – 131с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/4573>

14. Yudina, N. Economic “Butterfly” and Futurology of the War in Ukraine. *Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*. Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2022. №23 (2022). PP. 77-82. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.23.2022.264637>.
15. Yudina, N. Algorithm Of Marketing Decision Making. *Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*. Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2022. №22 (2022). PP. 1-9. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.22.2022.260163>.
16. Yudina, N. Future Study Implementation Into Marketing Activity Of Companies. *Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*. Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2021. №19 (2021). PP. 1-9 URL : <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/240315>.
17. Yudina, N., Pidlisna, O. Marketing Perception Of Technological Uncertainty By Decision-Makers. *Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*. Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2021. №18 (2021). PP. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.18.2021.238105>.
18. Yudina, N., Instrumenty Zarządzania Przyszłością. *Marketing Instytucji Naukowych I Bada wczych*, Vol. 38, Issue 4,, 2020, Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytutu Lotnictwa. Poland, Warszawa, p. 1-19 ISSN 2353-8503 eISSN 2353-8414. http://minib.pl/wp-content/uploads/2020/12/4-Yudina_pl.pdf. DOI: 10.2478/minib-2020-0027.
19. Yudina, N. Business Forecasting of Marketing Activity Riskiness of Companies in Markets. *Economic Bulletin of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*. №17(2020). P. 372-383. URL : <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/216380/>
20. Щербина В.Ю., Швачко Д.Г. "Вплив теплоізоляції футерівки на теплообмін обертових апаратів". Вісник НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2022. №2(21). с. 22-33. DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-9741.2.2022.260342>
21. Щербина В.Ю., Швачко Д.Г., Гур'єва Л.Н. Технологія виробництва матеріалів і виробів будівельного призначення [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2024. – 188с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/66516>
22. Зацарний В. В. Безпека життєдіяльності: навч. посіб. / В. В. Зацарний, Н. А. Праховнік, О. В. Землянська, О. В. Зацарна – Київ : НТУУ «КПІ» ІЕЕ, 2016. – електронне видання. URL: <http://ela.kpi.ua/kandle/123456789/18263>.
23. Основи охорони праці: підручник / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний та ін. – Київ : Основа, 2011. – 474 с.
24. Мікульонок І. О. Обладнання і процеси переробки термопластичних матеріалів з використанням вторинної сировини : монографія. Київ : ІВЦ „Видавництво «Політехніка»”, 2009. 265 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/28259>

25. Мікульонюк І. О. Поводження з полімер-, скло- і металовмісними побутовими відходами : монографія. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 112 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48555>
26. Екструзійне обладнання: навч. посіб. / В. І. Сівецький, О. Л. Сокольський, Д. Г. Швачко. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 144 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/73944>
27. Мікульонюк І. О. Технологія перероблення полімерів : підруч. 5-те вид., переробл. та доповн. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 314 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/74268>
28. Мікульонюк І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів : навч. посіб. 3-тє вид., переробл. та доповн. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 296 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/68766>
29. Мікульонюк І. О. Технологічні основи перероблення полімерів, пластмас і гумових сумішей: навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 312 с.
30. Мікульонюк І. О., Сокольський О. Л. Полімерні матеріали і вироби з них (одержання, перероблення, властивості) : термінол. слов. Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 208 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37632>

ДОДАТКИ

[illegible]

[illegible]

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	К-ть	Прим.
				Документація		
			ЛП41мп.077612.004-70СК	Формуюча головка		
				Складальні одиниці		
		1	ЛП41мп.077612.004-70СК	Нагрівник	2	
		2	ЛП41мп.077612.004-70СК	Нагрівник	2	
		3	ЛП41мп.077612.004-70СК	Нагрівник	1	
		4	ЛП41мп.077612.004-70СК	Нагрівник	2	
		5	ЛП41мп.077612.004-70СК	Нагрівник	4	
		6	ЛП41мп.077612.004-70СК	Датчик тиску	1	
		7	ЛП41мп.077612.004-70СК	Термопара	1	
				Деталі		
		8	ЛП41мп.077612.004-70СК	Фланець	1	
		9	ЛП41мп.077612.004-70СК	Втулка	1	
		10	ЛП41мп.077612.004-70СК	Адаптер	1	
		11	ЛП41мп.077612.004-70СК	Корпус верхній	1	
		12	ЛП41мп.077612.004-70СК	Корпус нижній	1	
		13	ЛП41мп.077612.004-70СК	Матриця	1	
		14	ЛП41мп.077612.004-70СК	Фільтр	1	
				Стандартні вироби		
		15	ЛП41мп.077612.004-70СК	Гвинт М10х20 ГОСТ 15589-7020		
				ЛП41мп.077616.004-70СГ		
Зм.	Лист	№ докун.	Підпис	Дата	Формуюча головка	
Розроб.		Квашук А.С.				
Перев.		Сокільський О.П.			КПІ ім. Ігоря Сікорського ФАПЕ	
Н.контр.						
Затвер.		Сокільський О.П.				
				Арк. Аркуш Аркушів		

Модернізація системи регулювання зазору роторної дробарки

Квашук А.С., студ., Сокольський О.Л., д.т.н., доц., Коцюба Н.М., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Розглянуто роль роторних дробарок у процесах подрібнення полімерних матеріалів та проблеми, що виникають під час роботи обладнання в умовах високої продуктивності. Проаналізовано нестабільність навантаження на ротор, підвищений знос робочих органів і зниження надійності дробарки при потраплянні твердих або непридатних до подрібнення включень. Висвітлено рішення у вигляді модернізованого механізму регулювання зазору, що ґрунтується на зміні конструкції вузла регулювання, застосуванні керованого переміщення робочих елементів та автоматичному регулюванні величини зазору відповідно до режимів роботи дробарки

Ключові слова: роторна дробарка, система регулювання зазору, подрібнення полімеру.

Вступ. В подрібнювачах ударної дії руйнування матеріалу відбувається за рахунок ударних навантажень. Дані навантаження виникають при дії подрібнюючих тіл на матеріал, зіткненні летючого матеріалу з нерухомою поверхнею, зіткненні матеріалу та подрібнюючих тіл на льоту, зіткненні на льоту здрибуючих часток один з одним.

До таких подрібнювачів відносяться молоткові подрібнювачі, ударно-відцентрові, роторні дробарки, відцентрово - кулеві, барабанні, струминні млини, дезінтегратори та дисембратори.

В роторних дробарках руйнування матеріалу відбувається за рахунок швидко обертаючих бил, які жорстко закріплені на зовнішній поверхні ротора.

Найбільше розповсюдження отримали однороторні дробарки, які є найбільш простими, компактними та більш зручними при експлуатації [1].

На рис. 1 показано роторну дробарку. Удосконалений вузол включає механізм регулювання зазору між ротором і нерухомими ножами, який складається з регулювальних елементів, опорних вузлів та рухомого компонента, що забезпечує компенсацію перевантажень і коливань у процесі подрібнення полімерних матеріалів. Конструкція модернізованого механізму передбачає наявність керованого приводного елемента або спеціального механічного вузла, який забезпечує синхронізовану зміну зазору відповідно до навантаження на ротор та режимів роботи дробарки. У результаті забезпечується підтримання оптимальної величини зазору, що дозволяє стабілізувати процес подрібнення, зменшити ударні навантаження та підвищити якість отриманої фракції.

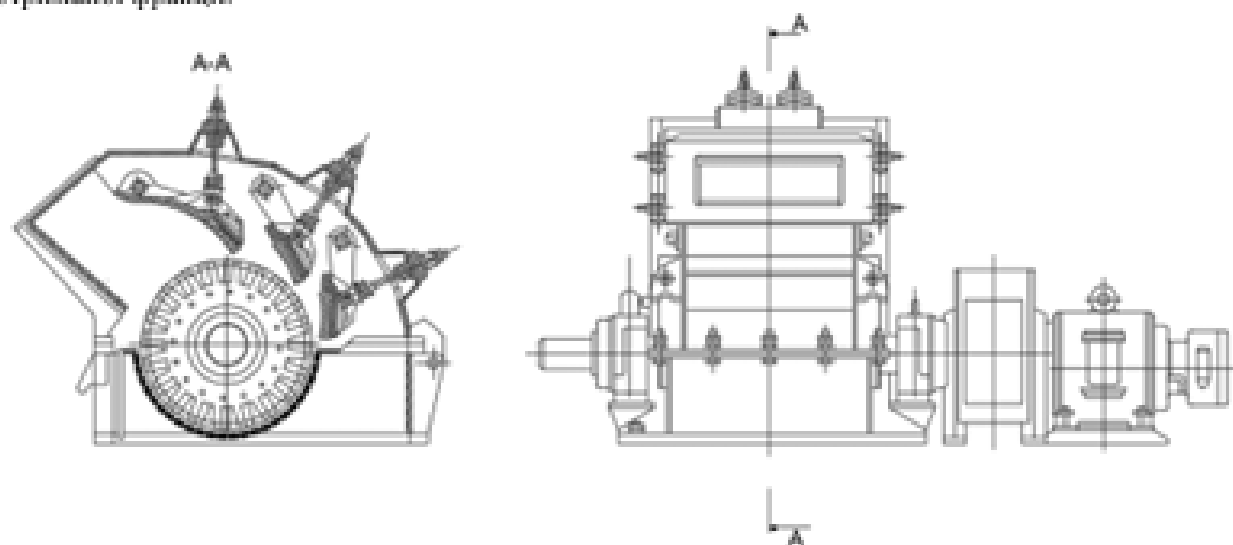
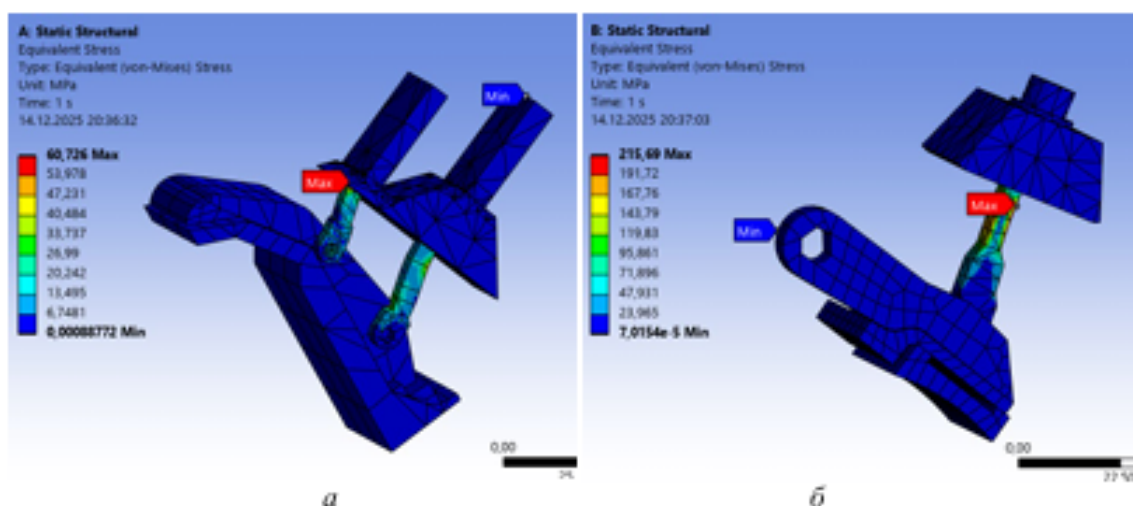


Рисунок 1 – Роторна дробарка

Перевагами запропонованої модернізації є забезпечення стабільного зазору між робочими органами роторної дробарки, що дозволяє уникнути різких перевантажень і заклинювання під час подрібнення полімерних матеріалів. Стабільне положення ножів відносно ротора сприяє покращенню якості подрібнення, забезпечуючи рівномірний гранулометричний склад отриманого матеріалу та зменшуючи кількість некондиційної фракції. Крім того, зменшення ударних навантажень і компенсація перевантажень призводять до зниження інтенсивності зносу ножів, підшипників і приводних елементів, що збільшує ресурс обладнання та зменшує потребу в технічному обслуговуванні [2].

Проведено міцнісні розрахунки ударної плити роторної дробарки у програмному середовищі ANSYS з використанням статичного структурного аналізу. У процесі чисельного моделювання визначено поля еквівалентних напружень, переміщень та коефіцієнта запасу міцності для досліджуваної конструкції. Навантаження задавалося з урахуванням реальних умов експлуатації ударної плити та прикладалося до її робочої поверхні в зоні контакту з подрібнюваним матеріалом, що дозволило адекватно відтворити характер силової взаємодії під час роботи роторної дробарки.



a – модернізованої ударної плити; *б* – базової ударної плити
Рисунок 2 – Результат розрахунку переміщень

Отримані результати підтверджують працездатність і надійність модернізованої ударної плити дробарки. За результатами аналізу встановлено, що мінімальне значення коефіцієнта запасу міцності для одного з розрахункових випадків становить близько 1,85, при цьому критичні зони зосереджені в області з'єднання плити з елементами кріплення. Для модернізованої конструкції мінімальний коефіцієнт запасу міцності становить близько 4,1, що свідчить про більш рівномірний розподіл напружень і зниження концентрації навантажень у небезпечних перерізах, а отже дана конструкція краще витримує напруження і буде менше ризик зламу.

Висновки. Числові розрахунки, виконані в ANSYS, підтверджують, що модернізований варіант ударних бил для роторної дробарки функціонує в межах допустимих напружень і має достатній запас міцності, що становить 4,1. Це забезпечує його надійну експлуатацію. Базова модель із запасом міцності 1,8 також демонструє високий рівень надійності, однак модернізована конструкція успішно відповідає вимогам щодо міцності та довговічності, залишаючись працездатною.

Перелік посилань

1. Мікульонюк І.О. Механічні процеси та обладнання виробництва полімерних і будівельних матеріалів і виробів : підруч. 5-ге вид., переробл. та доповн. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 102 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/74513>
2. Impact crusher with adjustable apron: Patent № GB2455203A GB / TEREX PEGSON LTD. Priorities GB0723505A, 30.11.2007, Publication 03.06.2009.