

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології
Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____ **Олександр Сокольський**

«_____» _____ 2026 р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів»

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

на тему: Валкова дробарка з модернізацією валків

Студент (-ка) IV к, групи ЛП-22
(шифр групи)

Ткаченко В'ячеслав Ігорович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник проєкту:

_____ **к.т.н., доцент, Шилович Т.Б.** _____
(вчена ступінь, звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультанти з питань

МОДЕРНІЗАЦІЇ:	д.т.н., проф. Щербина В.Ю.	_____
ТЕХ. МАШ.:	ст. викл. Борщик С.О.	_____
ОХОРОНИ ПРАЦІ:	ст. викл. Ковтун А.І.	_____
РЕЦЕНЗЕНТ	_____	_____

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ 2026 рік

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

Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології

Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 133 *Галузеве машинобудування*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Олександр Сокольський**

«___» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Ткаченко В'ячеслав Ігорович

Тема проєкту «Валкова дробарка з модернізацією валків», керівник проєкту Шилович Тетяна Борисівна, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом по університету від «19.05» 2026 р. № 1817-с

1. Термін подання студентом проєкту 12.06.2026 р.
2. Вихідні дані до проєкту валкова дробарка призначена для подрібнення керамічної сировини. Діаметр валків — 600 мм, довжина робочої частини — 400 мм, максимальний розмір шматків на вході — 100 мм, зазор між валками — 15 мм. Валки рифлені, частота обертання — 48 об/хв, окружна швидкість — 1,5 м/с. Матеріал валків — сталь 40Х або 40ХН з термічною обробкою. Мета проєкту — модернізація валків для підвищення ефективності дроблення та зменшення зношування.
3. Зміст пояснювальної записки

Вступ. Призначення та галузь застосування валкової дробарки. Опис технологічної схеми подрібнення керамічної сировини. Технічна характеристика базової машини. Опис конструкції, основних частин та принципу роботи валкової дробарки. Літературно-патентний огляд та обґрунтування вибору модернізації. Розрахунки основних параметрів дробарки. Розрахунок базового та модернізованого валка. Числове моделювання модернізованого вузла. Охорона праці. Технологія машинобудування. Висновки. Перелік посилань.....
.....

4. Перелік графічного матеріалу

1. Технологічна схема лінії виробництва вапна. 2. Загальний вигляд вадкової дробарки. 3. Креслення вузла модернізованих валків. 4. Деталювання вала, втулки та кришки. 5. Плакат по 3D-моделюванню модернізованої конструкції валкової дробарки. 6. Плакат виконання числового розрахунку базової і модернізованої конструкції барабана.

5. Консультанти розділів проекту[□]

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
МОДЕРНІЗАЦІЇ	проф. Щербина В.Ю.	19.05.2026	
ТЕХ. МАШИНОБУД.	ст. викл. Борщик С.О.	19.05.2026	
ОХОРОНА ПРАЦІ	ст. викл. Ковтун А.І.	19.05.2026	

6. Дата видачі завдання 19.05.2026 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ. Призначення та галузь застосування валкової дробарки у технологічній лінії подрібнення вапна.	20.05-21.05	
2	Технічна характеристика валкової дробарки.	23.05-25.05	
3	Опис конструкції, основних частин та принципу роботи валкової дробарки.	27.05-28.05	
4	Літературно-патентний огляд та обґрунтування вибору модернізації валків.	29.05-30.05	
5	Параметричні розрахунки валкової дробарки та підтвердження її працездатності	31.05-01.06	
6	Охорона праці.	02.06-03.06	
7	Технологія машинобудування.	04.06-06.06	
8	Оформлення пояснювальної записки та креслень.	07.06-09.06	

Студент

В'ячеслав ТКАЧЕНКО

Керівник проекту

Тетяна ШИЛОВИЧ

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт на здобуття ступеня бакалавра на тему: «Валкова дробарка з модернізацією валків» присвячено розробці та обґрунтуванню конструктивного вдосконалення робочих органів валкової дробарки, яка використовується у технологічній лінії подрібнення вапна. Виконавець: студент групи ЛП-22 Ткаченко В. І. Керівник проєкту: кандидат технічних наук, доцент Шилович Т.Б.

Об'єктом дослідження є процес подрібнення матеріалу у валковій дробарці. Предметом дослідження є конструкція базового і модернізованого валка валкової дробарки.

Метою роботи є підвищення ефективності роботи валкової дробарки шляхом модернізації валків, покращення захоплення матеріалу, зменшення зношування робочих поверхонь та підвищення надійності обладнання.

У пояснювальній записці розглянуто технологічну схему подрібнення вапна, наведено технічну характеристику валкової дробарки, описано її конструкцію, основні вузли та принцип дії. Виконано літературно-патентний огляд існуючих технічних рішень і обґрунтовано вибір варіанту модернізації валків. Проведено параметричні, кінематичні та силові розрахунки, які підтверджують працездатність машини.

Для оцінки запропонованої конструкції створено 3D-моделі базового та модернізованого валка у SolidWorks. Числовий аналіз напружено-деформованого стану виконано у програмному середовищі ANSYS, що дозволило визначити напруження, деформації та запас міцності модернізованого вузла.

Практична цінність роботи полягає у можливості застосування модернізованих валків для підвищення ефективності подрібнення вапна, зменшення зносу робочих органів, зниження вібраційних навантажень і збільшення строку служби дробарки.

Ключові слова: ВАЛКОВА ДРОБАРКА, ВАЛКИ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, ПОДРІБЛЕННЯ ВАПНА, ПРЕЦИПІТАН, КОЕКСТРУЗІЯ, SOLIDWORKS, ANSYS.

ABSTRACT

The diploma project for obtaining the bachelor's degree on the topic “Roll Crusher with Modernization of Rolls” is devoted to the development and substantiation of the structural improvement of the working bodies of a roll crusher used in the technological line for lime crushing in precipitate production. The project was completed by a student of group LP-22, Viacheslav Tkachenko. Supervisor: Candidate of Technical Sciences, Docent T. B. Shylovych.

The object of research is the roll crusher and the process of crushing material between the rolls. The subject of research is the design of the basic and modernized roll, as well as their geometric, kinematic and strength parameters.

The purpose of the work is to increase the efficiency of the roll crusher by modernizing the rolls, improving material capture, reducing wear of the working surfaces and increasing the reliability of the equipment.

The explanatory note considers the technological scheme of lime crushing in precipitate production, presents the technical characteristics of the roll crusher, and describes its design, main units and operating principle. A literature and patent review of existing technical solutions was carried out, and the choice of the roll modernization option was substantiated. Parametric, kinematic and force calculations were performed, confirming the operability of the machine.

To evaluate the proposed design, 3D models of the basic and modernized roll were created in SolidWorks. Numerical analysis of the stress-strain state was performed in the ANSYS software environment, which made it possible to determine the stresses, deformations and safety factor of the modernized unit.

The practical value of the work lies in the possibility of using modernized rolls to increase the efficiency of lime crushing, reduce wear of the working bodies, decrease vibration loads and extend the service life of the crusher.

Keywords: ROLL CRUSHER, ROLLS, MODERNIZATION, LIME CRUSHING, PRECIPITATE, SOLIDWORKS, ANSYS.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Умовні позначення та символи

D – діаметр валків, м;

L - довжина робочої частини валків, м;

$d_{\max}$ — максимальний розмір шматків матеріалу на вході, мм;

$d_{\text{ср}}$ - середній розмір шматків матеріалу, м;

δ — зазор між валками, м;

f — коефіцієнт тертя матеріалу по валках;

α — кут захоплення матеріалу, град;

v — окружна швидкість валків, м/с;

n — частота обертання валків, об/хв;

h_r — висота рифля, мм;

t_r — крок рифлів, мм;

β — кут нахилу бічних граней рифля, град;

K_z — коефіцієнт захоплення матеріалу;

i — ступінь дроблення;

Скорочення

ПЗ - пояснювальна записка;

Індекси

$\max$ - максимальний;

$\min$ — мінімальний;

ЗМІСТ

ВСТУП

1. ОПИС	ТЕХНОЛОГІЧНОЇ	ЛІНІЇ	ПОДРІБНЕННЯ	
ВАПНА.....				9
2. Технічна характеристика валкової машини				10
3. Опис базової конструкції, її основних частин та принципу дії				12
4. Літературно-патентний огляд, обґрунтування запропонованої модернізації валків				16
5. Розрахунки валкової дробарки.....				34
5.1 Параметричні розрахунки.....				34
5.2 Розрахунок на навантаження валків.....				37
5.3 Побудова базової 3-D моделі валків.....				39
5.4 Розрахунки на міцність модернізованих валків за допомогою програмного комплексу ANSYS.....				42
5.5 Виконання параметричного розрахунку за допомогою мови програмування c++.....				50
6 Охорона праці та навколишнього середовища.....				51
6.1 Загальні відомості.....				51
6.2 Повітря робочої зони.....				51
6.3 Виробничий шум.....				52
6.4 Вібрації.....				53
6.5 Обертові частини механізму.....				53
6.6 Засоби індивідуального захисту.....				54
6.7 Пожежна безпека.....				54
7 Технологія машинобудування.....				56
7.1 Опис та призначення.....				56
7.2 Вибір пристосування для певної операції.....				58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....				64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....				66
ДОДАТКИ.....				67

					ЛП22.153616.000-70 ПЗ									
Зм..	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата										
Розроб.		Ткаченко В.І.			Валкова дробарка з модернізацією валків				Літ..		Аркуш		Аркушів	
Перев.		Шилович Т.Б									1		73	
Н. Контр.														
Затвердив		Сокольський О.												
								КПІ ім. Ігоря Сікорського						

ВСТУП

Валкові дробарки є одним із поширених видів дробильного обладнання, яке застосовується у технологічних лініях підготовки сировини в хімічній, будівельній, гірничій та інших галузях промисловості. Їх використовують для подрібнення матеріалів середньої твердості шляхом стискання та часткового стирання між двома валками, що обертаються назустріч один одному.

У технологічному ланцюгу подрібнення вапна для виробництва вапна валкова дробарка забезпечує попереднє зменшення розміру шматків матеріалу перед подальшим тонким розмелюванням. Від стабільності її роботи, величини робочого зазору та геометрії робочих органів залежать якість підготовки сировини, загальна продуктивність лінії та надійність усього комплексу обладнання.

Основними проблемами під час експлуатації машин такого типу є зношування робочих поверхонь валків, виникнення значних вібрацій, нерівномірне захоплення матеріалу та підвищені динамічні навантаження на підшипникові вузли. Тому актуальним завданням є модернізація валків, спрямована на покращення захоплення кусків вапна, зменшення проковзування частинок, підвищення зносостійкості та збільшення строку служби машини.

Метою даного дипломного проєкту є розробка та обґрунтування варіанта модернізації валків валкової дробарки для підвищення ефективності подрібнення сировини у зазначеному технологічному процесі. Для досягнення цієї мети розглянуто конструкцію та принцип роботи базової дробарки, виконано літературно-патентний огляд існуючих аналогів, проведено комплексі параметричні розрахунки, а також виконано числовий аналіз напружено-деформованого стану вузла у програмному середовищі ANSYS.

Запропоноване конструктивне рішення дозволяє підвищити ефективність роботи дробильного агрегату, зменшити нерівномірність навантаження на елементи станини та забезпечити надійну експлуатацію валкової дробарки в заданих виробничих умовах.

1 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ПОДРІБНЕННЯ ВАПНА

На рисунку 1.1 зображено технологічну лінію подрібнення вапна у виробництві вапна. Дана схема призначена для підготовки вапна шляхом його попереднього та тонкого подрібнення з подальшим отриманням суспензії.

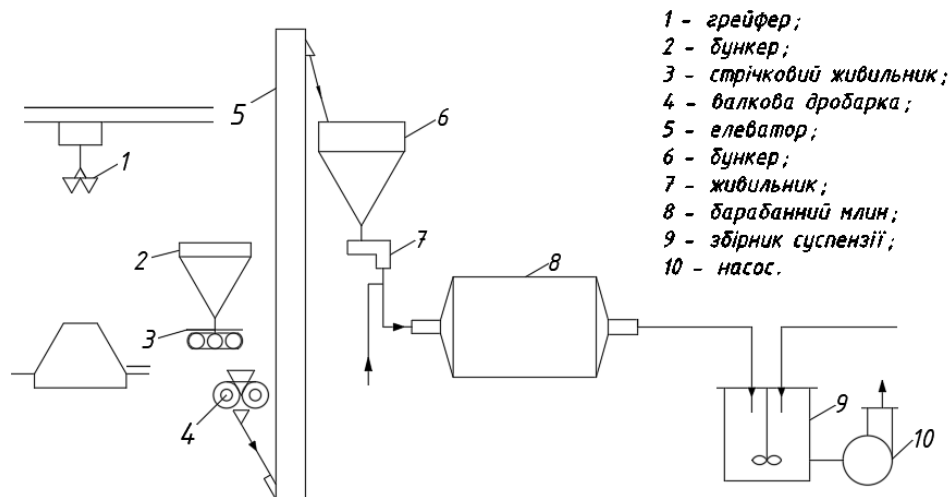


Рисунок 1.1 - Схема технологічної лінії виробництва вапна у виробництві вапна

1 - грейфер; 2 – бункер; 3 – стрічковий живильник; 4 – валкова дробарка; 5 – елеватор; 6 – бункер; 7 – живильник; 8 – барабанний млин; 9 – збірник суспензії; 10 – насос;

Вапно у вигляді кускового матеріалу подається до лінії за допомогою грейфера 1. Грейфер здійснює захоплення матеріалу та переміщує його у приймальний бункер 2. У бункері матеріал тимчасово накопичується, після чого рівномірно подається стрічковим живильником 3 до валкової дробарки 4.

У валковій дробарці 4 відбувається попереднє подрібнення вапна. Матеріал захоплюється двома валками, які обертаються назустріч один одному, і руйнується під дією сил стискання та часткового стирання. Після дробарки подрібнене вапно надходить до елеватора 5, який транспортує матеріал у верхню частину технологічної лінії та подає його в бункер 6.

З бункера 6 матеріал через живильник 7 рівномірно надходить у барабанний млин 8. У барабанному млині здійснюється подальше тонке подрібнення вапна.

Одночасно до млина подається вода, завдяки чому утворюється вапняна суспензія, необхідна для подальшого технологічного процесу виробництва преципітату.

Отримана суспензія надходить у збірник 9, де вона накопичується та перемішується для підтримання однорідного складу. Далі за допомогою насоса 10 суспензія перекачується на наступні стадії виробництва.

Таким чином, технологічна лінія включає дві основні стадії подрібнення: попереднє подрібнення у валковій дробарці та тонке подрібнення у барабанному млині. Використання валкової дробарки на початковій стадії дозволяє зменшити розмір кускового вапна, стабілізувати подачу матеріалу до млина та підвищити ефективність роботи всієї лінії.

2. ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВАЛКОВОЇ ДРОБАРКИ

Валкова дробарка призначена для попереднього подрібнення вапна у технологічній лінії виробництва преципітату. Подрібнення матеріалу відбувається між двома валками, які обертаються назустріч один одному. Матеріал захоплюється робочими поверхнями валків і руйнується під дією стискання та часткового стирання.

Основні технічні та експлуатаційні параметри валкової дробарки наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 — Технічна характеристика валкової дробарки

Параметр	Позначення	Значення	Одиниця
Діаметр валків	D	600	мм
Довжина робочої частини валків	L	400	мм
Максимальний розмір шматків матеріалу на вході	d _{max}	100	мм
Зазор між валками	δ	15	мм
Коефіцієнт тертя матеріалу по валках	f	0,45	-
Кут захоплення матеріалу	α	24,2	град
Окружна швидкість валків	v	1,5	м/с
Частота обертання валків	n	48	об/хв
Кількість рифлів на валку	z	10	шт
Висота рифля	h _p	36	мм
Крок рифлів	t _p	188	мм
Ступінь дроблення	i	7,67	-
Теоретична об'ємна продуктивність	Q _т	0,217	м³/год
Дійсна об'ємна продуктивність	Q _д	0,156	м³/год
Масова продуктивність	П	0,140	т/год
Потужність електродвигуна	N _{дв}	4,0	кВт
Частота обертання електродвигуна	n _{дв}	1450	об/хв
Твердість робочої поверхні валків	-	45...50	HRC

Наведені параметри характеризують основні конструктивні та експлуатаційні особливості валкової дробарки. Застосування рифлених валків забезпечує краще захоплення кускового матеріалу, зменшує його проковзування в зоні дроблення та підвищує ефективність подрібнення. Прийняті геометричні параметри валків і робочий зазор забезпечують можливість попереднього подрібнення вапна перед подальшим тонким подрібненням у барабанному млині.

3 ОПИС БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ, ЇЇ ОСНОВНИХ ЧАСТИН ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ

Валкова дробарка являє собою машину, основними робочими органами якої є два або більше циліндричних валки, що обертаються назустріч один одному. Типова конструкція двовалкової дробарки включає корпус, два робочих валки, приводний механізм, систему регулювання зазору між валками та систему безпеки. На рис. 3.1 конструкцію дробарки.

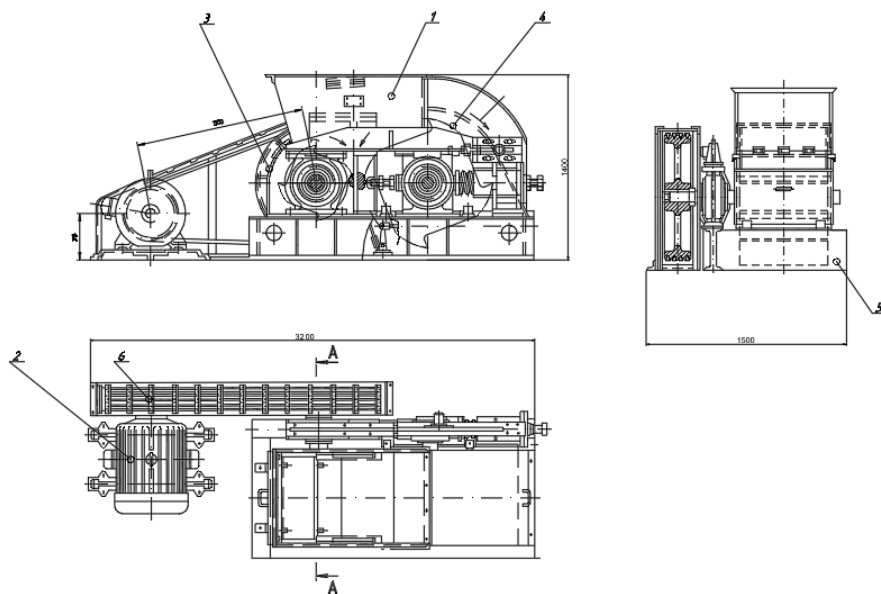


Рисунок 3.1 – Валкова дробарка

Корпус дробарки виконується у вигляді жорсткої зварної рами або литої конструкції, яка сприймає всі силові навантаження, що виникають при дробленні матеріалу. У корпусі встановлені підшипникові вузли валків, які можуть бути нерухомими або рухомими, що дозволяє регулювати зазор між валками [1].

Робочі валки є основними елементами дробарки. Вони являють собою циліндричні барабани, виготовлені з високоміцних зносостійких матеріалів. Поверхня валків може бути гладкою, рифленою або зубчастою залежно від призначення дробарки та властивостей матеріалу, що подрібнюється.

Гладкі валки використовуються для дроблення м'яких та середньої твердості матеріалів, забезпечуючи отримання продукту з мінімальним вмістом дрібних фракцій. Рифлені валки мають на поверхні поздовжні або гвинтові виступи, що

підвищує ефективність захоплення матеріалу та збільшує коефіцієнт тертя. Зубчасті валки застосовуються для дроблення особливо міцних матеріалів та забезпечують найбільший ступінь подрібнення.

Приводний механізм забезпечує обертання валків з необхідною швидкістю та передає необхідний крутний момент. Зазвичай привод здійснюється від електродвигуна через редуктор або клинопасову передачу. У двовалкових дробарках один валок є приводним, а другий може бути вільним або також приводним. У випадку двох приводних валків вони можуть обертатися з однаковою або різною швидкістю.

Система регулювання зазору між валками дозволяє змінювати ступінь подрібнення матеріалу. Регулювання здійснюється зміщенням осі одного з валків відносно іншого за допомогою гвинтових або клинових механізмів. Точність регулювання зазору є важливим параметром, що визначає якість готового продукту.

Система безпеки призначена для захисту дробарки від пошкодження при попаданні в зону дроблення недробимих предметів. Найчастіше використовуються пружинні амортизатори або гідравлічні системи, які дозволяють валкам розійтися при перевантаженні та повернутися в робоче положення після проходження недробимого предмета.

Принцип роботи валкової дробарки полягає в наступному. Матеріал, що підлягає дробленню, подається у завантажувальний бункер, розташований над валками. Під дією сили тяжіння матеріал опускається в зону захоплення валками. Коли шматок матеріалу досягає зони контакту з валками, він захоплюється силами тертя та затулюється в зазор між валками.

Умовою захоплення матеріалу є дотримання певного співвідношення між розміром шматка, зазором між валками та кутом захоплення. Кут захоплення визначається коефіцієнтом тертя між матеріалом та поверхнею валків. При недостатньому коефіцієнті тертя шматок не захоплюється валками та вивантажується з дробарки без подрібнення [3].

У зазорі між валками на матеріал діють стискальні напруження, що призводять до його руйнування. Характер руйнування залежить від механічних властивостей матеріалу. Крихкі матеріали руйнуються шляхом утворення тріщин, що поширюються від зони контакту з валками. В'язкі матеріали спочатку деформуються пластично, а потім руйнуються при досягненні граничних напружень. На рис.3.2 показано нерухомий валок.

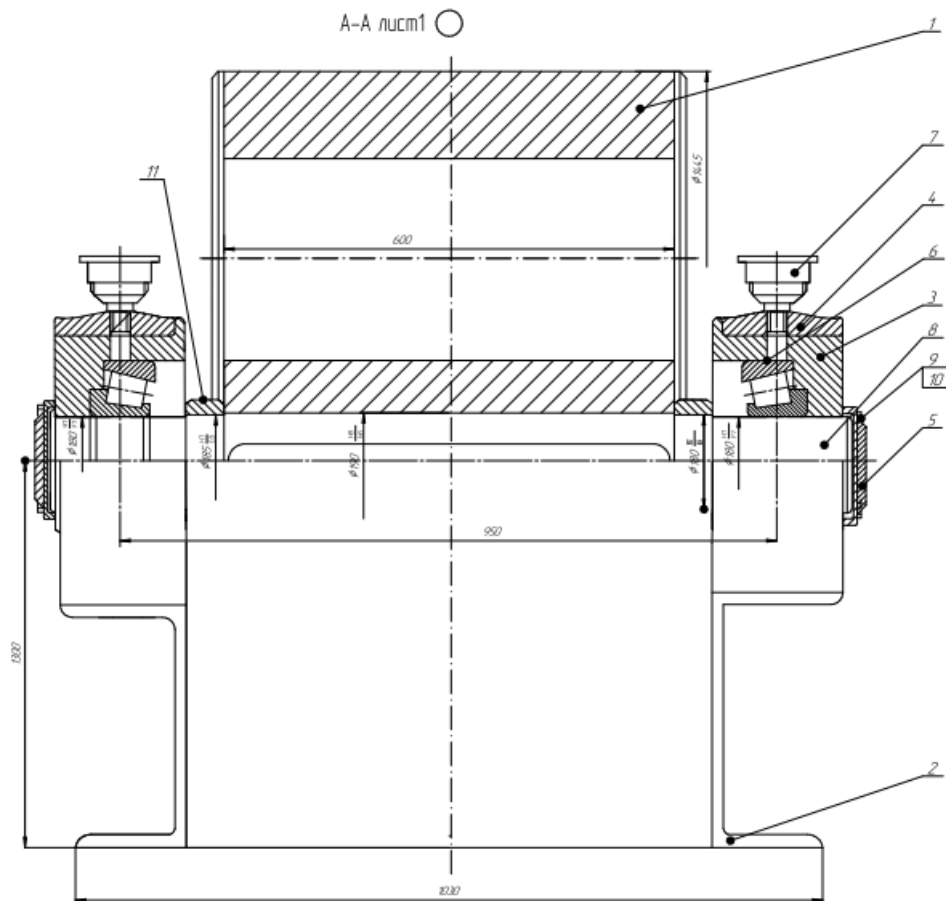


Рисунок 3.2 – Нерухомий валок

Подрібнений матеріал виходить з нижньої частини дробарки та надходить на подальшу переробку або транспортування. Розмір частинок подрібненого матеріалу визначається зазором між валками, властивостями матеріалу та параметрами валків [5].

Для підвищення ефективності роботи валкової дробарки часто застосовуються додаткові пристрої. До них відносяться живильники, що забезпечують рівномірну подачу матеріалу на валки, магнітні сепаратори для

видалення металевих включень, грохоти для розділення продукту дроблення за крупністю, системи аспірації для видалення пилу [4].

Важливим елементом валкової дробарки є система змащування підшипникових вузлів валків. Вона забезпечує надійну роботу підшипників при значних радіальних та осьових навантаженнях. Застосовується як централізована система змащування, так і індивідуальне змащування кожного підшипника.

У сучасних валкових дробарках часто використовуються системи автоматичного керування, які контролюють продуктивність дробарки, навантаження на привід, зазор між валками, вібрацію та інші параметри. Це дозволяє оптимізувати роботу дробарки та своєчасно виявляти несправності.

4 ЛІТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД, ОБГРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ ВАЛКІВ

1 Патент UA 12256 «Валкова дробарка спеціальна» [1]

Опис патенту. Валкова дробарка спеціальна призначена для подрібнення листових азбестоцементних виробів, зокрема хвильового та плоского шиферу, з метою подальшого використання подрібненого матеріалу у цементному виробництві. Конструкція дробарки дозволяє забезпечити ефективне руйнування кускового матеріалу при зменшенні утворення пилоподібної фракції. Зображено на рис. 4.1:

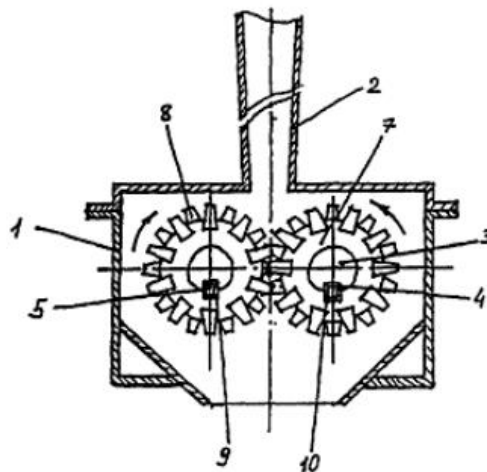


Рисунок 4.1 – Валкова дробарка спеціальна.

Дробарка включає роз'ємний корпус 1, до верхньої частини якого під'єднаний приймальний жолоб 2, а в середині розміщений валковий ріжучий механізм у вигляді двох однакових валів 3 з пазами 4, виконаними на зовнішній поверхні. На валах за допомогою шпонок 5 закріплені та зафіксовані гайками 6 диски 7. По колу зовнішньої поверхні дисків встановлені вставні ріжучі зуби 8, які виконані у вигляді зрізаної піраміди.

На внутрішній поверхні дисків виконані пази 9 і 10 у почерговості «паз напроти зуба – паз напроти впадини». Така конструкція забезпечує взаємодію дисків обох валів при зустрічному обертанні та сприяє інтенсивному руйнуванню матеріалу.

Валковий ріжучий механізм за допомогою зубчастої передачі 11 під'єднаний до приводного механізму 12, який складається з електродвигуна 13, редуктора 14 та муфт 15. Приймальний вузол виконаний у вигляді жолоба, встановленого напроти міжосьового центру валів, що забезпечує рівномірне подавання матеріалу в робочу зону дробарки.

Принцип роботи дробарки полягає у наступному. Матеріал через приймальний жолоб 2 надходить у зону між валами 3. При обертанні валів назустріч один одному ріжучі зуби 8 захоплюють матеріал та здійснюють його подрібнення за рахунок дії сил різання, стискання та часткового зсуву. Завдяки спеціальному розташуванню зубів і пазів забезпечується рівномірне подрібнення та зменшується утворення видовжених пластинчастих частинок.

Аналіз патенту. Перевагою даного патенту є використання вставних ріжучих зубів із твердого сплаву, що дозволяє значно підвищити зносостійкість робочих елементів дробарки та збільшити термін їх експлуатації. Виконання зубів у вигляді зрізаної піраміди забезпечує ефективне захоплення листового матеріалу та його інтенсивне руйнування без значного утворення пилу. Завдяки спеціальному розташуванню пазів на внутрішній поверхні дисків забезпечується узгоджена робота валів та рівномірний розподіл навантаження в процесі подрібнення. Важливою особливістю конструкції є використання однакових валів та синхронізація їх роботи через зубчасту передачу, що підвищує надійність роботи дробарки. Крім того, конструкція дозволяє зменшити утворення небезпечної пилоподібної азбестової фракції, що має важливе значення з точки зору безпеки праці та екологічності процесу. Для теми модернізації валкових дробарок даний патент має важливе практичне значення, оскільки демонструє ефективний спосіб удосконалення різального механізму за рахунок застосування змінних ріжучих елементів та оптимізації їх взаємного розташування.

2 Патент UA 36934 «Валкова дробарка» [2]

Опис патенту. Патент стосується валкової дробарки для подрібнення матеріалів у гірничодобувній, хімічній та будівельній промисловості. Зображено на

рисунку 4.2:

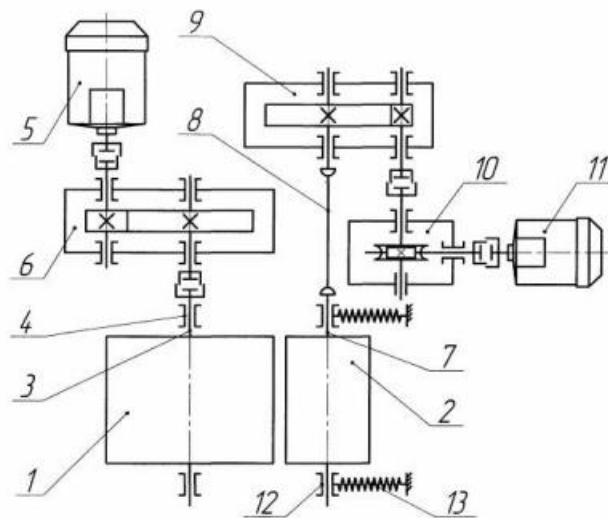


Рисунок 4.2 – Загальна схема валкової дробарки

Валкова дробарка має ведучий 1 і опорний 2 валки. Ведучий валок 1 закріплений на валу 3, який установлений у нерухомих підшипниках 4. Обертання ведучого валка забезпечується електродвигуном 5 через циліндричний редуктор 6.

Опорний валок 2 закріплений на валу 7 та кінематично з'єднаний через карданний вал 8, циліндричний редуктор 9 та черв'ячний редуктор 10 з електродвигуном 11. Підшипники 12 вала 7 встановлені на пружинах 13 з можливістю стиснення при потраплянні сторонніх предметів у робочий простір дробарки. Приставлено на рисунку 4.3:

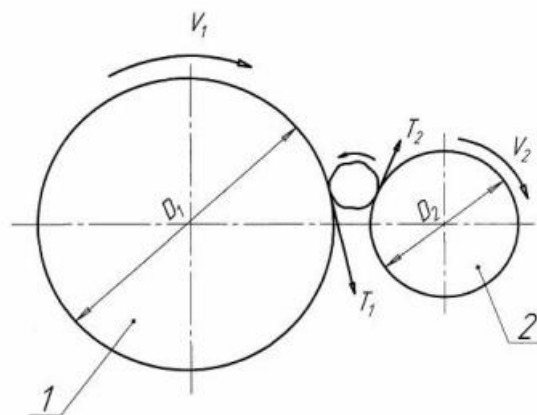


Рисунок 4.3 – Схема взаємодії валків у процесі подрібнення матеріалу

Подрібнення матеріалу здійснюється між валками 1 і 2, які обертаються в

одному напрямку з різними коловими швидкостями V_1 та V_2 . Завдяки різниці швидкостей забезпечується обертання кусків матеріалу в зоні дроблення.

Аналіз патенту. Перевагою даного патенту є створення умов для обертання шматків матеріалу під час подрібнення, що забезпечує утворення складної схеми напружень у матеріалі та сприяє більш ефективному руйнуванню. Використання автономних приводів дозволяє регулювати швидкість обертання валків та зменшувати енергоємність процесу подрібнення. Для модернізації валкових дробарок дане технічне рішення є корисним прикладом удосконалення кінематичної схеми дробарки.

3 Патент UA 51401 «Валкова дробарка» [3]

Опис патенту. Патент UA 51401 стосується валкової дробарки для подрібнення зерна, кормів та дрібнокускових матеріалів. Зображено на рисунку 4.4:

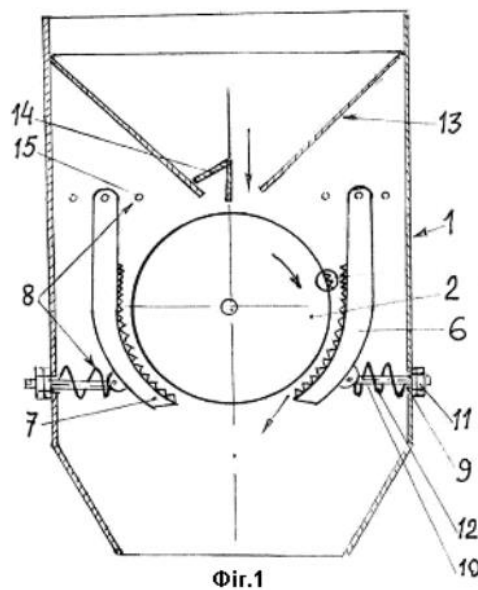


Рисунок 4.4 – Загальний вигляд еластичного шнека.

Дробарка включає корпус, у якому встановлений реверсивний валок з рифлями, виконаними по різні сторони кожної канавки. По боках валка встановлені рифлені деки з рифлями різної висоти.

Деки оснащені механізмами регулювання робочого зазору, що складаються з шарнірно прикріпленого регульовального гвинта з гайками. Між декою та корпусом встановлена циліндрична пружина, яка забезпечує захист робочих органів при потраплянні сторонніх предметів.

Канавки валка мають трапецієподібну форму, а рифлі виконані різної висоти по різні сторони канавок, що забезпечує покращене захоплення матеріалу.

Аналіз патенту. Перевагою даного патенту є вдосконалення конструкції реверсивного валка шляхом зміни форми рифлів та канавок. Це дозволяє забезпечити ефективне дроблення як зернових матеріалів, так і кускових кормів різної крупності. Використання підпружинених дек підвищує надійність роботи дробарки та зменшує ймовірність пошкодження робочих органів. Для модернізації валкових дробарок даний патент є прикладом підвищення універсальності обладнання та покращення умов захоплення матеріалу.

4 Патент UA 52841 «Валкова дробарка» [4]

Опис патенту. Патент UA 52841 стосується валкової дробарки для подрібнення кускових матеріалів із можливістю одночасного отримання продукту різної крупності. Зображено на рисунку 4.5:

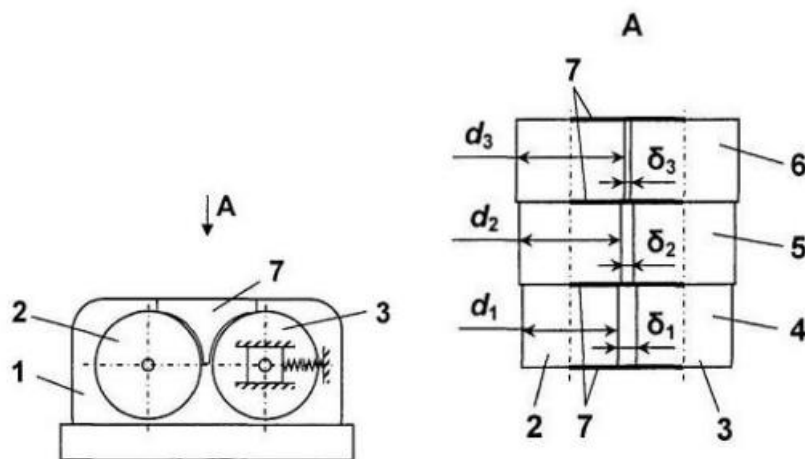


Рисунок 4.5 – Валкова дробарка зі змінним діаметром валків.

Дробарка включає корпус 1 та два валки 2 і 3, встановлені паралельно один

одному з можливістю зустрічного обертання. Валки встановлені у підшипникових опорах 4 та з'єднані з приводним механізмом 5.

Особливістю конструкції є те, що кожний валок по довжині має декілька ділянок різного діаметра D_1 , D_2 та D_3 . Діаметри ділянок збільшуються послідовно по довжині валків. Внаслідок цього між валками утворюються різні за величиною робочі зазори.

Матеріал через завантажувальний вузол надходить у робочу зону дробарки та послідовно проходить через ділянки валків із різними зазорами. Руйнування матеріалу здійснюється за рахунок стискання між валками.

Аналіз патенту. Перевагою даного патенту є можливість одночасного отримання декількох фракцій подрібненого продукту в межах однієї дробарки без використання додаткових стадій подрібнення. Застосування валків зі змінним діаметром дозволяє підвищити продуктивність обладнання та спростити технологічну схему подрібнення. Для модернізації валкових дробарок дане рішення є прикладом удосконалення конструкції валків з метою розширення технологічних можливостей дробарки.

5 Патент UA 85997 «Валкова дробарка» [5]

Опис патенту. Патент UA 85997 стосується валкової дробарки для подрібнення твердих крихких матеріалів. Зображено на рисунку 4.6:

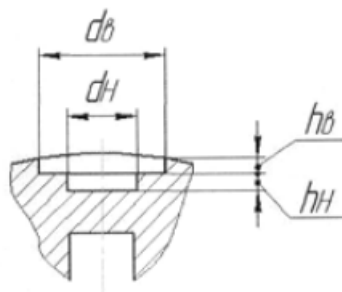


Рисунок 4.6 – Валкова дробарка із заглибленнями на бандажах.

Дробарка включає два валки 1 і 2 з гладкими бандажами 3, встановленими на валах 4. Один із валків установлений у нерухомих підшипникових опорах, а другий – у рухомих.

На робочій поверхні бандажів виконані верхні та нижні заглиблення 5 і 6 з різними діаметрами d_v та d_n . Глибина заглиблень визначається співвідношеннями $h_v = 0,12-0,15d_v$ та $h_n = 0,15-0,20d_n$.

Матеріал подається у простір між валками та піддається руйнуванню внаслідок дії стискання та складної схеми напружень, що виникають через спеціальну форму заглиблень на поверхні бандажів.

Аналіз патенту. Перевагою даного патенту є використання спеціальних заглиблень на поверхні бандажів, що дозволяє створювати складний напружений стан у матеріалі та сприяє ефективнішому утворенню тріщин. Це забезпечує зменшення енергоємності процесу подрібнення та підвищення продуктивності дробарки. Для модернізації валкових дробарок даний патент є прикладом удосконалення робочих поверхонь валків з метою покращення процесу руйнування матеріалу.

6 Патент UA 115328 «Валкова дробарка з балансувальними циліндрами»

[6]

Опис патенту. Патент UA 115328 стосується валкової дробарки високого тиску для подрібнення руди, цементного клінкеру та інших твердих матеріалів. Воно зображено на рисунку 4.7:

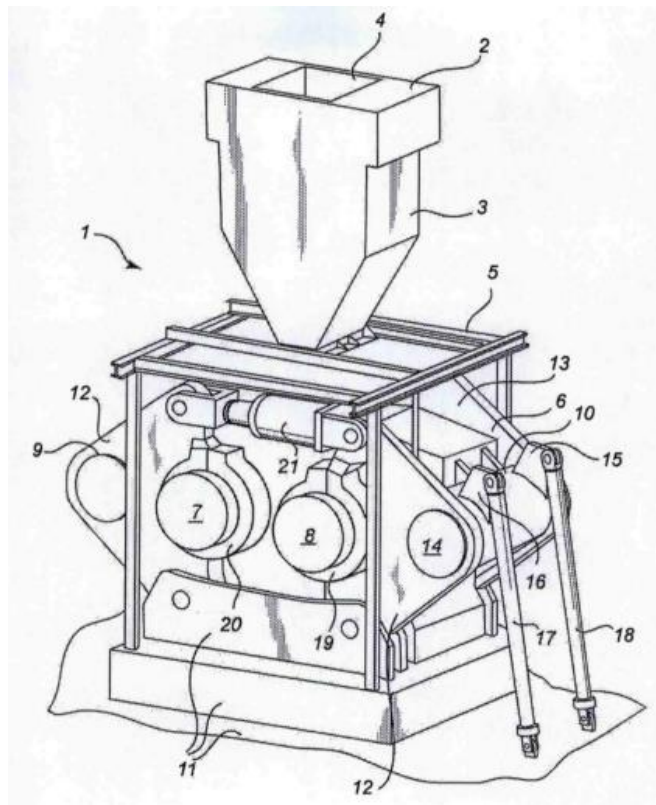


Рисунок 4.7 – Валкова дробарка з балансувальними циліндрами.

Дробарка включає опорну раму 11, першу та другу секції рам 9 і 10 для валків, а також валки 7 і 8, встановлені у підшипникових вузлах. Секції рам з'єднані з опорною рамою з можливістю повороту.

Між секціями рам та опорною рамою встановлені балансувальні циліндри 17 і 18. Крім того, дробарка оснащена циліндрами регулювання зазору між валками та вузлом подачі матеріалу 2.

Під час роботи матеріал через вузол подачі 2 надходить у міжвалковий простір, де руйнується під дією високого тиску. Балансувальні циліндри забезпечують регулювання положення валків та стабілізацію робочого процесу.

Аналіз патенту. Перевагою даного патенту є використання балансувальних циліндрів, що дозволяють точно регулювати положення валків та забезпечувати рівномірний розподіл навантаження у процесі дроблення. Завдяки цьому зменшується нерівномірне зношування робочих поверхонь та підвищується

стабільність роботи дробарки. Для модернізації валкових дробарок дане технічне рішення є прикладом удосконалення системи регулювання та стабілізації міжвалкового проміжку.

7 Патент UA 132083 «Валкова дробарка» [7]

Опис патенту. Патент UA 132083 стосується валкової дробарки для подрібнення дрібнозернистих матеріалів у гірничодобувній та будівельній промисловості. Це зображено на рисунку 4.8:

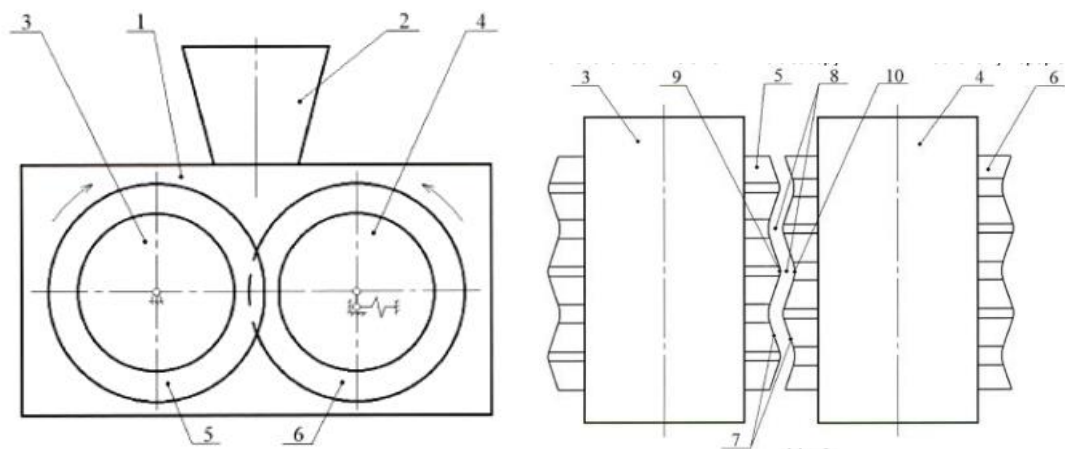


Рисунок 4.8 – Загальний вигляд валкової дробарки.

Дробарка включає корпус 1 із завантажувальним бункером 2, у якому встановлені валки 3 і 4 з можливістю зустрічного обертання. Валки змонтовані на валах 5 у підшипникових опорах 6 та кінематично з'єднані з приводним механізмом 7.

На поверхні валків установлені бандажі 8, робоча поверхня яких виконана у вигляді послідовності конусоподібних ділянок зі зміною напрямку нахилу твірної до осі валка. Вершини виступів профілю виконані заокругленими, а радіус заокруглення виступів є меншим за радіус впадин профілю.

Між валками підтримується постійний робочий зазор, у межах якого здійснюється подрібнення матеріалу. Під час роботи матеріал через

завантажувальний бункер 2 надходить у простір між валками 3 і 4, де руйнується внаслідок стискання та зсуву.

Аналіз патенту. Перевагою цього патенту є спрощення кріплення спіралей до пустотілого вала. На відміну від складніших конструкцій з еластичними елементами, тут використано прості прямокутні планки 3, які встановлюються в отворах 2 і слугують основою для механічного кріплення спіралей 4. Для модернізації черв'ячного дозатора гранул це рішення є корисним з точки зору технологічності виготовлення та спрощення складання конструкції.

8 Патент UA 135267 «Валкова дробарка» [8]

Опис патенту. Патент UA 150814 стосується шнека для транспортування матеріалів. Конструкція виконана у вигляді вала 1, до якого жорстко закріплено базову спіраль 2. До базової спіралі 2 механічним способом 4 закріплено змінну спіраль 3. При цьому змінна спіраль 3 може мати різний зовнішній діаметр. Зображено на рисунку 4.9:

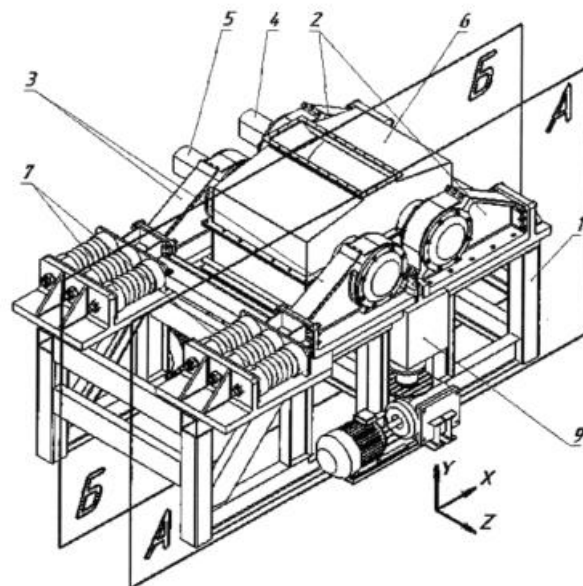


Рисунок 4.9 – Валкова дробарка з клиновим механізмом регулювання.

Дробарка включає станину 1, валки 2 і 3, установлені у підшипникових опорах 4 та 5, а також приводний механізм 6. Один із валків установлений у нерухомих підшипникових опорах, а другий – у рухомих.

Механізм регулювання міжвалкового проміжку розташований у нижній частині станини та виконаний у вигляді клинової самогальмівної пари. Він складається з нерухомого клина 7 та рухомого клина 8, який переміщується за допомогою індивідуального привода 9.

При переміщенні рухомого клина 8 здійснюється зміна положення рухомого валка та регулювання величини зазору між валками. Подрібнення матеріалу відбувається між валками 2 і 3 за рахунок дії сил стискання.

Аналіз патенту. Перевагою даного патенту є застосування клинового самогальмівного механізму регулювання міжвалкового проміжку, який забезпечує точне налаштування робочого зазору та стабільність положення валків у процесі роботи дробарки. Використання механічного регулювання дозволяє спростити конструкцію обладнання порівняно з гідравлічними системами. Конструкція забезпечує надійну фіксацію положення рухомого валка навіть при значних навантаженнях у зоні дроблення. Для модернізації валкових дробарок даний патент є прикладом удосконалення системи регулювання міжвалкового проміжку та підвищення надійності роботи дробарки.

9 Патент UA 141427 «Валкова дробарка» [9]

Опис патенту. Патент UA 141427 стосується валкової дробарки з автоматичним контролем міжвалкового проміжку. Це показано на рисунку 4.10:

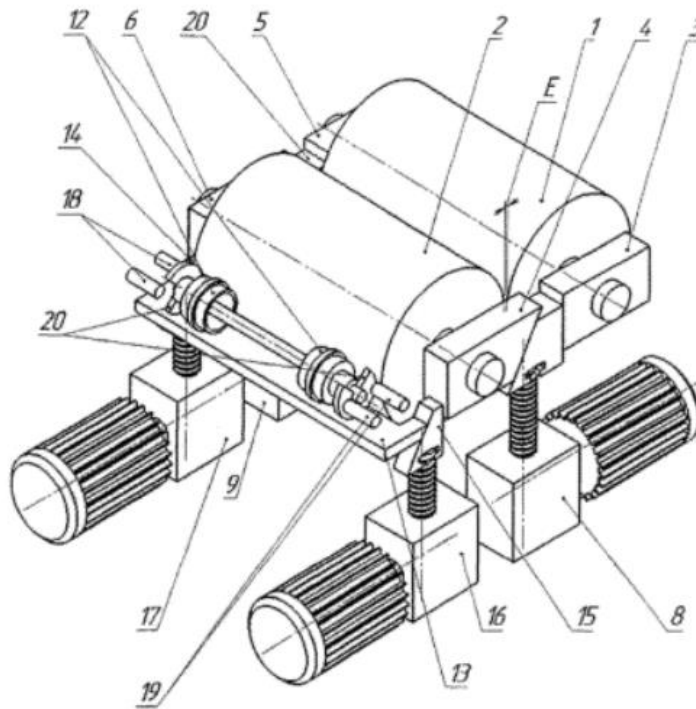


Рисунок 4.10 – Валкова дробарка з автоматичним контролем зазору.

Дробарка містить два приводні валки 1 і 2, один з яких установлений нерухомо, а другий – з можливістю переміщення. Валки розташовані у підшипникових опорах 3 та кінематично з'єднані з приводним механізмом 4.

З боку рухомого валка встановлений механізм контролю міжвалкового проміжку, який складається зі слідкувальних роликів 5 та 6, установлених на підпружиненій рамі 7. Рама з'єднана з індивідуальними приводами горизонтального переміщення 8.

На слідкувальних роликах установлені блоки безконтактного контролю 9, сигнали з яких надходять до контролера 10. Контролер здійснює аналіз положення валків та формує сигнали для регулювання міжвалкового проміжку.

У процесі роботи дробарки система автоматично контролює величину зазору між валками та забезпечує підтримання стабільного режиму подрібнення.

Аналіз патенту. Перевагою даного патенту є автоматизація контролю міжвалкового проміжку, що дозволяє забезпечити стабільність процесу дроблення

та підтримання необхідного гранулометричного складу подрібненого матеріалу. Використання безконтактних датчиків дозволяє своєчасно виявляти зміну положення валків та компенсувати відхилення у процесі роботи. Автоматичне регулювання зазору між валками підвищує надійність роботи дробарки та зменшує ймовірність аварійних режимів. Для модернізації валкових дробарок даний патент є прикладом упровадження систем автоматичного контролю та підвищення рівня автоматизації дробильного обладнання.

10 Патент UA 98232 «Валкова дробарка» [10]

Опис патенту. Патент UA 98232 є основним патентом для даної роботи та стосується валкової дробарки для подрібнення механічного сміття, зокрема у стічних водах. Це зображено на рисунку 4.11:

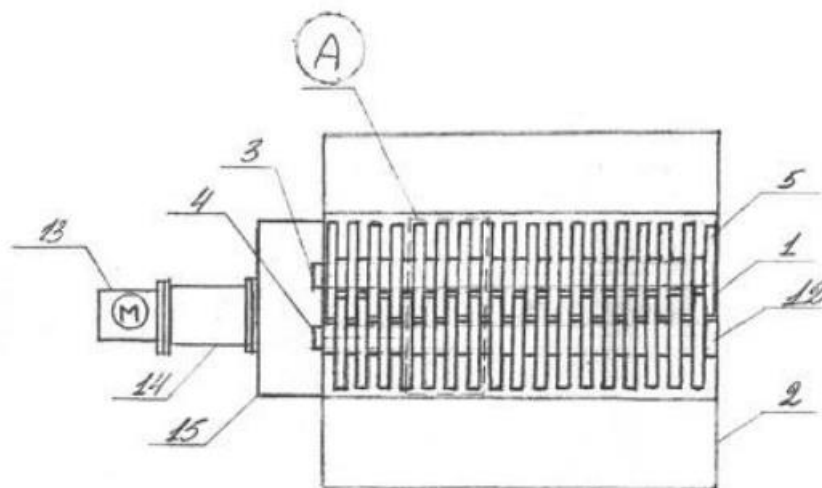


Рисунок 4.11 – Загальний вигляд валкової дробарки.

Дробарка включає корпус 1, до верхньої частини якого під'єднаний приймальний жолоб 2. Усередині корпусу встановлений валковий різальний механізм, виконаний у вигляді двох валів 3 і 4, розташованих паралельно один одному та змонтованих з можливістю зустрічного обертання.

На зовнішній поверхні валів за допомогою шліцьових з'єднань 6 закріплені диски 5, виготовлені з інструментальної сталі. Диски встановлені на валах у певній послідовності та зафіксовані таким чином, щоб забезпечити стабільність роботи валкового механізму.

По периферії кожного диска виконані виступи 7 та западини 8. Кількість виступів і западин на одному диску становить від 4 до 16. Горизонтальний бік западини виконаний під кутом $\alpha = 90-120^\circ$ до вертикальної осі диска, а вертикальний бік – під кутом $\beta = 80-85^\circ$ до горизонтальної осі. Перехід між сторонами западини виконаний у вигляді дуги радіусом R .

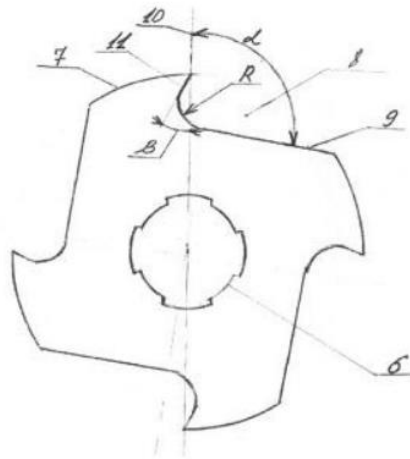


Рисунок 4.12 – Конструкція диска валкової дробарки.

Між дисками на валах установлені втулки 12 циліндричної форми. Відстань між втулкою одного вала та диском іншого становить $\delta = 0,8-1,5$ мм.

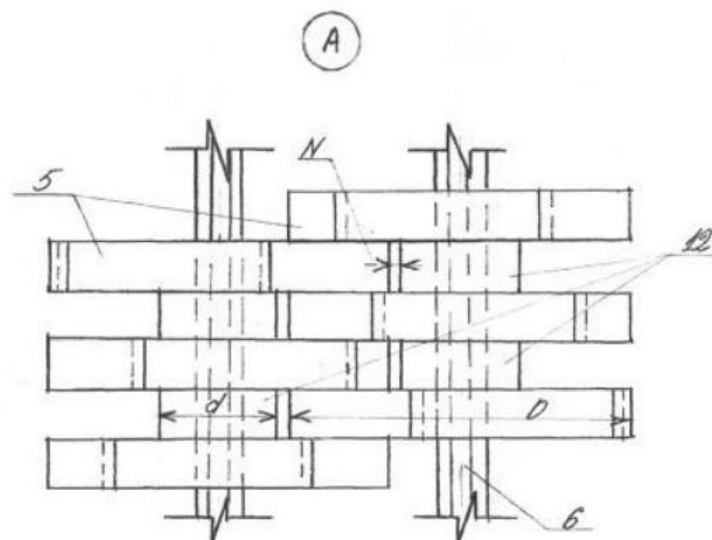


Рисунок 4.13 – Схема розташування дисків та втулок на валах дробарки.

Валковий різальний механізм за допомогою зубчастої передачі з'єднаний із приводним механізмом, що складається з електродвигуна, редуктора та муфти. Передача крутного моменту забезпечує синхронне зустрічне обертання валів.

Принцип роботи дробарки полягає у наступному. Матеріал через приймальний жолоб 2 надходить у простір між валами 3 і 4. При обертанні валів виступи 7 дисків захоплюють матеріал та переміщують його в робочу зону. Руїнування матеріалу здійснюється за рахунок поєднання процесів стискання, різання та часткового зсуву.

Завдяки спеціальній формі виступів і западин забезпечується рівномірний розподіл навантаження між робочими елементами, покращується захоплення матеріалу та зменшується ймовірність заклинювання дробарки.

Аналіз патенту. Перевагою даного патенту є використання дисків спеціальної форми, які одночасно виконують функцію ріжучих елементів та забезпечують ефективне подрібнення матеріалу. Завдяки виконанню виступів і западин на периферії дисків забезпечується покращене захоплення матеріалу та рівномірний розподіл навантаження у зоні дроблення. Використання шліцьових з'єднань для кріплення дисків до валів підвищує надійність конструкції та зменшує ймовірність провертання елементів під час роботи дробарки. Наявність втулок між дисками забезпечує стабільність зазору та покращує якість подрібнення матеріалу. Важливою особливістю конструкції є поєднання процесів стискання та різання, що дозволяє зменшити навантаження на привід дробарки та підвищити довговічність робочих органів. Для теми модернізації валкових дробарок даний патент має важливе значення, оскільки демонструє ефективний спосіб удосконалення валкового різального механізму шляхом зміни геометрії дисків та оптимізації взаємодії робочих елементів.

Обґрунтування модернізації обраного патенту

Аналіз наведених патентних рішень свідчить, що кожна з існуючих конструкцій валкових дробарок має певні експлуатаційні та технологічні обмеження. Основними недоліками розглянутих рішень є ускладнення конструкції приводу, нерівномірне навантаження на підшипникові вузли, швидке зношування робочих поверхонь, забивання заглиблень матеріалом, а також виникнення вібрацій під час подрібнення сировини.

З урахуванням цих недоліків для модернізації робочих органів валкової дробарки було обрано патент UA 98232 «Валкова дробарка». Дане технічне рішення передбачає зміну геометрії робочих елементів дробарки шляхом використання спеціальних дисків із виступами та западинами на периферії. Така конструкція дозволяє покращити процес захоплення матеріалу, забезпечити його більш інтенсивне руйнування та підвищити стабільність роботи дробильного вузла.

Вибір саме цього варіанту модернізації обґрунтовується тим, що запропонована геометрія робочих дисків забезпечує одночасну дію сил стискання та зсуву. Завдяки цьому матеріал не лише роздавлюється між валками, а й додатково руйнується за рахунок зсувних деформацій. Це дозволяє підвищити ефективність подрібнення та отримати більш однорідну фракцію готового продукту.

Особливістю патенту є виконання западин і виступів спеціальної форми. Горизонтальна сторона западини розташована під кутом $90\text{--}120^\circ$ до вертикальної осі диска, а вертикальна сторона — під кутом $80\text{--}85^\circ$ до горизонтальної осі. Перехід між сторонами западин виконано у вигляді плавної дуги радіусом $10\text{--}12$ мм. Така форма зменшує локальну концентрацію напружень у тілі дисків і знижує ймовірність утворення тріщин або сколювання робочих елементів під час роботи.

Для наочного представлення запропонованого технічного рішення на рисунку 4.11 зображено загальний вигляд модернізованих валків валкової дробарки.

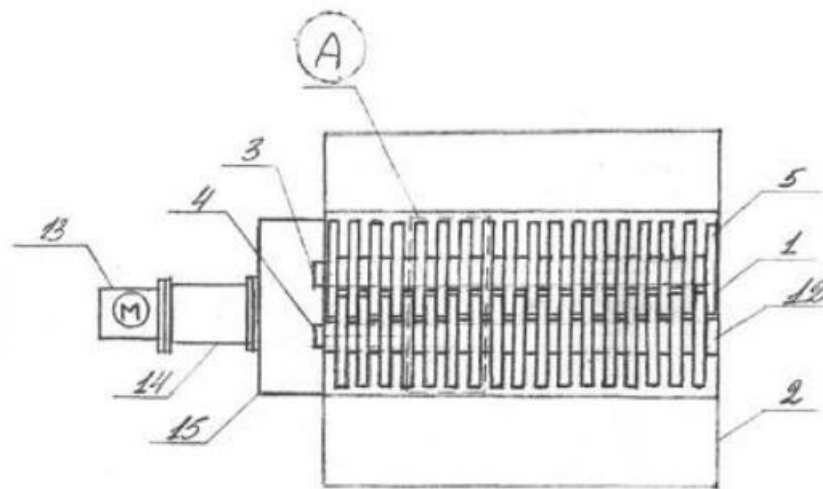


Рисунок 4.11 — Модернізовані валки валкової дробарки за патентом UA 98232

Як видно з рисунка, модернізований вузол складається з робочих валків, на яких встановлено диски спеціальної геометричної форми. На периферії дисків виконані виступи та западини, що забезпечують краще захоплення кускового матеріалу і його подальше руйнування у робочій зоні дробарки. Впровадження такої конструкції дозволяє вирішити кілька важливих технологічних завдань:

Покращується захоплення матеріалу валками та зменшується його проковзування у зоні дроблення.

Забезпечується більш інтенсивне подрібнення за рахунок поєднання стискання та зсуву матеріалу між робочими дисками.

Плавні радіусні переходи у западинах зменшують концентрацію напружень і підвищують надійність робочих елементів.

Зменшуються вібрації та ударні навантаження, оскільки матеріал захоплюється більш рівномірно.

Підвищується якість готового продукту завдяки більш однорідному руйнуванню шматків сировини.

Таким чином, використання модернізованих валків за патентом UA 98232 є обґрунтованим рішенням для підвищення ефективності роботи валкової дробарки.

Запропонована конструкція дозволяє покращити процес подрібнення сировини, зменшити нерівномірність навантажень на робочі органи та забезпечити достатню міцність і надійність вузла під час експлуатації.

5 РОЗРАХУНКИ ВАЛКОВОЇ ДРОБАРКИ

5.1 Параметричні розрахунки

Розрахунок геометрії валків і частоти їх обертання

Вихідні дані для розрахунку:

- Діаметр валків: $D = 600 \text{ мм} = 0,6 \text{ м}$
- Довжина робочої частини валків: $L = 400 \text{ мм} = 0,4 \text{ м}$
- Максимальний розмір шматків матеріалу на вході: $d_{\max} = 100 \text{ мм}$
- Зазор між валками: $\delta = 15 \text{ мм} = 0,015 \text{ м}$
- Матеріал, що дробиться: вугілля
- Коефіцієнт тертя матеріалу по валках: $f = 0,35$

Розрахунок кута захоплення:

Кут захоплення α визначається з умови:

$$\operatorname{tg}(\alpha) \leq f$$

Звідси максимальний кут захоплення:

$$\alpha_{\max} = \operatorname{arctg}(f) = \operatorname{arctg}(0,35) = 19,3^\circ$$

я захоплення шматка матеріалу валками повинна виконуватися умова:

$$d_{\max} \leq D \cdot \operatorname{tg}^2(\alpha_{\max})$$

Перевіримо:

$$D \cdot \operatorname{tg}^2(\alpha_{\max}) = 600 \cdot \operatorname{tg}^2(19,3^\circ) = 600 \cdot 0,35^2 = 73,5 \text{ мм}$$

Оскільки $d_{\max} = 100 \text{ мм} > 73,5 \text{ мм}$, необхідно або збільшити коефіцієнт тертя (застосувати рифлені валки), або зменшити максимальний розмір шматків на вході, або збільшити діаметр валків.

Приймаємо рифлені валки з коефіцієнтом тертя $f = 0,45$:

$$\alpha_{\max} = \operatorname{arctg}(0,45) = 24,2^\circ$$

$$D \cdot \operatorname{tg}^2(\alpha_{\max}) = 600 \cdot 0,45^2 = 121,5 \text{ мм} > 100 \text{ мм} \quad - \text{ умова виконується}$$

Розрахунок окружної швидкості валків:

Окружна швидкість валків для подрібнення вугілля: $v =$

1,0...2,5 м/с

Приймаємо $v = 1,5$ м/с

Частота обертання валків:

$$n = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{60 \cdot 1,5}{3,14 \cdot 0,6} = 47,8 \text{ об/хв} \approx 48 \text{ об/хв}$$

$$n = \frac{48}{60} = 0,8 \text{ с}^{-1}$$

Розрахунок геометричних параметрів

Для рифлених валків:

Кількість рифлів: $z = 8 \dots 12$ шт., приймаємо $z = 10$ шт.

Висота рифля: $h_r = (0,05 \dots 0,08) \cdot D = 0,06 \cdot 600 = 36$ мм

Крок рифлів: $t_r = \pi \cdot D / z = 3,14 \cdot 600 / 10 = 188$ мм

Робоча довжина валків:

$$L_{\text{роб}} = L = 400 \text{ мм}$$

Габаритні розміри валків:

Загальна довжина валка з урахуванням опорних шийок:

$$L_{\text{заг}} = L_{\text{роб}} + 2 \cdot l_{\text{оп}}$$

де $l_{\text{оп}}$ – довжина опорної шийки, приймаємо $l_{\text{оп}} = 100$ мм

$$L_{\text{заг}} = 400 + 2 \cdot 100 = 600 \text{ мм}$$

Діаметр опорних шийок:

$$d_{\text{оп}} = (0,6 \dots 0,7) \cdot D = 0,65 \cdot 600 = 390 \text{ мм}$$

Маса одного валка:

$$m_v = \pi \cdot (D^2 \cdot L_{\text{роб}} + d_{\text{оп}}^2 \cdot l_{\text{оп}}) \cdot \frac{\rho_{\text{ст}}}{4}$$

де $\rho_{\text{ст}} = 7850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – густина сталі

$$m_v = 3,14 \cdot (0,6^2 \cdot 0,4 + 0,39^2 \cdot 0,1) \cdot \frac{7850}{4} = 1124 \text{ кг} \approx 1100 \text{ кг}$$

Розрахунок коефіцієнта захоплення та профілю валків

Коефіцієнт захоплення:

Коефіцієнт захоплення K_z характеризує здатність валків захоплювати матеріал [2]:

$$K_3 = \frac{a_{max}}{\delta} = \frac{100}{15} = 6,67$$

Для надійного захоплення коефіцієнт захоплення повинен бути $K_3 \leq 8 \dots 10$, що виконується.

Ступінь дроблення:

$$i = \frac{d_{max+\delta}}{\delta} = \frac{100 + 15}{15} = 7,67$$

Профіль рифлень валків:

Для рифлених валків приймаємо трапецеїдальний профіль рифлів:

Кут нахилу бічних граней рифля: $\beta = 45^\circ$

Ширина вершини рифля: $b_B = 20$ мм

Ширина основи рифля: $b_O = b_B + 2 \cdot h_p \cdot \tan(\beta) = 20 + 2 \cdot 36 \cdot 1 = 92$ мм

Ширина западини між рифлями: $b_3 = t_p - b_O = 188 - 92 = 96$ мм

Рифлі на валках розташовуються зі зміщенням, при якому западина одного валка знаходиться проти вершини рифля іншого валка. Це забезпечує ефективне захоплення та дроблення матеріалу.

Валки виготовляються зі сталі 40Х або 40ХН з твердістю HRC 45...50. Робоча поверхня валків піддається термічній обробці (загартування та відпуск) або наплавленню зносостійкими сплавами.

Розрахунок продуктивності валкової дробарки

Теоретична продуктивність:

Теоретична об'ємна продуктивність валкової дробарки:

$$Q_T = 60 \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot \delta \cdot n \cdot \psi, \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

де ψ – коефіцієнт розпушення матеріалу в зазорі, $\psi = 0,3 \dots 0,5$, приймаємо $\psi =$

0,4

$$Q_T = 60 \cdot 3,14 \cdot 0,6 \cdot 0,4 \cdot 0,015 \cdot 0,8 \cdot 0,4 = 0,217 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

Дійсна продуктивність:

Дійсна продуктивність з урахуванням коефіцієнта використання дробарки:

$$Q_d = Q_T \cdot k_v \cdot k_n$$

де k_v – коефіцієнт використання дробарки за часом, $k_v = 0,85 \dots 0,95$,
приймаємо $k_v = 0,9$; k_n – коефіцієнт нерівномірності подачі матеріалу, $k_n = 0,7 \dots 0,9$,
приймаємо $k_n = 0,8$

$$Q_d = 0,217 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 0,156 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

Масова продуктивність:

$$\Pi = Q_d \cdot \rho_n, \frac{\text{т}}{\text{год}}$$

де ρ_n – насипна густина матеріалу (для кераміки $\rho_n = 1,5 \dots 1,7 \text{ т/м}^3$),
приймаємо $\rho_n = 1,6 \text{ т/м}^3$

$$\Pi = Q_d \cdot \rho_n, \frac{\text{т}}{\text{год}}$$

де ρ_n – насипна густина матеріалу (для кераміки $\rho_n = 1,5 \dots 1,7 \text{ т/м}^3$),
приймаємо $\rho_n = 1,6 \text{ т/м}^3$

$$\Pi = 0,156 \cdot 1,6 = 0,25 \frac{\text{т}}{\text{год}} = 250 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

Питома продуктивність:

Питома продуктивність на 1 м довжини валків:

$$\Pi_{\text{уд}} = \frac{\Pi}{L} = \frac{0,250}{0,4} = 0,62 \frac{\text{т}}{\text{год} \cdot \text{м}}$$

5.2 Розрахунок на навантаження валків

Розрахунок силового навантаження на ділянках валків

Максимальне зусилля дроблення на один валок визначається за формулою:

$$P_{\text{др}} = K \cdot \sigma_{\text{ст}} \cdot L \cdot \sqrt{D \cdot d_{\text{ср}}}, \text{ Н}$$

де K – коефіцієнт, що залежить від властивостей матеріалу, $K = 10 \dots 50$, для вугілля $K = 25$; $\sigma_{ст}$ – межа міцності матеріалу при стисканні, для вугілля $\sigma_{ст} = 15 \dots 25$ МПа, приймаємо $\sigma_{ст} = 20$ МПа; $d_{ср}$ – середній розмір шматків,

$$d_{ср} = (d_{max} + \delta)/2 = (100 + 15)/2 = 57,5 \text{ мм} = 0,0575 \text{ м}$$

$$P_{др} = 25 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 0,4 \cdot \sqrt{(0,6 \cdot 0,0575)} = 25 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 0,4 \cdot 0,186 = 37,2 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Отримане значення занадто велике, тому скористаємося спрощеною формулою:

$$q = \frac{P_{пр}}{L} = \frac{1440}{0,4} = 3600 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$$

$$P_{др} = k_p \cdot L \cdot \sigma_{ст} \cdot \delta$$

де k_p – коефіцієнт, $k_p = 10 \dots 15$, приймаємо $k_p = 12$

$$P_{др} = 12 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 0,015 = 1,44 \cdot 10^6 \text{ Н} = 1440 \text{ кН}$$

Розподілене навантаження на валок:

$$q = P_{др}/L = 1440/0,4 = 3600 \text{ кН/м}$$

Реакції в опорах валків:

При симетричному завантаженні валка:

$$R_A = R_B = \frac{P_{др}}{2} = \frac{1440}{2} = 720 \text{ кН}$$

Максимальний згинальний момент:

$$M_{max} = P_{др} \cdot \frac{L}{8} = 1440 \cdot \frac{0,4}{8} = 72 \text{ кН} \cdot \text{м} = 72000 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Навантаження від власної ваги валка:

$$G_B = m_B \cdot g = 1100 \cdot 9,81 = 10791 \text{ Н} \approx 10,8 \text{ кН}$$

Розрахунок потужності приводу валкової дробарки

Потужність, що витрачається на дроблення:

$$N_{др} = P_{др} \cdot \frac{v}{1000}, \text{ кВт}$$

де v – окружна швидкість валків, $v = 1,5$ м/с

$$N_{др} = 1440 \cdot \frac{1,5}{1000} = 2,16 \text{ кВт}$$

Потужність на подолання тертя в підшипниках:

$$N_{\pi} = f_{\pi} \cdot R \cdot \left(\frac{v}{1000} \right), \text{ кВт}$$

де f_{π} – коефіцієнт тертя в підшипниках, $f_{\pi} = 0,01 \dots 0,015$, приймаємо

$f_{\pi} = 0,012$; R – радіальне навантаження на підшипник, $R = R_A = 720 \text{ кН}$

$$N_{\pi} = 0,012 \cdot 720 \cdot \frac{1,5}{1000} = 0,013 \text{ кВт}$$

Загальна потужність на валу:

$$N_{\text{в}} = N_{\text{др}} + N_{\pi} = 2,16 + 0,013 = 2,17 \text{ кВт}$$

Потужність електродвигуна:

$$N_{\text{дв}} = N_{\text{в}} \cdot \frac{k_3}{\eta_{\text{р}} \cdot \eta_{\text{п}}}$$

де k_3 – коефіцієнт запасу потужності, $k_3 = 1,2 \dots 1,5$, приймаємо $k_3 = 1,3$; $\eta_{\text{р}}$ – ККД редуктора, $\eta_{\text{р}} = 0,95 \dots 0,97$, приймаємо $\eta_{\text{р}} = 0,96$; $\eta_{\text{п}}$ – ККД пасової передачі (якщо є), $\eta_{\text{п}} = 0,94 \dots 0,96$, приймаємо $\eta_{\text{п}} = 0,95$

$$N_{\text{дв}} = 2,17 \cdot \frac{1,3}{0,96 \cdot 0,95} = 3,09 \text{ кВт}$$

Приймаємо асинхронний електродвигун з частотою обертання близько 1500 об/хв [4]:

- Тип двигуна: AIP100L6
- Потужність: $N_{\text{дв}} = 4,0 \text{ кВт}$
- Частота обертання: $n_{\text{дв}} = 1450 \text{ об/хв}$

Розрахунок передаточного відношення:

$$i_{\text{заг}} = \frac{n_{\text{дв}}}{n} = \frac{1450}{48} = 30,2$$

5.3 Побудова базової 3-D моделі валків

Починаємо проектувати 3D-модель вала в системі «SolidWorks 2022»
Початок моделювання починаємо зі створення нового ескізу «Sketch» та обертаємо наш ескіз через команду «Revolved boss/base» (Рис. 5.1).

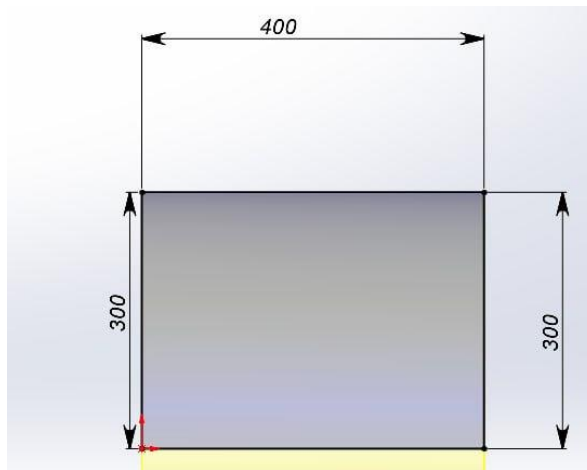


Рис. 5.1 – Операція «Revolved boss/base»

Далі утворюємо модернізовані диски рис.5.2, рис. 5.3

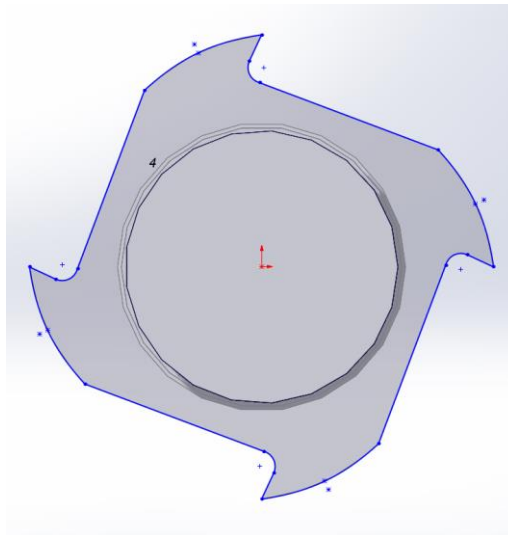


Рис.5.2 – операція «Extruded boss»

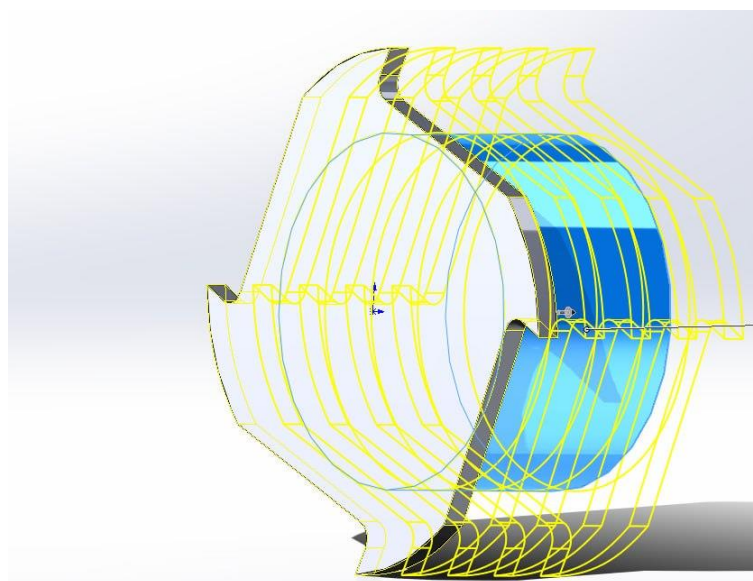


Рис.5.3 – операція «Linear Pattern»

Утворюємо округлення на валу Рис.5.4, та робимо шпонковий паз на Рис.5.5

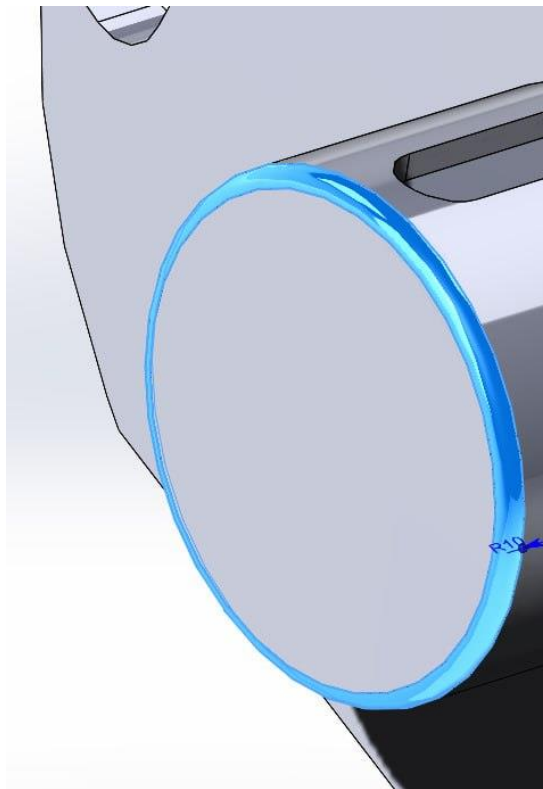


Рис.5.4 – операція «Filled1»

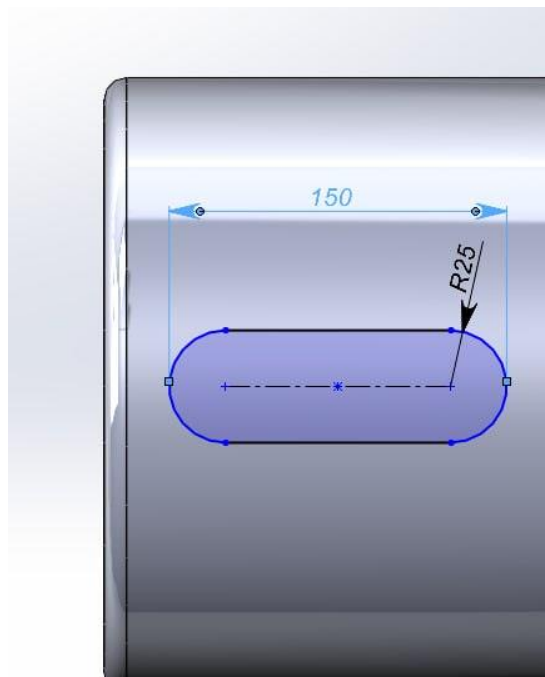


Рис.5.5 – утворений шпоночний паз

5.4 Розрахунки на міцність модернізованих валків за допомогою програмного комплексу ANSYS

Для виконання необхідних розрахунків нашої 3D-моделі базової деталі використовуємо програмне забезпечення ANSYS 2022

Для початку нам потрібно обрати необхідні модулі. В нашому випадку це будуть Steady-State Thermal та Static Structural (Рис. 5.4).

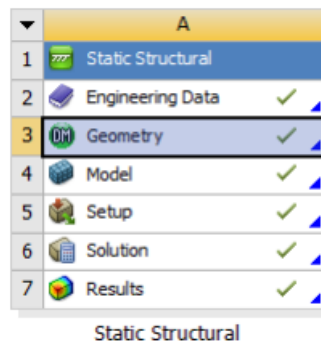


Рисунок 5.6 – Середовище виконання розрахунків

Також потрібно перед початком задати характеристики матеріалу конструкції (Рис. 5.7), даний вузол виготовлений зі сталі 40X [6]. Вписуємо значення межі текучості $\sigma_t = 780$ МПа в колонки Tensile Yield Strength та Compressive Yield Strength, які є собою як межі текучості при розтягу та стиску. Проводимо такі ж дії тільки з межею міцності $\sigma_b = 980$ МПа в Tensile Ultimate Strength та Compressive Ultimate Strength.

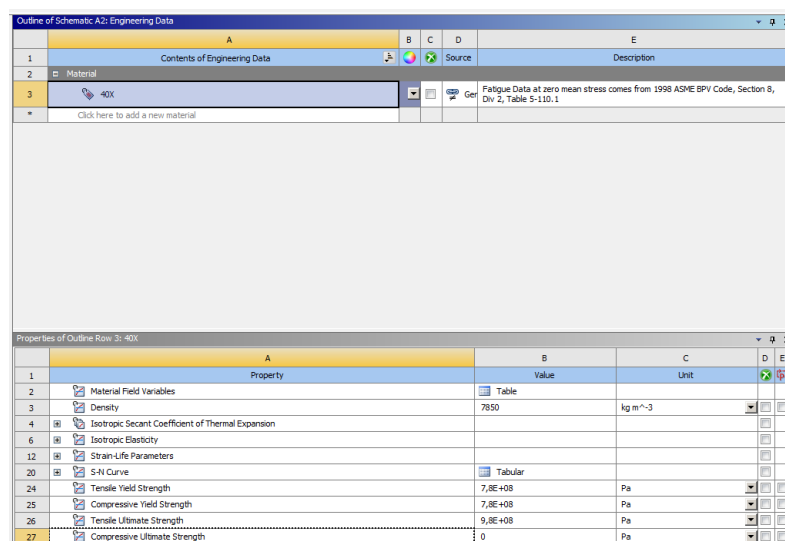


Рисунок 5.8 – Середовище задання характеристик матеріалу конструкції

Модель у форматі STEP 203 завантажується у розділ «Geometry». На корпусі циліндра виконуються один конструкційні розрізи, що необхідно для точного позиціонування навантажувальних зон (Рис. 5.9).

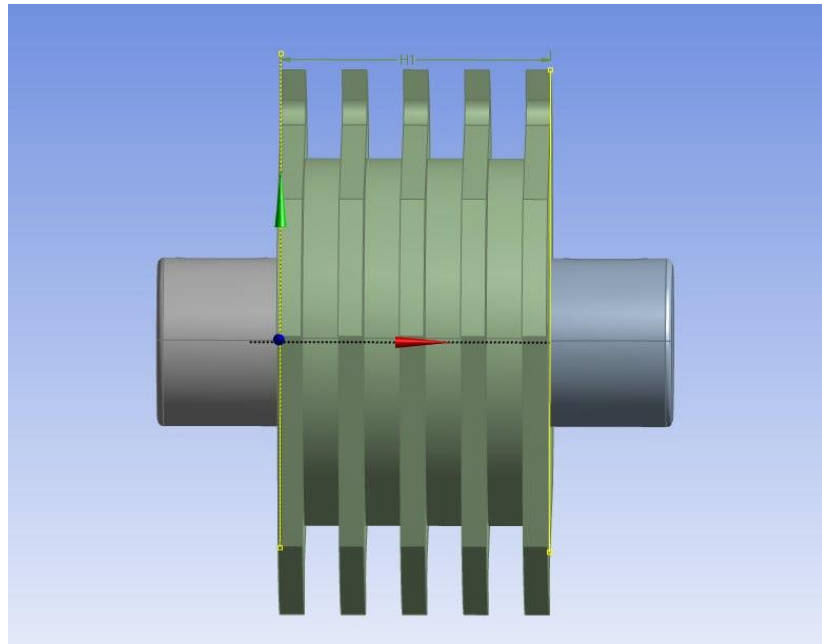


Рис.5.9-розрізана модель по краям

Після підготовки геометричної моделі модернізованого валка у середовищі ANSYS було задано граничні умови та робочі навантаження. Закріплення деталі виконано по циліндричних поверхнях на кінцях валка за допомогою опор типу **Cylindrical Support**. Таке закріплення імітує встановлення валка в підшипникових вузлах дробарки. на рисунку 5.10.

А: Навантаження (граничні умови зовнішньої поверхні):

Ділянка А : Standard Earth Gravity: $9806,6 \text{ мм/с}^2$

Ділянка В : Команда «Cylindrical Support» - 0mm,Fixed,Fixed,Free(tangential).

Ділянка С : Команда «Cylindrical Support 2» - 0mm,Fixed,Fixed,Free(tangential).

Ділянка С : Команда «Moment: $4,3 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм}$

Ділянка D : Pressure: 3,4 МПа

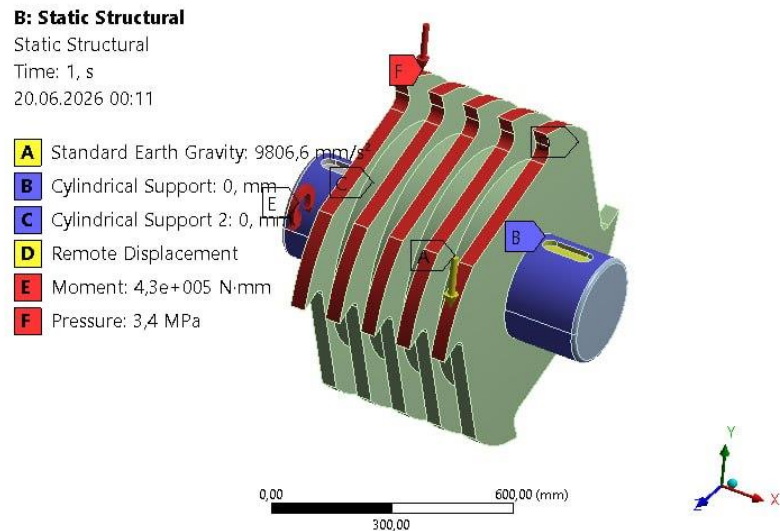


Рис.5.11-Розташовані навантаження та закріплення

Результати числових розрахунків на всю конструкцію

Після завершення розрахунків ми отримали наступні дані:

У модулі Static Structural виконано оцінку напружено-деформованого стану корпусу на основі еквівалентних напружень за фон Мізесом та загальних деформацій. Отриманий коефіцієнт запасу міцності підтверджує надійність конструкції та її здатність працювати в межах пружної деформації, враховуючи задані характеристики сталі 40Х.

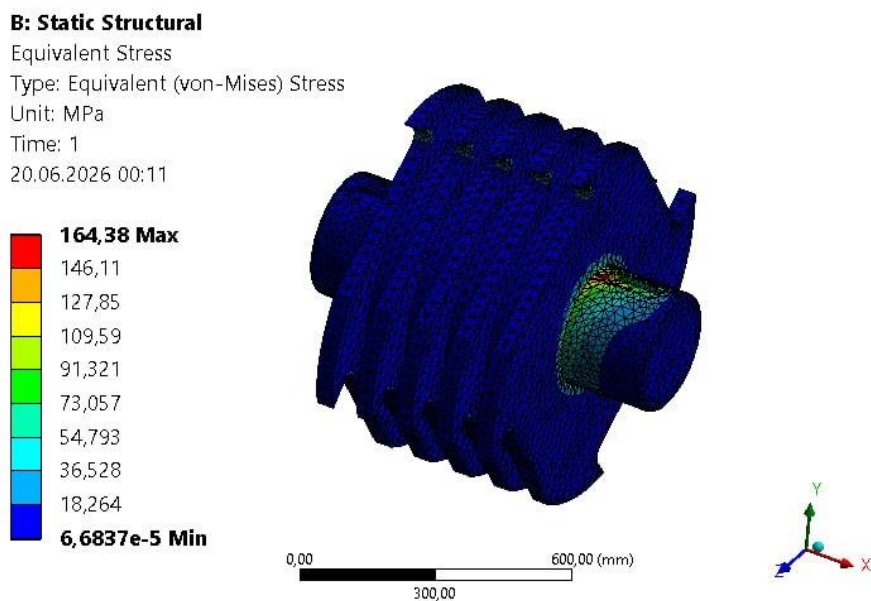


Рис.5.12 Еквівалентні напруження

B: Static Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1
 20.06.2026 00:11

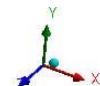
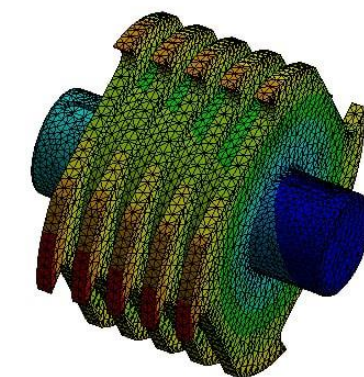
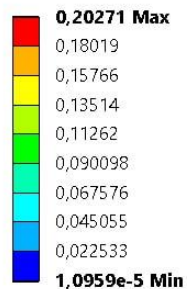


Рис.5.13 Тотальні переміщення

B: Static Structural
 Directional Deformation
 Type: Directional Deformation(Y Axis)
 Unit: mm
 Global Coordinate System
 Time: 1
 20.06.2026 00:11

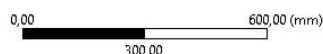
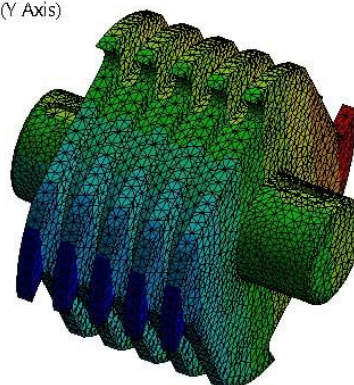
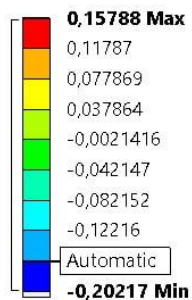


Рис.5.14 Загальні переміщення

B: Static Structural
 Safety Factor
 Type: Safety Factor
 Time: 1
 20.06.2026 00:12

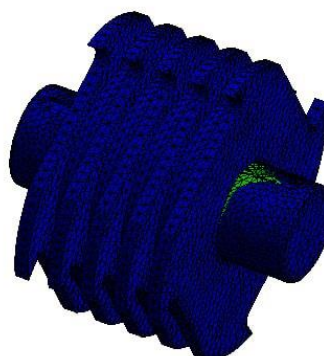


Рис.5.15 Коефіцієнт запасу міцності

Аналіз міцності модернізованого валка

За результатами розрахунку в системі ANSYS, максимальні еквівалентні напруження в валка становлять $\sigma_{\text{екв}} = 164,38$ МПа, а найбільші деформації $s = 0,2027$ мм. Отримане значення є значно нижчим за межу текучості сталі 40Х (780 МПа), що свідчить про високу надійність конструкції. Коефіцієнт запасу міцності конструкції:

$$n = \frac{\sigma_T}{\sigma_{\text{екв}}} = \frac{780}{164,38} = 4,74$$

Основними зонами концентрації напружень є: У зоні закріплення.

Результати числових розрахунків на диск:

Виставляємо граничні умови для дисків

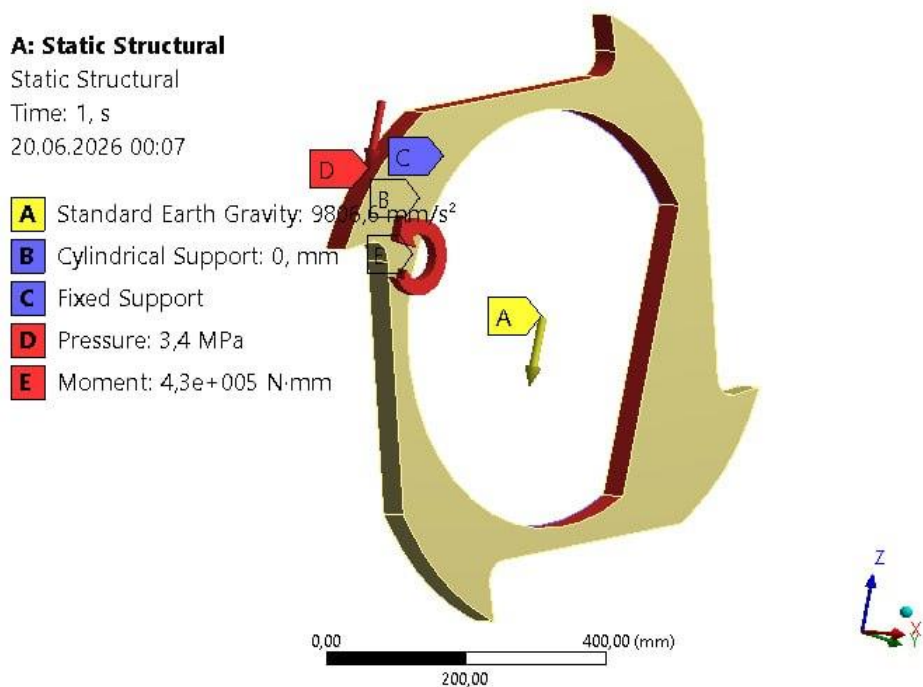


Рис. 5.16 Розташовані навантаження та закріплення

A: Навантаження (граничні умови зовнішньої поверхні):

Ділянка А : Standard Earth Gravity: 9806,6 мм/с²

Ділянка В : Команда «Cylindrical Support» - 0mm,Fixed,Fixed,Free(tangential).

Ділянка С : Команда «Fixed Support».

Ділянка D : Pressure: 3,4 МПа

Ділянка Е : Команда «Moment: 4,3·10⁵ Н·мм

A: Static Structural

Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

20.06.2026 00:07

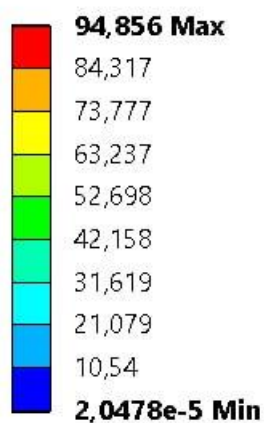


Рис. 5.17 Еквівалентні напруження

A: Static Structural

Safety Factor

Type: Safety Factor

Time: 1

20.06.2026 00:08

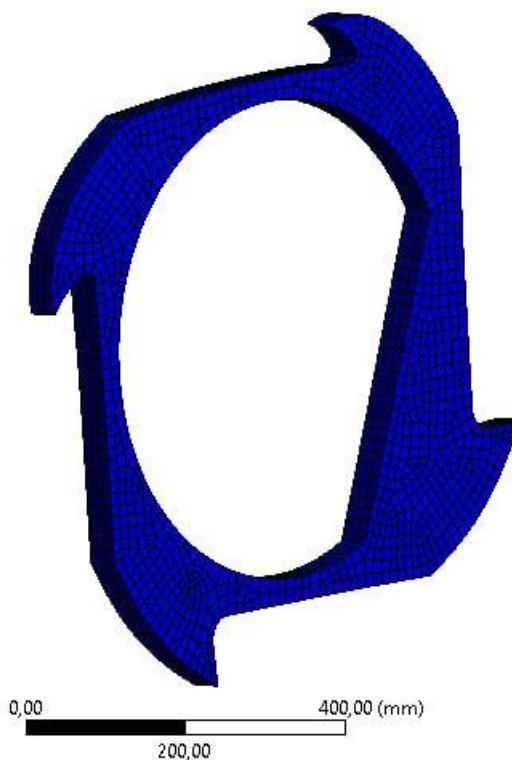


Рис. 5.18 Коефіцієнт запасу міцності

A: Static Structural

Total Deformation

Type: Total Deformation

Unit: mm

Time: 1

20.06.2026 00:07

0,029495 Max

0,026217

0,02294

0,019663

0,016386

0,013109

0,0098315

0,0065544

0,0032772

0 Min

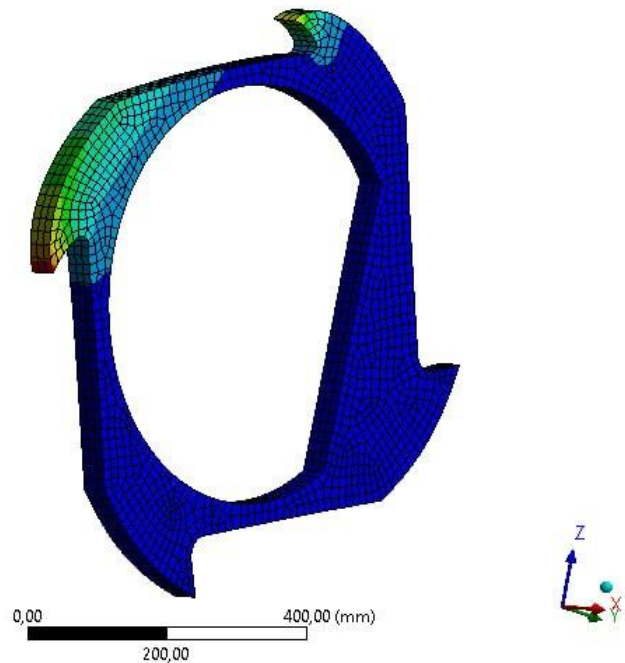


Рис. 5.19 Тотальні переміщення

A: Static Structural

Directional Deformation

Type: Directional Deformation(Z Axis)

Unit: mm

Global Coordinate System

Time: 1

20.06.2026 00:07

1,6313e-5 Max

-0,0028849

-0,0057861

-0,0086873

-0,011588

-0,01449

-0,017391

-0,020292

-0,023193

Automatic

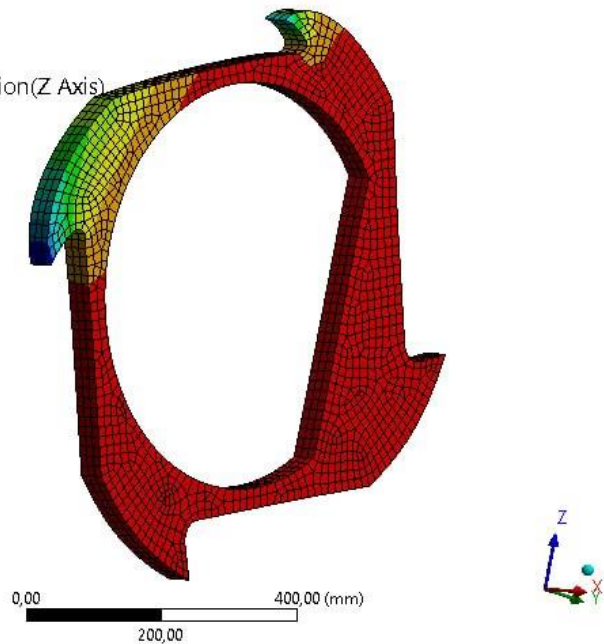


Рис. 5.20 Загальні переміщення

Аналіз міцності модернізованого валка

За результатами розрахунку в системі ANSYS, максимальні еквівалентні напруження в валка становлять $\sigma_{\text{екв}} = 164,38$ МПа, а найбільші деформації $s = 0,2949$

мм. Отримане значення є значно нижчим за межу текучості сталі 40Х (780 МПа), що свідчить про високу надійність конструкції. Коефіцієнт запасу міцності конструкції:

$$n = \frac{\sigma_T}{\sigma_{\text{екв}}} = \frac{780}{94,856} = 8,22$$

Основними зонами концентрації напружень є: У зоні закріплення.

5.5 Виконання параметричного розрахунку за допомогою мови програмування c++

```
1  #include <iostream>
2  #include <cmath>
3  #include <iomanip>
4
5  int main() {
6      // Вхідні дані (згідно з зображенням 1)
7      double D = 0.6;           // Діаметр валків, м
8      double L_rob = 0.4;       // Робоча довжина, м
9      double d_max = 0.1;       // Макс. розмір шматків, м
10     double f = 0.45;          // Коефіцієнт тертя для рифлених валків
11
12     // Розрахунок кута захоплення
13     double alpha_rad = atan(f);
14     double alpha_deg = alpha_rad * (180.0 / M_PI);
15
16     // Перевірка умови захоплення
17     double cond = D * pow(tan(alpha_rad), 2);
18
19     // Частота обертання та швидкість (згідно з зображенням 2)
20     double v = 1.5;           // Окружна швидкість, м/с
21     double n = (60.0 * v) / (M_PI * D);
22
23     // Розрахунок маси валка
24     double l_op = 0.1;        // Довжина опорної шийки, м
25     double d_op = 0.39;       // Діаметр опорної шийки, м
26     double rho_st = 7850.0;    // Густина сталі, кг/м3
27
28     double m_v = M_PI * (pow(D, 2) * L_rob + pow(d_op, 2) * l_op) * (rho_st / 4.0);
29
30     // Вивід результатів
31     std::cout << std::fixed << std::setprecision(2);
32     std::cout << "--- Розрахунки за запискою ---" << std::endl;
33     std::cout << "Кут захоплення (alpha): " << alpha_deg << " градусів" << std::endl;
34     std::cout << "Перевірка умови (D*tg^2(a)): " << cond << " м" << std::endl;
35     std::cout << "Частота обертання (n): " << n << " об/хв" << std::endl;
36     std::cout << "Маса одного валка (m): " << m_v << " кг" << std::endl;
37
38     return 0;
```

Рис. 5.21 – Розрахунок на мові C++

```
--- Розрахунки за запискою ---
Кут захоплення (alpha): 24.23 градусів
Перевірка умови (D*tg^2(a)): 0.12 м
Частота обертання (n): 47.75 об/хв
Маса одного валка (m): 981.59 кг
```

Рис. 5.22 – Відповіді.

6.1 Загальні відомості

Забезпечення безпечних умов праці є однією з основних вимог під час організації виробничого процесу. Особливо важливим це питання є при експлуатації машин та механізмів, які мають рухомі робочі органи, створюють шум, вібрацію, пиловиділення та можуть становити небезпеку для обслуговувального персоналу.

У даному дипломному проєкті розглядається тема «Валкова дробарка з модернізацією валків». Валкова дробарка належить до обладнання для подрібнення матеріалів і використовується у виробничих лініях, де відбувається руйнування сировини між двома обертовими валками. У зв'язку з цим під час її роботи виникають небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які необхідно враховувати при розробленні конструкції, експлуатації та обслуговуванні обладнання.

Відповідно до Закону України «Про охорону праці» працівники мають право на безпечні та нешкідливі умови праці [12]. Для цього на підприємстві повинна діяти система організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних і профілактичних заходів, спрямованих на зменшення ризику травмування, запобігання професійним захворюванням та забезпечення належного рівня виробничої безпеки.

До основних напрямів охорони праці при роботі з валковою дробаркою належать контроль стану повітря робочої зони, зниження рівня шуму та вібрації, огороження рухомих частин механізму, застосування засобів індивідуального захисту, дотримання правил пожежної безпеки та проведення своєчасного технічного обслуговування обладнання.

6.2 Повітря робочої зони

Стан повітря у виробничому приміщенні має безпосередній вплив на здоров'я та працездатність працівників. Під час експлуатації валкової дробарки в повітря може потрапляти значна кількість пилу, що утворюється внаслідок руйнування та подрібнення матеріалу між валками. Кількість і склад пилу залежать від властивостей сировини, режиму роботи дробарки та ефективності системи вентиляції.

Пил, який утворюється під час дроблення, може бути як відносно інертним, так і шкідливим для організму людини. Особливу небезпеку становлять дрібнодисперсні частинки, які здатні проникати в органи дихання та накопичуватися в легенях. Тривале вдихання такого пилу може призвести до подразнення слизових оболонок, розвитку хронічних захворювань дихальної системи, бронхіту, пневмоконіозів та інших професійних захворювань.

Крім негативного впливу на здоров'я працівників, пил може створювати додаткову небезпеку у виробничому приміщенні. За високої концентрації в повітрі та наявності джерела іскроутворення деякі види пилу можуть бути пожежо- або

вибухонебезпечними. Тому контроль пиловиділення є важливою умовою безпечної експлуатації дробильного обладнання.

Для зменшення запиленості повітря робочої зони необхідно передбачати такі заходи:

- ✓ герметизацію місць утворення та поширення пилу;
- ✓ встановлення місцевої витяжної вентиляції біля зони дроблення;
- ✓ застосування загальнообмінної вентиляції у виробничому приміщенні;
- ✓ використання пиловловлювальних установок, фільтрів або циклонів;
- ✓ регулярне вологе прибирання робочої зони;
- ✓ автоматизацію подачі матеріалу у дробарку для зменшення контакту працівника з пилом.

Мікроклімат у виробничому приміщенні повинен відповідати встановленим санітарним нормам. Згідно з ДСН 3.3.6.042-99, рекомендовані параметри мікроклімату становлять: температура повітря — 18–22 °С, відносна вологість — 40–60 %, швидкість руху повітря — до 0,3 м/с [13].

6.3 Виробничий шум

Під час роботи валкової дробарки виникає шум, який є одним із поширених шкідливих виробничих факторів. Його джерелами є обертання валків, робота електродвигуна, редуктора, підшипникових вузлів, а також процес руйнування матеріалу в робочій зоні дробарки.

Тривалий вплив шуму на працівника може призводити до погіршення слуху, підвищеної втомлюваності, зниження концентрації уваги, дратівливості та зменшення продуктивності праці. Особливо небезпечним є постійний шум високої інтенсивності, який діє протягом усієї робочої зміни.

Відповідно до ДСН 3.3.6.037-99, допустимий рівень шуму на робочих місцях не повинен перевищувати 80 дБ [14]. Для забезпечення цього рівня необхідно використовувати технічні та організаційні заходи, спрямовані на зменшення шумового навантаження.

Основні заходи для зниження рівня шуму:

- використання шумозахисних кожухів;
- встановлення обладнання на віброізолювану основу;
- своєчасне мащення та обслуговування підшипників;
- контроль технічного стану редуктора й електродвигуна;
- балансування валків та інших обертових елементів;
- застосування працівниками протишумових навушників або вушних вкладишів.

6.4 Вібрації

У процесі дроблення матеріалу валкова дробарка створює механічні коливання, які передаються на корпус машини, фундамент, несучі конструкції та частково можуть впливати на працівників. Причинами виникнення вібрації є нерівномірне надходження матеріалу, дисбаланс валків, зношування підшипників, перекоси у вузлах машини та ударний характер процесу дроблення.

Постійна дія вібрації негативно впливає на організм людини. Вона може спричиняти порушення роботи нервової системи, кровообігу, опорно-рухового апарату, а також призводити до розвитку вібраційної хвороби. Тому під час проєктування та експлуатації дробарки необхідно передбачати заходи для зниження вібраційного впливу.

Відповідно до ДСТУ ISO 5349-1:2005, допустимі рівні вібрації становлять: для локальної вібрації — до $2,0 \text{ м/с}^2$, для загальної вібрації — не більше $0,63 \text{ м/с}^2$ при 8-годинному робочому дні [15].

Для зменшення вібрації застосовують такі заходи:

- монтаж дробарки на міцному фундаменті;
- використання віброгасильних прокладок або амортизаторів;
- балансування валків;
- контроль стану підшипникових вузлів;
- своєчасну заміну зношених деталей;
- перевірку правильності встановлення та центрування елементів приводу.

6.5 Обертові частини механізму

Обертові елементи валкової дробарки є одним із найбільш небезпечних джерел травматизму. До таких елементів належать валки, вали, муфти, шківи, пасові, ланцюгові або зубчасті передачі. При контакті з ними можливе захоплення одягу, волосся, рукавиць або частин тіла працівника.

Найбільша небезпека виникає під час роботи обладнання зі знятими захисними кожухами, під час очищення робочої зони без повної зупинки дробарки або при порушенні правил технічного обслуговування. Тому доступ до рухомих елементів повинен бути обмежений конструктивними засобами захисту.

Згідно з ДСТУ EN ISO 14120:2019, небезпечні рухомі частини машин повинні бути обладнані захисними огороженнями, кожухами або екранами [16]. Такі пристрої мають запобігати випадковому контакту працівника з небезпечними зонами обладнання.

Для безпечної експлуатації дробарки необхідно:

- встановлювати захисні огороження на всі відкриті обертові частини;
- не допускати запуску дробарки зі знятими кожухами;
- проводити очищення, ремонт і регулювання тільки після повної зупинки обладнання;
- відключати електроживлення перед виконанням ремонтних робіт;
- застосовувати блокувальні пристрої для запобігання випадковому запуску;
- не допускати до роботи працівників у вільному одязі.

6.6 Засоби індивідуального захисту

Засоби індивідуального захисту використовуються для зменшення впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів на працівника. При експлуатації валкової дробарки вони є обов'язковими, оскільки обладнання створює пил, шум, вібрацію та має рухомі частини.

Працівники, які обслуговують дробарку, повинні бути забезпечені такими засобами індивідуального захисту:

- для захисту очей — окуляри Dnipro-M Profi Clear від пилу, дрібних частинок і уламків;
- для захисту органів дихання — респіратор FFP2/FFP3, наприклад ЗМ 9322+ або Dnipro-M FFP2, від дрібнодисперсного пилу;
- для захисту слуху — навушники Dnipro-M Profi або ЗМ Peltor для зниження шуму від роботи дробарки;
- для захисту рук — рукавички Dnipro-M Grip Orange від порізів, стирання та механічних пошкоджень;
- захисний одяг — костюм Dnipro-M Ultra із міцної тканини без звисаючих елементів;
- спеціальне взуття — черевики Dnipro-M BRS-42 із металевим підноском і нековзною підошвою.

Використання засобів індивідуального захисту не замінює технічні заходи безпеки, але є необхідним додатковим способом захисту працівника. Усі ЗІЗ повинні відповідати умовам роботи, регулярно перевірятися на справність і своєчасно замінюватися у разі зношування або пошкодження.

6.7 Пожежна безпека

Пожежна безпека під час експлуатації валкової дробарки має важливе значення, оскільки в процесі роботи обладнання можливе нагрівання окремих вузлів, утворення пилу, іскроутворення та використання електрообладнання. За відсутності належного контролю ці фактори можуть призвести до виникнення пожежі.

Основними причинами пожеж на дільницях дроблення можуть бути:

- перегрів підшипників, редуктора або електродвигуна;
- недостатнє мащення вузлів тертя;
- коротке замикання або пошкодження електропроводки;
- іскроутворення під час контакту металевих частин;
- накопичення пилу в робочій зоні;
- порушення працівниками правил пожежної безпеки.

Для зменшення ризику виникнення пожежі необхідно виконувати такі заходи:

- регулярно перевіряти стан електрообладнання та кабельних з'єднань;
- контролювати температуру підшипників, редуктора й електродвигуна;
- забезпечувати своєчасне мащення рухомих вузлів;
- не допускати накопичення пилу та відходів біля дробарки;
- використовувати справні системи аварійного вимкнення;
- розміщувати поблизу обладнання порошкові або вуглекислотні вогнегасники;
- проводити інструктажі працівників щодо дій у разі пожежі.

У виробничому приміщенні повинні бути розміщені плани евакуації, показники напрямку руху до виходів, засоби пожежної сигналізації та первинні засоби пожежогасіння. Працівники мають знати порядок евакуації, місця розташування вогнегасників і правила їх використання.

Згідно з класифікацією приміщень за пожежною небезпекою (ДСТУ Б В.1.1-36:2016), дільницю дроблення можна віднести до категорії Г, оскільки технологічний процес пов'язаний переважно з обробкою негорючих матеріалів у механічно активному стані. Це потребує регулярного очищення приміщення від пилу, контролю справності електрообладнання та суворого дотримання вимог пожежної безпеки [17].

7.1 Опис та призначення

Метою даного розділу проекту є розробка технологічного процесу виготовлення деталі, що має назву «шків клинопасової передачі» валкової дробарки, а також вибір відповідного пристосування для виконання однієї з операцій виробництва цієї деталі. Шків клинопасової передачі (рис. 7.1) виконує функцію передачі крутного моменту від електродвигуна АІР100L6 ($N = 4,0$ кВт, $n = 1450$ об/хв) до приводного механізму дробарки. Шків виконано двоканавковим під клинові паси профілю Б за ГОСТ 20889-88 з розрахунковим діаметром $d_p = 160$ мм; посадковий отвір $\varnothing 28H7$ зі шпонковим пазом 8 JS9 призначений для встановлення шківів на вал двигуна.

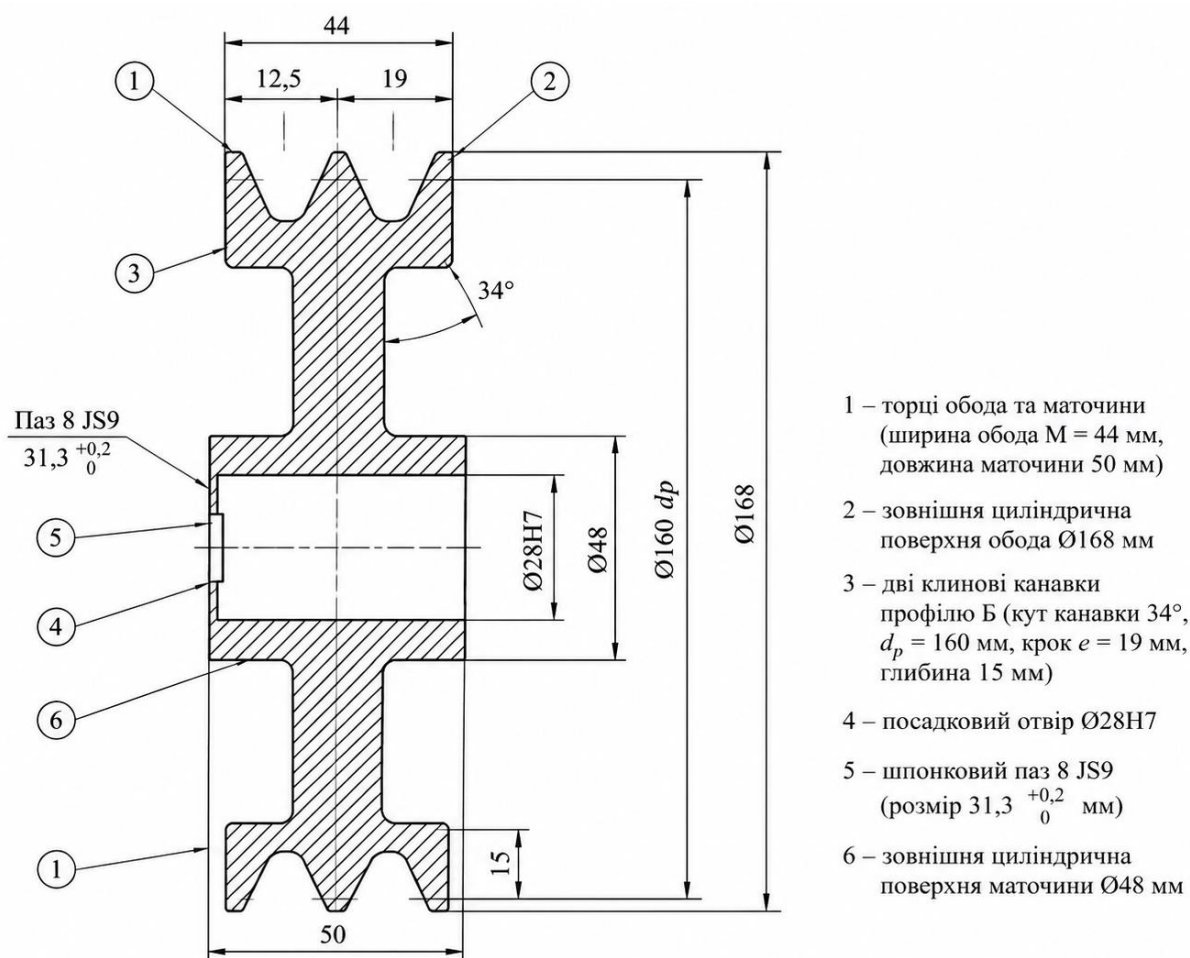


Рисунок 7.1 – Шків клинопасової передачі валкової дробарки

Для виготовлення шківів використовується заготовка, отримана методом лиття в піщано-глинисті форми (рис. 7.2). Матеріалом для деталі обрано сірий чавун СЧ20 (ГОСТ 1412-85), який забезпечує відмінну оброблюваність різанням,

високу демпфувальну здатність та зносостійкість робочих поверхонь канавок. Хімічний склад: C = 3,3–3,5 %; Si = 1,4–2,4 %; Mn = 0,7–1,0 %; P ≤ 0,2 %; S ≤ 0,15 %. Механічні властивості: межа міцності при розтягу $\sigma_B = 200$ МПа, твердість HB 170...210. Точність вилівка 9-8-12-7 за ГОСТ 26645-85, припуск на механічну обробку 4 мм на сторону, отвір відліто діаметром Ø20 мм під подальше розточування.

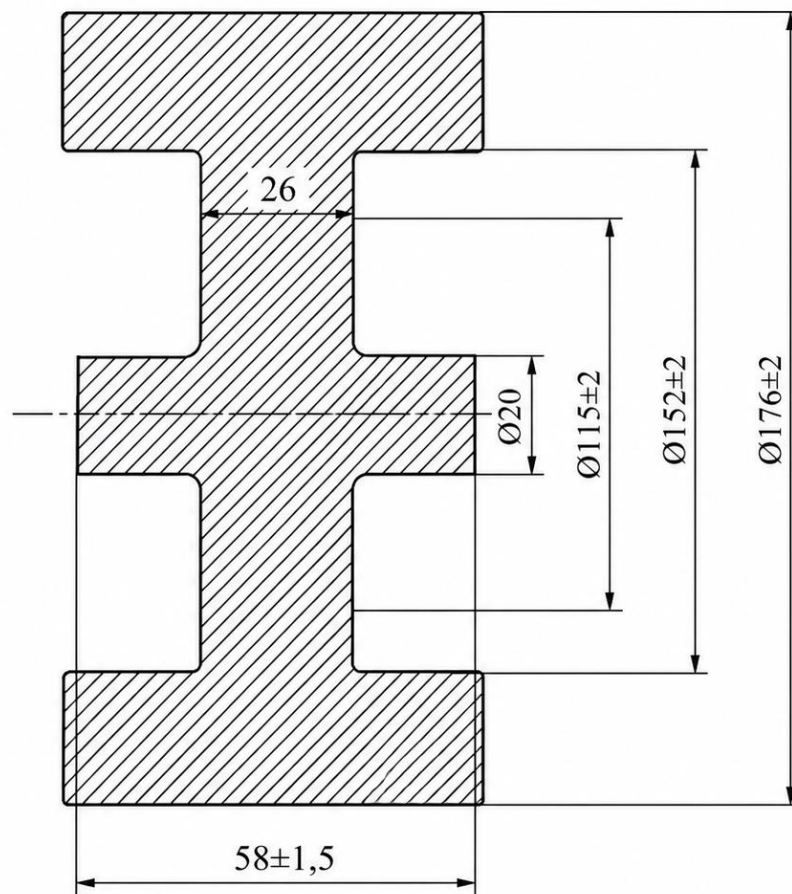


Рисунок 7.2 – Заготовка шків (виліток СЧ20, Ø176 мм, В = 58 мм)

Матеріал деталі, чавун СЧ20, має добрі ливарні властивості, що робить його придатним для отримання заготовки литтям. Крім того, заготовка за своєю формою та розмірами максимально наближена до кінцевої готової деталі, що є однією з ключових ознак її високої технологічності: канавки профілю Б, посадковий отвір та шпонковий паз отримуються механічною обробкою, а основна маса металу формується вже на стадії вилівка. Загалом, деталь складається з уніфікованих конструкційних елементів, що відповідають оптимальному ступеню точності та

шорсткості поверхні.

Шків є деталлю типу «диск (тіло обертання)» і має такі основні поверхні (рис. 7.1):

- поверхня 1 – торці обода та маточини (ширина обода $M = 44$ мм, довжина маточини 50 мм);
- поверхня 2 – зовнішня циліндрична поверхня обода $\varnothing 168$ мм;
- поверхня 3 – дві клинові канавки профілю Б (кут канавки 34° , $d_p = 160$ мм, крок $e = 19$ мм, глибина 15 мм);
- поверхня 4 – посадковий отвір $\varnothing 28H7$;
- поверхня 5 – шпонковий паз 8 JS9 (розмір $31,3^{+0.2}$ мм);
- поверхня 6 – зовнішня циліндрична поверхня маточини $\varnothing 48$ мм.

Виробництво цієї деталі, як зазначено в маршрутній та операційних картах, включає кілька ключових операцій:

- токарна операція 005 – підрізання торців, чорнове та чистове точіння зовнішньої поверхні обода (пов. 2), чорнове розточування отвору;
- токарна операція 010 – чистове розточування посадкового отвору $\varnothing 28H7$ (пов. 4), проточування двох клинових канавок профілю Б (пов. 3) фасонним різцем за шаблоном;
- довбальна операція 015 – довбання шпонкового паза 8 JS9 (пов. 5);
- балансувальна операція 020 – статичне балансування шків з усуненням дисбалансу зняттям металу з торця обода;
- контрольна операція 025 – контроль розмірів $\varnothing 28H7$, паза 8 JS9 та радіального биття обода.

7.2 Вибір пристосування для певної операції

Для закріплення заготовки шків при токарній обробці застосовується трикулачковий самоцентрувальний патрон з пневматичним приводом (рис. 7.3):

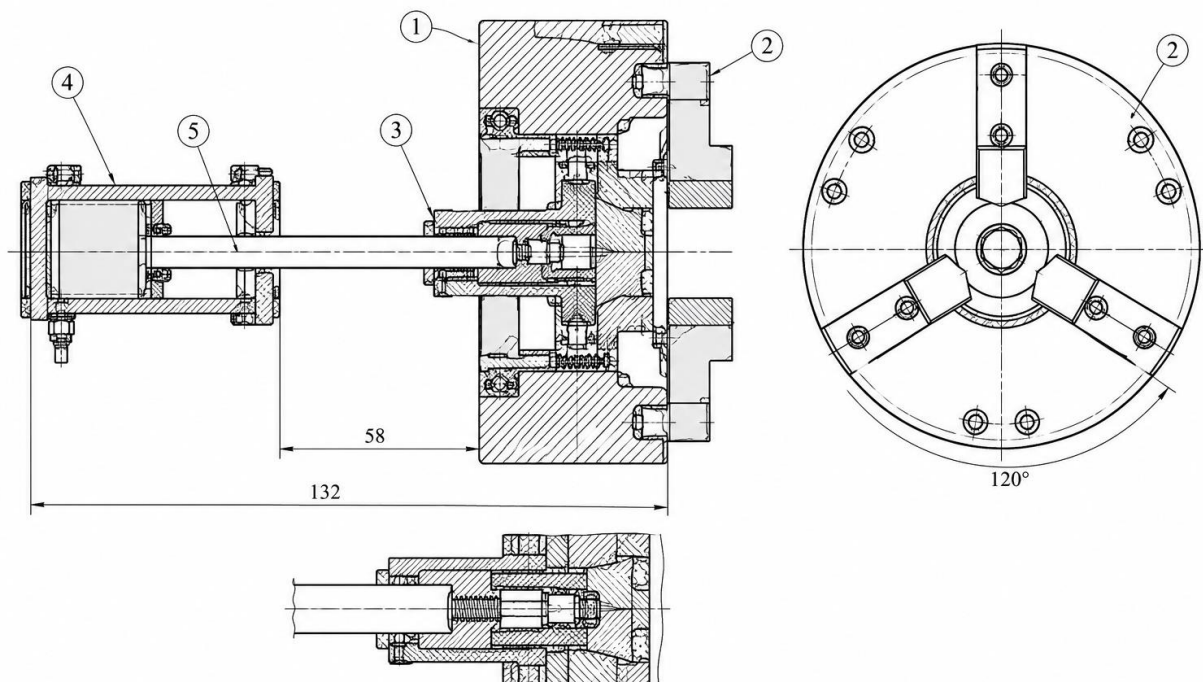


Рисунок 7.3 – Трикулачковий патрон з пневматичним приводом затиску

1 – корпус патрона; 2 – кулачки; 3 – тяга;

4 – пневмоциліндр; 5 – поршень зі штоком.

Пневматичний патрон складається з таких основних елементів: корпусу патрона 1, трьох самоцентрувальних кулачків 2, тяги 3, пневмоциліндра 4 та поршня зі штоком 5.

Принцип роботи пристосування полягає у наступному: при подачі стисненого повітря у штокову порожнину пневмоциліндра 4 поршень 5 переміщується вліво разом зі штоком та тягою 3, що проходить крізь отвір шпинделя верстата. Тяга через клиновий механізм патрона переміщує кулачки 2 у радіальному напрямку до центра, затискаючи заготовку шків за зовнішню поверхню обода. Самоцентрувальна конструкція кулачків забезпечує суміщення осі заготовки з віссю обертання шпинделя без додаткового вивіряння. При подачі повітря у протилежну порожнину пневмоциліндра поршень 5 переміщується вправо, кулачки 2 розходяться та звільняють оброблену деталь. Застосування пневматичного приводу скорочує допоміжний час на встановлення та зняття деталі, забезпечує стабільне зусилля затиску і знижує втомлюваність робітника.

Ткаченко В.І.				ГОСТ 3.1118-82 форма 1		
Борщик С.О.			Маршрутна карта	Шків клинопасової передачі		
Матеріал: СЧ20 ГОСТ 1412-85			Вага деталі: 4,8 кг	Заготовка: виливок Ø176, В = 58 мм, 6,5 кг		
Цеху	Дільниці	Операції	Назва та зміст операції	Обладнання (назва, модель)	Пристрої та інструмент	Тшт.
		005	Токарна. Підрізати торці, точити зовнішню поверхню обода (пов. 2) начорно та начисто Ø168, розточити отвір начорно Ø26	Токарний верстат 16K20	Патрон трикулачковий з пневмоприводом, різці прохідний, підрізний, розточувальний	
		010	Токарна. Розточити отвір (пов. 4) начисто Ø28H7, проточити дві клинові канавки профілю Б (пов. 3), зняти фаски	Токарний верстат 16K20	Різець розточувальний, різець фасонний канавковий, шаблон профілю Б, нутромір	
		015	Довбальна. Довбати шпонковий паз (пов. 5) 8 JS9 на розмір $31,3^{+0,2}$ мм	Довбальний верстат 7A420	Різець довбальний, пристосування ділильне, калібр-пробка	
		020	Балансувальна. Статичне балансування шківів, усунути дисбаланс зняттям металу з торця обода	Верстат для статичного балансування	Оправка балансувальна, індикатор	
		025	Контрольна. Контроль розмірів Ø28H7, паза 8 JS9, биття обода	Стіл ВТК	Мікрометр, нутромір, калібри, індикатор	
МК	Обробка різанням					

Ткаченко В.І.		Операційна карта механічної обробки				ГОСТ 3.1404-86 Форма 2							
Борщик С.О.		Шків клинопасової передачі валкової дробарки				Операція 005, 010 — Токарна							
Матеріал: СЧ20 ГОСТ 1412-85, НВ 170...210		Маса деталі: 4,8 кг				Заготовка: виливок Ø176, В = 58		Обладнання: Токарний верстат 16К20					
Пристосування: Патрон трикулачковий з пневматичним приводом						Охолодження: Емульсія							
Номер переходу	Зміст переходу	Ріжучий інструмент		Вимірювальний інструмент	діаметр, ширина	довжина	t	i	S	n	V	T0	Tд
1	Встановити заготовку в патрон												
2	Підрізати торець обода та маточини	Різець підрізний ГОСТ 18880-73		Штангенциркуль	176	5	2	1	0,3				
3	Точити пов. 2 начорно Ø170	Різець прохідний ГОСТ 18879-73		Штангенциркуль	170	44	3	1	0,4				
4	Точити пов. 2 начисто Ø168	Різець прохідний ГОСТ 18879-73		Мікрометр	168	44	1	1	0,15				
5	Розточити отвір начорно Ø26	Різець розточувальний ГОСТ 18882-73		Штангенциркуль	26	50	3	1	0,2				
6	Переустановити деталь, підрізати другий торець	Різець підрізний ГОСТ 18880-73		Штангенциркуль	176	5	2	1	0,3				
7	Розточити пов. 4 начисто Ø28H7	Різець розточувальний ГОСТ 18882-73		Нутромір	28	50	1	1	0,1				
8	Проточити дві канавки профілю Б (пов. 3), кут 34°, d _p = 160	Різець фасонний канавковий		Шаблон профілю Б	168	15	15	2	0,08				
9	Зняти фаски 1×45°, зняти деталь	Різець прохідний											
ОК	Обробка різанням												

Ткаченко В.І.		Операційна карта механічної обробки		ГОСТ 3.1404-86 Форма 2									
Борщик С.О.		Шків клинопасової передачі валкової дробарки		Операція 020 — Балансувальна									
Матеріал: СЧ20 ГОСТ 1412-85, НВ 170...210		Маса деталі: 4,8 кг		Заготовка: виливок Ø176, В = 58			Обладнання: Верстат для статичного балансування						
Пристосування: Оправка балансувальна				Охолодження: —									
Номер переходу	Зміст переходу	Ріжучий інструмент	Вимірювальний інструмент	діаметр, ширина	довжина	t	i	S	n	V	T0	Tд	
1	Встановити шків на балансувальну оправку												
2	Визначити місце та величину дисбалансу		Індикатор годинникового типу										
3	Усунути дисбаланс зняттям металу з торця обода свердлінням	Свердло Ø10 ГОСТ 10902-77	Ваги	10	8								
4	Повторно перевірити залишковий дисбаланс, зняти деталь		Індикатор										
ОК	Обробка різанням												

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У процесі виконання дипломного проєкту розглянуто валкову дробарку з модернізацією валків, яка призначена для попереднього подрібнення вапна у технологічній лінії виробництва преципітату. На основі виконаного аналізу, розрахунків та числового моделювання можна зробити такі висновки:

Технологічна лінія: розглянуто схему подрібнення вапна у виробництві преципітату. Встановлено, що валкова дробарка виконує важливу функцію попереднього подрібнення кускового матеріалу перед його подальшим тонким подрібненням у барабанному млині. Це дозволяє стабілізувати подачу матеріалу та підвищити ефективність роботи всієї технологічної лінії.

Конструкція машини: проаналізовано базову конструкцію валкової дробарки, її основні вузли та принцип дії. Визначено, що основними робочими органами машини є валки, які сприймають значні навантаження під час дроблення матеріалу. Ефективність роботи дробарки залежить від геометрії робочої поверхні валків, величини міжвалкового зазору, частоти обертання та умов захоплення матеріалу.

Напрямок модернізації: за результатами літературно-патентного огляду обґрунтовано модернізацію валків валкової дробарки. Запропонована конструкція передбачає використання робочих дисків спеціальної геометричної форми з виступами та западинами. Таке рішення покращує захоплення матеріалу, зменшує його проковзування у зоні дроблення та забезпечує більш інтенсивне руйнування за рахунок поєднання стискання, зсуву та часткового різання.

Розрахунки дробарки: виконано параметричні та силові розрахунки валкової дробарки. Прийнято діаметр валків 600 мм, довжину робочої частини 400 мм, зазор між валками 15 мм, частоту обертання 48 об/хв та окружну швидкість 1,5 м/с. Отримані результати підтверджують можливість використання прийнятих параметрів для попереднього подрібнення вапна.

Числове моделювання: у програмному комплексі ANSYS виконано розрахунок напружено-деформованого стану модернізованого валка. Розрахунок

проводився для сталевій конструкції при робочому тиску 3,4 МПа. Максимальні еквівалентні напруження за Мізесом становлять 127,34 МПа, що не перевищує допустимого значення 780 МПа. Коефіцієнт запасу міцності становить 6,1252, що підтверджує достатню міцність та надійність модернізованого валка.

Охорона праці: розглянуто основні небезпечні та шкідливі фактори, які виникають під час експлуатації валкової дробарки: запиленість повітря, шум, вібрації, небезпека від обертових частин механізму та пожежні ризики. Запропоновано заходи для підвищення безпеки праці, зокрема використання вентиляції, захисних огорожень, засобів індивідуального захисту та своєчасного технічного обслуговування обладнання.

Технологія машинобудування: розроблено технологічний процес виготовлення шківів клинопасової передачі валкової дробарки. Обґрунтовано вибір матеріалу СЧ20, способу отримання заготовки литтям, основних операцій механічної обробки та пристосування для закріплення деталі.

Запропонована модернізація валків валкової дробарки є технічно обґрунтованою та працездатною. Вона дозволяє підвищити ефективність подрібнення вапна, покращити захоплення матеріалу, зменшити нерівномірність навантажень на робочі органи та забезпечити надійну роботу дробарки в заданих експлуатаційних умовах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Щербина В.Ю., Сівецький В.І., Гондлях О.В. Механічні процеси і обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів. Підготовка сировинних матеріалів і устаткування для змішування та формування [Електронний ресурс] / КПП ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2022. – 131с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/4573>
2. Щербина В.Ю., Швачко Д.Г., Гур'єва Л.Н. Технологія виробництва матеріалів і виробів будівельного призначення [Електронний ресурс] / КПП ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2024. – 188с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/66516>
3. Щербина, В. Ю., Кочерга, А. Ю. (2025). Дослідження руху частинок матеріалу в трубних обертових апаратах (укр.). *Вісник НТУУ “КПІ імені Ігоря Сікорського”*. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження, (4), 43–50. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.4.2025.348813>
4. Патент UA 12256, МПК B02C 4/00. Валкова дробарка спеціальна / Гевко Б. М., Рогатинський Р. М., Токарчук О. А. – Опубл. 15.12.2005.
5. Патент UA 36934, МПК B02C 4/00. Валкова дробарка / Котречко О. О. – Опубл. 10.11.2008.
6. Патент UA 51401, МПК B02C 4/00. Валкова дробарка / Дешко В. І., Ткач В. В., Савенко М. Н. – Опубл. 26.07.2010.
7. Патент UA 52841, МПК B02C 4/00. Валкова дробарка / Пілов П. І., Самуся В. І. – Опубл. 10.09.2010.
8. Патент UA 85997, МПК B02C 4/00. Валкова дробарка / Півняк Г. Г., Кириченко В. І. – Опубл. 25.12.2013.
9. Патент UA 115328, МПК B02C 4/00. Валкова дробарка з балансувальними циліндрами / Вайсберг Л. А., Кириченко В. І. – Опубл. 25.04.2017.
10. Патент UA 132083, МПК B02C 4/00. Валкова дробарка / Півняк Г. Г., Самуся В. І. – Опубл. 25.02.2019.
11. Патент UA 135267, МПК B02C 4/00. Валкова дробарка / Кириченко В. І., Пілов П. І. – Опубл. 25.06.2019.
12. Патент UA 141427, МПК B02C 4/00. Валкова дробарка / Півняк Г. Г., Кириченко В. І. – Опубл. 10.04.2020.
13. Патент UA 98232, МПК B02C 4/00. Валкова дробарка / Гевко Б. М., Рогатинський Р. М., Ткаченко В. І. – Опубл. 27.04.2015.
14. Характеристика матеріала 40X - URL: https://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=32
15. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-ХІІ.
16. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
17. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

18. ДСТУ ISO 5349-1:2005. Вібрація механічна. Вимірювання та оцінювання впливу на людину локальної вібрації. Частина 1. Загальні вимоги.
19. ДСТУ EN ISO 14120:2019. Безпечність машин. Огородження. Загальні вимоги до проєктування та конструювання нерухомих і рухомих огорожень.
20. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ТАБЛИЦЯ РОЗГЛЯНУТИХ ПАТЕНТІВ

№ п/п	Номер патенту	МПК	Автор(и)	Назва патенту	Опис технічного рішення
1	UA 12256	B02C4/02 B02C4/08	Гевко Б. М., Рогатинський Р. М., Токарчук О. А.	Валкова дробарка спеціальна	Використання дисків зі вставними ріжучими зубами у вигляді зрізаної піраміди
2	UA 36934	B02C4/00	Котречко О. О.	Валкова дробарка	Використання автономних приводів валків з різними швидкостями обертання
3	UA 51401	B02C4/00	Дешко В. І., Ткач В. В., Савенко М. Н.	Валкова дробарка	Реверсивний валок з рифлями різної висоти та трапецієподібними канавками
4	UA 52841	B02C4/00	Пілов П. І., Самуся В. І.	Валкова дробарка	Використання валків із ділянками різного діаметра
5	UA 85997	B02C4/00	Півняк Г. Г., Кириченко В. І.	Валкова дробарка	Виконання заглиблень спеціальної форми на поверхні бандажів валків

6	UA 115328	B02C4/02 B02C4/32	Вайсберг Л. А., Кириченко В. І.	Валкова дробарка з балансувальними циліндрами	Застосування балансувальних циліндрів для регулювання положення валків
7	UA 132083	B02C4/02	Півняк Г. Г., Самуся В. І.	Валкова дробарка	Бандажі з конусоподібним профілем та заокругленими виступами
8	UA 135267	B02C4/02	Кириченко В. І., Пілов П. І.	Валкова дробарка	Клиновий самогальмівний механізм регулювання міжвалкового проміжку
9	UA 141427	B02C4/00 B02C4/02	Півняк Г. Г., Кириченко В. І.	Валкова дробарка	Автоматичний контроль міжвалкового проміжку за допомогою датчиків
10	UA 98232	B02C4/00	Гевко Б. М., Рогатинський Р. М., Ткаченко В. І.	Валкова дробарка	Диски спеціальної форми з виступами та западинами для різання матеріалу

ДОДАТОК Б

```

#include <iostream>
#include <cmath>
#include <iomanip>

int main() {
    // Вхідні дані (згідно з зображенням 1)
    double D = 0.6;      // Діаметр валків, м
    double L_rob = 0.4;   // Робоча довжина, м
    double d_max = 0.1;   // Макс. розмір шматків, м
    double f = 0.45;      // Коефіцієнт тертя для рифлених валків

    // Розрахунок кута захоплення
    double alpha_rad = atan(f);
    double alpha_deg = alpha_rad * (180.0 / M_PI);

    // Перевірка умови захоплення
    double cond = D * pow(tan(alpha_rad), 2);

    // Частота обертання та швидкість (згідно з зображенням 2)
    double v = 1.5;      // Окружна швидкість, м/с
    double n = (60.0 * v) / (M_PI * D);

    // Розрахунок маси валка
    double l_op = 0.1;    // Довжина опорної шийки, м
    double d_op = 0.39;   // Діаметр опорної шийки, м
    double rho_st = 7850.0; // Густина сталі, кг/м³

    double m_v = M_PI * (pow(D, 2) * L_rob + pow(d_op, 2) * l_op) * (rho_st /
4.0);

    // Вивід результатів
    std::cout << std::fixed << std::setprecision(2);
    std::cout << "--- Розрахунки за запискою ---" << std::endl;
    std::cout << "Кут захоплення (alpha): " << alpha_deg << " градусів" <<
std::endl;
    std::cout << "Перевірка умови (D*tg^2(a)): " << cond << " м" << std::endl;
    std::cout << "Частота обертання (n): " << n << " об/хв" << std::endl;
    std::cout << "Маса одного валка (m): " << m_v << " кг" << std::endl;

    return 0;
}

```

ДОДАТОК С

[illegible]

[illegible]

[illegible]

ДОДАТОК Д

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології
Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування
Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України
Академія будівництва України
Громадська організація «Клуб пакувальників»

**ЗБІРНИК ДОПОВІДЕЙ
XXIII Всеукраїнської
науково-практичної конференції**

**ЕФЕКТИВНІ ПРОЦЕСИ ТА
ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ
ТА ПАКУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**

Київ, 8-9 червня 2026 року

Дослідження енергоефективності та надійності модернізованої валкової дробарки для подрібнення механічного забруднення у стічній воді

Ткаченко В.І., студ., Шилович Т.Б., к.т.н., доц., Демидик О.І., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

У роботі розглянуто нову конструкцію валкової дробарки для подрібнення кускового механічного забруднення (зокрема синтетичних матеріалів та твердих відходів) у стічній воді. Запропоновано оригінальне виконання ріжучих дисків із інструментальної сталі, закріплених на валах за допомогою шліців, з профільованими виступами та западинами на периферії. Показано, що застосування нової геометрії ріжучих елементів та вдосконаленого способу їх кріплення дозволяє суттєво підвищити надійність і термін служби пристрою порівняно з відомими аналогами. Приведено опис конструкції, принцип роботи та основні геометричні параметри, визначені експериментально.

Ключові слова: валкова дробарка, ріжучі диски, подрібнення, стічна вода, інструментальна сталь, шліцьове з'єднання.

Вступ. Ефективне очищення стічних вод від механічного забруднення є важливою складовою сучасних технологій водопідготовки та захисту довкілля. Для подрібнення кускових відходів (синтетичні матеріали, тверді включення, тощо) широко застосовуються дробарки різних типів. Однак більшість існуючих конструкцій валкових дробарок мають суттєві недоліки: низьку надійність кріплення ріжучих елементів, швидке зношення ножів, заклинювання пристрою та значні бокові навантаження, що призводить до поломок і скорочення терміну експлуатації.

Основний матеріал. Валкова дробарка містить корпус 1, до якого приєднаний приймальний вузол, виконаний у вигляді жолоба 2. Всередині корпусу 1 розміщений валковий різальний механізм, виконаний у вигляді двох однакових валів 3 і 4, змонтованих з можливістю зустрічного обертання. Кожен вал оснащений набором дисків 5, які виконані із інструментальної сталі і закріплені на валах за допомогою шліц 6. На периферії кожного з дисків 5 по колу виконані від 4 до 16 виступів 7, переміжних з такою ж кількістю западин 8.

Горизонтальний бік 9 западини 8 диска 5 виконаний під кутом α , який дорівнює $90-120^\circ$ до вертикальної осі 10 диска 5. Вертикальний бік 11 западини 8 виконаний під кутом β , який дорівнює $80-85^\circ$ до горизонтального (рис.1). Вертикальний 11 бік западини 8 з'єднаний з горизонтальним 9 за допомогою сполучення, яке у перерізі має форму дуги R (рис.2).

Між двома сусідніми дисками, розміщеними на одному валу, розташована втулка 12 циліндричної форми з осьовим отвором, діаметр якої d менше діаметра диска D (рис.3).

Валковий різальний механізм приєднаний до приводного механізму, який складається з електродвигуна 13, редуктора 14 і зубчастої передачі 15 (рис.1).

В основу вдосконалення поставлено задачу створення валкової дробарки [1] з підвищеним терміном дії за рахунок вдосконалення конструкції ріжучих елементів і способу їх кріплення на валах.

Технічний результат полягає в збільшенні терміну служби пристрою. Поставлена задача вирішується тим, що у валковій дробарці, яка містить корпус, привідний механізм, валковий різальний механізм у вигляді двох однакових валів, змонтованих з можливістю зустрічного обертання, набір дисків та приймальний жолоб, диски виконані із інструментальної сталі і закріплені на валах за допомогою шліців [1-2].

На периферії кожного диска по колу виконано від 4 до 16 виступів, переміжних з такою ж кількістю западин. Горизонтальний бік западини (одночасно бік виступу) виконаний під кутом $90-120^\circ$ до вертикальної осі диска, вертикальний бік – під кутом $80-85^\circ$ до горизонтального. Обидва боки з'єднані плавним дуговим сполученням. Між сусідніми дисками на одному валу

розміщено циліндричну втулку меншого діаметра. Відстань між втулкою одного валу і диском іншого валу становить 0,8–1,5 мм.

Усі зазначені параметри (кількість виступів, кути профілю, відстань між елементами) встановлено експериментально [2]. Їх вихід за межі рекомендованих діапазонів призводить до погіршення технічних характеристик і зниження надійності [1].

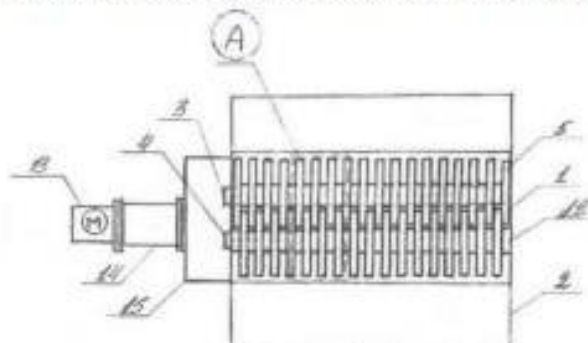


Рисунок 1 – Загальний вид валкової дробарки (вид зверху) [2]

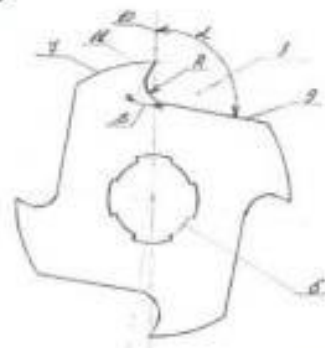


Рисунок 2 – Ріжучий диск [2]

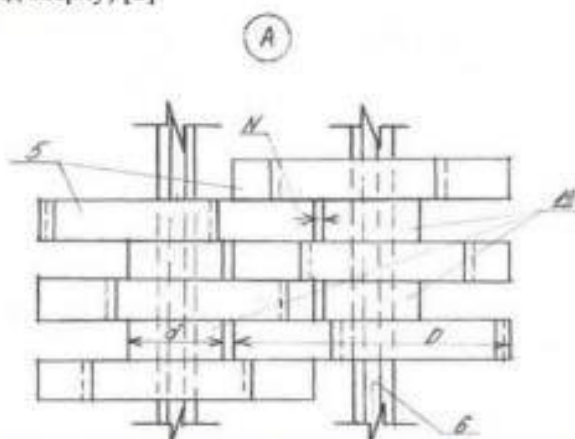


Рисунок 3 – Вузол А (кріплення дисків і втулок) [2]

Принцип роботи полягає в захопленні сміття профільованими дисками, які виконують функцію ножів. Подрібнення відбувається шляхом різання, а відстань між втулками і дисками сусідніх валів регулює крупність готового продукту.

Висновки. Запропонована конструкція валкової дробарки завдяки новій геометрії ріжучих дисків, шпильовому кріпленню та оптимальним зазором між елементами дозволяє значно підвищити надійність і термін експлуатації порівняно з відомими аналогами. Удосконалення забезпечує ефективне подрібнення механічного забруднення у стічних водах, сприяє зменшенню простоїв обладнання та зниженню експлуатаційних витрат. Конструкція рекомендована до впровадження на підприємствах водоочищення та хімічної промисловості.

Перелік посилань

1. Валкова дробарка: пат. 98232 U Україна / Степанов О. В., Руденко І.І., Лижніков Є.С. № u201410994; заявл. 08.10.2014; опубл. 27.04.2015, бюл. № 8/2015. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/885125/>
2. Валок валкової дробарки : пат. 90397U Україна / І.О. Мікульонюк ; Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут" ; № u201314925 ; заявл. 19.12.2013; опубл. 26.05.2014, Бюл. № 10. 4 с.