

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
Інженерно-хімічний факультет
Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____ **Олександр Сокольський**

«_____» _____ 2025 р.

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «радіотехнічні комп'ютеризовані системи»
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

на тему: Дробарка шокова зі складним качанням щоки з модернізацією
пристрою регулювання зазору

Студент IV к, групи ЛП-11 _____ *Галабіцький Руслан Володимирович* _____
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник проекту: проф., д. т. н., Панов Є.М. _____
(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
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ 2025 рік

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

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – *133 Галузеве машинобудування*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Олександр Сокольський**

«_____» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Галабіцький Руслан Володимирович

1. Тема проекту «Дробарка щоква з складним качанням щоква з модернізацією пристрою регулювання зазору», керівник проекту Панов Євген Миколайович, професор, доктор технічних наук, затверджені наказом по університету від «17 травня» 2025 р. №
2. Термін подання студентом проекту 17.06.2025 р.
Вихідні дані до проекту: потужність $N = 47$ кВт, максимальне зусилля, що діє на щоква $Q = 900$ кН, висота нерухомої щоква $H = 1.63$ м, ширина щоква $b = 2,94$ м, частота обертання приводного вала $n = 3,48$ об/с, границя міцності матеріалу на стиск $\sigma = 10$ МПа, модуль пружності $E = 5 \cdot 10^3$ МПа, коефіцієнт розпушення $\mu = 1,3$, коефіцієнт тертя $f = 0,6$.
3. Зміст пояснювальної записки
Призначення та галузь застосування обладнання, яке проектується, технічна характеристика валкової дробарки, опис конструкції, її основних частин та принципу дії, літературний та патентний огляд стану питання, розрахунки, охорона праці, Технологія виготовлення деталі

4. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Технологічна лінія для рециклінгу будівельного сміття, шокова дробарка з модернізацією пристрою регулювання робочого зазору, вал, збірка 3д моделі, результати моделювання балки, складальний кресленню, шків, корпус підшипника.

5. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
МОДЕРНІЗАЦІЇ	Професор Щербина В.Ю.		
ТЕХ. МАШИНОБУД.	Ст. викладач Борщик С.О.		
ОП	Доцент Ковтун І.М.		

6. Дата видачі завдання

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Отримання завдання для дипломного проекту	11.04.2025	
2	Проходження переддипломної практики	15.04.25-19.05.25	
3	Здійснення пошуків патентів – 5 шт., з яких взято 1 для модернізації. Виконання кінематичних та параметричних розрахунків	16.04.24-27.04.24	
4	Обґрунтування модернізації	26.04.25-09.05.25	
5	Підготовка розділу «Пояснювальна записка»	16.04.24-15.06.24	
6	Виконання розрахунків	25.04.25-24.05.25	
7	Підготовка розділу «Розрахунки»	25.04.25-15.06.25	
8	Підготовка розділу «Технологія виготовлення деталі»	11.06.25-13.06.25	
9	Робота над кресленнями в графічному редакторі	15.04.25-15.06.25	
10	Здача дипломного проекту	18.06.2025	

Студент

Руслан Галабіцький

Керівник проекту

Євген Панов

РЕФЕРАТ

"Дробарка шокова зі складним качанням щоки з модернізацією пристрою регулювання зазору": Дипломний проект освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» за напрямом підготовки 133 - Галузеве машинобудування (програма професійного спрямування «радіотехнічні комп'ютеризовані системи») / НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»; Керівник Панов Є.М. Виконавець. – Галабіцький Р.В.

Робота складається з вступу і сіми розділів. Загальний обсяг роботи 71 аркушів основного тексту.

Метою роботи є розрахунок шокової дробарки. У даній роботі були виконані всі необхідні параметричні розрахунки і розрахунки на міцність, а також розглянуті питання, де застосовується шокові дробарки та її переваги і недоліки.

Ключові слова: шокова дробарка, регулювання зазору, розрахунок, моделювання, модернізація.

ESSAY

"Jaw crusher with the modernisation of gap adjustment device": Diploma project of educational qualification level "Bachelor" in the field of study 133 - Industrial mechanical engineering (professional programme "radio engineering computerized systems") / NTUU "KPI"; Supervisor Panov Y.M. Executor – Halabitskyi R.V.

The work consists of an introduction and seven chapters. The total volume of the work is 71 pages of the main text.

The purpose of the work is to calculate the jaw crusher. In this work, all the necessary parametric and strength calculations were performed, as well as the issues of where the jaw crusher is used and its advantages and disadvantages were considered.

Keywords: jaw crusher, gap adjustment, calculation, modeling, modernization.

Перелік позначень

Пр- масова продуктивність, т/год;
 σ -границя міцності матеріалу на стиск, МПа;
 ρ -об'ємна маса матеріалу, т/м³ ;
E-модуль пружності матеріалу,
МПа; μ - коефіцієнт розпушення;
f- коефіцієнт тертя;
 α -кут захвату щоквої дробарки, град;
B-ширина щоки, м;
e-зазор між щоками, м;
n-число обертів валу,
об/хв; L-довжина щоки, м;
N_{дв}-потужність двигуна дробарки, кВт;
Pv-об'ємна продуктивність дробарки, м³/год;
P-тиск, необхідний для подрібнення матеріалу,
Н; u-передаточне число дробарки;
 ξ -коефіцієнт пружного ковзання паса;
Fm – розпірне зусилля.

ЗМІСТ

ВСТУП

1. Призначення та галузь застосування обладнання, яке проектується	10
1.1 Огляд щокочових дробарок	10
2. Технічна характеристика щокочної дробарки	13
3. Опис конструкції, її основних частин та принципу дії	14
3.1 Конструкція щокочної дробарки зі складним качанням щоки.....	14
3.2 Роль дробарки в лінії	16
4. Літературний та патентний огляд стану питання	18
4.1 Огляд існуючих рішень	18
4.2 Обґрунтування запропонованої модернізації	21
5. Розрахунки	23
5.1 Розрахунок розпірних плит.....	24
5.2 Розрахунок рухомої щоки	26
5.3 Розрахунок маховиків.....	28
5.3.1 Використання програмного інструменту для розрахунку.....	31
5.4 Порядок розрахунку	33
6. Охорона праці.....	37
7. Технологія виготовлення деталі	43
7.1 Опис та призначення деталі	43
7.2 Технологічний процес виготовлення деталі.....	44
7.3 Призначення пристосування для обробки деталі	45
7.4 Вибір пристосування, опис конструкції та принцип дії	46
ВИСНОВОК.....	57
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	58

					ЛП11.041198.008-70			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Дробарка щокочова зі складним качанням щоки з модернізацією пристрою регулювання зазору	Літ.	Арк.	Акрушів
Розробив	Галабіцький						2	1
Перевірив	Панов В.					Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського		
Затвердив	Панов В.							

ВСТУП

Переробка будівельного сміття, як показує практика, стає все більш актуальною в умовах сучасного будівництва. Як людина, яка цікавиться сталим розвитком, не можна не помітити, що це дозволяє не лише зменшити шкідливий вплив на довкілля, а й дає змогу повторно використовувати багато цінних матеріалів. На томість, одним із ключових етапів усього цього процесу є саме дроблення бетонних конструкцій, яке, звісно, потребує використання надійного, ефективного й стійкого до зношування обладнання.

Дивлячись на різні типи дробарок, для даного завдання була обрана щоква дробарка зі складним механізмом качання щоки. Вона, враховуючи всі вимоги до первинного дроблення, найкраще справляється з подрібненням великих уламків бетону. На відміну від, скажімо, конусних чи ударних дробарок, щоква модель краще адаптована саме до роботи з твердими матеріалами, що часто зустрічаються в будівельному смітті. До того ж, вона має низку суттєвих переваг: рівномірне подрібнення, зручне регулювання розміру фракцій, а також високу надійність і довговічність під час обробки абразивної сировини.

Основна мета цієї роботи — аргументовано пояснити вибір саме щоквої дробарки для рециклінгу бетонного брухту, а також провести детальні розрахунки її головних параметрів. Окрім цього, планується розробка креслень моделі балки, яка є частиною гідравлічної системи захисту, — для подальшого аналізу її міцності. Креслення створюватимуться за допомогою програми AutoCAD, а сама деталь буде змодельована в середовищі SOLIDWORKS.

Враховуючи це, для оцінки ефективності конструкції буде побудовано геометричну модель, яка дозволить змодельовати вплив навантажень і закріплень, включаючи розпірне зусилля.

Загалом, у ході дослідження буде визначено оптимальні технічні характеристики дробарки, які, з одного боку, забезпечать високу продуктивність, а з іншого — належну якість кінцевого матеріалу. Також важливо оцінити економічну доцільність використання такої установки в умовах реального будівництва та рециклінгу.

1. Призначення та галузь застосування обладнання, яке проектується

1.1 Огляд щоківих дробарок

Щоківі дробарки поділяються на дві основні групи:

1. **З простим рухом щоки:** В таких дробарках щока рухається по дуговій траєкторії.

Щоківі дробарки з простим рухом щоки характеризуються дугоподібною траєкторією руху робочої поверхні. Такий механізм часто використовується для первинного дроблення матеріалів з невеликою щільністю. Принцип роботи полягає в тому, що одна щока залишається нерухомою, тоді як інша здійснює рух по певній траєкторії. Простий рух дозволяє дробити матеріал шляхом стискання, але часто призводить до нерівномірного розподілу навантаження.

2. **Зі складним рухом щоки:** Щока в конструкції цієї дробарки, як можна помітити, виконує складний рух, який поєднує як горизонтальне, так і вертикальне переміщення. Як людина, що аналізує технічні аспекти подрібнення, одразу розумієш: це суттєво підвищує загальну ефективність роботи обладнання. На томість, саме завдяки такій траєкторії руху — зображеній, до речі, на рис. 2.1 — досягається інтенсивніше й більш повне дроблення матеріалу.

Комплексний рух щоки, дивлячись на результати досліджень, сприяє кращому зношуванню матеріалу в просторі між двома робочими поверхнями. Враховуючи це, навантаження розподіляється рівномірніше, що, в свою чергу, позитивно впливає і на продуктивність, і на ресурс самої машини — тобто деталі зношуються повільніше.

До речі, ще один важливий плюс — це зменшення рівня вібрації та шуму. Для працівників, які щодня працюють з таким обладнанням, це має неабияке значення, адже створює більш безпечні та комфортні умови праці.

Сучасні матеріали, з яких сьогодні виготовляють деталі дробарок із таким типом руху, разом з інженерними рішеннями, значно підвищують надійність техніки.

А отже, це не тільки покращує її експлуатаційні характеристики, а й дозволяє скоротити витрати на обслуговування та ремонт.

Такий тип дробарок ідеально підходить для роботи з будівельними відходами, важкими матеріалами, що мають високий рівень міцності, наприклад, бетон чи асфальт, а саме у моєму випадку це бетон .

Щокові дробарки застосовуються для:

- Первинного дроблення великих каменів, руди або будівельних відходів як на рис. 1.1.
- Щокові дробарки використовуються для первинного дроблення великих фрагментів матеріалу, таких як каміння або руда. Це дозволяє отримати фрагменти меншого розміру, що в подальшому можуть бути піддані вторинній обробці або утилізації. Найбільш поширеними є застосування для гірничодобувної промисловості та переробки матеріалів.



Рисунок 1.1 – Приклад використання щокової дробарки

- Переробки будівельного сміття (бетону, цегли, асфальту) з метою його повторного використання або утилізації. Щокові дробарки, як показує практика, доволі широко використовуються в сфері переробки будівельних

відходів. Як людина, що розуміє важливість раціонального використання ресурсів, не можна не оцінити їхню роль у цьому процесі. На томість, такі дробарки ефективно справляються з подрібненням різних видів будівельних матеріалів — від бетону і цегли до старого асфальту. Дивлячись на сучасні підходи до утилізації, стає зрозуміло: використання шоккових дробарок дозволяє істотно зменшити об'єм відходів і, що не менш важливо, дає можливість повторно застосовувати отриману сировину для виробництва нових будівельних матеріалів. Враховуючи це, процес рециклінгу не лише допомагає зекономити природні ресурси, а й помітно знижує екологічне навантаження, яке зазвичай супроводжує традиційні методи утилізації.

- Використання у гірничо-добувній, будівельній і переробній галузях.

2. Технічна характеристика шокової дробарки

Вихідні данні

Потужність $N = 47$ (кВт)

Максимальне зусилля, що діє на щоку $Q = 900$ (кН)

Висота нерухомої щоки $H = 1.63$ (м)

Ширина щоки $b = 2,94$ (м)

Частота обертання приводного вала $n = 3,48$ (об/с.)

3. Опис конструкції, її основних частин та принципу дії

3.1 Конструкція щоквої дробарки зі складним качанням щоки

1. Основні компоненти (рис. 3.1.):

- Рухома щока 2: Виконує складний рух, поєднуючи обертання і переміщення по горизонталі.
- Нерухома щока 1 : Фіксована, разом з рухомою утворює робочу зону для дроблення.
- Маховик 3 : Забезпечує рівномірний рух рухомої щоки.
- Підшипники 6 : Підтримують рухомі частини для зниження тертя.
- Регулюючий механізм 9 : Дозволяє змінювати розмір вихідного продукту.

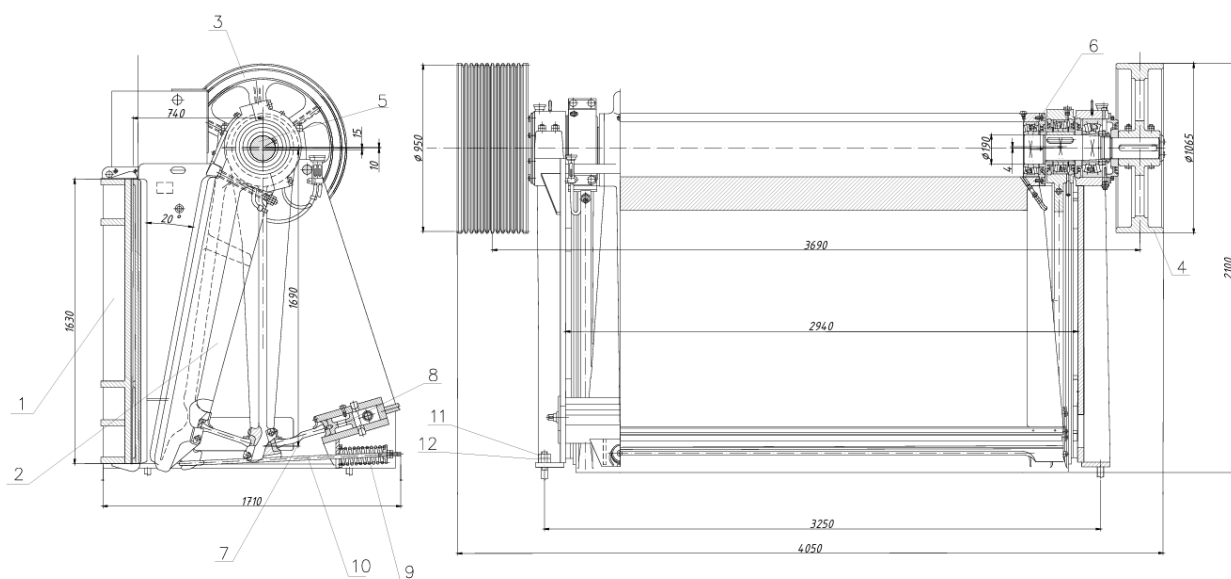


Рисунок 3.1 – Щокова дробарка зі складним рухом щоки типу ЩДС :

- 1-нерухома щока; 2 - ексцентрикний вал 3 - корінні підшипники; 4 - шків; 5 - гвинт; 6 - пружина; 7 - клин; 8- упор; 9, 12 - вкладиші; 10 - тяга; 11 - розпирні плити; 13 - рухома щока; 14, 15 - змінні футерувальні плити

2. Принцип роботи:

- Матеріал подається в робочу камеру між двома щоками.
- Рухома щока здійснює складний рух, що забезпечує інтенсивне дроблення матеріалу.
- Подрібнений матеріал вивантажується через нижню частину дробарки.

Переваги щоккових дробарок зі складним рухом щоки

1. Вища продуктивність. Як інженер, що розглядає ефективність обладнання, одразу помічаєш, що завдяки складному руху щоки дробарка забезпечує значно ефективніше подрібнення матеріалу. Враховуючи це, продуктивність обладнання суттєво зростає порівняно з моделями, де рух є простим. Це особливо важливо у випадках, коли йдеться про великі обсяги будівельного сміття, зокрема бетону, який потребує інтенсивної обробки.

2. Рівномірний розподіл навантаження. Дивлячись на конструкцію механізму, можна помітити, що складна траєкторія руху щоки дозволяє значно краще розподіляти навантаження по всій площині робочої поверхні. На томість, це означає менше зношування основних частин дробарки, що, у свою чергу, подовжує термін її служби та зменшує витрати на регулярне обслуговування.

3. Покращена якість дроблення. Завдяки складному руху щоки досягається більш рівномірне подрібнення таких матеріалів, як бетон і цегла. Як результат, кінцевий матеріал має стабільні розміри, що є великою перевагою при його подальшому використанні, наприклад, у виробництві нових будівельних сумішей.

4. Можливість налаштування фракцій. Однією з важливих переваг щоккових дробарок є наявність механізму регулювання розміру фракцій на виході. Враховуючи це, обладнання можна адаптувати під конкретні потреби виробництва — чи то дрібні заповнювачі для бетону, чи більші фракції для підсипки.

5. Висока універсальність. Ще одна сильна сторона — це універсальність. Як показує практика, щокові дробарки добре працюють не лише з будівельним сміттям, а й з такими матеріалами, як природний камінь, руда або навіть деякі метали. Це робить їх незамінними в багатьох галузях, де потрібне надійне дроблення.

Недоліки щокових дробарок зі складним рухом щоки

1. Великі габарити і вага: Щокові дробарки зазвичай мають значні розміри і вимагають багато простору для встановлення, що може бути недоліком у ситуаціях, коли простір на майданчику обмежений.

2. Підвищені енергетичні витрати: Складний механізм руху щоки потребує більше енергії порівняно з іншими типами дробарок, наприклад, конусними або ударними. Це може збільшувати витрати на експлуатацію.

3. Менша ефективність для дрібного дроблення: Щокові дробарки найкраще підходять для первинного дроблення великих шматків матеріалу. Для тонкого подрібнення можуть бути необхідні додаткові стадії обробки або інше обладнання.

4. Великий знос частин при обробці абразивних матеріалів: Хоча розподіл навантаження покращує довговічність щокових дробарок, при роботі з абразивними матеріалами (наприклад, твердий камінь) знос все одно залишається значним і потребує частішої заміни зношуваних частин.

3.2 Роль дробарки в лінії

Установка для переробки будівельного сміття рис 3.2. працює наступним чином: матеріал надходить у живильник 1, який рівномірно подає його в щокову дробарку 2, де відбувається первинне подрібнення. Далі лотковий живильник 3 транспортує подрібнений матеріал на стрічковий конвеєр 4, який переміщує його до наступного етапу обробки.

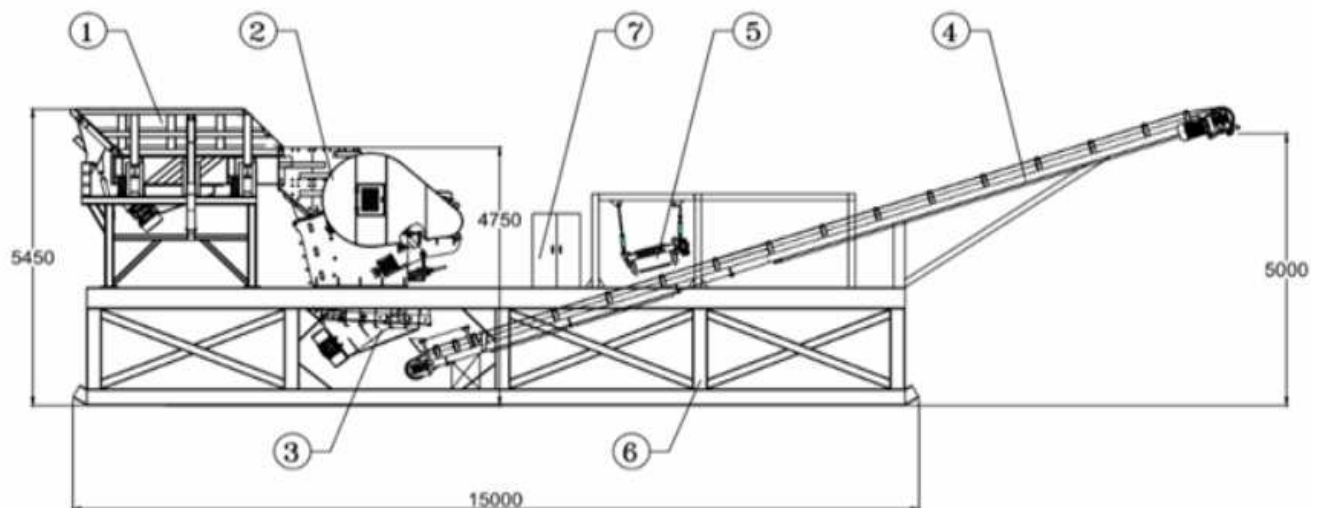


Рисунок 3.2 – Схема установки: 1-живильник, 2-щогова дробарка, 3-лотковий живильник, 4-стрічковий конвеєр, 5-постійний підвісний магніт, 6-шасі на салазках 7-контрольна панель

Постійний підвісний магніт 5 видаляє металеві включення, такі як арматура чи інші металеві залишки. Уся конструкція розміщена на шасі на салазках 6, що забезпечує її мобільність. Керування процесом здійснюється через контрольну панель 7, яка регулює роботу обладнання та забезпечує безпеку експлуатації.

У галузі переробки будівельного сміття щогові дробарки широко використовуються завдяки простоті конструкції, надійності та здатності переробляти матеріали різної твердості. Але, аналіз патентної літератури показує, що більшість існуючих рішень призначені для стаціонарного використання і не адаптовані до умов рециркуляції на будівельних майданчиках.

Також сама щогова дробарка доведена до ідеальності та тяжко модернізується.

4. Літературний та патентний огляд стану питання

4.1 Огляд існуючих рішень

Під час виконання курсового проєкту, як не дивно, довелося звернутися до технічної літератури та патентних джерел, щоб глибше розібратися в конструкції валкових дробарок, їхніх основних вузлах, а також проаналізувати переваги й недоліки різних типів конструкцій. Дивлячись на загальну картину, варто зазначити, що серед найпоширеніших недоліків виділяється порівняно короткий термін служби окремих елементів дробарки — зокрема, балки. На томість, серйозною проблемою є затяжний процес ремонту та необхідність постійного налаштування зазорів між деталями. Враховуючи це, неважко здогадатися, що через інтенсивне тертя й значні навантаження деталі зношуються досить швидко — причому часто з обох боків одночасно. Це не лише збільшує витрати на технічне обслуговування, але й призводить до простою обладнання, коли виробничий процес змушений зупинятися. Незважаючи на те, що зазори передбачені в конструкції дробарки, сам блок перебуває під постійним впливом тертя та значних механічних навантажень. У результаті, балка піддається швидкому зносу, що потребує її регулярної заміни або ремонту. Враховуючи це, стає очевидно: підвищення довговічності таких компонентів — одна з ключових задач при модернізації конструкції.

З метою покращення будови конструкції та подолання цих недоліків було проаналізовано патентну літературу. Для оцінки варіантів модернізації було знайдено 3 технічних рішень, кожне з яких має свої особливості. Розглянемо їх детальніше.

У патенті на рисунку 4.1 запропоновано важку гідравлічну шокову дробарку з гідравлічною системою захисту від перевантажень. Відомі шокові дробарки мають механічні системи захисту, які не завжди ефективно запобігають пошкодженням при потраплянні недробних матеріалів. Однак, застосування гідравлічної системи дозволяє оперативно реагувати на

перевантаження та викидати сторонні предмети, зменшуючи ризик поломок. Тому метою даного винаходу є розробка надійної системи захисту, здатної мінімізувати навантаження на балку механізму повернення та збільшити термін її служби.

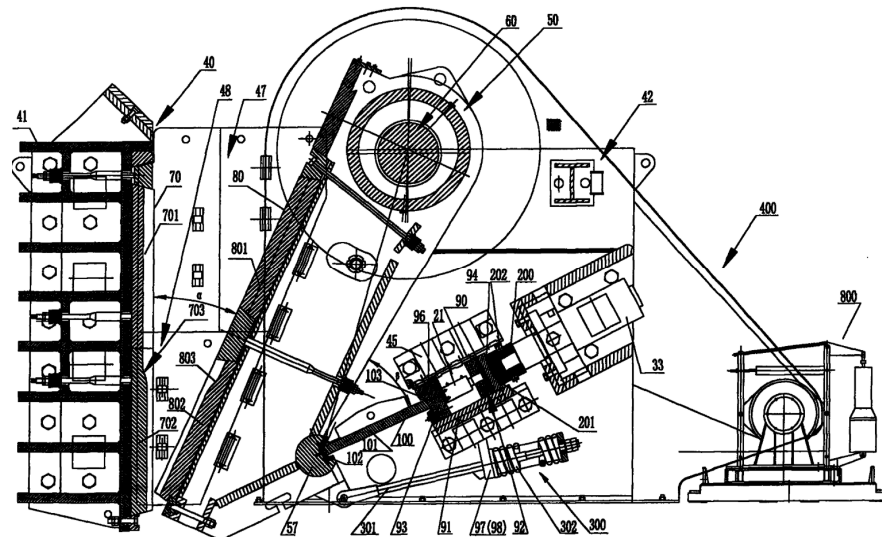


Рисунок 4.1 – Патент CN206810357U [12]

У патенті, зображеному на рисунку 4.2, розглядається завдання створення щоквої дробарки з регульованою рамою та рухомою щелепою — і, насправді, це цілком логічний крок для підвищення ефективності процесу дроблення. На томість, більшість відомих конструкцій дробарок мають доволі обмежені можливості щодо регулювання параметрів, що ускладнює їх адаптацію до різних умов роботи та різних типів матеріалів. Дивлячись на рішення, запропоноване в цьому патенті, можна сказати, що шляхом певних конструктивних змін забезпечується значно більша гнучкість налаштування. І, враховуючи це, така модернізація може позитивно вплинути, зокрема, на балку механізму повернення — зменшуючи пікові навантаження й вібрації, які зазвичай виникають під час роботи дробарки.

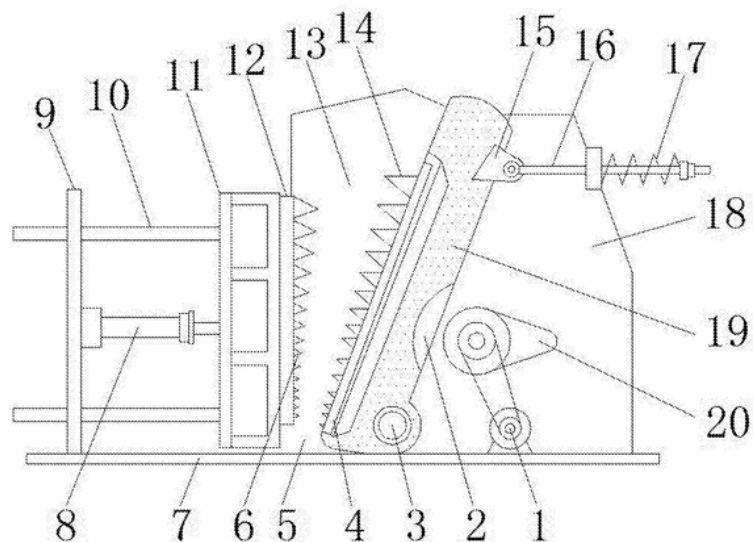


Рисунок 4.2 – Патент CN206810357U [12]

У патенті на рисунку 4.3 винахід відноситься до щоківих дробарок з опорним ланковим механізмом. Відомі щоківі дробарки використовують традиційні схеми з'єднання елементів, які не завжди забезпечують оптимальний розподіл навантажень. Даний патент розкриває рішення з використанням пари штифтів, з'єднаних з хрестовиною коробчастої структури. Завдяки даній модифікації, дробарка має кращу адаптивність до різних навантажень, а коробчаста структура хрестовини сприяє підвищенню міцності та жорсткості балки механізму повернення.

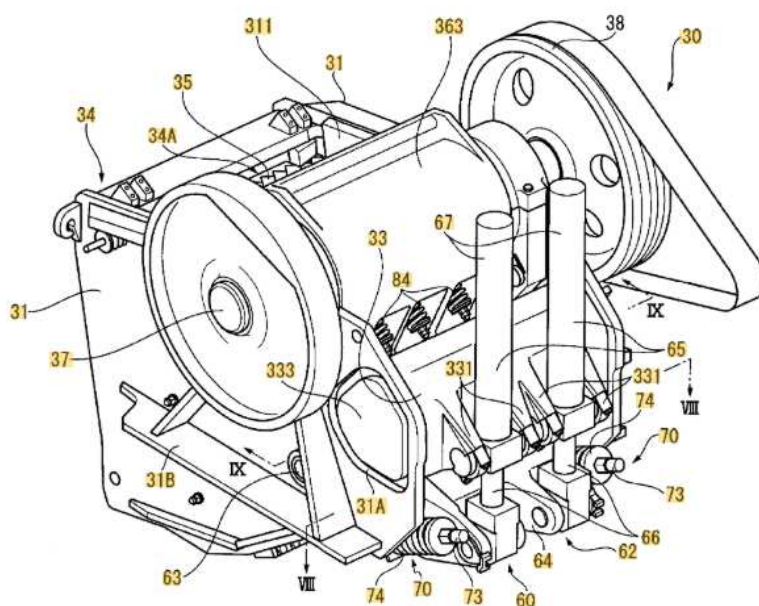


Рисунок 4.3 – Патент KR100937448B1 [13]

Ґрунтуючись на аналізі патентної літератури, можна зробити цілком обґрунтований висновок: удосконалення балки в механізмі повернення шокової дробарки справді є важливим і, на томість, актуальним напрямком досліджень. Наприклад, у патенті CN100569375C показано, що застосування гідравлічної системи захисту дозволяє зменшити навантаження на балку у випадках перевантаження. Водночас, у патенті CN206810357U розглядається можливість регулювання положення щелепи, що, як показано, безпосередньо впливає на динамічні навантаження, які сприймає балка. Дивлячись на інші підходи, зокрема на рішення з патенту KR100937448B1, варто зазначити, що там запропоновано використання коробчастої конструкції — вона підвищує як міцність, так і жорсткість елемента. Враховуючи це, стає зрозуміло, що поєднання гідравлічного захисту, можливості адаптивного регулювання та оптимізованої, більш міцної конструкції балки може суттєво підвищити загальну ефективність і надійність шокових дробарок.

4.2 Обґрунтування запропонованої модернізації

Після проведення огляду наукових і патентних джерел було обрано модифікацію для удосконалення балки механізму повернення, яка базується на патенті [11].

Модифікація балки механізму повернення, запропонована в патенті [11] (CN100569375C), передбачає поєднання її з гідравлічною системою захисту від перевантажень. Власне, це значно покращує існуючу конструкцію, адже основна мета — мінімізувати негативний вплив недробних матеріалів на балку.

Враховуючи це, варто відзначити, що головні недоліки багатьох наявних конструкцій полягають у тому, що вони часто піддаються великим навантаженням через потрапляння уламків, які просто не піддаються дробленню. В результаті — це призводить до пошкоджень деталей і скорочує термін служби обладнання.

Щокова дробарка, як це зазначено в патенті [11], обладнана гідравлічною системою, яка, власне, може "викидати" недробні матеріали. Завдяки цьому механічні компоненти, зокрема й балка, отримують додатковий захист.

Одним із головних завдань цього винаходу [11] є створення надійної системи захисту, яка здатна мінімізувати навантаження на балку механізму повернення і, відповідно, подовжити термін її служби.

5. Розрахунки

Метою розрахунку є визначення безпосередньо зусилля, що діють у щоківій дробарці, виходячи з теорії дроблення, не видається можливим. Тому як вихідну величину для розрахунку приймають потужність, яку споживає дробарка. Очевидно, що зусилля роздавлювання буде максимальним у тому випадку, коли в завантажувальний отвір дробарки потрапляє найбільший за розмірами шматок матеріалу, рис. 2.1.

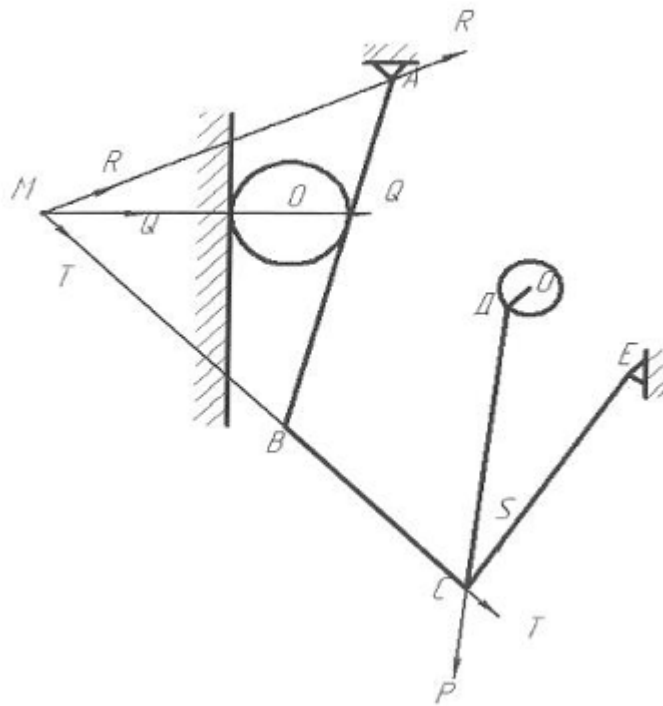


Рисунок. 5.1 – Розрахунок шатуну

Щокова дробарка має робочий хід у тому випадку, коли шатун переміщується вгору. У цей час рухома щока наближається до нерухомої, долаючи опір дробленого матеріалу. Величина опору при цьому зростає від нуля до максимального значення. На шатун діє розтягуюче зусилля, яке також змінюється від нуля до максимуму.

Як показують дослідження, закон зміни навантаження у шатуні близький до пропорційного (рис. 5.2).

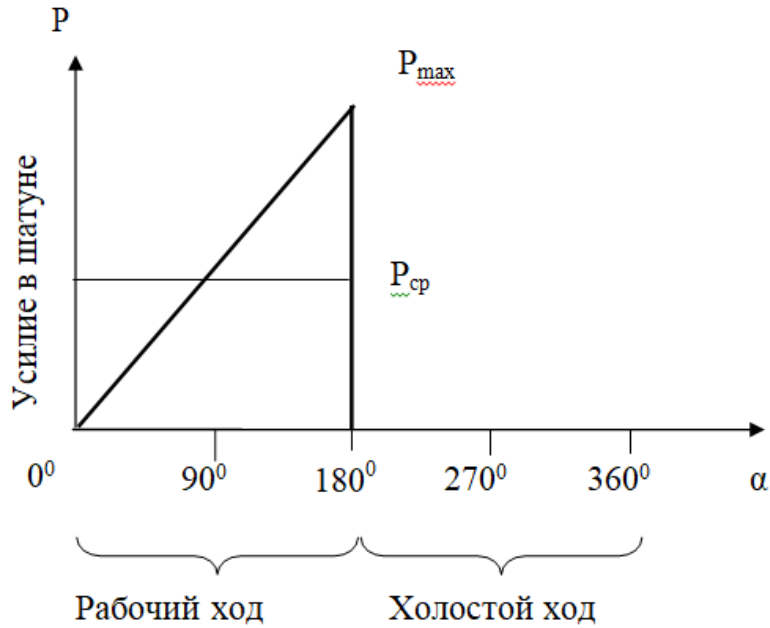


Рисунок. 5.2 – Середнє зусилля у шатуні.

Розрахунок здійснюємо за методикою [1]

Розраховую шатун дробарки, потужністю $N = 47$ кВт, з ексцентриситетом ексцентрикового вала $e = 0,025$ м. Кількість обертів $n = 208$ об/хв.

$$\text{Знаходимо: } P_{max} = \frac{30N}{en} = \frac{30 \cdot 47 \cdot 1000}{0.025 \cdot 208} = 271153 \text{ (Н)}$$

$$\text{Розпірне зусилля: } P_{роз} = 4P_{max} = 10,8 \cdot 10^5 \text{ (Н)}$$

Для виготовлення шатуна вибираємо сталь марки СТ-35-50/19, для якої допускаються напруження $[\sigma] = 1,129 \cdot 10^8$ Н/м².

Поперечне січення шатуна.

$$F = \frac{P_{роз}}{[\sigma]} = \frac{10.8 \cdot 10^5}{1.13 \cdot 10^8} = 9.5 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^2\text{)}$$

5.1 Розрахунок розпірних плит

Зусилля, що передається від шатуна до рухомої щоки та задньої стінки станини, буде максимальним при верхньому положенні шатуна (рис. 5.3).

Виходячи з рівноваги сил, що діють на шатун і розпірні плити:

$$T = \frac{P_{\text{роз}}}{2 \sin \gamma} = \frac{P_{\text{роз}}}{2 \cos \beta}, \text{ (Н) так як } \gamma = 90 - \beta.$$

З попередньої формули видно, що з збільшенням кута зростає зусилля T , а при $\beta = 90^\circ$ зусилля $T \rightarrow \infty$. Отже, в шоківій дробарці можна отримати зусилля, яке багаторазово перевищує розрахункове. Перевірка на міцність проводиться за формулою:

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{T}{F} \leq [\sigma_{\text{сж}}]$$

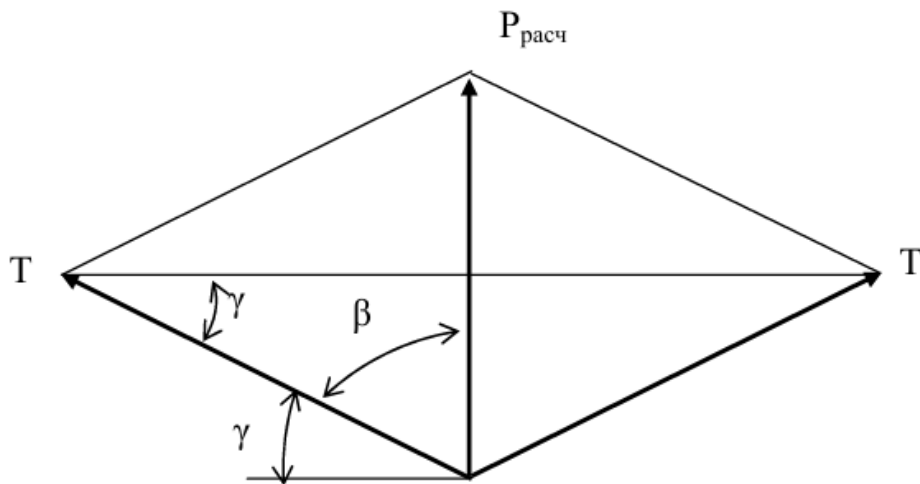


Рисунок 5.3 – Зусилля в шатуні

Плити працюють на стиснення. Оскільки їх висота співмірна з поперечним січенням, то немає необхідності перевіряти їх на стійкість.

Розрахунок вкладачів розпірних плит проводиться на питомий тиск за формулою:

$$P_{\text{уд}} = \frac{T}{ld} \leq [P_{\text{уд}}]$$

де $[P_{\text{уд}}] = 34,3 \cdot 10^6 - 39,2 \cdot 10^6, \text{ Н/м}^2$ Для вкладачів з високовуглецевих сталей;

d – діаметр вкладиша, м;

l – довж. вкладиша, м.

Розрахунок для умов $P_{\text{роз}} = 10,8 * 10^5 \text{ Н}$, $\beta = 80^0$ зусилля

$$T = \frac{10,8 * 10^5}{2 \cos 80^0} = 3,1 * 10^5 \text{ (Н)}$$

Якщо розпірні плити виготовити з чавуну СЧ–32, то необхідна площа поперечного січення

$$F = \frac{T}{[\sigma_{\text{сж}}]} = \frac{3,1 * 10^5}{326,3 * 10^5} = 0,0095 \text{ (м}^2\text{)}$$

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{T}{F} = \frac{3,1 * 10^5}{9,5 * 10^3} = 326,3 * 10^5$$

При ширині плити $b = 0,6$ м, товщина її буде $\frac{0,0095}{0,6} = 0,015$ (м)

5.2 Розрахунок рухомої щоки

– При роботі щоквої дробарки на рухому щоку діють наступні сили (рис. 5.4):

- Сила впливу розпірних плит. – T ;
- Сила Опір матеріалу дробленню. – Q ;
- Реакція опори – R .

Вагою щоки в розрахунках знехтувати:

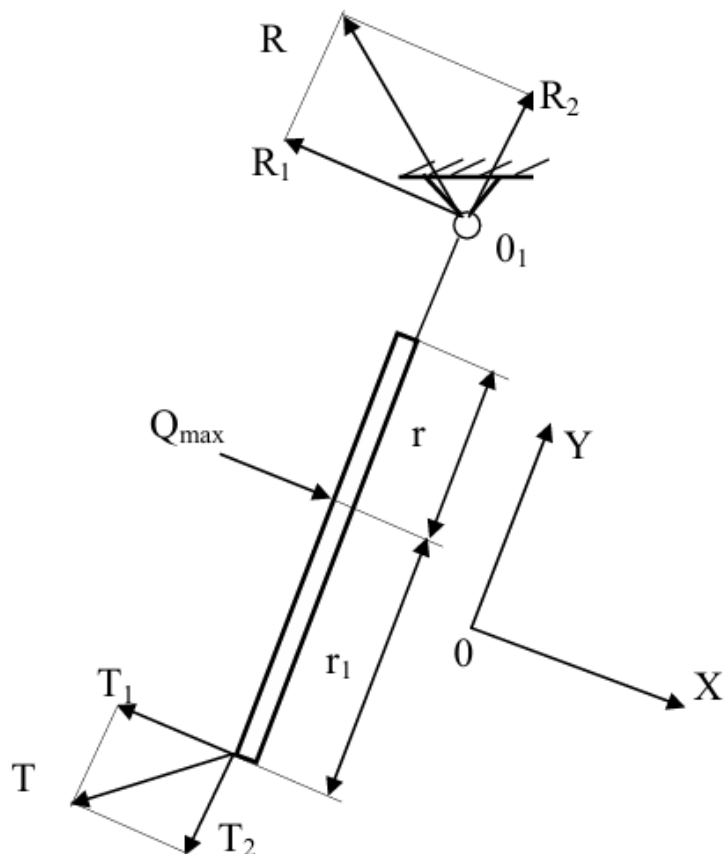


Рисунок. 5.4 – Сили, що діють на рухому шочку

Знаходимо зусилля T_1 і T_2 .

$$T_1 = T \cos \gamma = 1.66 \cdot 10^5 \cos(90^\circ - 80^\circ) = 3.1 \cdot 10^5 \cdot 0.985 = 3.05 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$T_2 = T \sin \gamma = 3.1 \cdot 10^5 \cdot 0.174 = 0.53 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Зусилля дроблення: $Q = 3T = 3 \cdot 3.1 \cdot 10^5 = 9.3 \cdot 10^5 \text{ Н}$

Внаслідок нерівномірності ходу, шочка повинна мати невелику масу і бути достатньо міцною, тому її виготовляють з ребрами жорсткості з литої сталі марки СТ-35-50/15.

Реакція опори: $R_1 = Q - T_1 = (9.3 - 3.05)10^5 = 6.25 \cdot 10^5 \text{ Н}$

Тоді $M_{max}^{виг} = R_1 r' = 6.25 \cdot 10^5 \cdot 0.5 = 3.125 \cdot 10^5 \text{ Нм}$

Напруження в розглядуваному січенні.

$$\sigma_i = \frac{M_{max}^{ВИГ}}{W} \leq [\sigma_i],$$

де W – Момент опору для вибраного профілю щоки.

Необхідне січення щоки знаходимо за моментом опору.

$$W = \frac{M_{max}^{ВИГ}}{[\sigma_i]} = \frac{3,13 \cdot 10^5}{1,13 \cdot 10^8} = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Це значення відповідає профілю щоки з габаритними розмірами **2940 × 1630 мм**. В розглядуваному січенні.:

$$\sigma_i = \frac{M_{max}^{ВИГ}}{W} = \frac{3,13 \cdot 10^5}{2,7 \cdot 10^{-3}} = 1,16 \cdot 10^8 \text{ Па}$$

що не перевищує допустиме значення $[\sigma]=1,13 \cdot 10^8$ Па, отже, умова міцності виконується.

5.3 Розрахунок маховиків

У період холостого ходу, коли дроблення припиняється, на подолання шкідливих опорів у частинах дробарки витрачається лише частина використаної енергії, а решта її частина йде на збільшення кінетичної енергії маховиків. У період робочого ходу частина кінетичної енергії маховиків втрачається на дроблення матеріалу. Отже, за період робочого ходу маховики дещо втрачають швидкість.

Най ω_1 – кутова швидкість маховиків на початку робочого ходу; ω_2 – кутова швидкість маховиків в кінці робочого ходу.

Маховики щокових дробарок виготовляються з спицями або суцільними дисками і встановлюються на вал за допомогою нормальної, клинової або тангенціальної шпонки.

Рівняння роботи дроблення можна записати в такому вигляді:

$$A = Ntp + \frac{l_p}{2} (\omega_1^2 \omega_2^2) \text{ (Нм)}$$

Де: N — потужність двигуна, Вт;

tp — час робочого ходу, с;

I_p — сумарний момент інерції маховиків, Н·м·с².

$$t_p = \frac{30}{n}; A = \frac{\sigma^2 V}{2E} \text{ (Нм)},$$

Де: σ — межа міцності на стиск матеріалу, Н/м²;

V — об'єм дробимого матеріалу, м³;

E — модуль пружності матеріалу, Н/м².

$$\omega_1^2 - \omega_2^2 = (\omega_1 + \omega_2)(\omega_1 - \omega_2);$$

$$\omega_1 + \omega_2 = 2\omega_{\text{ср}};$$

$$\omega_1 - \omega_2 = \delta\omega_{\text{ср}}$$

Де: δ — нерівномірність ходу.

$$\frac{\sigma^2 V}{2E} = \frac{30N}{n} + l_p \delta \omega_{\text{ср}}^2,$$

$$l_p = \frac{1}{\omega_{\text{ср}}^2 \delta} \left(\frac{\sigma^2 V}{2E} - \frac{30N}{n} \right) \text{ (Нмс}^2\text{)}$$

З іншого боку, момент інерції маховика можна визначити за формулою:

$$l_p = m \frac{D^2}{4} \text{ Нмс}^2$$

Де: m — маса маховика, кг (Н·с²/м);

$D/2$ — відстань від центру маховика до обода при припущенні, що маса маховика зосереджена в ободі.

$$\omega_{\text{ср}} = \frac{\pi n}{30}, \text{ тоді } mD^2 = \frac{3600}{\pi^2 n^3} \left(\frac{\sigma^2 V n}{2E} - 30N \right), \text{ кгм}^2$$

З достатньою точністю можна визначити характеристику маховика для шокової дробарки за спрощеною формулою фізика Л.Б. Левінсона.

$$mD^2 = \frac{0,41 * N}{n^3 \delta}, \text{ кгм}^2$$

Де: N — потужність, що витрачається шоковою дробаркою, Вт;
 n — число обертів ексцентрикового вала, 1/с.

Щоб визначити розміри маховика, потрібно встановити його масу.

Діаметр маховика вибирають, виходячи з того, що окружна швидкість обода не

повинна перевищувати 15–20 м/с.

$$w = \pi D n \leq 15 \div 20$$

Щекова дробарка оснащена двома маховиками на обох кінцях ексцентрикового вала. Загальна маса маховиків приймається рівною $(1,1-1,2) \cdot m$

Площа перерізу обода кожного маховика визначається згідно з умовою.

$$\frac{m}{2} = \pi D \rho F,$$

Де: D — діаметр центру тяжіння обода, м;

ρ — густина матеріалу маховика (для сталі можна прийняти $\rho = 7800$ кг/м³);

F — площа поперечного перерізу обода маховика, м².

$$\text{Звідси: } F = \frac{m}{2\pi D \rho} \text{ м}^2$$

Розрахувати маховик для щоквої дробарки ЩДС–25×175. Необхідні дані для розрахунку: Потужність двигуна $N = 47000$ Вт, Число обертів ексцентрикового валу $n = 3,48$ об/с, Нерівномірність ходу $\delta = 0,02$.

Виз. характеристику маховика: $mD^2 = 2286$ (кгм²)(див. 5.3.1)

Діаметр маховика визначаємо з умови: $w = \pi D n \leq 25$ (м/с²)

$$\text{Звідси: } D = \frac{25}{3.14 \cdot 3.48} = 2.287 \text{ (м)}$$

$$\text{Маса обода маховика буде: } m = \frac{2286}{2 \cdot 2.287^2} = 218 \text{ (кг)}$$

Маса обода з урахуванням ваги спиць становитиме:

$$m_1 = 1.1 \cdot m = 239.8 \text{ (кг)}$$

$$\text{Площа перерізу кожного обода: } F = \frac{239.8}{\pi \cdot 2.287 \cdot 7800} = 0,004 \text{ (м}^2\text{)}$$

За для оцінки ефективності була розроблена геометричну модель конструкції для моделювання навантаження та закріплень з розпірним зусиллям . Була створена 3D-модель за допомогою системи SOLIDWORKS та проведені відповідні розрахунки в системі Ansys.

5.3.1 Використання програмного інструменту для розрахунку

Для спрощення обчислень одного з ключових параметрів — добутку маси шківів на квадрат його діаметра (mD^2), була створена невелика прикладна програма. Вона реалізована мовою C++ та дозволяє швидко отримати значення за заданими вхідними даними: потужністю приводу N , частотою обертання n , а також коефіцієнтом δ , який враховує конструктивні та силові особливості механізму.

Обчислення виконується за формулою:

$$mD^2 = \frac{0,41 * N}{n^3 \delta}, \quad (\text{кгм}^2)$$

Програма побудована таким чином, що користувач послідовно вводить необхідні значення, після чого одразу отримує числовий результат. Такий підхід значно знижує ризик арифметичних помилок при ручних розрахунках та дозволяє оперативно змінювати вхідні дані для аналізу впливу окремих факторів.

```
#include <iostream>
#include <cmath> // для pow

int main() {
    double N, n, delta;

    // Ввід вихідних даних
    std::cout << "Введіть значення N: ";
    std::cin >> N;
    std::cout << "Введіть значення n: ";
```

```

std::cin >> n;
std::cout << "Введіть значення δ (дельта): ";
std::cin >> delta;

// Формула:  $mD^2 = (0.41 * N) / (n^3 * delta)$ 
double numerator = 0.41 * N;
double denominator = std::pow(n, 3) * delta;
double mD2 = numerator / denominator;

// Вивід результату
std::cout << "Результат  $mD^2 =$ " << mD2 << std::endl;

return 0;
}

```

Приклад роботи програми

Для перевірки працездатності програма була запущена з такими вхідними значеннями:

Потужність двигуна $N = 47000$ Вт

Число обертів ексцентрикового валу $n = 3,48$ об/с

Нерівномірність ходу $\delta = 0,02$

Після обчислення програма вивела наступний результат:

Результат $mD^2 = 2286$ кгм²

5.4 Порядок розрахунку

Спочатку переносимо готову модель балки в систему ANSYS(рис. 5.5.).

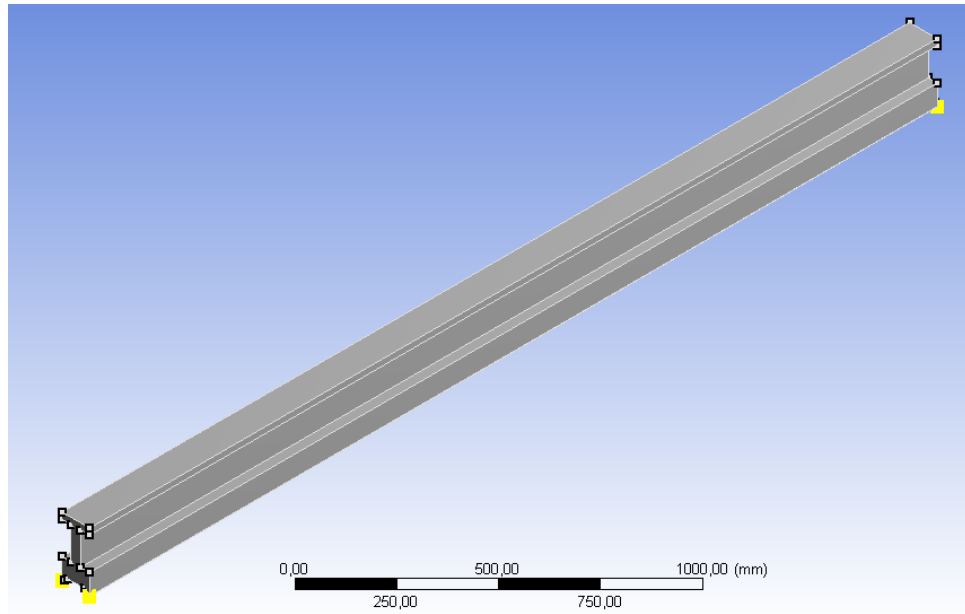


Рисунок 5.5 – 3D модель балки

Наступним кроком розбиваємо модель на скінченні елементи (рис. 5.6.)

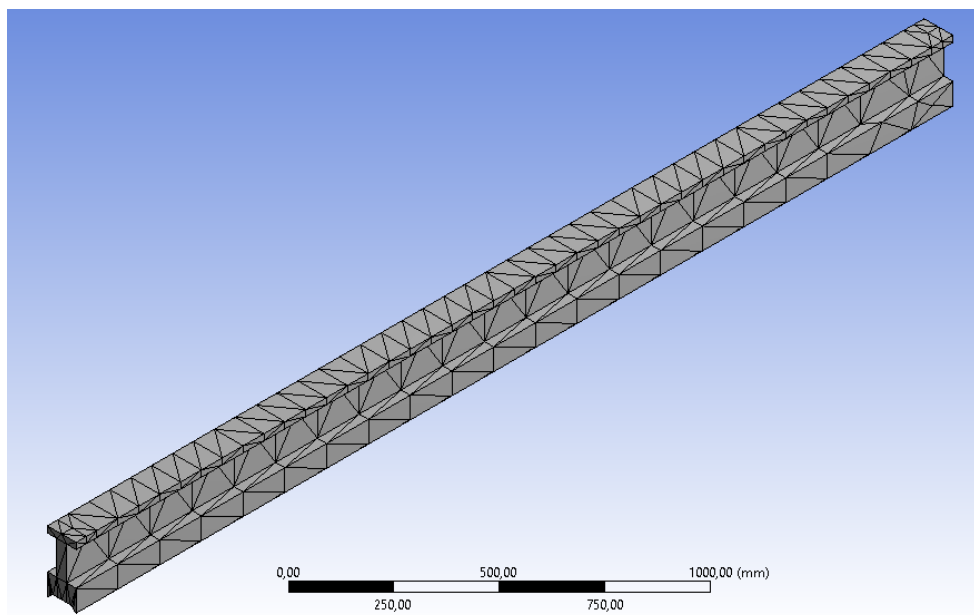


Рисунок 5.6 – Розбиття балки на скінченні елементи

Встановлюємо закріплення та додаємо навантаження в 10МПа[3].

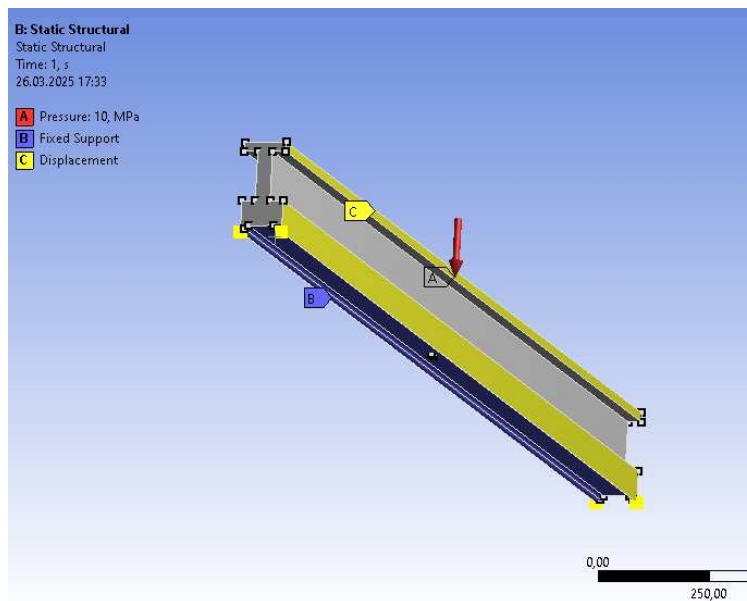


Рисунок. 5.7 – Схема закріплень та навантажень

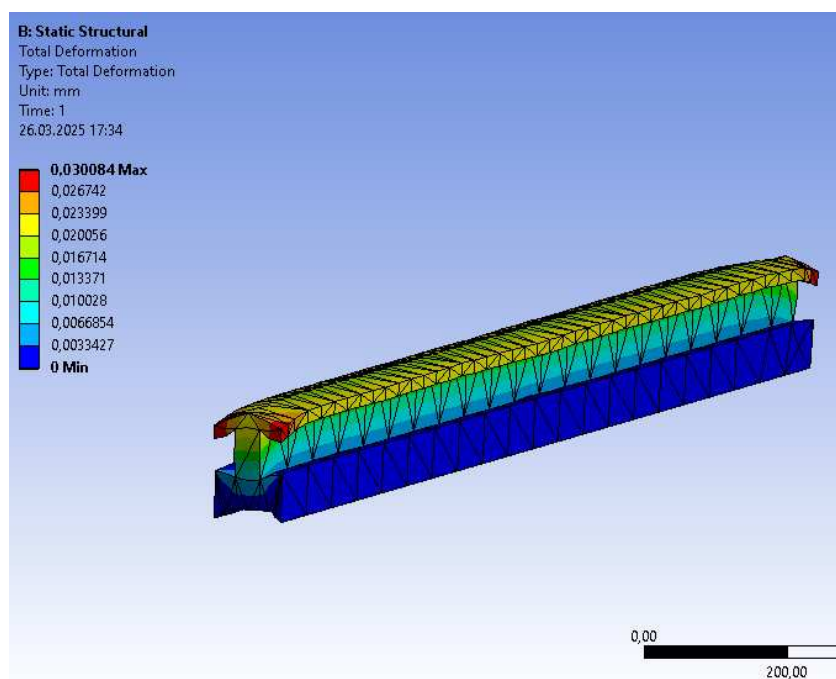


Рисунок 5.8 – Результати загальних деформацій

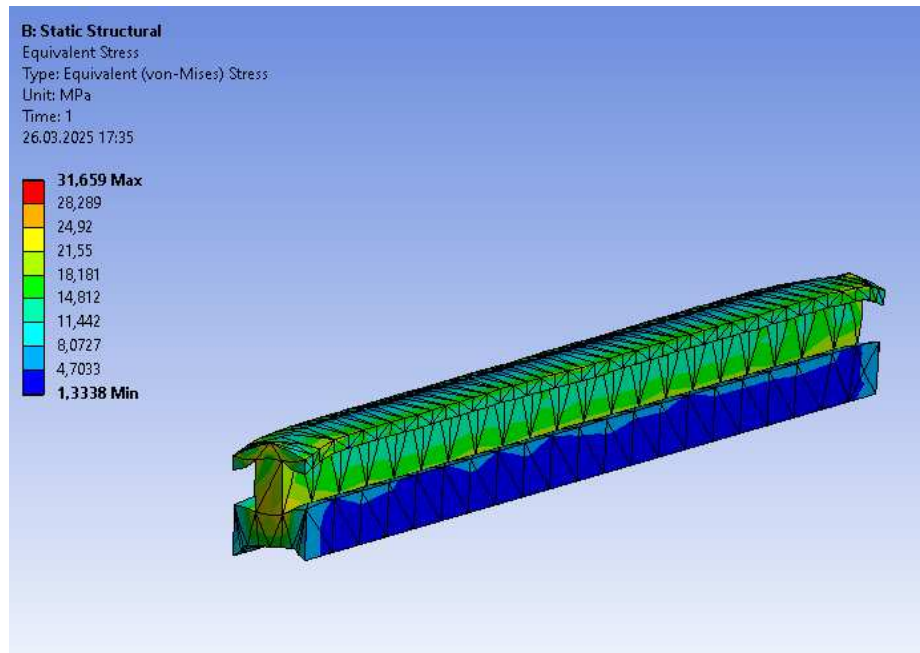


Рисунок 5.9 – Результати еквівалентних напружень

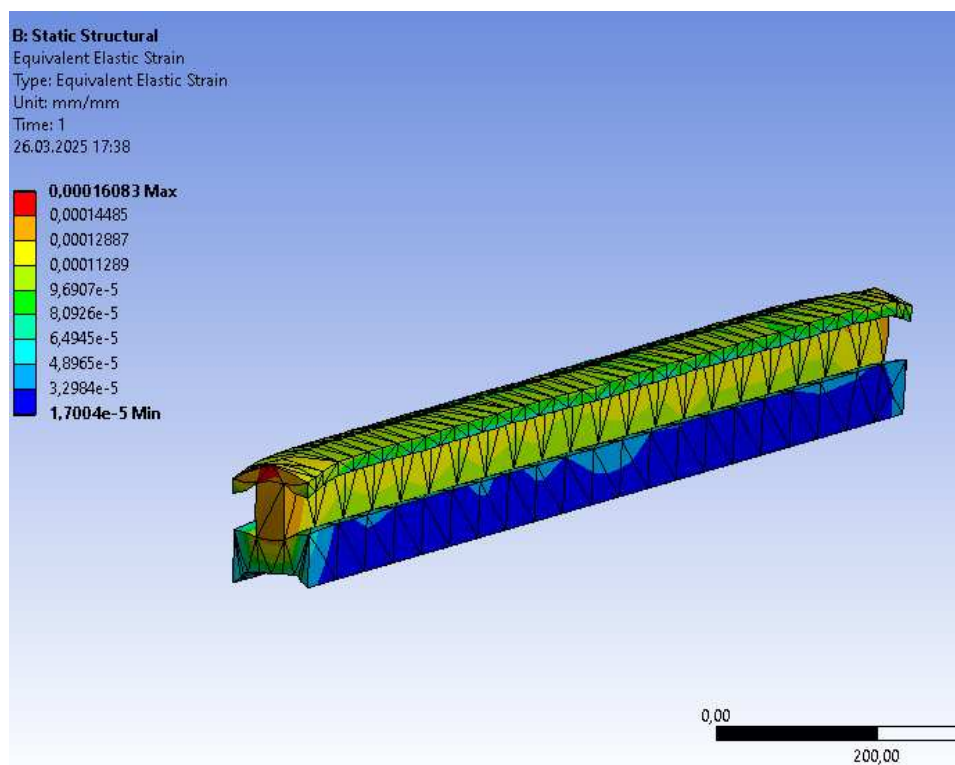


Рисунок 5.10 – Результати розрахунку на розподіл переміщень

Виконавши розрахунок були отримані наступні максимальні значення :

- Загальна деформація – 0,030 мм

- Розрахунок на згин – 0,00016 мм
- Еквівалентні напруження – 31,6 МПа при допустимому значенні в 80 МПа[3]

Допустимому значенні – $\frac{80}{31,6} = 2,53$, дана конструкція працездатна з запасом міцності для більшого тиску, як 10 МПа, оскільки коефіцієнт запасу має бути більшим ніж 2 .

6.Охорона праці

Закон України «Про охорону праці» гарантує реалізацію конституційного права працівників на безпечні й здорові умови праці. Необхідно розглянути потенційні шкідливі та небезпечні виробничі фактори, які можуть виникати під час експлуатації шокової дробарки, та запропонувати відповідні заходи для їхнього усунення або зменшення. До цих факторів належать:

- повітря робочої зони;
- виробничий шум;
- вібрації;
- обертові частини механізмів;
- пожежна безпека.

Категорія робіт та мікроклімат

Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 "Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень", праця оператора шокової дробарки відноситься до категорії робіт середньої важкості (Па, Пб). Орієнтовні енерговитрати становлять 175–290 ккал/год залежно від рівня фізичної активності. Для цієї категорії встановлюються наступні параметри мікроклімату:

- температура повітря — 16–25 °С (залежно від сезону),
- відносна вологість — 40–60 %,
- швидкість руху повітря — до 0,3 м/с.

Повітря робочої зони

У процесі дроблення матеріалу утворюється значна кількість пилу, особливо небезпечного фракцій до 10 мкм, що легко проникає у дихальні шляхи та викликає респіраторні захворювання.

Джерела пилу:

- Завантажувальні отвори,
- Робоча камера дробарки,
- Зони вивантаження.

Заходи безпеки:

- Локальна **аспірація** та витяжна вентиляція;
- **Герметизація** завантажувальних і вивантажувальних елементів;
- Застосування **вологого дроблення** (зрошення).

Нормативна база: ДСН 3.3.6.039-99.

Виробничий шум

Під час експлуатації цукрової дробарки виникає високий рівень виробничого шуму. Зафіксований рівень шумового навантаження становить 75–85 дБ, що перевищує гранично допустимі значення, визначені Державними санітарними нормами ДСН 3.3.6.037-99 «Гігієнічні нормативи допустимих рівнів шуму на робочому місці».

Основними джерелами шуму є:

- Удари рухомих частин дробарки, зокрема щік, які створюють імпульсні шумові хвилі під час дроблення твердих матеріалів;
- Електродвигун, який під час роботи генерує сталий механічний гул;
- Вібрації корпусу установки, що поширюються на елементи конструкції та створюють додатковий резонансний шум;
- Зношені підшипники, що спричиняють нестабільну роботу вузлів і підвищене тертя з характерним гучним скреготом.

Для зменшення впливу шуму на працівників впроваджуються такі заходи:

- Установка шумозахисних кожухів на основні джерела шуму, що

дозволяє суттєво знизити рівень звукового тиску у виробничому приміщенні.

- Регулярне технічне обслуговування обладнання, включно з перевіркою стану підшипників, мастила та вузлів кріплення, що запобігає появі додаткових шумів через знос.

Використання дистанційного керування дробаркою, завдяки чому оператор може перебувати на безпечній відстані від джерела звукового навантаження.

Застосування засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) органів слуху, які забезпечують додатковий бар'єр від шкідливого впливу шуму.

До рекомендованих засобів індивідуального захисту належать:

- Антифони (захисні навушники), які щільно прилягають до вух і поглинають більшість шумових коливань;
- Вушні вкладиші (пробки/вставки), що вставляються безпосередньо в слуховий канал і знижують проникнення звуку;
- Захисні шоломи із вбудованими шумозахисними вкладками, які забезпечують комплексний захист голови й слуху працівника.

Застосування зазначених заходів дозволяє зменшити негативний вплив виробничого шуму, покращити умови праці та знизити ризик розвитку професійних захворювань органів слуху.

Вібрації

Під час роботи щокрової дробарки виникають інтенсивні механічні коливання, які передаються на конструктивні елементи установки, робочі платформи та навколишні об'єкти. Джерелом вібрації є механічна дія, що виникає в процесі дроблення твердих матеріалів.

Тривалий вплив вібрацій на організм працівника може призвести до розвитку професійних захворювань, зокрема ураження опорно-рухового апарату, а також порушень серцево-судинної та нервової системи.

З метою зниження вібраційного навантаження на персонал застосовуються такі інженерно-технічні рішення:

- Встановлення дробарки на віброізолюючі фундаменти, які поглинають частину коливальної енергії;
- Використання пружинних або гумових амортизаторів між основною конструкцією та фундаментом, що зменшує передачу вібрацій на підлогу та інші опорні елементи;
- Постійний контроль технічного стану робочих щік дробарки, зокрема рівномірності зношування, з метою запобігання дисбалансу, який є додатковим джерелом вібрацій.

Крім технічних рішень, важливу роль відіграє забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (ЗІЗ). Зокрема, рекомендується використовувати антивібраційні рукавиці, що знижують передачу коливань на кисті рук, а також індивідуальні опори для ніг, які зменшують вплив вібрацій на нижні кінцівки та хребет.

Застосування зазначених заходів дозволяє знизити шкідливий вплив вібрацій до допустимого рівня та зменшити ризики розвитку вібраційних професійних патологій.

Обертові частини механізму

У конструкції щоквої дробарки присутні рухомі вузли, які становлять потенційну загрозу для обслуговуючого персоналу. До таких елементів належать електродвигун, система ремінної передачі, маховики, вали, а також ексцентриковий механізм. Усі ці частини в процесі роботи обертаються з високою швидкістю та здатні спричинити травмування у разі недотримання заходів безпеки. Щоб попередити нещасні випадки, усі обертові деталі повинні бути надійно закриті захисними кожухами заводського або індивідуального виготовлення. Оператор установки зобов'язаний суворо дотримуватись вимог інструкцій з безпечного запуску та зупинки машини. Крім того, для зниження ризиків у робочій зоні

обмежується доступ сторонніх осіб, які не мають відповідної підготовки або дозволу на обслуговування обладнання.

Пожежна безпека

Щокова дробарка є обладнанням з підвищеним рівнем пожежної небезпеки. Це пов'язано з кількома чинниками: високим навантаженням на електродвигун, значною кількістю пилу, який утворюється під час дроблення, а також постійним вібраційним впливом, що негативно впливає на контакти та вузли з'єднання.

Основними причинами виникнення пожежі під час експлуатації щокової дробарки є:

- Перегрів електродвигуна, що виникає внаслідок перевантаження або несправності системи охолодження. Це може призвести до займання ізоляції або навколишніх матеріалів.
- Пошкодження електричних контактів, які розхитуються або окислюються через вібрації. Внаслідок цього утворюються дуги чи іскри, здатні запалити пил чи горючі матеріали.
- Осідання та накопичення пилу на гарячих поверхнях, зокрема електродвигуні або редукторі. Дрібнодисперсний пил при досягненні температури займання може спалахнути навіть без відкритого полум'я.

З метою попередження займання та поширення вогню, необхідно суворо дотримуватись комплексу пожежно-профілактичних заходів, які включають:

- Регулярний технічний огляд та обслуговування електричних мереж і контактних з'єднань. Особливу увагу слід приділяти стану ізоляції, щільності з'єднань та відсутності іскріння.
- Використання будівельних і облицювальних матеріалів з підвищеною вогнестійкістю, особливо в зонах розміщення обладнання.
- Очищення поверхонь обладнання від осілого пилу, який може створити вибухонебезпечну або пожежонебезпечну концентрацію.

Виробниче приміщення, в якому експлуатується щокова дробарка,

повинно мати визначені категорію пожежної небезпеки та клас вибухонебезпечної зони, що регламентуються чинними нормативами:

- Категорія приміщення — В (або Г), відповідно до показників пожежного навантаження згідно з НАПБ Б.07.005-2003.
- Клас вибухонебезпечної зони — П-Па, згідно з вимогами ДСТУ Б В.1.1-7:2016 "Охорона праці і безпека виробничих процесів. Визначення категорій приміщень і будівель за вибухопожежною та пожежною небезпекою".

Для гасіння можливих загорянь приміщення повинно бути оснащено відповідними первинними засобами пожежогасіння:

- Вогнегасники порошкового типу ВП-5, які ефективно справляються з електрозайманням і осілим пилом;
- Вуглекислотні вогнегасники УГ-5, які доцільно застосовувати для гасіння електрообладнання без ризику пошкодження ізоляції;
- Пожежні щити, які повинні бути укомплектовані необхідним інвентарем: відрами, лопатами, покривалами, сокирами та піском.

Крім технічного оснащення, важливою складовою є організаційні заходи:

- Проведення первинного, повторного та позапланового інструктажів відповідно до вимог НАПБ Б.03.002-2007;
- Забезпечення вільного доступу до евакуаційних виходів та плану евакуації на випадок пожежі;
- Організація навчання персоналу діям у надзвичайних ситуаціях, включно з використанням вогнегасників.

Всі системи пожежної сигналізації та протипожежного захисту повинні відповідати вимогам ДБН В.2.5-56:2014 "Системи протипожежного захисту".

Комплексне дотримання цих вимог дозволяє забезпечити надійний рівень пожежної безпеки під час експлуатації шокової дробарки та мінімізувати ризики для життя і здоров'я працівників.

7. Технологія виготовлення деталі

7.1 Опис та призначення деталі

Підшипниковий корпус призначений для розміщення втулки ковзання, в якій обертається вал із ексцентриком. Ця деталь виконує опорну та захисну функцію, сприймає радіальні навантаження й передає їх на станину обладнання. Вузол забезпечує стабільну роботу обертового елемента валу.

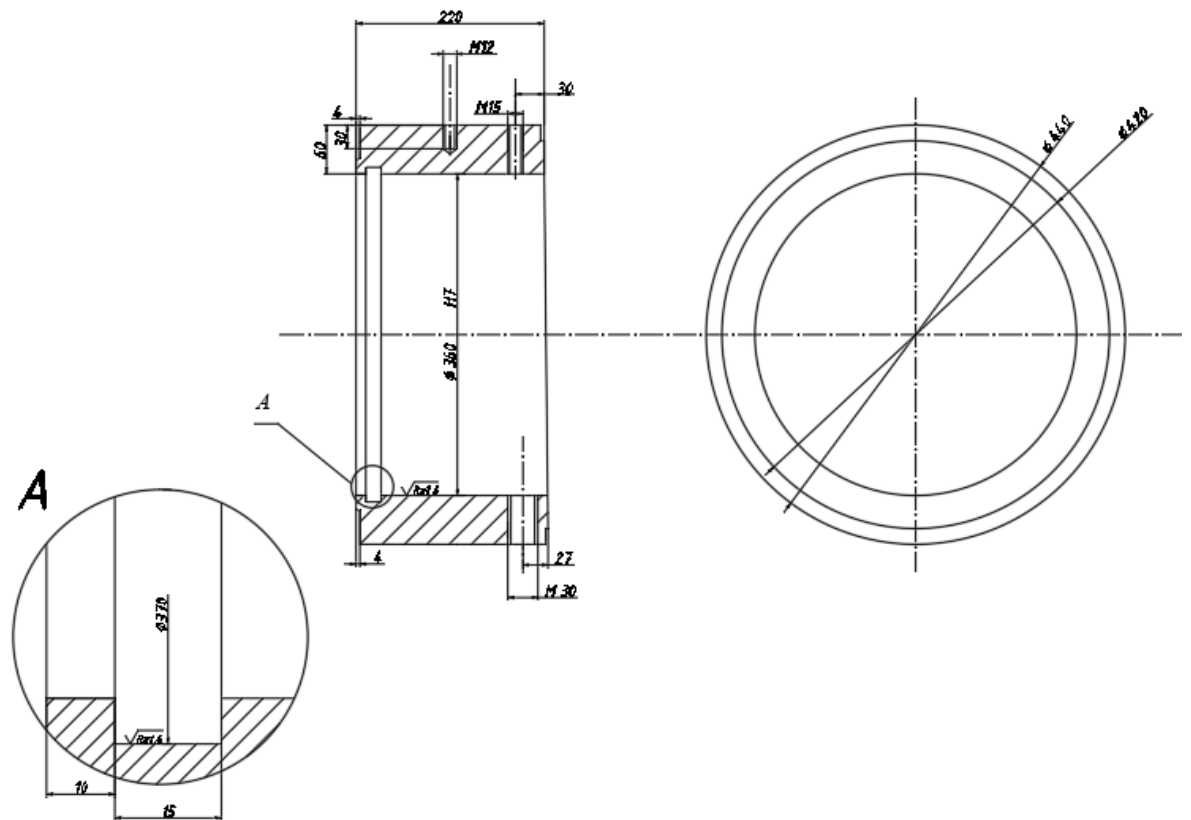


Рисунок 7.1 – Ескіз корпусу підшипника

Матеріал деталі – сірий чавун СЧ20 (ГОСТ 1412–85).

Заготовка деталі (Рис. 7.2) має прості геометричні елементи, які легко формуються у формі перед відлиттям і не заважають її вийманню. Під час обробки всі неточності відлитка будуть виправлені за допомогою різання.

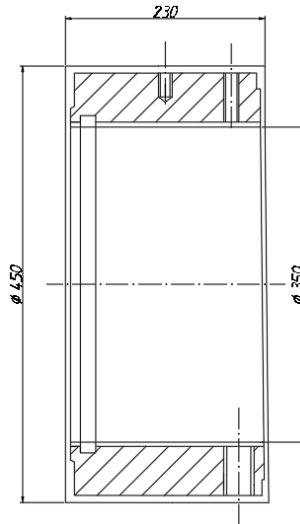


Рисунок 7.2 – Заготовка корпусу підшипника

7.2 Технологічний процес виготовлення деталі

Технологічний процес виготовлення підшипникового корпусу, власне, включає послідовність кількох основних операцій — це токарні, фрезерні, свердлильні та розточувальні роботи. Зазвичай, виготовлення проводять на універсальному верстатному обладнанні, після чого обробляють контактні поверхні та посадкові отвори для забезпечення потрібної точності та якості.

Етапи виготовлення:

1. Механічна підготовка заготовки. Обрізання литників, базування поверхонь, контроль литвяної геометрії.
2. Токарна обробка. Центрування деталі, обробка отвору $\text{Ø}440$ мм, підготовка посадки Н7. Обробка торців корпусу.
3. Фрезерування монтажної бази. Вирівнювання опорної поверхні, формування площин під кріплення.
4. Розточування гнізда під втулку. Виконують точне доведення отвору $\text{Ø}440$ мм Н7 з допуском на втулку ковзання.
5. Свердління та нарізання отворів під кріплення кришки. Отвори для болтів.
6. Свердління маслозаливного отвору.

7. Контроль і технічне приймання.

7.3 Призначення пристосування для обробки деталі

Пристрій для установки підшипника, для подальшого обертання валу (рис. 7.3).

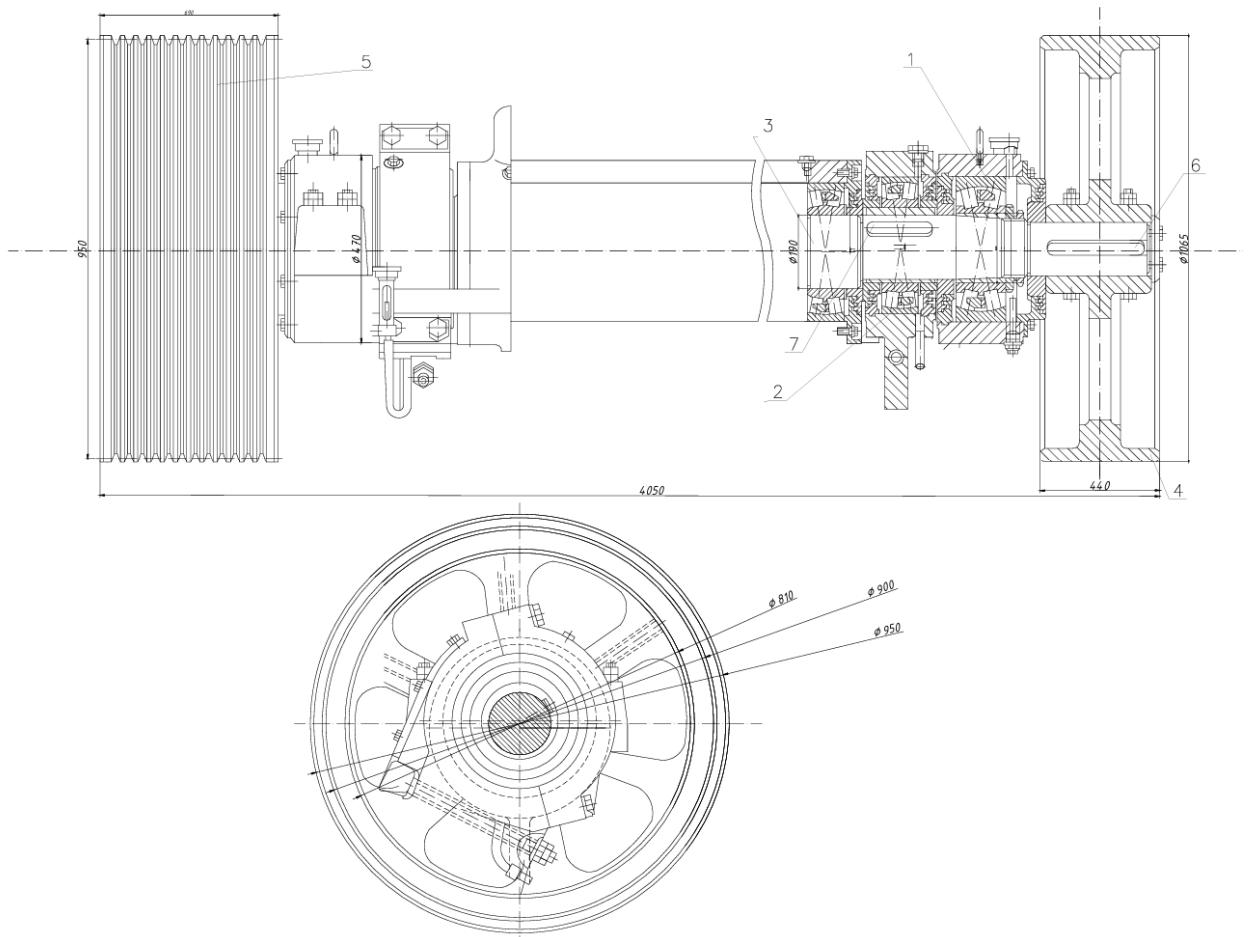


Рисунок 7.3 – Складальний креслення

Підшипник 1, власне, виконує дуже важливу опорну роль у щоківій дробарці. Він утримує ексцентричний вал 3 у правильному положенні та забезпечує його вільне обертання. Саме завдяки цьому обертанню вал створює зворотно-поступальний рух робочої щоки, який і відповідає за подрібнення матеріалу. Варто зазначити, що підшипник сприймає як радіальні, так і осьові навантаження, які виникають під час роботи дробарки, і передає їх на корпус машини. Отже, надійність і точність роботи підшипника мають критичний вплив на загальну продуктивність і довговічність цього вузла.

7.4 Вибір пристосування, опис конструкції та принцип дії

Точіння профілю нерухомого колеса виконується на токарно-револьверному верстаті 16К20Ф3.

Цей верстат побудований на базі класичного 16К20, має звичне компонування і жорстку коробчасту станину.

Напрявні оброблені термічно і шліфовані, що забезпечує точність переміщення каретки та задньої бабки.

Інструмент рухається завдяки приводам подач, а шпиндель отримує 9 швидкостей через автоматичну коробку з електромагнітними муфтами.



Рисунок. 7.4. - Токарно-револьверний верстат 16К20Ф3

Токарно-револьверний верстат 16К20Ф3, власне, поєднує в собі функції звичайного токарного та револьверного верстата і призначений для обробки металевих деталей. Принцип роботи верстата базується на обертанні заготовки, яка закріплюється у патроні, та переміщенні ріжучого інструменту, встановленого на револьверній головці. Варто зауважити, що механізм револьверної головки дозволяє швидко змінювати інструменти, що, власне, значно пришвидшує процес обробки і зменшує час переналагодження обладнання. Для токарних операцій буде використано трьохкулачковий самоцентруючий патрон, який, в свою чергу, забезпечує надійне центрування та міцну фіксацію заготовки.

Цей тип патрона вибрано як оптимальний для обробки циліндричних деталей, таких як базова частина під підшипник (рис.7.5).

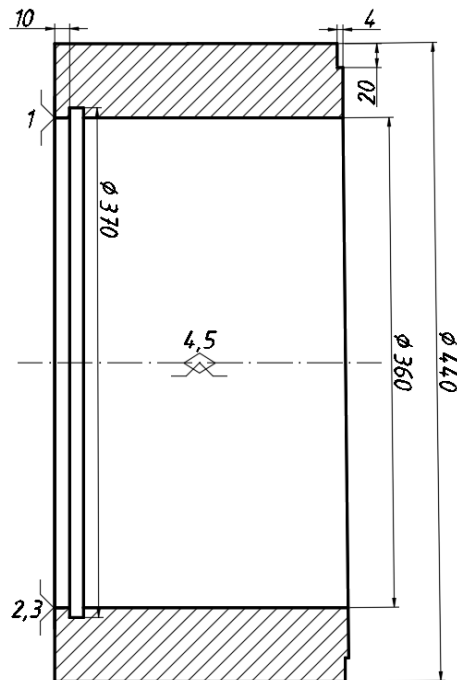


Рисунок. 7.5. - Трьохкулачковий самоцентруючий патрон

Для встановлення заготовки під підшипник, як правило, використовують трьохкулачковий самоцентруючий патрон, який забезпечує швидке і надійне центрування деталей круглої форми. Варто зазначити, що такий патрон рівномірно затискає заготовку по всьому колу завдяки одночасному руху всіх трьох кулачків. Це особливо важливо, коли точать поверхні, де потрібна висока співвісність, наприклад, для посадкового місця під підшипник. Сам затискач у цьому патроні гарантує достатню жорсткість і точність обробки без потреби у додатковому регулюванні. Проте, щоб уникнути деформації тонкостінних деталей, рекомендується не перевищувати допустиме зусилля затиску.

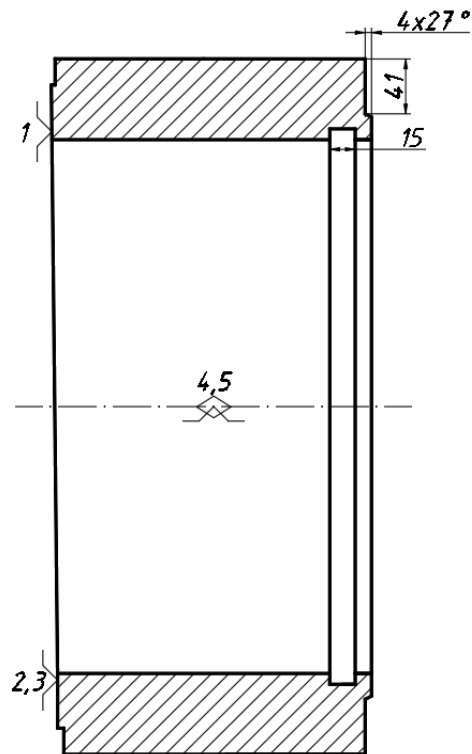
Дубл.														
Взам.														
Подп.				Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

Разраб.	Галабіцький Р.			НТУУ „КПІ, ІХФ				005							
Проверил	Боршик С.														
Утв.				КОРПУС ПІДШИПНИКА								Н			
Н. контр.															



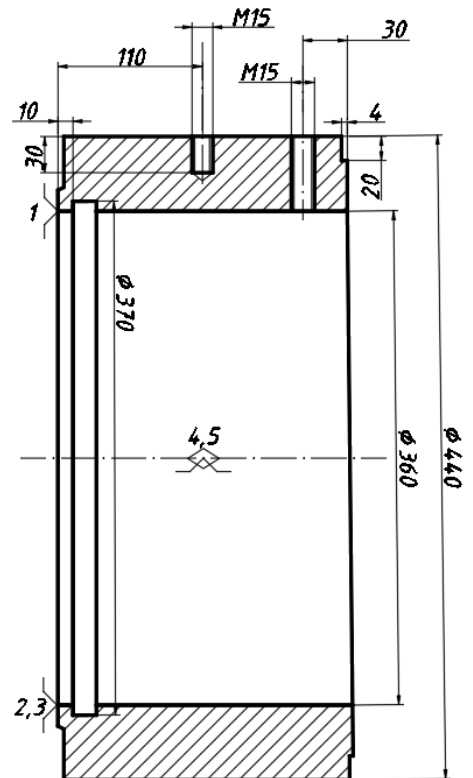
KE Обробка різанням

Дубл.														
Взам.														
Подп.				Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб.	Галабіцький Р.			НТУУ „КПІ, ІХФ				010						
Проверил	Боршик С.													
Утв.				КОРПУС ПІДШИПНИКА							Н			
Н. контр.														



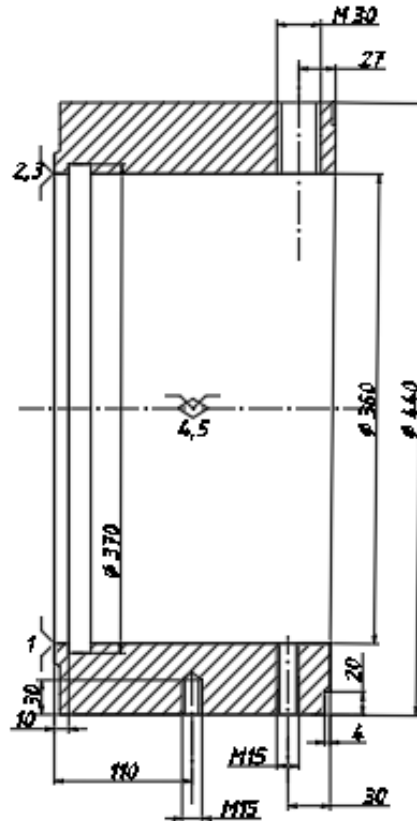
KE | Обробка різанням

Дубл.														
Взам.														
Подп.														
Разраб.	Галабіцький Р.				НТУУ „КПІ, ІХФ				015					
Проверил	Боршик С.													
Утв.					КОРПУС ПІДШИПНИКА				Н					
Н. контр.														



KE Обробка різанням

Дубл.													
Взам.													
Подп.				Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Галабіцький Р.			НТУУ „КПІ, ІХФ					020				
Проверил	Боршик С.												
Утв.				КОРПУС ПІДШИПНИКА					Н				
Н. контр.													



КЕ | Обробка різанням

ВИСНОВОК

У ході виконання курсової роботи було розглянуто конструкцію, принцип роботи та особливості застосування щоклової дробарки зі складним коченням щокло для рециклінгу будівельного сміття. Проведено аналіз різних типів дробарок і обґрунтовано вибір саме цього типу для ефективного подрібнення бетонних відходів.

Розраховано основні параметри дробарки, визначено продуктивність і характеристики, що забезпечують оптимальну роботу обладнання. Особливу увагу приділено питанням рівномірності дроблення, надійності механізму та можливості регулювання фракцій вихідного матеріалу.

Також було проведено проєктування і розрахунки, які підтверджують працездатність конструкції. Зокрема, були виконані параметричні розрахунки, такі як розрахунок продуктивності та інші. Зпроєктовано деталь в системі SOLIDWORKS. Також здійснено розрахунки на міцність, які підтверджують, що деталь є достатньо міцною для заданих навантажень, і розподіл переміщень в програмному забезпеченні Ansys. Судячи з отриманих результатів можна дійти висновку, що допустимі значення не перевищені.

В результаті виконано: всі основні та додаткові розрахунки по щоклової дробарці параметричні розрахунки, проєктування вузла модернізованої моделі, числове моделювання, висновки.

Результати розрахунків підтвердили ефективність і надійність запропонованої конструкції. Моделювання в SOLIDWORKS та ANSYS дозволило оцінити міцність і працездатність деталей у реальних умовах експлуатації. Таким чином, отримані результати свідчать про придатність модернізованої дробарки для практичного застосування у сфері рециклінгу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мікульонок І. О. Механічні та гідромеханічні процеси, апарати і машини хімічної технології : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 172 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/750869e4-441f-423b-b90b-41d939d86298/content>
2. Коваленко І. В., Малиновський В. В. Розрахунки основних процесів, машин та апаратів хімічних виробництв: Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Київ : “Норіта-плюс”, 2007. 216 с. URL: https://cpsm.kpi.ua/Doc/Conf_VII_CPSM_2018.pdf
3. Пелевін Л. Є., Міщук Д. О., Рашківський В. П., Горбатюк Є.В., Аржаєв Г.О., Красніков В.Ф. ГІДРАВЛІКА, ГІДРОМАШИНИ ТА ГІДРОПНЕВМОАВТОМАТИКА, 2015. 342 URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Pelevin_2015_340.pdf
4. Процеси та обладнання хімічної технології. У 2-х ч.: підручник / Корнієнко Я.М., Лукач Ю.Ю., Мікульонок І.О., Ракицький В.Л., Рябцев Г.Л. Київ: НТУУ «КПІ», 2011. 716 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/299fd0ac-5f70-487a-9b16-f8d674f85c7e/content>
5. Мікульонок І.О. Механічні, гідромеханічні і масообмінні процеси та обладнання хімічної технології: підручник. Київ: НТУУ «КПІ», 2014. 340 с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/38169/1/MikulionokMekhanichni_2014.p
6. Щербина В.Ю., Сівецький В.І., Гондляр О.В. Механічні процеси і обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів. Підготовка сировинних матеріалів і устаткування для змішування та формування [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2022. – 131с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/4573>
7. Доброногов В. Г., Мікульонок І. О. Застосування корозійностійких, жаростійких, жароміцних сталей і сплавів у хімічному машино- та апаратобудуванні: навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2011. 264 с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/37716/1/Dobronogov_Mikulonok_2011.pdf

8. Андреев І. А., Мікульонок І. О. Розрахунок, конструювання та надійність обладнання хімічних виробництв: Термінологічний словник. Київ: ІВЦ «Політехніка», 2002. 216 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/20163c04-2c62-4a78-91e0-622fed1a1100/content>

9. Подрібнювальні тіла барабанних млинів і дробарок /Мікульонок І.О., Карвацький А.Я., Лелека С.В., Іваненко О.І. // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» : сер. «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». 2022. № 2(21). С. 9–21. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/aeb883ed-cc4f-45b6-a4c6-f33d13367ae0/content>

10. СЩербина В.Ю., Швачко Д.Г., Гур'єва Л.Н. Технологія виробництва матеріалів і виробів будівельного призначення [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2024. – 188с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/66516>

11. CN100569375C Надпотужна гідравлічна щокова дробарка і спосіб її роботи. [CN100569375C - Heavy-duty hydraulic jaw crusher and its operation method - Google Patents](#)

12. CN206810357U Щокова дробарка [CN206810357U - A jaw crusher - Google Patents](#)

13. KR100937448B1 Щокові дробарки та самохідні дробарки [KR100937448B1 - Jaw crushers and self-propelled crushers - Google Patents](#)

ДОДАТОК А
СПЕЦИФІКАЦІЯ

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Примітка
				<u>Документація</u>		
A1			ЛП11.031113.001 - 70 СК	Щокова дробарка		
				<u>Складанні одиниці</u>		
A1	1		ЛП11.031113.001 - 70 СК	Станина нерухомої щоки	1	
A1	2		ЛП11.031113.001 - 70 СК	Станина рухомої щоки	1	
A1	3		ЛП11.031113.001 - 70 СК	Маховик	1	
A1	4		ЛП11.031113.001 - 70 СК	Шків	1	
A1	5		ЛП11.031113.001 - 70 СК	Ексцентричний вал	1	
A1	6		ЛП11.031113.001 - 70 СК	Підшипниковий вузол	2	
A1	7		ЛП11.031113.001 - 70 СК	Розпірна плита	1	
A1	8		ЛП11.031113.001 - 70 СК	Гідравлічна система	1	
A1	9		ЛП11.031113.001 - 70 СК	Пружина	1	
A1	10		ЛП11.031113.001 - 70 СК	Тяга	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		11	ЛП11.031113.001 - 70 СК	Гайка	12	
				ДСТУ 5915-70		
		12	ЛП11.031113.001 - 70 СК	Шайба		
				ДСТУ 11371-78	16	

ЛП11.031113.001 - 70 СК Д

Зм.	Аркш	№ докцм.	Підпис	Дата
Розроб.		Галабійський Р. В.		
Перевірів		Евген Панов		
Н.контр.				
Затвердив		Евген Панов		

Щокова дробарка зі
складним рухом щоки

Літера	Аркш	Аркушів
		1

Київський політехнічний
інститут імені Сікорського

ДОДАТОК Б
СПЕЦИФІКАЦІЯ

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Примітка
				<u>Документація</u>		
A1			ЛП11.031112.003-70 СК	Пристрій регулювання		
				<u>Складанні одиниці</u>		
A1	1		ЛП11.031112.003-70 СК	Корпус механізму регулювання	1	
A1	2		ЛП11.031112.003-70 СК	Шарнір	1	
A1	3		ЛП11.031112.003-70 СК	Плита	1	
A1	4		ЛП11.031112.003-70 СК	Балка	1	
A1	5		ЛП11.031112.003-70 СК	Регулювальний гвинт	1	
A1	6		ЛП11.031112.003-70 СК	Місце під штуцер	1	
A1	7		ЛП11.031112.003-70 СК	Шток	1	
A1	8		ЛП11.031112.003-70 СК	Поршень	1	
A1	9		ЛП11.031112.003-70 СК	Направляюче кільце поршня	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
	6		ЛП11.031112.003-70 СК	Штуцер ГОСТ 2696-81	1	
ЛП11.04 1116.007-90						
Зм.	Аркуш	№ док.м.	Підпис	Дата		
Розроб.		Галабійський Р. В.			Літера	Аркуш
Перевірив		Евген Панов				Аркушів
Н.контр.					1	
Затвердив		Евген Панов			Київський політехнічний інститут імені Сікорського	
Пристрій регулювання зазору модернізовананий						

ДОДАТОК В
СПЕЦИФІКАЦІЯ КРЕСЛЕНЬ

ДОДАТОК Г
ВИКЛАДЕНА ТЕЗА

Пристрій регулювання робочого зазору шокової дробарки

Галабіцький Р.В., студ.; Сокольський О. Л., д.т.н., доц.; Дунін К.Д., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

***Анотація.** Запропоновано модернізацію шокової дробарки шляхом встановлення пристрою регулювання робочого зазору, що забезпечує захист від перевантажень та підвищує надійність обладнання.*

***Ключові слова:** шокова дробарка, пристрій регулювання зазору, захист від перевантажень, надійність обладнання, ефективність дроблення.*

Вступ. Шокові дробарки широко використовуються в гірничодобувній та будівельній промисловості для дроблення твердих матеріалів [1]. Однак, однією з проблем є ризик перевантажень, що може призвести до поломок та простою обладнання. Модернізація механізму регулювання робочого зазору шляхом встановлення запобіжного пристрою дозволяє вирішити цю проблему.

Найближчим аналогом є використання пружинних запобіжних механізмів, які, однак, мають обмеження у швидкості реагування та точності налаштування.

Виклад основного матеріалу.

Конструкція шокової дробарки зі складним качанням шоки містить у собі станину, рухому шоку із броньовими плитами, які кріпляться на ексцентриковій частині вала, нерухому шоку. При обертанні ексцентрикового вала точки поверхні рухомої шоки описують у верхній частині криві, близькі до окружності, у середній частині - замкнуті еліпси, у нижній - дуги. Складна траєкторія руху рухомої шоки обумовлює подрібнювання матеріалу роздавлюванням і стиранням, а також сприяє інтенсивному переміщенню матеріалу до виходу, що збільшує продуктивність дробарки. У нижній частині рухомої шоки виготовлено подовжній паз, у який упирається розпірна плита. Інший кінець розпірної плити упирається у вкладиш регульовального пристрою. Постійний контакт розпірної плити з вкладишами забезпечується замикаючим пристроєм з тягою. Розпірна плита грає також роль запобіжного пристрою, що перешкоджає виходу з ладу основних вузлів дробарки.

В основу модернізації поставлено завдання підвищення надійності та ефективності шокової дробарки. Запропонована нова конструкція забезпечує надійний захист від перевантажень за допомогою пристрою регулювання робочого зазору. Механізм регулювання робочого зазору із гідравлічним запобіжним механізмом забезпечує більш швидке та точне реагування на перевантаження, реагуючи за 0,1 секунди на перевищення тиску. Для кращого розуміння модернізації на рис. 1. показано балку регульовального зазору з гідроциліндром [2].

Поставлене завдання вирішується шляхом встановлення механізму регулювання робочого зазору, який реагує на зміни тиску в робочій камері дробарки. При перевищенні допустимого тиску, наприклад 150 бар, пристрій автоматично розблоковує рухому шоку, запобігаючи пошкодженню обладнання. Після усунення перевантаження, пристрій автоматично повертає шоку в робоче положення. Окрім того, механізм містить елементи зі сферичними поверхнями, які сприяють самовстановленню опорних елементів по осі пристрою, запобігаючи перекосам.

Пропонований пристрій реалізується шляхом інтеграції гідравлічного циліндра та системи керування в існуючу конструкцію дробарки. Датчики тиску контролюють тиск в робочій камері, а система керування забезпечує автоматичне спрацювання запобіжного пристрою при перевищенні заданого тиску. Балка механізму регулювання робочого зазору показана на рис. 2. Приклад розрахунку навантаження показано на рис 3 та 4.

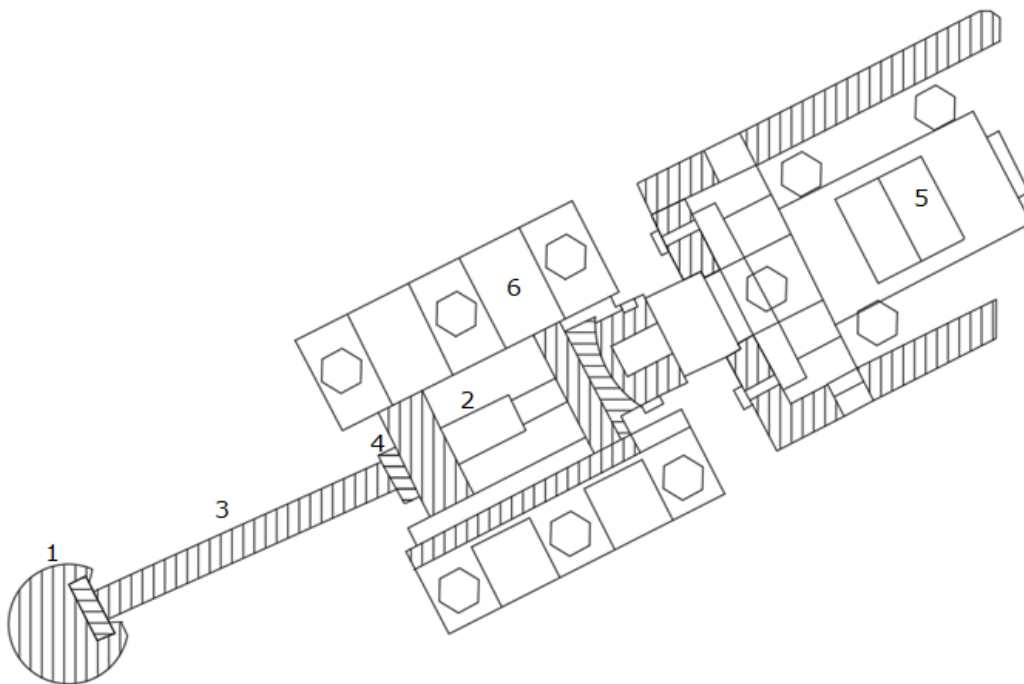


Рисунок 1 – Схема регулювального механізму 1 – підшипник, 2 – два допоміжних гідроциліндри, 3 – пластина, 4 – передня накладка, 5 – головний гідроциліндр, 6 – корпус

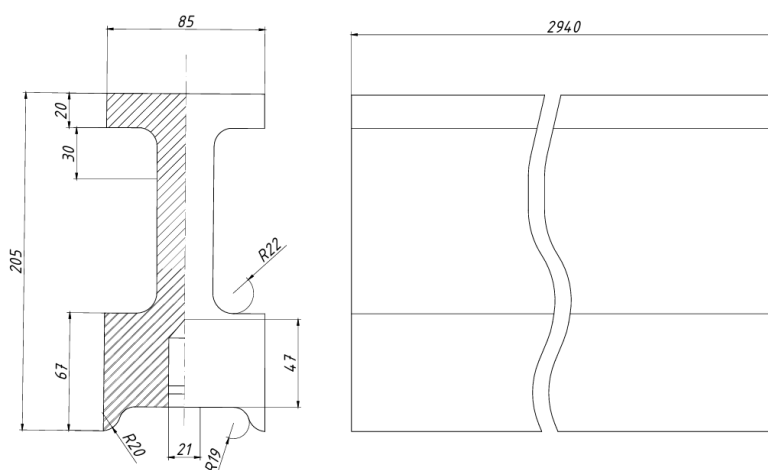


Рисунок 2 – Схема балки

Приклад розрахунку вантаження показано на рис 3 та 4.

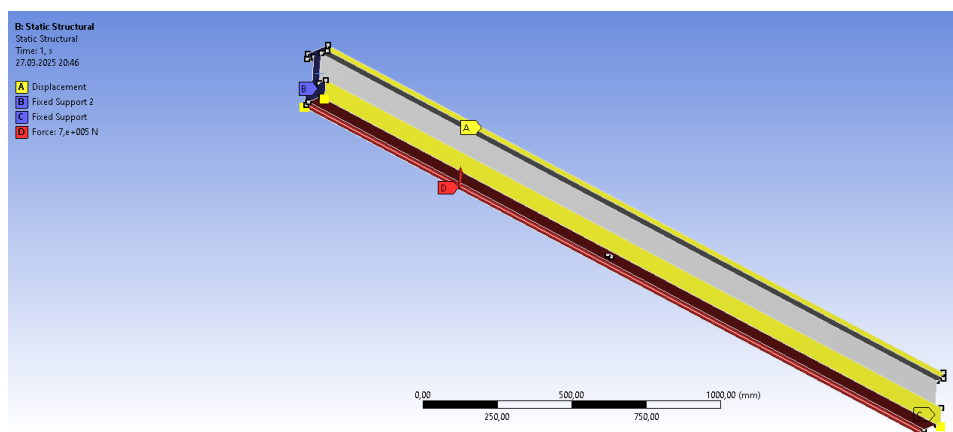


Рисунок 3 – Схема навантажень і закріплень

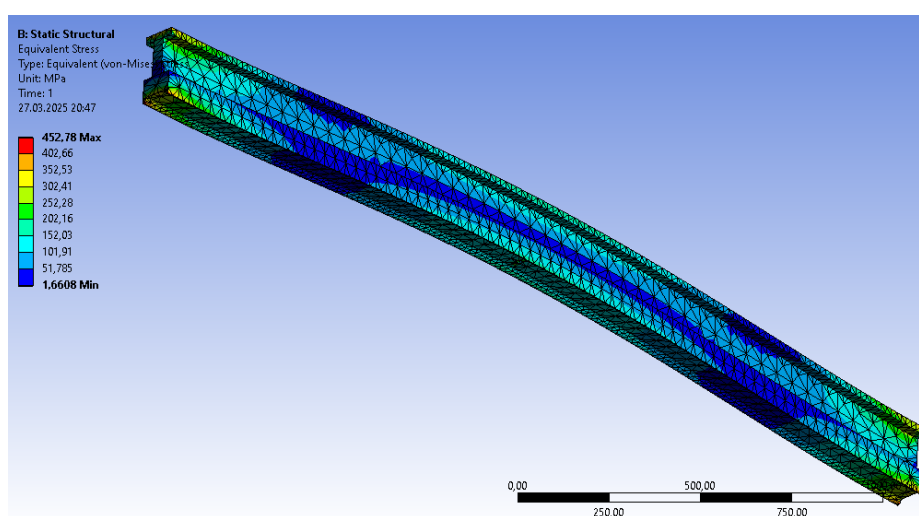


Рисунок 4 – Розподіл напружень

Запропоноване технічне рішення є простим в інтеграції та експлуатації. Воно дає змогу підвищити надійність та ефективність роботи щоклової дробарки.

Висновок. Представлений спосіб модернізації є простим у реалізації, це рішення дає змогу зменшити ризик поломок на 30%, знизити час простою на 20% та підвищити ефективність процесу дроблення на 15%.

Перелік посилань

1. Мікульонюк І. О. Механічні та гідромеханічні процеси, апарати і машини хімічної технології : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 172 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/750869e4-441f-423b-b90b-41d939d86298/content>

2. Патент № CN100569375C КНР. Гідравлічна щоклова дробарка важкого типу та спосіб її роботи. URL: <https://patents.google.com/patent/CN100569375C/en?oq=+CN100569375C> (дата звернення: 01.04.2025).

ДОДАТОК І
ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД

№ п/п	Предмет пошуку	Номер документа, країна видачі, МПК, автори	Сутність заявленого технологічного рішення і ціль його створення
1	Щокова дробарка	CN100569375C — 2009-12-16 Автор: Шанхай Цзяньше Луцяо Машинері Ко Лтд	Модифікація балки механізму повернення, запропонована в патенті , передбачає інтеграцію з гідравлічною системою захисту від перевантажень. Це пропонує значне удосконалення існуючої конструкції, метою якого є мінімізація негативного впливу недробних матеріалів на балку.
2	Щокова дробарка	CN206810357U - 2017-12-29 Автор: Dongguan Yiheng Pharmaceutical Co ltd	Патент пропонує вдосконалення конструкції щокової дробарки шляхом впровадження механізму регулювання положення нерухомої щоки. Завдяки використанню домкрата та напрямної системи, стає можливим плавно змінювати відстань між рухомою та нерухомою щоками, що дозволяє адаптувати ступінь подрібнення до різних матеріалів. Також передбачена зубчаста форма щік, яка підвищує ефективність дроблення. Рішення дозволяє уникати закупорки матеріалом у зоні вивантаження та зменшує

			простої, пов'язані з обслуговуванням.
3	Щоківі дробарки та самохідні дробарки	KR100937448B1 - 2010-01-19 Автор:Південна Корея	Удосконалена щокова дробарка з самохідною основою. Реакційне навантаження під час дроблення приймається за допомогою покращеного механізму тяг (link mechanism), який забезпечує збалансовану та міцну підтримку обох кінців осі шарніра. Застосовано коробчасту структуру хрестовини для підвищеної жорсткості при меншій вазі, що спрощує техобслуговування і дозволяє зменшити габарити дробарки.

ДОДАТОК Д

СПЕЦИФІКАЦІЯ СКЛАДАЛЬНОГО КРЕСЛЕННЯ

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Примітка
				<u>Документація</u>		
A1			ЛП11.031112.002-70 СК	Вал в зборі		
				<u>Складанні одиниці</u>		
A1	1		ЛП11.031112.002-70 СК	Ексцентричний вал	1	
A1	2		ЛП11.031112.002-70 СК	Шків	1	
A1	3		ЛП11.031112.002-70 СК	Маховик	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
	4		ЛП11.031112.002-70 СК	Підшипник роликовий ДСТУ 53618	2	
	5		ЛП11.031112.002-70 СК	Підшипник роликовий ДСТУ 11 МПЗ	1	
ЛП11.031112.002-70 СКД						
Зм.	Арқш	№ доқұм.	Підпис	Дата		
Розроб.	Галабiцький Р. В.				Лiтера	Арқш
Перевiрив	Евген Панов					Арқшiв
						1
Н.контр.						
Затвердив	Евген Панов					