

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

*до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
бакалавр*

на тему: «Модернізація дробарки шокової зі складним качанням шоки»

КРБ.133ГМбд_32[2].09.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
*«Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва»*
спеціальності 133 *«Галузеве
машинобудування»*
ступеня вищої освіти *бакалавр*
групи 133ГМбд_32[2]
РАХНО Олександр

Керівник: ТАРАСЕНКО Дмитро

Полтава – 2026 року

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Освітньо-професійна програма *«Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва»*

Спеціальність *133 «Галузеве машинобудування»*
Ступінь вищої освіти *бакалавр*

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
механічної та електричної
інженерії,
канд. техн. наук, доцент,
_____ Станіслав ПОПОВ
03 грудня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Олександр РАХНО

1 Тема роботи: *«Модернізація дробарки щоккової зі складним качанням
щоки»*

керівник роботи ***старший викладач ТАРАСЕНКО Дмитро,***
затверджено засіданням кафедри, протокол №9 від 03 грудня 2025 р.

2 Строк подання здобувачем вищої освіти роботи – до 31 травня 2026 р.

3 Вихідні дані до роботи – *аналіз літературних джерел Національної
бібліотеки України імені Володимира Вернадського; аналіз літературних
джерел Полтавської обласної універсальної наукової бібліотеки імені Івана
Котляревського; сучасний досвід підприємств машинобудування та АПК за
тематичним спрямуванням.*

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити):

Розділ 1. *Загальний*

Розділ 2. *Технологічний*

Розділ 3. *Конструкторський*

Розділ 4. *Економіка, охорона праці та навколишнього середовища*

5 Перелік графічного матеріалу: *кресленик загального виду дробарки;
складальний кресленик вузла дробарки, що виносить на розгляд; робочі
кресленики деталей дробарки.*

6 Консультанти розділів *кваліфікаційної роботи*

Розділ	Власне ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання отримав
Економіка, охорона праці та навколишнього середовища	Інна МИКОЛЕНКО, професор кафедри економіки та публічного управління		
	Володимир ДУДНИК, доцент кафедри механічної та електричної інженерії		
	Павло ПИСАРЕНКО, завідувач кафедри екології, збалансованого природокористування та захисту довкілля		

7 Дата видачі завдання 03 грудня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з.п.	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вибір, затвердження теми роботи	До 03.12.2025 р.	
2	Складання, затвердження розгорнутого плану, завдання на кваліфікаційну роботу	15.12-28.12.2025 р.	
3	Опрацювання літературних джерел		
4	Збір, вивчення, обробка інформації, необхідної для виконання роботи		
5	Виконання розділів роботи, графічної частини	04.05-31.05.2026 р.	
6	Оформлення тексту роботи		
7	Попередній захист роботи на кафедрі	До 31.05.2026 р.	
8	Нормалізаційний контроль		
9	Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень і пропозицій		
10	Захист кваліфікаційної роботи	3 01.06.2026 р.	

Здобувач вищої освіти _____ Олександр РАХНО
(підпис)

Керівник роботи _____ Дмитро ТАРАСЕНКО
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 4 розділи, 5 рисунків, 14 таблиць, 25 використаних джерел, 1 додаток, 42 сторінки.

Об'єкт розробки – процес попереднього подрібнення рослинної сировини.

Предмет розробки – конструкція щокової дробарки зі складним качанням щоки для попереднього подрібнення рослинної сировини.

Постановка актуальної технічної задачі – підвищення ефективності процесу подрібнення рослинної сировини шляхом удосконалення конструкції щокової дробарки, що забезпечує збільшення продуктивності, зниження енерговитрат та підвищення надійності роботи обладнання.

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра – модернізація щокової дробарки зі складним качанням щоки для попереднього подрібнення рослинної сировини.

Практичне значення кваліфікаційної роботи бакалавра полягає у розробці комплексу конструкторської документації на удосконалену щокову дробарку, яка може бути використана на підприємствах агропромислового комплексу та переробної промисловості.

У загальному розділі проведено аналіз процесу подрібнення матеріалів, розглянуто існуючі конструкції дробарок, виконано аналіз їх переваг і недоліків, обґрунтовано напрям модернізації щокової дробарки.

У технологічному розділі виконано аналіз технологічності деталі «Вал», розроблено технологічний процес її виготовлення, обґрунтовано вибір заготовки, способів механічної обробки та схем базування.

У конструкторському розділі запропоновано удосконалену конструкцію щокової дробарки зі складним качанням щоки, виконано необхідні інженерні розрахунки та розроблено комплект конструкторської документації.

У розділі економіки, охорони праці та навколишнього середовища визначено економічну ефективність запропонованої розробки, розроблено заходи щодо безпечної експлуатації обладнання та зниження його негативного впливу на довкілля.

Практичні результати роботи – розроблено конструкцію удосконаленої щокової дробарки, що забезпечує підвищення продуктивності процесу

					КРБ.133ГМед_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк. 4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подрібнення, зниження питомих енерговитрат та збільшення ресурсу основних вузлів машини.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – результати можуть бути використані під час модернізації існуючого дробильного обладнання та при проектуванні нових машин для подрібнення рослинної сировини.

Сфера застосування результатів роботи – підприємства агропромислового комплексу, комбикормові виробництва, переробні підприємства та машинобудівні заводи.

Графічна частина роботи становить 3 аркуші формату А1.

Результат перевірки тексту пояснювальної записки на плагіат за допомогою сервісу StrikePlagiarism: унікальність 97,48 %.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена модернізації конструкції щогової дробарки зі складним качанням щоки для попереднього подрібнення рослинної сировини. В основу розробки покладено модернізацію дробарки зі складним качанням щоки шляхом удосконалення конструкції рухомої щоки та механізму передачі зусилля від ексцентрикового вала.

ЩОКОВА ДРОБАРКА, ПОДРІБНЕННЯ, РОСЛИННА СИРОВИНА, ВАЛ, КОНСТРУКЦІЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ПРОДУКТИВНІСТЬ, МІЦНІСТЬ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

ANNOTATION

The bachelor's qualification work is devoted to the modernization of the design of a jaw crusher with a complex swinging jaw for preliminary grinding of plant raw materials. The development is based on the modernization of a jaw crusher with a complex swinging jaw by improving the design of the movable jaw and the mechanism for transmitting force from the eccentric shaft.

JAW CRUSHER, CRUSHING, PLANT RAW MATERIALS, SHAFT DESIGN, TECHNOLOGICAL PROCESS, PRODUCTIVITY, STRENGTH, ENERGY SAVING, ECONOMIC EFFICIENCY.

					КРБ.133ГМод_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк. 5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ	9
1.1 Значення процесу подрібнення у сучасному виробництві	9
1.2 Аналіз існуючих конструкцій дробарок	10
1.3 Аналіз існуючих конструкцій цоккових дробарок та напрями їх удосконалення	13
1.4 Переваги та недоліки існуючих конструкцій цоккових дробарок	15
1.5 Обґрунтування напрямку модернізації конструкції	16
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ	18
2.1 Аналіз технологічності деталі	18
2.2 Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення деталі	20
2.3 Обробка поверхонь деталі	22
2.4 Розробка схем базування деталі	23
2.5 Розробка маршруту виготовлення деталі	25
2.6 Визначення припусків на обробку та операційних розмірів	27
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ	29
3.1 Обґрунтування конструкторської розробки	29
3.2 Конструктивні розробки	30
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	35
4.1 Техніко-економічне обґрунтування розробки	35
4.2 Охорона праці	37
4.3 Охорона навколишнього середовища	39
ВИСНОВКИ	42
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	43
ДОДАТКИ	45

					КРБ.133ГМбд_32[2].09.00.00.000 ПЗ
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	
Розробив		Рахно О.М.			Модернізація дробарки цоккової зі складним качанням цоки
Перевітив		Тарасенко Д.С.			
Н. Контр.		Тарасенко Д.С.			
Керівник		Тарасенко Д.С.			
Зав.кафедр		Попов С.В.			
					Літ. Арк. Аркуші
					6 42
					ПДАУ, каф. МЕІ

ВСТУП

Сучасний розвиток агропромислового комплексу та переробної промисловості потребує широкого впровадження вископродуктивного обладнання для механічної переробки рослинної сировини. Однією з найбільш енергоємних та відповідальних операцій у багатьох технологічних процесах є подрібнення матеріалів. Від якості виконання цієї операції значною мірою залежать ефективність наступних технологічних процесів, продуктивність обладнання та собівартість готової продукції [1, 2].

Подрібнення рослинної сировини широко застосовується у виробництві комбікормів, біопалива, органічних добрив, харчовій та переробній промисловості. Збільшення обсягів виробництва та необхідність раціонального використання ресурсів зумовлюють потребу в удосконаленні існуючого обладнання для подрібнення матеріалів. Особливого значення набуває створення конструкцій, які забезпечують високу продуктивність при мінімальних витратах енергії та достатньому рівні надійності.

Одними з найбільш поширених машин для попереднього подрібнення твердих матеріалів є шоккові дробарки. Вони характеризуються простотою конструкції, надійністю роботи та можливістю подрібнення матеріалів значної міцності. Разом з тим існуючі конструкції мають ряд недоліків, пов'язаних із високими динамічними навантаженнями, нерівномірністю роботи приводу, інтенсивним зношуванням робочих поверхонь та значними енерговитратами [18, 19].

Удосконалення конструкції шоккових дробарок дозволяє підвищити ефективність процесу подрібнення, зменшити витрати на експлуатацію та ремонт обладнання, а також збільшити термін служби основних вузлів машини. Саме тому розробка сучасних конструкцій дробильного обладнання є актуальним завданням галузевого машинобудування.

Метою кваліфікаційної роботи модернізація шоккової дробарки зі складним качанням щокви для попереднього подрібнення рослинної сировини.

					КРБ.133ГМбд_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз сучасних конструкцій дробильного обладнання;
- дослідити особливості роботи цюкових дробарок та визначити напрямки їх удосконалення;
- розробити конструкцію модернізованої цюкової дробарки;
- виконати інженерні розрахунки основних вузлів і деталей конструкції;
- розробити технологічний процес виготовлення деталі «Вал»;
- визначити економічну ефективність запропонованої розробки;
- розробити заходи з охорони праці та навколишнього середовища.

Об'єктом дослідження є процес попереднього подрібнення рослинної сировини.

Предметом дослідження є конструкція цюкової дробарки зі складним качанням щоки для попереднього подрібнення рослинної сировини

Практичне значення роботи полягає у розробці удосконаленої конструкції дробарки, використання якої дозволить підвищити продуктивність процесу подрібнення, знизити питомі витрати енергії та покращити техніко-економічні показники роботи підприємства.

					КРБ.133ГМод.32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ

1.1 Значення процесу подрібнення у сучасному виробництві

Подрібнення твердих матеріалів належить до найбільш поширених технологічних процесів, які застосовуються в гірничодобувній, металургійній, хімічній, будівельній та багатьох інших галузях промисловості. Практично будь-яка технологія переробки мінеральної сировини передбачає попереднє зменшення розмірів вихідного матеріалу до величин, необхідних для подальших операцій сортування, збагачення або використання у виробничому процесі. Від якості виконання процесу дроблення значною мірою залежить ефективність роботи всього технологічного комплексу [19, 20].

Щороку обсяги видобутку корисних копалин і виробництва будівельних матеріалів збільшуються. Це обумовлює необхідність застосування високопродуктивного та надійного обладнання для дроблення різноманітних матеріалів. До таких матеріалів належать граніт, базальт, вапняк, доломіт, руди чорних і кольорових металів, безогній бій, шлак та інші тверді породи. Вихідні шматки сировини можуть досягати значних розмірів і маси, тому для їхнього подрібнення використовуються машини великої потужності.

Процес подрібнення характеризується значними енерговитратами. За оцінками фахівців, на операції дроблення та помелу в окремих виробництвах припадає до 50–70 % загальних витрат електроенергії. Тому підвищення ефективності дробильного обладнання є важливим резервом зниження собівартості продукції та підвищення конкурентоспроможності підприємств [23, 24].

Одними з найбільш поширених машин для крупного та середнього дроблення є щоківі дробарки. Вони відзначаються відносною простотою конструкції, високою надійністю та можливістю роботи з матеріалами значної міцності. Саме ці переваги забезпечили їх широке застосування на кар'єрах,

					КРБ.133ГМБд_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк. 9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дробильно-сортувальних заводах, підприємствах будівельної індустрії та гірничозбагачувальних комбінатах [2, 13].

Особливе місце серед дробильного обладнання займають щоківі дробарки зі складним качанням щоки. Завдяки особливій кінематиці руху робочого органу вони забезпечують інтенсивніше руйнування матеріалу та підвищену продуктивність порівняно з машинами інших типів. Разом із тим під час експлуатації таких дробарок виникають проблеми, пов'язані зі значними динамічними навантаженнями, зношуванням дробильних плит та нерівномірною роботи приводу.

Сучасні тенденції розвитку дробильного обладнання спрямовані на підвищення продуктивності, зниження енергоємності процесу подрібнення, збільшення ресурсу робочих органів та автоматизацію роботи машин. Достиження цих цілей можливе шляхом удосконалення конструкції основних вузлів дробарок, оптимізації параметрів робочої камери та застосування нових конструкцій приводів.

У зв'язку з цим модернізація щоківих дробарок зі складним качанням щоки є актуальним завданням сучасного машинобудування та має важливе практичне значення для промислових підприємств.

1.2 Аналіз існуючих конструкцій дробарок

Для подрібнення твердих матеріалів у промисловості застосовується велика кількість машин різних конструкцій. Залежно від принципу руйнування матеріалу розрізняють щоківі, конусні, валкові, молоткові та роторні дробарки [18, 25].

Щоківі дробарки (рис.1.1) здійснюють руйнування матеріалу шляхом його стискання між двома плитами, одна з яких є нерухомою, а інша виконує коливальні рухи. Завдяки простоті конструкції та високій надійності вони набули найбільшого поширення на стадії первинного дроблення.

Конусні дробарки (рис. 1.2) забезпечують безперервний процес руйнування матеріалу між рухомим і нерухомим конусами. Вони характеризуються високою

					КРБ.133ГМод_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк. 10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

продуктивністю та якістю готового продукту, однак мають складнішу конструкцію і вищу вартість.

Рисунок 1.1 – Щокова дробарка

Рисунок 1.2 – Конусна дробарка

Валкові дробарки (рис. 1.3) використовують переважно для середнього та дрібного дроблення. Подрібнення відбувається між двома валками, що обертаються назустріч один одному. Основними перевагами таких машин є компактність та рівноцірність роботи.

Рисунок 1.3 – Валкова дробарка

Молоткові дробарки руйнують матеріал ударами молотків, закріплених на роторі. Вони широко застосовуються для подрібнення крихких матеріалів, але неефективні при роботі з дуже твердими породами.

Роторні дробарки (рис. 1.4) забезпечують високу продуктивність та добру форму зерен готового продукту, однак характеризуються значним зношуванням робочих органів.

					КРБ.133ГМбд_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 1.4 - Роторна дробарка

Серед усіх перелічених машин саме шоківі дробарки залишаються найбільш універсальним обладнанням для крупного дроблення. Вони здатні працювати з матеріалами міцністю понад 300 МПа, що робить їх незамінними на підприємствах гірничодобувної промисловості.

За кінематичною схемою шоківі дробарки поділяються на машини з простим і складним качанням щоків. У дробарках з простим качанням рухома щоків підвішена на окремій осі та здійснює маятниковий рух. Такі машини характеризуються меншим зносом дробильних плит, але мають складнішу конструкцію та значну масу.

У дробарках зі складним качанням щоків рухома щоків встановлюється безпосередньо на ексцентриковому валу. У результаті кожна точка щоків переміщується по складній еліптичній траєкторії. Така схема забезпечує більш інтенсивне подрібнення матеріалу та підвищення продуктивності машини [18, 25].

Найбільшого поширення в промисловості набули дробарки типу СМД-108, СМД-109, СМД-110, СМД-111, а також сучасні зарубіжні аналоги. Їхня конструкція постійно вдосконалюється шляхом використання високоміцних сталей, сучасних підшипникових вузлів та автоматизованих систем керування.

Разом із численними перевагами існуючі конструкції мають певні недоліки. До них належать значні ударні навантаження на вузли приводу, нерівномірність навантаження електродвигуна, підвищене спрацювання дробильних плит і

					КРБ.133ГМБд_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

недостатня ефективність використання енергії. Саме усунення цих недоліків є одним із головних завдань модернізації щоківих дробарок.

1.3 Аналіз існуючих конструкцій щоківих дробарок та напрями їх удосконалення

У сільськогосподарському виробництві щоківі дробарки використовуються для первинного подрібнення мінеральної сировини, крейди, вапняку, кормових добавок, солі, а також окремих компонентів комбікормів. Незважаючи на те, що для подрібнення зерна частіше застосовують молоткові та вальцові дробарки, щоківі машини залишаються ефективними для грубого дроблення твердих матеріалів перед їх подальшим подрібненням.

Дробарки з простим качанням щоки

У даній конструкції рухома щока здійснює колизальний рух навколо вертикальної осі підвісу. Подрібнення відбувається внаслідок стискання матеріалу між рухомою та нерухомою щоками.

Перевагами такої схеми є простота конструкції, невелика кількість деталей, висока надійність і тривалий термін служби робочих поверхонь. До недоліків належать значна маса рухомих частин, порівняно невисока продуктивність та підвищене енергоспоживання [15, 18].

Дробарки зі складним качанням щоки

У цих машинах рухома щока закріплена безпосередньо на ексцентриковому валу і здійснює складний рух. Крім стискання, матеріал додатково піддається стиранню та розколіванню.

Перевагами конструкції є підвищена продуктивність, більший ступінь подрібнення, компактність, менша маса обладнання.

Недоліком є інтенсивніше зношування дробильних плит та підвищені динамічні навантаження [18, 25].

Саме дробарки зі складним качанням щоки найбільш перспективні для модернізації.

					КРБ.133ГМед_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк. 13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Типова щокова дробарка складається з станини, нерухомої щоки, рухомої щоки, ексцентриккового вала, маховиків, розпірних плит, механізму повернення рухомої щоки, приводного електродвигуна, завантажувального бункера, регулювального механізму вихідної щілини.

Недоліками існуючих конструкцій є значні ударні навантаження на вузли приводу, нерівномірність подачі матеріалу, підвищений знос дробильних плит, високий рівень вібрацій, значні втрати енергії при холостому ході, недостатній захист від перевантажень.

Напрями удосконалення щокових дробарок [4, 24]

Удосконалення балки механізму повернення

Одним із найбільш перспективних напрямів є модернізація балки механізму повернення рухомої щоки. Посилення конструкції балки дозволяє підвищити її жорсткість та довговічність, зменшити деформації та збільшити ресурс роботи дробарки.

Впровадження гідравлічного захисту

Сучасні дробарки дедалі частіше обладнуються гідравлічними системами захисту від перевантажень. При потраплянні стороннього предмета система автоматично розвантажує дробильну камеру, запобігаючи поломці деталей.

Застосування високоміцних матеріалів

Використання низьколегованих конструкційних сталей та високомарганцевих сплавів для дробильних плит дозволяє значно підвищити зносостійкість деталей та зменшити витрати на ремонт.

Оптимізація параметрів рухомої щоки

Раціональний вибір геометричних параметрів щоки, кута захвату та ходу стиснення сприяє підвищенню продуктивності машини та зниженню питомих витрат енергії.

Зниження вібрацій

Встановлення пружних амортизаторів та вдосконалення балансування маховиків дозволяє зменшити вібраційні навантаження на раму та фундамент.

Автоматизація роботи

					КРБ.133ГМод.32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання датчиків навантаження та електронних систем керування дає можливість автоматично регулювати режим роботи дробарки, підвищуючи ефективність її використання.

Обґрунтування напрямку модернізації:

На підставі аналізу існуючих конструкцій можна зробити висновок, що доцільним є удосконалення бази механізму повернення шляхом підвищення її міцності та інтеграції з гідравлічною системою захисту від перевантажень. Запропоноване рішення дозволить підвищити надійність роботи дробарки, зменшити простой обладнання та збільшити термін служби основних вузлів машини.

1.4 Переваги та недоліки існуючих конструкцій шоківих дробарок

Аналіз досвіду експлуатації шоківих дробарок показує, що вони мають ряд суттєвих переваг, які забезпечують їх широке використання в промисловості.

Першою важливою перевагою є простота конструкції. У дробарці відсутні складні механізми та велика кількість рухомих вузлів, що позитивно впливає на її надійність та ремонтпридатність.

Другим важливим фактором є можливість дроблення дуже міцних матеріалів. Сучасні шоківі дробарки здатні ефективно руйнувати гірські породи міцністю понад 300 МПа.

Ще однією перевагою є відносно невисока вартість виготовлення та експлуатації. Конструкція містить обмежену кількість деталей, що спрощує технічне обслуговування та ремонт.

До позитивних якостей також належать висока надійність роботи; простота монтажу; можливість роботи у важких умовах; реєлибагливість до якості вихідної сировини; довговічність основних вузлів; можливість автоматизації процесу дроблення [18, 19].

Разом із тим існуючі конструкції мають ряд недоліків.

					КРБ.133ГМд_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк. 15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одним із головних недоліків є нерівномірність навантаження приводу. Процес дроблення відбувається циклічно, тому навантаження на електродвигун постійно змінюється.

Суттєвою проблемою є також значні динамічні навантаження, які виникають у вузлах дробарки під час руйнування великих шматків матеріалу. Це призводить до прискореного зношування підшипників, валів та інших деталей.

Ще одним недоліком є інтенсивне спрацювання дробильних плит. В умовах постійного контакту з абразивними породами робочі поверхні швидко втрачають свої властивості та потребують заміни.

До недоліків також належать підвищений рівень шуму; значні вібрації; відносно висока енергоємність процесу; нерівномірний гранулометричний склад продукту дроблення; необхідність періодичного регулювання розвантажувальної щілини [24, 25].

Аналіз переваг і недоліків свідчить про наявність значного потенціалу для вдосконалення конструкції дробарки зі складним качанням щоки

1.5 Обґрунтування напрямку модернізації конструкції

Проведений аналіз конструкцій щокових дробарок показав, що незважаючи на високу ефективність їх роботи, існують певні недоліки, які негативно впливають на продуктивність та довговічність обладнання.

Основними проблемами залишаються значні динамічні навантаження, інтенсивне спрацювання дробильних плит, підвищені витрати енергії та нерівномірність руху матеріалу в дробильній камері [24, 25].

Для усунення зазначених недоліків доцільно провести модернізацію дробарки зі складним качанням щоки шляхом удосконалення конструкції рухомої щоки та механізму передачі зусилля від ексцентрикового вала.

Запропонована модернізація передбачає зміну конструкції робочого органу з метою більш рівномірного розподілу навантажень по поверхні дробильних плит

					КРБ.133ГМод_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк. 16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та зменшення концентрації напружень у найбільш навантажених елементах [4, 18].

Очікується, що впровадження удосконаленої конструкції дозволить підвищити продуктивність дробарки, знизити енерговитрати, збільшити термін служби дробильних плит, зменшити динамічні навантаження на вузли приводу, скоротити витрати на технічне обслуговування та ремонт.

Запропонований напрям модернізації не потребує суттєвої зміни загальної конструкції дробарки, що дозволяє реалізувати його без значних капіталовкладень.

Рисновок

У загальному розділі розглянуто значення процесу подрібнення у сучасному виробництві, проаналізовано існуючі конструкції дробильного обладнання та особливості роботи шоккових дробарок зі складним качанням щоки. Встановлено, що такі машини широко застосовуються для крупного та середнього дроблення завдяки високій продуктивності, простоті конструкції та надійності.

Аналіз сучасних конструкцій показав наявність недоліків, пов'язаних із підвищеними динамічними навантаженнями, інтенсивним зношуванням робочих поверхонь та значними енерговитратами. На підставі проведеного аналізу обґрунтовано доцільність модернізації дробарки шляхом удосконалення конструкції рухомої щоки та механізму передачі навантаження. Реалізація запропонованих заходів дозволить підвищити продуктивність обладнання, знизити витрати енергії та збільшити ресурс основних вузлів дробарки.

					КРБ.133ГМод_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк. 17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

2.1 Аналіз технологічності деталі

Деталь «Вісь» входить до конструкції шокової дробарки зі складним качанням шари. Її основна функція полягає у передачі обертового руху від ексцентрика на шатун. Деталь належить до класу валів з довжиною 1680 мм і максимальним діаметром 165 мм. Маса виробу становить 140 кг. Конструкція вала проста за геометрією: ступінчастий циліндричний корпус з двома різбовими отворами М6 та чотирма фасками $2 \times 45^\circ$.

Рисунок 2.1 – Кресленик деталі «Вал»

Матеріал деталі – Сталь 20Х за ДСТУ 7806:2015. Це конструкційна низьколегована хромиста сталь, придатна до цементації та подальшого гартування. Хімічний склад сталі наведено у таблиці 2.1, механічні властивості – у таблиці 2.2. Твердість після термічної обробки за вимогами кресленика становить НВ 260...300. Така твердість забезпечує підвищену зносостійкість робочих поверхонь під дією змінних навантажень [5, 6].

					КРБ.133ГМБд_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За геометричною формою деталь технологічна. Усі поверхні легко доступні для інструмента під час токарної обробки. Жорсткість конструкції достатня для обробки в центрах. Співвідношення довжини до діаметра становить близько 10, тож для уникнення прогину доцільне застосування рухомого денета на чорнових переходах.

Параметри шорсткості зведено за трьома значеннями. Більшість поверхонь має Ra 6,3 мкм, що досягається чистовим точінням. Шийки під підшипники потребують Ra 3,2 мкм та забезпечуються шліфуванням. Опорні поверхні різбових отворів виконано з Ra 2,5 мкм. Допуски на діаметри h8 та h10 відповідають 8 та 10 квалітетам ISO.

Кількісну оцінку технологічності виконано через коефіцієнт використання матеріалу. Його визначають за формулою:

$$K_{B.M} = \frac{m_d}{m_z} \quad (2.1)$$

де m_d – маса готової деталі, кг; m_z – маса заготовки, кг. При масі заготовки 178 кг отримуємо $K_{B.M} = 140 / 178 = 0,786$. Значення вище 0,7 свідчить про раціональний вибір вихідної заготовки.

Коефіцієнт точності обробки розраховують через середній квалітет:

$$K_{T.ч} = 1 - \frac{1}{T_{cp}} \quad (2.2)$$

Середній квалітет за поверхнями деталі дорівнює 11,4. Тоді $K_{T.ч} = 1 - 1/11,4 = 0,912$. Значення вище 0,8 підтверджує високу технологічність деталі за точністю [7, 8, 9,10].

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі 20Х за ДСТУ 7806.2015, %

C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Cu
0,17...0,23	0,17...0,37	0,50...0,80	0,70...1,00	до 0,30	до 0,035	до 0,035	до 0,30

Таблиця 2.2 – Механічні властивості сталі 20Х після термообробки

Показник	Позначення	Одиниця	Значення
Границя міцності	Σ_B	МПа	780
Границя плинності	Σ_T	МПа	640
Відносне видовження	Δ	%	11
Ударна в'язкість	KCU	дж/см ²	59
Твердість після ТО	HВ	–	260 .. 300

2.2 Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення деталі

Тип виробництва визначено як середньосерійний на основі річної програми випуску дробарок 250 одиниць. Така програма відповідає коефіцієнту закріплення операцій у межах від 10 до 20. Діючий технологічний процес побудовано на групуванні близьких за конструктивно-технологічними ознаками деталей.

Заготовка отримується з гарячекатаного прокату круглого перерізу $\varnothing 180$ мм за ДСТУ 2590:2017. Довжину різання приймають з урахуванням припуску на торцеву обробку 4 мм з двох боків. Маса заготовки після відрізання дорівнює 178 кг. Альтернативним варіантом виступає кована заготовка, проте при програмі 250 шт. на рік прокат вигідніший за собівартістю.

Діючий маршрут виготовлення складається з дев'яти операцій. Початкові операції присвячено заготівельним переходам та підготовці технологічних баз. Далі виконують чорнове і чистове точіння, свердління та нарізання різьби М6, термообробку до твердості 260.. 300 НВ, шліфування шийок та контрольну операцію. Зведений перелік операцій подано у таблиці 2.3.

Слабкою стороною діючого процесу є послідовна обробка двох кінцевих шийок на одному токарному верстаті з переустановленням. Це збільшує сумарний час на установлення та призводить до накопичення похибок. У модернізованому варіанті пропонується перенесення цих переходів на токарний верстат з числовим програмним керуванням, що дозволяє обробляти кожен кінець за один установ [13, 14].

					КРБ.133ГМод_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт серійності розраховують за формулою:

$$K_{3,0} = \frac{O_M}{P_M} \quad (2.3)$$

де O_M – кількість технологічних операцій, що виконуються на дільниці за місяць; P_M – кількість робочих місць дільниці. Для розглядуваної дільниці $O_M = 96$, $P_M = 8$, тоді $K_{3,0} = 12$. Це підтверджує середньосерійний характер виробництва.

Обладнання діючого процесу включає токарно-гвинторізні верстати моделей 16K20 та 1M63, радіально-свердлильний верстат 2H55, кругло-шліфувальний верстат 3M151. Перелік моделей зведений у таблиці 2.4. Технологічне оснащення базується на тристоронньому самоцентрівному патроні та поворотному пристрої з обертовим заднім центром [13, 14].

Таблиця 2.3 – Зведений перелік операцій діючого технологічного процесу

№	Назва операції	Тип верстака	Тип, хв
005	Заготівельна (відрізна)	Стрічкопильний 8Б72	6,2
010	Фрезерно-центрувальна	MP-71M	4,8
015	Токарна чорнова	16K20	32,5
020	Токарна чистова	16K20	18,4
025	Свердлильна (М6)	2H55	5,1
030	Різнобарізна (М6)	2H55	3,7
035	Термічна (загартування)	Шахтна піч СШО	–
040	Кругло-шліфувальна	3M151	14,2
045	Контрольна	Контрольний стіл	8,0

Таблиця 2.4 – Технічна характеристика обладнання діючого процесу

Модель	Тип верстата	Найб. діам., мм	Найб. довж., мм	Потужність, кВт
8Б72	Стрічкопильний	250	–	4,0
MP-71M	Фрезерно-центрувальний	200	2000	11,0
16K20	Токарно-гвинторізний	400	2000	11,0
1M63	Токарно-гвинторізний	630	2800	15,0
2H55	Радіально-свердлильний	50	–	5,5
3M151	Кругло-шліфувальний	200	700	10,0

2.3 Обробка поверхонь

Усі оброблені поверхні деталі поділяють на чотири групи за функціональним призначенням. Першу групу утворюють два торці з фасками $2 \times 45^\circ$. До другої належать дві крайні циліндричні шийки $\varnothing 160h8$ завдовжки 140 мм кожна. Третя група – центральна циліндрична частина $\varnothing 165h10$ завдовжки 1400 мм. До четвертої групи входять два глухі різьбові отвори М6 у центральній частині. Зведений перелік поверхонь з методами обробки подано у таблиці 2.5.

Торцеві поверхні обробляють фрезеруванням на фрезерно-центрувальному верстаті МР-71М. Одночасно з фрезеруванням торців отримують центрові отвори В4 за ГОСТ 14034-74. Ці отвори служать чистовою базою для подальших токарних і шліфувальних операцій.

Циліндричні поверхні обробляють у три переходи: чорнове, чистове точіння та шліфування. Чорнове точіння виконують різцями з твердосплавною пластинкою Т5К10 за параметрами $t = 3,5$ мм, $s = 0,6$ мм/об. Чистове точіння забезпечує параметр Ra 6,3 мкм при $t = 0,8$ мм та $s = 0,2$ мм/об. Кругле зовнішнє шліфування шийок $\varnothing 160h8$ виконують абразивним кругом 24А40СМ27К на верстаті 3М151. Швидкість обертання заготовки приймають 30 м/хв, поздовжню подачу – 0,3 ширини круга на оберт [13, 14, 16].

Швидкість різання при точінні визначають за формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (2.4)$$

де D – діаметр оброблюваної поверхні, мм; n – частота обертання шпинделя, об/хв. Для чистового точіння $\varnothing 165$ мм при $n = 250$ об/хв швидкість різання становить $V \approx 130$ м/хв. Значення відповідає рекомендованому діапазону для пари «сталь 20Х – твердий сплав Т15К6» [13, 16].

Різьбові отвори М6 виконують у два переходи. Спочатку свердлять отвір під різьбу свердлом $\varnothing 5,0$ мм на глибину 12 мм. Далі нарізають різьбу М6 машинним мітчиком за один прохід з осьовою подачею 1,0 мм/об. Глибина різьби 10 мм забезпечує надійне з'єднання при діючих навантаженнях.

Основний машинний час на токарних переходах обчислюють за виразом:

$$T_0 = \frac{L_i}{n \cdot s} \quad (2.5)$$

					КРБ.133ГМбд_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк. 22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де L – розрахункова довжина обробки з врізанням та перебігом, мм; i – число робочих ходів; n – частота обертання, об/хв; s – подача, мм/об. Розрахункові режими різання та основний час за переходами наведено у таблиці 2.6

Таблиця 2.5 – Класифікація поверхонь та методи обробки

Група	Поверхні	Точність	Шорсткість Ra, мкм	Методи обробки
I	Торець з фасками $2 \times 45^\circ$	h14	6,3	Фрезерування
II	Шийки $\varnothing 160h8$ (2 шт.)	h8	3,2	Точіння, шліфування
III	Циліндр $\varnothing 165h10$	h10	6,3	Точіння чорнове і чистове
IV	Різьбові отвори M6 (2 шт.)	7H	2,5	Свердління, різьбоварізація

Таблиця 2.6 – Режими різання за основними переходами

Перехід	t, мм	s, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	To, хв
Точіння чорнове $\varnothing 168 \rightarrow \varnothing 167$	3,5	0,60	200	105	11,4
Точіння чистове $\varnothing 167 \rightarrow \varnothing 165$	0,8	0,20	250	130	30,4
Точіння чорнове шийки $\varnothing 163 \rightarrow \varnothing 161$	2,5	0,50	375	162	0,9
Точіння чистове шийки $\varnothing 161 \rightarrow \varnothing 160,4$	0,3	0,15	400	201	2,3
Свердління отвору $\varnothing 5$	–	0,12	1250	20	0,08
Шліфування $\varnothing 160h8$	0,2	0,30-б	100	30	5,2

2.4 Розробка схем базування деталі

Схема базування визначає просторове положення заготовки відносно інструмента й позбавляє її ступенів свободи. Для вала з довжиною 1680 мм і діаметром 165 мм використовують комбіноване базування. Воно поєднує установлення на центрові отвори з передачею обертання поводковим патроном.

На першій операції – фрезерно-центрувальній – заготовка базується по зовнішній циліндричній поверхні прокату. Установлювальна база служать дві призми, направляючою – упор у торець. Така схема позбавляє заготовку шести

					КРБ.133ГМбд_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк. 23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ступенів свободи. Подвійна напрямна база (пара призм) фіксує чотири ступені, опорна торцева – один поступальний, повертання навколо власної осі обмежується силами тертя при затисканні. Похибка базування за діаметром заготовки дорівнює допуску прокату $\varnothing 150 - 1,5$ мм.

На токарних і шліфувальних операціях деталь базують на центрові отвори. Передній центр – жорсткий, задній – обертовий. Обертання передається поводковим патроном через хомутик. Цей варіант мінімізує похибку базування на діаметральні розміри, оскільки вісь обертання збігається з віссю центрових отворів [13, 14].

Похибку базування на лінійні розміри визначають за відомою залежністю:

$$\varepsilon_6 = \frac{T_d}{2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2)} \quad (2.6)$$

де T_d – допуск на діаметр центрального отвору, мм; α – кут конуса центра, град. При $T_d = 0,1$ мм і $\alpha = 60^\circ$ отримуємо $\varepsilon_6 = 0,1 / (2 \cdot 0,577) = 0,087$ мм. Це значення вкладається у 1/3 допуску для виконуваних лінійних розмірів [7, 10].

Для свердлильно-різбової операції застосовують спеціальний пристрій з призмою та осьовим упором. Призма центрує деталь по циліндру $\varnothing 165h10$, упор фіксує положення вздовж осі. Поворот навколо осі обмежує рухомий притискач. Схема дозволяє витримати міжосьові відстані 100 мм та 135 мм з допуском $\pm IT14/2$. Схеми базування за операціями зведено у таблиці 2.7 відповідні похибки – у таблиці 2.8.

Таблиця 2.7 – Схеми базування на операціях технологічного процесу

Операція	Установлювальна база	Спрямовуюча база	Опорна база
010 Фрезерно-центрувальна	Зовнішня циліндр. поверхня прокату	Дві призми	Торець упор
015 Токарна чорнова	Центрові отвори (2)	–	Поводковий хомут
020 Токарна чистова	Центрові отвори (2)	–	Поводковий хомут
025-030 Свердл.-різбова	Циліндр $\varnothing 165h10$	Призма	Осьовий упор
040 Круглошліфувальна	Центрові отвори (2)	–	Поводковий хомут

Таблиця 2.8 – Похибки базування за виконуваними розмірами

Операція	Виконуваний розмір	Допуск, мм	εб, мм	Висновок
010 Фрезерно-центрув.	L = 1680	±0,87	0,15	Допустимо
015 Токарна лорнова	Ø168	0,8	0,08	Допустимо
020 Токарна чистова	Ø165h10	0,16	0,02	Допустимо
025 Свердлильна	100 від торця	±0,87	0,12	Допустимо
030 Різьбонарізна	135 від торця	±0,87	0,12	Допустимо
040 Шліфувальна	Ø160h8	0,063	0,01	Допустимо

2.5 Розробка маршруту виготовлення деталі

Маршрут виготовлення деталі побудовано за принципом послідовного підвищення точності. Заготівельні операції виконують першими, чистові - після термічної обробки. Розроблений маршрут забезпечує необхідні параметри точності й шорсткості при мінімальному числі установок.

Першу операцію 005 присвячено відрізання заготовки з прокату Ø180 мм завдовжки 1690 мм. Виконують її на стрічкопилному верстаті 8E72. Подача стрічки 80 мм/хв, швидкість різання 60 м/хв.

Операція 010 фрезерно-центрувальна виконує два перехід: підрізання торців у розмір 1684 мм і свердління центрових отворів В4. Робота ведеться на верстаті МР-31М з двостороннім інструментальним блоком. Час циклу 4,8 хв.

Операція 015 токарна лорнова знімає основний припуск на діаметральних поверхнях. На верстаті 16K20 послідовно обточують центральну частину до Ø167 мм та крайні шийки до Ø162 мм. Базування – у центрах з поводковим хомутом. Операція 020 токарна чистова доводить розміри до Ø165,5 та Ø160,8 мм з припуском на шліфування.

Операція 025 свердлильна виконує два глухих отвори Ø5,0 мм на глибину 12 мм у місцях під різьбу. Операція 030 різьбонарізна нарізає різьбу М6 машинним мітчиком на глибину 10 мм. Обидві операції виконують на радіально-свердлильному верстаті 2Н55 у спеціальному пристрої.

Операція 035 термічна забезпечує об'ємне гартування з відпуском до твердості НВ 260...300. Загартування ведуть при температурі 860°С у маслі, відпуск

					КРБ.133ГМод. 32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

високотемпературний при 580°C з охолодженням на повітрі. Операція 040 кругло-шліфувальна доводить шийки Ø160h8 до заданої шорсткості Ra 3,2 мкм. Завершує маршрут операція 045 контрольна, де перевіряють усі лінійні та діаметральні розміри, твердість по поверхні, шорсткість і біття.

Сумарний штучно-калькуляційний час за маршрутом розраховують через суму часів за операціями:

$$T_{\text{шк.сум}} = \sum_{i=1}^n T_{\text{шк}i} \quad (2.7)$$

За запропонованим маршрутом $T_{\text{шк.сум}} = 93,0$ хв на одну деталь. Порівняно з існуючим процесом досягнуто зменшення на 12,7%. Зведений маршрут операцій з прив'язкою до обладнання й оснащення подано у таблиці 2.9, відповідний робочий інструмент – у таблиці 2.10.

Таблиця 2.9 – Маршрут виготовлення деталі «Вісь»

№	Операція	Верстат	Установ	$T_{\text{шк}}$, хв
005	Заготівельна відрізна	8Б72	Тиски	6,2
010	Фрезерно-центрувальна	МР-71М	Призми	4,8
015	Токарна чорнова	16К20	Центри	32,5
020	Токарна чистова з ЧПК	16К20Ф3	Центри	16,8
025	Свердлильна	2Н55	Призма	5,1
030	Різьбонарізна	2Н55	Призма	3,7
035	Термічна (загарт. + відп.)	СШО-6.6/7	–	–
040	Кругло-шліфувальна	3М151	Центри	14,2
045	Контрольна	Стіл КВП	–	9,7

Таблиця 2.10 – Робочий інструмент та засоби вимірювання

Операція	Різальний інструмент	Допоміжний інструмент	Засіб вимірювання
005	Стоїчкова пила М42	–	Лінійка металева 2000
010	Фреза торцева Ø100, свердло центр. В4	Оправка 7100-0035	Штангенциркуль ШЦ-II
015	Різець прохідний Т5К10	Хомут поводковий	Штангенциркуль ШЦ-II
020	Різець чистовий Т15К6	Хомут поводковий	Мікрометр МК-200
025	Свердло Ø5 Р6М5	Втулка перехідна	Калібр-пробка Ø5h12
030	Мітчик М6-7Н Р6М5	Патрон різьбонарізний	Калібр-кільце М6-7Н
040	Круг 24А40СМ27К Ø500×50×305	–	Скоба важільна Ø160h8
045	–	–	Твердомір ТШ-2М, профілометр 296

2.6 Визначення припусків на обробку та операційних розмірів

Припуски на механічну обробку визначають для діаметральних і лінійних розмірів. Розрахунок ведуть розрахунково-аналітичним методом для шийок Ø160h8 та табличним – для решти поверхонь. Розрахунково-аналітичний метод дає точніший результат для відповідальних поверхонь.

Мінімальний симетричний припуск на діаметральний розмір визначають за формулою професора В.М. Кована:

$$2z_{\min} = 2 \cdot (Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}) \quad (2.8)$$

де Rz_{i-1} – висота нерівностей профілю на попередній операції, мкм; h_{i-1} – глибина дефектного шару на попередній операції, мкм; ρ_{i-1} – сумарна просторова похибка попередньої обробки, мкм; ε_i – похибка установлення заготовки на виконуваний операції, мкм.

Просторову похибку прокату обчислюють з урахуванням викривлення осі та відхилення центрування:

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{\rho_{\text{кр}}^2 + \rho_{\text{ц}}^2} \quad (2.9)$$

де $\rho_{\text{кр}}$ – кривизна прокату на одиницю довжини, мкм/мм; $\rho_{\text{ц}}$ – похибка зацентрування, мкм. При питомій кривизні 0,5 мкм/мм та довжині 1680 мм отримуємо $\rho_{\text{кр}} = 840$ мкм. Похибка зацентрування $\rho_{\text{ц}} = 250$ мкм. Тоді $\rho_{\text{заг}} = \sqrt{(840^2 + 250^2)} = 875$ мкм.

Для шийки Ø160h8 розрахунок припусків виконано в три переходи: чернове точіння, чистове точіння, шліфування. Послідовні значення Rz та h беруть зі стандартних таблиць для відповідних видів обробки. Залишкову просторову похибку після кожного переходу обчислюють через коефіцієнт зменшення $K_{\text{в}}$.

Залишкову похибку визначають як:

$$\rho_{\text{ост}} = K_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{заг}} \quad (2.10)$$

					КРБ.133ГМБд_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк. 27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де K_y – коефіцієнт уточнення (для чорнового точіння $K_y = 0,06$; для чистового $K_y = 0,04$; для шліфування $K_y = 0,03$). Похибка установлення при базуванні в центрах прийнята $\varepsilon_y = 0$ мкм.

Максимальний припуск визначають з урахуванням допусків:

$$2z_{\max} = 2z_{\min} + T_{i-1} - T_i \quad (2.11)$$

де T_{i-1} і T_i – допуски на розмір на попередній та виконуваний операціях, мкм. Результати розрахунку припусків для поверхні $\varnothing 160h8$ наведено у таблиці 2.11. Загальний припуск на діаметр становить 19 мм, що відповідає переходу від заготовки $\varnothing 180$ мм до готового розміру $\varnothing 160h8$ ($-0,063$). Операційні діаметральні розміри з допусками подано у таблиці 2.12.

Операційний розмір на попередній операції визначають додаванням припуску до розміру на виконуваний операції. Для зовнішніх поверхонь діє правило: розмір зростає при русі від готової деталі до заготовки. Допуски на проміжні розміри призначають за якісством, відповідним точності методу обробки.

Таблиця 2.11 – Розрахунок припусків на поверхню $\varnothing 160h8$

Перехід	Rz, мкм	h, мкм	r, мкм	ε , мкм	$2z_{\min}$, мм	T, мкм	$2z_{\max}$, мм
Заготовка (прокат)	150	250	8/6	–	–	1500	–
Точіння чорнове	50	50	52,6	0	3,40	400	4,50
Точіння чистове	30	30	35,0	0	0,32	100	0,62
Шліфування	5	15	26,3	0	0,17	63	0,21
Сума припусків	–	–	–	–	3,89	–	5,33

Таблиця 2.12 – Операційні діаметральні розміри

Поверхня	Заготовка	Чорнове точіння	Чистове точіння	Шліфування
$\varnothing 160h8$	$\varnothing 180 -1,5$	$\varnothing 163,5 -0,4$	$\varnothing 160,5 -0,1$	$\varnothing 160 -0,063$
$\varnothing 165h10$	$\varnothing 180 -1,5$	$\varnothing 167,5 -0,4$	$\varnothing 165 -0,15$	–

РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

3.1 Обґрунтування конструкторської розробки

Проведений аналіз конструкцій щоківих дробарок показав, що незважаючи на високу ефективність їх роботи, існують певні недоліки, які негативно впливають на продуктивність та довговічність обладнання.

Основними проблемами залишаються значні динамічні навантаження, інтенсивне спрацювання дробильних плит, підвищені витрати енергії та нерівномірність руху матеріалу в дробильній камері [4, 15, 18].

Для усунення зазначених недоліків доцільно провести модернізацію дробарки зі складним качанням шочи шляхом удосконалення конструкції сухої шочи та механізму передачі зусилля від ексцентрикового вала.

Запропонована модернізація передбачає зміну конструкції робочого органу з метою більш рівномірного розподілу навантажень по поверхні дробильних плит та зменшення концентрації напружень у найбільш навантажених елементах.

Очікується, що впровадження удосконаленої конструкції дозволить підвищити продуктивність дробарки, знизити енерговитрати, збільшити термін служби дробильних плит, зменшити динамічні навантаження на вузли приводу, скоротити витрати на технічне обслуговування та ремонт.

Запропонований напрям модернізації не потребує суттєвої зміни загальної конструкції дробарки, що дозволяє реалізувати його без значних капіталовкладень. Він передбачає модернізацію бази механізму повернення шляхом інтеграції її роботи з гідравлічною системою захисту від перевантажень.

Запропоноване технічне рішення спрямоване на підвищення надійності роботи щоківих дробарок в умовах потрапляння до робочої камери сторонніх включень, які не підлягають подрібненню. У традиційних конструкціях наявність таких предметів викликає різке зростання динамічних навантажень на елементи механізму, що може призводити до деформації деталей, виникнення аварійних ситуацій та зменшення ресурсу обладнання.

					КРБ.133ГМод_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк. 29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливістю запропонованої конструкції є використання гідравлічної системи, яка забезпечує автоматичне видалення недробних предметів із зони дроблення. Завдяки цьому суттєво знижується навантаження на основні вузли дробарки, у тому числі на балку механізму повернення, що позитивно впливає на довговічність та експлуатаційну надійність машини [18, 24, 25].

Таким чином, основною перевагою розробки є підвищення ефективності захисту конструктивних елементів дробарки від перевантажень, спричинених потраплянням сторонніх твердих включень, а також збільшення терміну служби балки механізму повернення та інших відповідальних деталей обладнання.

3.2 Конструктивні розрахунки

Рухома щока є одним із найбільш навантажених елементів щоквої дробарки, оскільки під час роботи вона сприймає зусилля дроблення, передає його через ексцентричний вал, розпірну плиту та елементи кріплення дробильних плит. Метою розрахунку є перевірка міцності основних елементів рухомої щоки, а також оцінка надійності її роботи в умовах сільськогосподарського використання.

За кресленням приймаємо такі основні розміри рухомої щоки:

довжина щоки – 1420 мм;

загальна довжина з виступами – 1680 мм;

висота щоки – 860 мм;

найбільша товщина в поперечному перерізі – 545 мм;

діаметр отвору під вісь – 170 мм;

кількість кріпильних рядів дробильних плит – 4.

Матеріал рухомої щоки приймаємо – сталь 35Л або 45Л, яка часто використовується для литих деталей дробильного обладнання.

Допустиме напруження для матеріалу приймаємо: $[\sigma]=120$ МПа

					КРБ.133ГМод. 32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк. 30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункове зусилля дроблення для дробарки середнього типорозміру приймаємо: $F = 180 \text{ кН} = 180000 \text{ Н}$

З урахуванням динамічного навантаження: $k_d = 1,3$

Розрахункове навантаження:

$$P_p = P \cdot k_d, \quad (3.1)$$

$$P_p = 180000 \cdot 1,3 = 234000 \text{ Н} = 234 \text{ кН}$$

Розрахунок щоки на згин

Рухому щоку умовно розглядаємо як балку, навантажену силою дроблення. Найбільший згинальний момент виникає в середній частині щоки.

Відстань між опорними точками приймаємо: $l = 0,86 \text{ м}$

Згинальний момент:

$$M = \frac{P_p \cdot l}{4}, \quad (3.2)$$

$$M = \frac{234000 \cdot 0,86}{4} = 50310 \text{ Н} \cdot \text{м} = 50,31 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Момент опору поперечного перерізу визначаємо за формулою:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad (3.3)$$

де $b = 0,16 \text{ м}$ – умовна товщина небезпечного перерізу;

$h = 0,545 \text{ м}$ – висота перерізу.

$$W = \frac{0,16 \cdot 0,545^2}{6} = 0,008 \text{ м}^3$$

Напруження згину:

$$\sigma = \frac{M}{W}, \quad (3.4)$$

$$\sigma = \frac{50310}{0,008} = 6352272 \text{ Па} = 6,35 \text{ МПа}$$

Перевіряємо умову міцності:

$$\sigma \leq [\sigma]$$

$$6,35 \text{ МПа} < 120 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується. Рухома щока має достатній запас міцності при згині.

					КРБ.133ГМод. 32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк. 31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок коефіцієнта запасу міцності

Коефіцієнт запасу міцності визначаємо за формулою:

$$n = \frac{[\sigma]}{\sigma}, \quad (3.5)$$

$$n = \frac{120}{6,35} = 18,9$$

Отриманий коефіцієнт запасу міцності є достатнім. Це пояснюється масивною литою конструкцією рухомої щоки.

Розрахунок калія кріплення щоки

Діаметр пальця за кресленням приймаємо:

$$d = 170 \text{ мм} = 0,17 \text{ м}$$

Палець перевіряємо на зріз. Площа поперечного перерізу:

$$A = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (3.6)$$

$$A = \frac{3,14 \cdot 0,17^2}{4} = 0,023 \text{ м}^2$$

Дотичне напруження зрізу:

$$\tau = \frac{P_p}{A}, \quad (3.7)$$

$$\tau = \frac{234000}{0,023} = 10308370 \text{ Па} = 10,31 \text{ МПа}$$

Допустиме напруження зрізу для сталі приймаємо: $[\tau] = 70 \text{ МПа}$

Перевірка міцності

$$10,31 \text{ МПа} < 70 \text{ МПа}$$

Отже, палець кріплення рухомої щоки має достатню міцність на зріз.

Розрахунок болтів кріплення дробильних плит

Дробильні плити кріпляться до рухомої щоки болтами. За кресленням приймаємо болти діаметром: $d_b = 20 \text{ мм}$

Кількість болтів, які одночасно сприймають навантаження: $z = 8$

Навантаження на один болт:

$$P_b = \frac{P_p}{z}, \quad (3.8)$$

$$P_b = \frac{234000}{8} = 29250 \text{ Н}$$

					КРБ.133ГМБд_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк. 32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Площа перерізу одного болта:

$$A_b = \frac{\pi d_b^2}{4}, \quad (3.9)$$

$$A_b = \frac{3,14 \cdot 20^2}{4} = 314 \text{ мм}^2$$

Напруження в болті:

$$\sigma_b = \frac{P_b}{A_b}, \quad (3.10)$$

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot 250}{31,4} = 93,2 \text{ МПа}$$

Для болтів класу міцності 8.8 допустиме напруження приймаємо:

$$[\sigma_b] = 240 \text{ МПа}$$

Перевірка:

$$93,2 \text{ МПа} < 240 \text{ МПа}$$

Болти кріплення дробильних плит мають достатню міцність.

Розрахунок контактної напруженості між плитою і цукрою

Контактна площа однієї дробильної плити орієнтовно приймається:

$$A_k = 0,18 \text{ м}^2$$

Кількість плит, які сприймають навантаження: $z_p = 4$

Загальна контактна площа:

$$A_\Sigma = A_k \cdot z_p, \quad (3.11)$$

$$A_\Sigma = 0,18 \cdot 4 = 0,72 \text{ м}^2$$

Контактне напруження:

$$\sigma_k = \frac{P_p}{A_\Sigma}, \quad (3.12)$$

$$\sigma_k = \frac{234000}{0,72} = 325000 \text{ Па} = 0,35 \text{ МПа}$$

Контактне напруження є незначним, тому змінання опорних поверхонь не очікується.

					КРБ.133ГМБд_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк. 33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Результати розрахунків

Показник	Значення
Розрахункове зусилля дроблення	234 кН
Згинальний момент	50,31 кН·м
Напруження згину в щопі	6,35 МПа
Допустиме напруження	120 МПа
Коефіцієнт запасу міцності	18,9
Напруження зрізу пальця	10,31 МПа
Допустиме напруження зрізу	70 МПа
Напруження в болтах	93,2 МПа
Допустиме напруження для болтів	240 МПа
Контактне напруження	0,325 МПа

Висновок

У результаті конструктивних розрахунків встановлено, що рухома щока щокової дробарки має достатню міцність при дії розрахункового зусилля дроблення. Напруження згину становить 6,35 МПа, що значно менше допустимого значення 120 МПа. Коефіцієнт запасу міцності дорівнює 18,9, що підтверджує надійність литої конструкції. Також виконано перевірку пальця кріплення на зріз, болтів кріплення дробильних плит та контактних поверхонь. Усі отримані значення не перевищують допустимих, тому конструкція рухомої щопи є працездатною і може бути використана в щоковій дробарці для сільськогосподарських потреб.

					КРБ.133ГМод.32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк. 34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування розробки

Економічна доцільність модернізації молочної дробарки визначається зменшенням витрат на ремонт, скороченням простоїв обладнання, підвищенням надійності роботи та збільшенням продуктивності. У далій роботі модернізація передбачає удосконалення рухомої шочи та елементів механізму повернення, що дозволяє зменшити ударні навантаження і підвищити ресурс роботи дробарки.

Вихідні дані

Показник	Значення
Продуктивність до модернізації, Q_1	1,2 т/год
Продуктивність після модернізації, Q_2	1,35 т/год
Річний фонд роботи, T	400 год
Потужність електродвигуна, N	7,5 кВт
Коефіцієнт використання потужності, k	0,75
Ціна електроенергії, C_e	5 грн/кВт·год
Обплата праці оператора, C_T	120 грн/год
Витрати на модернізацію, K	14500 грн
Ремонт до модернізації, R_1	12000 грн/рік
Ремонт після модернізації, R_2	8500 грн/рік

Річний обсяг переробки:

$$W_1 = Q_1 \cdot T = 1,2 \cdot 400 = 480 \text{ т/рік}$$

$$W_2 = Q_2 \cdot T = 1,35 \cdot 400 = 540 \text{ т/рік}$$

Приріст продуктивності:

$$\Delta W = 540 - 480 = 60 \text{ т/рік}$$

					КРБ.133ГМбд_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк. 35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Витрати на оплату праці:

$$З = T \cdot C_T = 400 \cdot 120 = 48000 \text{ грн/рік}$$

До модернізації:

$$З_1 = 48000/480 = 100 \text{ грн/т}$$

Після модернізації:

$$З_2 = 48000/540 = 88,89 \text{ грн/т}$$

Економія:

$$E_3 = 100 - 88,89 = 11,11 \text{ грн/т}$$

Витрати на електроенергію

$$E = N \cdot k \cdot T = 7,5 \cdot 0,75 \cdot 400 = 2250 \text{ кВт·год.}$$

$$C_{ел} = E \cdot C_e = 2250 \cdot 8 = 18000 \text{ грн}$$

До модернізації:

$$C_{ел1} = 18000/480 = 37,50 \text{ грн/т}$$

Після модернізації:

$$C_{ел2} = 18000/540 = 33,33 \text{ грн/т}$$

Економія:

$$E_{ел} = 37,50 - 33,33 = 4,17 \text{ грн/т}$$

Економія на ремонті:

$$E_p = R_1 - R_2 = 12000 - 8500 = 3500 \text{ грн/рік}$$

Загальний річний економічний ефект:

$$E_{1т} = E_3 + E_{ел} = 11,11 + 4,17 = 15,28 \text{ грн/т}$$

$$E_{пит} = E_{1т} \cdot W = 15,28 \cdot 540 = 8251,2 \text{ грн/рік}$$

$$E_p = E_{пит} + E_p = 8251,2 + 3500 = 11751,2 \text{ грн/рік}$$

Строк окупності

$$T_o = K/E_p = 14500/11751,2 = 1,2 \text{ року}$$

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$E_k = E_p/K = 11751,2/14500 = 0,81$$

Оскільки $0,81 > 0,15$ модернізація є економічно доцільною.

					КРБ.133ГМБд_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк. 36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2 – Техніко-економічні показники розробки

Показник	До модернізації	Після модернізації
Продуктивність, т/год	1,2	1,35
Річний обсяг, т/рік	480	540
Оплата праці, грн/т	100,00	83,89
Електроенергія, грн/т	37,50	33,33
Ремонтні витрати, грн/рік	12000	8500
Вартість модернізації, грн	—	14500
Річний економічний ефект, грн	—	11751
Строк окупності, років	—	1,2
Коефіцієнт ефективності	—	0,8

Оскільки, річний економічний ефект від модернізації шокосої дробарки становить 11751 грн. Строк окупності витрат на модернізацію 1,2 року. Коефіцієнт економічної ефективності 0,8. Оскільки отримане значення перевищує нормативне, запропонована модернізація є економічно доцільною.

4.2 Охорона праці

Охорона праці під час експлуатації модернізованої шокосої дробарки має важливе значення, оскільки робота машини пов'язана з дією значних механічних навантажень, шуму, вібрації, пилу та небезпекою травмування рухомими частинами. Шокова дробарка зі складним качанням щоків належить до обладнання підвищеної небезпеки, тому її обслуговування повинно виконуватися лише працівниками, які пройшли інструктаж, навчання з охорони праці та перевірку знань правил безпечної експлуатації [11].

До роботи з дробаркою допускаються особи не молодші 18 років, які мають відповідну професійну підготовку, пройшли медичний огляд, вступний та первинний інструктаж на робочому місці. Працівник повинен знати будову дробарки, призначення основних вузлів, порядок пуску і зупинки машини, правила дій у разі аварійної ситуації а також вимоги безпечного виконання ремонтних і налагоджувальних робіт.

					КРБ.133ГМбд_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк. 37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перед початком роботи необхідно перевірити технічний стан дробарки, справність огорожень приводу, маховиків, глинопасової передачі, ексцентрикового вала та інших рухомих елементів. Особливу увагу слід приділяти надійності кріплення дробильних плит, стану розірної плити, балки механізму повернення, гідравлічної системи захисту від перевантажень і відсутності витоків робочої рідини. Забороняється запускати дробарку при знятих кожухах, несправній електроапаратурі, пошкоджених кабелях, ослаблених болтових з'єднаннях або сторонніх предметах у робочій камері.

Пуск дробарки виконують тільки після подання попереджувального сигналу та переконання, що біля робочих органів немає людей. Завантаження матеріалу повинно здійснюватися рівномірно, без перевищення допустимого розміру шматків. Забороняється проштовхувати матеріал руками, ломачами або іншими предметами під час роботи машини. У разі заклинювання матеріалу дробарку необхідно негайно зупинити, відключити від електромережі, дочекатися повної зупинки рухомих частин і тільки після цього виконувати очищення робочої камери.

Модернізація дробарки із застосуванням гідравлічного захисту від перевантажень підвищує рівень безпеки, оскільки зменшує ризик руйнування деталей при потраплянні недробних предметів. Гідравлічна система дозволяє знизити ударні навантаження на балку механізму повернення, розірну плиту та рухому шпату. Разом із тим вона потребує постійного контролю герметичності, справності запобіжних клапанів, стану шлангів високого тиску та рівня робочої рідини.

Під час обслуговування гідравлічної системи забороняється перевіряти витоки рідини руками, оскільки струмінь під високим тиском може спричинити травмування. Перед ремонтом необхідно скинути тиск у системі, зупинити електродвигун і вивісити попереджувальну табличку «Не вмикати — працюють люди».

Робоче місце оператора повинно бути добре освітлене, очищене від сторонніх предметів, мастила, пилу та уламків матеріалу. Проходи навколо

					КРБ.133ГМод.32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дробарки мають залишатися відкритими. Електрообладнання повинно мати справне заземлення, а пускова апаратура – захист від випадкового ввімкнення. У місцях підвищеного пилоутворення необхідно передбачити вентиляцію або аспіраційну систему.

Працівники повинні користуватися засобами індивідуального захисту: захисним одягом, рукавицями, каскою, захисними окулярами, респіратором, протишумовими навушниками та спеціальним взуттям. Одяг не повинен мати звисаючих частин, які можуть потрапити в рухомі механізми.

Під час ремонту, регулювання зазору між щоками, заміни дробильних плит, перевірки розпірної плити або балки механізму повернення дробарка має бути повністю знеструмлена. Рухомі частини необхідно зафіксувати від самовільного переміщення. Важкі деталі слід переміщувати за допомогою вантажопідіймальних засобів, справних стропів і захватів.

У разі виникнення незвичного шуму, підвищеної вібрації, перегрівання підшипників, виток масила або гідравлічної рідини дробарку потрібно негайно зупинити та повідомити відповідальну особу. Подальша експлуатація допускається лише після усунення несправностей.

Таким чином, дотримання вимог охорони праці під час експлуатації модернізованої щокерової дробарки забезпечує безпечні умови роботи, знижує ризик травмування персоналу, запобігає аварійним ситуаціям і сприяє надійній роботі обладнання.

4.3 Охорона навколишнього середовища

Експлуатація дробильного обладнання супроводжується впливом на навколишнє середовище, який проявляється у вигляді утворення пилу, шуму, вібрацій, відходів виробництва та можливого забруднення ґрунтів і водних ресурсів мастильними матеріалами. Тому під час модернізації щокерової дробарки необхідно передбачити заходи, спрямовані на зменшення негативного впливу виробничого процесу на довкілля.

					КРБ.133ГМод_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одним із основних екологічних факторів при роботі щокочових дробарок є утворення пилу в процесі подрібнення матеріалу. Пилкові викиди погіршують санітарно-гігієнічні умови праці, забруднюють атмосферне повітря та можуть негативно впливати на здоров'я працівників і населення прилеглих територій. Для зниження запиленості рекомендується застосовувати місцеві аспіраційні установки, системи пилорозсмолювання, герметизацію завантажувальних і розвантажувальних вузлів, а також регулярне очищення виробничих приміщень від пилових відкладень.

Важливим екологічним чинником є шум, який виникає під час роботи дробарки внаслідок руйнування матеріалу та взаємодії рухомих деталей механізму. Для зменшення шумового навантаження доцільно використовувати звукоізоляційні кожухи, вібропоглинаючі прокладки та своєчасно виконувати технічне обслуговування обладнання. Справний технічний стан підшипників, ексцентрикового вала та інших вузлів сприяє зниженню рівня шуму і вібрацій.

У процесі експлуатації дробарки використовуються мастильні матеріали та робоча рідина гідравлічної системи захисту від перевантажень. Потрапляння цих речовин у ґрунт або водойми може призвести до забруднення навколишнього середовища. З метою недопущення таких випадків необхідно регулярно контролювати герметичність з'єднань, своєчасно усувати витіки та здійснювати заміну мастил у спеціально відведених місцях. Відпрацьовані мастила і технічні рідини позинні збиратися в герметичну тару та передаватися спеціалізованим підприємствам для подальшої утилізації або регенерації.

Під час проведення ремонтних робіт утворюються металеві відходи у вигляді зношених дробильних плит, розірваних плит, кріпильних елементів та інших деталей. Такі відходи підлягають сортуванню та здачі на підприємства з переробки металобрухту. Це дозволяє зменшити обсяг відходів і забезпечує раціональне використання матеріальних ресурсів [12].

Модернізація дробарки із застосуванням гідравлічної системи захисту від перевантажень сприяє підвищенню ресурсу основних деталей і зменшенню кількості аварійних поломок. Завдяки цьому скорочуються витрати матеріалів на

					КРБ.133ГМБд_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк. 40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ремонт, зменшується кількість відходів та підвищується загальна екологічна ефективність експлуатації обладнання.

Важливим напрямом охорони навколишнього середовища є раціональне використання електроенергії. Своєчасне технічне обслуговування дробарки, правильне регулювання робочих зазорів, справний стан приводу та використання енергоефективного електродвигуна дозволяють знизити питомі витрати електроенергії на подрібнення матеріалу, що сприяє зменшенню непрямого впливу виробництва на довкілля.

Територія, на якій експлуатується дробарка, повинна утримуватися в належному санітарному стані. Не допускається складування відходів поза спеціально відведеними місцями, зливання мастил на ґрунт або у каналізаційну мережу, а також спалювання виробничих відходів без відповідного дозволу.

Таким чином виконання комплексу організаційних та технічних заходів щодо зменшення зашумленості, шуму, раціонального використання енергетичних ресурсів, належного поводження з відходами та контролю за станом гідравлічної системи забезпечує мінімальний вплив модернізованої щоклової дробарки на навколишнє середовище та відповідає сучасним вимогам екологічної безпеки.

					КРБ.133ГМод.32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи вирішено актуальне інженерне завдання, пов'язане з підвищенням ефективності та надійності роботи щоклової дробарки зі складним качанням щоки. Запропоноване конструктивне удосконалення спрямоване на зменшення впливу перевантажень на основні вузли машини та покращення умов її експлуатації.

Розроблена конструкція забезпечує більш рівномірний розподіл навантажень у механізмі дробарки, знижує ймовірність виникнення аварійних ситуацій та сприяє збільшенню довговічності відповідальних деталей. Проведені інженерні розрахунки підтвердили працездатність і достатню міцність елементів модернізованої конструкції при заданих режимах роботи.

Впровадження запропонованого технічного рішення дозволяє підвищити експлуатаційну надійність обладнання, зменшити витрати на ремонт і технічне обслуговування, а також скоротити непродуктивні простой. Водночас модернізація не потребує значних змін базової конструкції дробарки, що спрощує її практичне впровадження у виробництво.

Очікувані техніко-економічні показники свідчать про доцільність використання запропонованої конструкції в умовах промислових підприємств. Реалізація розробки сприятиме підвищенню ефективності процесу дроблення, зниженню експлуатаційних витрат та покращенню загальних показників роботи дробильного обладнання.

Таким чином, розроблена модернізація щоклової дробарки зі складним качанням щоки є технічно обґрунтованою, економічно доцільною та має практичну цінність для підприємств гірничодобувної, будівельної та переробної галузей.

					КРБ.133ГМед_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бабій І. М., Гевко І. Б. Основи проектування машин і обладнання : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. 256 с.
2. Бойко В. С., Дубровін В. О., Іщенко Т. Д. Машини та обладнання для переробки сировини : навч. посіб. Київ : ЦП «Компринт», 2020. 312 с.
3. Войтюк Д. Г., Аніскевич Л. В. Сільськогосподарські та меліоративні машини : підручник. Київ : Аграрна освіта, 2021. 678 с.
4. Гевко І. Б., Павлишин М. І. Основи конструювання машин : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2022. 344 с.
5. ДСТУ 7806:2015. Прокат із конструкційної легованої сталі. Технічні умови. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 22 с.
6. ДСТУ 8539:2015. Сталь. Загальні технічні умови. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 18 с.
7. ДСТУ ISO 286-1:2020. Геометричні характеристики вигобів. Система допусків і посадок ISO. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 42 с.
8. ДСТУ ISO 4287:2021. Геометричні характеристики виробів. Шорсткість поверхні. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021. 36 с.
9. ДСТУ ISO 4288:2021. Геометричні характеристики виробів. Правила оцінювання шорсткості поверхні. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021. 28 с.
10. ДСТУ ISO 2768-1:2022. Загальні допуски. Лінійні та кутові розміри. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 24 с.
11. Закон України «Про охорону праці» № 2694-ХІІ від 14.10.1992 р. (редакція станом на 2025 р.).
12. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» № 1264-ХІІ від 25.06.1991 р. (редакція станом на 2025 р.).
13. Качан Ю. Г., Мельняк О. В. Основи технології машинобудування : навч. посіб. Львів : Новий Світ-2000, 2021. 328 с.
14. Кириченко О. В., Мельняк М. В. Технологічні процеси машинобудівного виробництва : навч. посіб. Київ : Ліра-К, 2022. 294 с.

					КРБ.133ГМБд_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк. 43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

15. Довейкін В. С., Ромасевич Ю. О. Теорія механізмів і машин : підручник. Київ : ЦП «Компринт» 2021. 420 с.

16. Мачута О. С., Ковальчук В. І. Деталі машин : навч. посіб. Львів : Новий Світ-2000, 2021. 408 с.

17. Beer F. P., Johnston E. R., DeWolf J. T., Mazurek D. F. Mechanics of Materials. 9th ed. New York : McGraw-Hill Education, 2021. 912 p.

18. Budynas R. G., Nisbett J. K. Shigley's Mechanical Engineering Design. 11th ed. New York : McGraw-Hill Education, 2020. 1104 p.

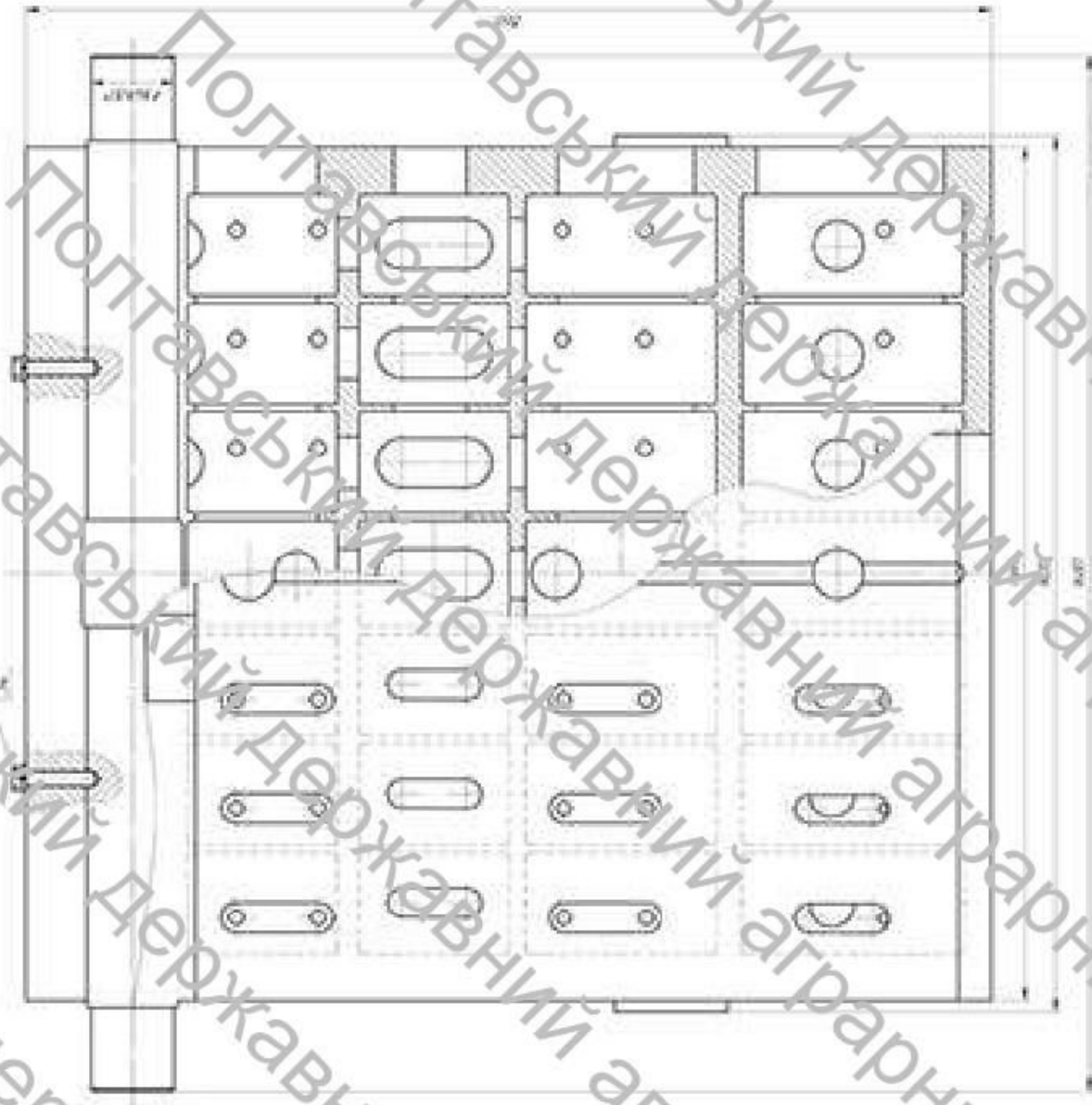
19. Gupta A., Yan D. Mineral Processing Design and Operations. 3rd ed. Amsterdam : Elsevier, 2022. 882 p.

20. Mular A. L., Halbe D. N., Barratt D. J. Mineral Processing Plant Design, Practice and Control. Amsterdam : Elsevier, 2021. 2432 p.

					КРБ.133ГМБд_32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк. 44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					КРБ.133ГМод.32[2].09.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Technical drawing header information:

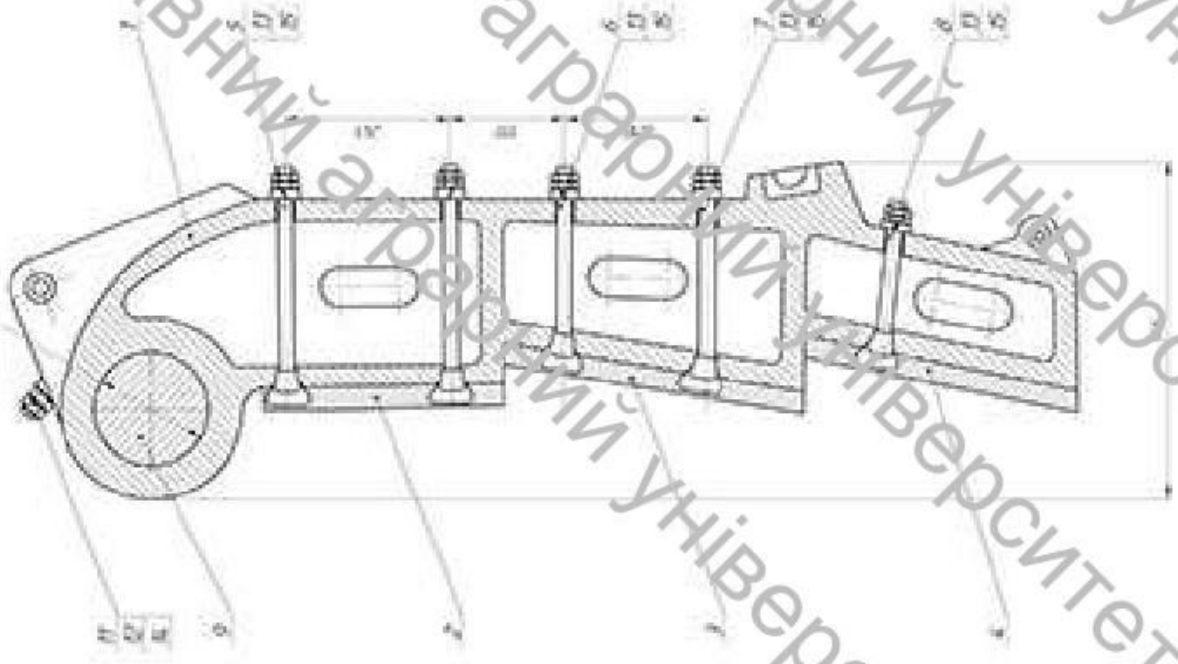
Project Name: *Project Name*

Scale: *Scale*

Author: *Author*

Check: *Check*

Table with columns: *Table*



Technical drawing footer information:

Project Name: *Project Name*

