

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

ННІ/факультет Навчально-науковий технологічний інститут
Кафедра Інжинірингу з галузевого машинобудування
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
Форма навчання Денна

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Маякін Роман Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему

Механічне обладнання агломераційного цеху №2 Агломераційного департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Розробка двохвалкова дробарка коксу

(повна назва теми)

за матеріалами

Агломераційний цех №2 Агломераційного департаменту ПАТ «Арселор-Міттал Кривий Ріг»

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник д.т.н., професор

(наук. ступінь, вчене звання)



(підпис)

Засельський В. Й.

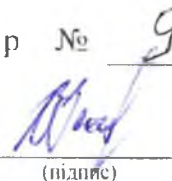
(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 23 січня 2026 р № 9

Завідувач кафедри



(підпис)

д.т.н., професор

(наук. ступінь, вчене звання)

В. Й. Засельський

(ініціали, прізвище)


ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра Інжинірингу з галузевого машинобудування

Рівень вищої освіти Другий (магістерський)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІГМ


(підпис) ✓ проф., д.т.н., Засельський В. Й.
(посада, вчене звання, прізвище ініціали)

« 20 » жовтня 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА ЗДОБУВАЧА

Маякін Роман Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра

Механічне обладнання агломераційного цеху №2 Агломераційного департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Розробка двохвалкова дробарка коксу

керівник кваліфікаційної роботи магістра Засельський В. Й., д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «20» жовтня 2025 р. № 723-ст

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 15.01.2026

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи магістра

Умови виробництва агломераційного цеху №2 Агломераційного департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Конструкція та технічна характеристика двохвалкова дробарка коксу, інформація про недоліки конструкції.

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

4.1 Аналітична частина;







4.2 Основна частина;

4.3 Організація безпечного виробництва.

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

2 аркуші формату А1 кресленик загального виду: дробарка двохвалкова ДГ400×250; 2 аркуші формату А1 складальний кресленик: валок приводний; вал проміжний; 2 аркуші формату А1 кресленик деталей: станина; колесо конічне.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітична частина	<i>Засельський В. Й., професор</i>	 20.10.25	 20.10.25
Основна частина	<i>Засельський В. Й., професор</i>	 20.10.25	 20.10.25
Організація безпечного виробництва	<i>Засельський В. Й., професор</i>	 20.10.25	 20.10.25

7. Дата видачі завдання 20 жовтня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	21.11.2025	вик.
2.	Основна частина	15.12.2025	вик.
3.	Організація безпечного виробництва	22.12.2025	вик.
4.	Оформлення пояснювальної записки	26.12.2025	вик.
5.	Виконання графічної частини	12.01.2026	вик.
6.	Подання роботи до кафедри	15.01.2026	вик.
7.	Захист роботи в ЕК	26-31.01.2026	

Здобувач


(підпис)

Маякін Р. М.

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи


(підпис)

Засельський В. Й.

(прізвище та ініціали)

№ строки	Формат	Обозначение	Наименование	Кол. листов	№ экз.	Примечание																																	
1																																							
2			Документація загально																																				
3																																							
4			Знову розроблена																																				
5																																							
6	A1	KPM.133.26.15.00.00.000.B0	Кресленик загального виду	2	-																																		
7	A4	ДП.133.26.15.ПЗ	Пояснювальна записка	69	-																																		
8																																							
9			Документація по																																				
10			складальним одиницям																																				
11																																							
12			Знову розроблена																																				
13																																							
14	A1	KPM.133.26.15.01.00.000.CБ	Валок приводний																																				
15			Складальний кресленик	1	-																																		
16	A3	KPM.133.26.15.04.00.000.CБ	Вал проміжний																																				
17			Складальний кресленик	1	-																																		
18																																							
19			Документація по деталям																																				
20																																							
21			Знову розроблена																																				
22																																							
23	A1	KPM.133.26.15.03.00.001	Станина	2	-																																		
24	A2	KPM.133.26.15.04.00.004	Колесо конічне	1	-																																		
133.26.15.KPM																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лист</td> <td>№ докум.</td> <td>Подп.</td> <td>Дата</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Разраб.</td> <td>Маякин</td> <td></td> <td></td> <td>15.01.26</td> <td>Лит</td> <td>Лист</td> </tr> <tr> <td>Проб.</td> <td>Засельський</td> <td></td> <td></td> <td>19.01.26</td> <td>М</td> <td>Листов</td> </tr> <tr> <td>Н.контр.</td> <td>Засельський</td> <td></td> <td></td> <td>21.01.26</td> <td colspan="2" rowspan="2">1</td> </tr> <tr> <td>Утв.</td> <td>Засельський</td> <td></td> <td></td> <td>23.01.26</td> </tr> </table>							Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			Разраб.	Маякин			15.01.26	Лит	Лист	Проб.	Засельський			19.01.26	М	Листов	Н.контр.	Засельський			21.01.26	1		Утв.	Засельський			23.01.26
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата																																			
Разраб.	Маякин			15.01.26	Лит	Лист																																	
Проб.	Засельський			19.01.26	М	Листов																																	
Н.контр.	Засельський			21.01.26	1																																		
Утв.	Засельський			23.01.26																																			
Дробарка валкова ДГ400x250 Відомість кваліфікаційної роботи					ННТІ ДУЕТ кафедра ІГМ гр. ГМ-24м																																		
Копіював					Формат А4																																		

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра: 69 стор., 13 рис., 17 табл., 1 додаток, 18 джерел.

Об'єкт розробки — двохвалкова дробарка типу ДГ 400×250.

Мета роботи — підвищення надійності роботи машини, поліпшення експлуатаційних характеристик та зменшення витрат на ремонт за рахунок збільшення терміну експлуатації привода.

Метод досліджень — аналітичний, аналіз виявлених технічних рішень з метою можливості їх застосування для удосконалення конструкції дробарки, визначення навантажень на деталі привода, перевірка міцності основних деталей.

Запропоновано шляхи зменшення міжвалкової передачі, підвищення надійності та зменшення металоємності дробарки, розроблена конструкція передавального механізму з конічними зубчатими передачами і валками з внутрішніми зубчатими зачепленнями.

Розглянута організація ремонтних робіт на підприємстві, методи монтажу і контролю при монтажі деталей і вузлів двохвалкової дробарки. Запропоновано заходи щодо організації безпечного виробництва експлуатації, обслуговуванні і ремонту двохвалкових дробарок.

Результати роботи можуть бути використані при модернізації двохвалкових дробарок. Очікуваний економічний ефект від скорочення витрат на обслуговування і ремонт за рахунок спрощення конструкції і зменшення металоємності складає 112256 тис. грн.

Ключові слова: привод, передавальний механізм, конічна зубчата передача, робочий валок.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	8
1.1 Характеристика цеху	8
1.2 Призначення і область застосування обраної машини, в якості об'єкту дослідження	10
1.3 Технічна характеристика машини	10
1.4 Опис конструкції машини	11
1.5 Аналіз недоліків в роботі машини. Можливі причини недоліків.....	13
1.6 Формування мети та задач для її досягнення	14
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	16
2.1 Аналіз стану існуючих інноваційних рішень	16
2.2 Пропозиції по досягненню поставленої мети	22
2.3 Аналітичні розрахунки	25
2.3.1 Розрахунок потужності приводу.....	27
2.3.2 Силовий та кінематичний аналіз механізму	29
2.3.3 Розрахунок та вибір елементів кінематичної схеми	30
2.3.4 Розрахунки на міцність.....	37
2.4 Монтаж, ремонт, змащення	38
2.4.1 Прив'язка машини до технологічного тракту	38
2.4.2 Технологічна карта монтажу.....	38
2.4.3 Зношення відповідальних деталей та методи їх відновлення	42
2.4.4 Розробка графіка планово-попереджувальних ремонтів	44
2.4.5 Змащення.....	46
2.5 Економічна доцільність запропонованих рішень	49
РОЗДІЛ 3 ОРГАНІЗАЦІЯ БЕЗПЕЧНОГО ВИРОБНИЦТВА.....	55
3.1 Аналіз основних шкідливостей і небезпечностей	55
3.2 Заходи щодо зниження шкідливостей і небезпечностей.....	58
3.2.1 Засоби індивідуального захисту	61
3.2.2 Санітарно-побутові приміщення і пристрої	62
3.3 Пожежна профілактика.....	63
ВИСНОВКИ	66

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67
ДОДАТКИ	69

ВСТУП

Металургійне підприємство з повним виробничим циклом охоплює сукупність взаємопов'язаних технологічних процесів, до яких належать агломераційне виробництво, доменна плавка чавуну, сталеплавильні та прокатні переділи. Серед зазначених етапів агломераційне виробництво відіграє ключову роль, оскільки саме тут формується агломерат — основна сировина для виплавки чавуну в доменних печах. Якість і стабільність параметрів агломерату безпосередньо впливають на ефективність подальших металургійних процесів та техніко-економічні показники підприємства загалом.

Сучасний технічний стан машин і механізмів агломераційного комплексу на багатьох підприємствах не повною мірою відповідає зростаючим вимогам виробництва. Це зумовлює необхідність модернізації обладнання, спрямованої на підвищення продуктивності, надійності та довговічності, впровадження автоматизованих систем керування, а також зниження експлуатаційних витрат і трудомісткості ремонтних робіт.

Із нарощуванням обсягів випуску продукції значно зростає залежність кінцевого результату від безперебійної та стабільної роботи кожного вузла і механізму, задіяного в технологічній лінії підготовки шихтових матеріалів. Оскільки агломераційний процес має безперервний характер, особливі вимоги висуваються до надійності дробильного обладнання.

Аналіз експлуатаційного досвіду показує, що валкові дробарки належать до найбільш матеріало- та ресурсомістких агрегатів агломераційних фабрик з точки зору обслуговування та ремонту. У зв'язку з цим актуальним є розроблення та обґрунтування технічних рішень, спрямованих на підвищення їх надійності та ресурсу роботи, зменшення металоємності конструкції та оптимізацію експлуатаційних витрат.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика цеху

Процес виробництва агломерату є багатостадійним і включає значну кількість взаємопов'язаних операцій, які умовно можна об'єднати у три основні етапи: підготовку вихідних матеріалів і шихти до спікання, безпосередньо процес агломерації та подальшу обробку продукту спікання з метою отримання агломерату із заданими фізико-механічними та гранулометричними характеристиками. Залежно від сировинної бази, технологічних умов і продуктивності підприємства, на кожній агломераційній фабриці застосовується індивідуальна, оптимізована технологічна схема.

До складу агломераційного цеху № 2 агломераційного департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (рис. 1.1) входять рудний двір, дільниці приймальних бункерів для руди, палива та флюсів, відділення дроблення коксу і вапняку, шихтове та спікальне відділення, ексаустерна дільниця, відділення циклу звороту, а також механічна майстерня і допоміжно-побутові приміщення.

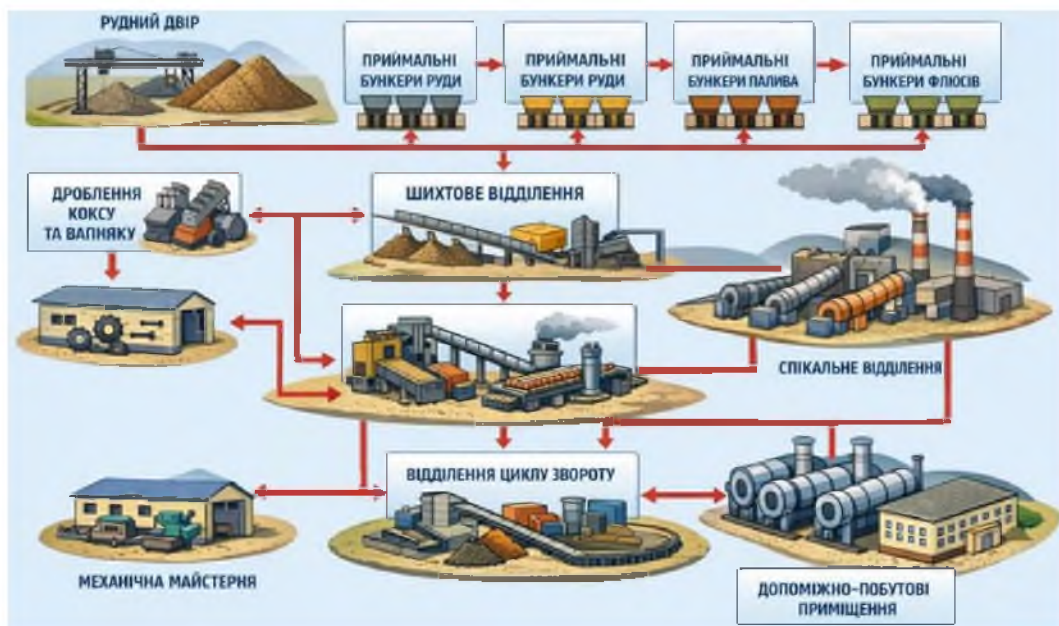


Рис. 1.1. Структурна схема агломераційної фабрики

Джерело: розроблено із використанням [1]

Основна маса сировинних компонентів, за винятком палива та вапняку, надходить на рудний двір залізничним транспортом і розвантажується у приймальну траншею за допомогою вагоноперекидача. Подальше штабелювання та усереднення матеріалів здійснюється рудно-грейферним перевантажувачем. Окрім штабелів аглошихти, на рудному дворі розміщуються окремі запаси вапняку, доломіту та марганцевої руди.

Приймальні бункери поділяються на три групи — для руди, коксового дріб'язку та вапняку. Видача флюсів і палива здійснюється тарілчастими живильниками, тоді як залізородна суміш дозується за допомогою вібраційних пристроїв. Транспортування матеріалів між відділеннями виконується двома незалежними трактами стрічкових конвеєрів.

Коксик фракцією до 25 мм подається у відділення дроблення, де подрібнюється у двохвалкових дробарках до необхідного гранулометричного складу, після чого надходить у бункери шихтового відділення. Вапняк, у свою чергу, проходить стадії дроблення, грохочення та класифікації, з поверненням надмірно крупних фракцій на повторне подрібнення.

У шихтовому відділенні компоненти розподіляються по бункерах відповідно до їх призначення, після чого дозовано подаються на збірні конвеєри і транспортуються у спікальне відділення. У барабанних змішувачах відбувається змішування, зволоження та огрудкування шихти.

Підготовлена шихта рівномірно укладається на спікальні візки агломераційної машини та надходить під запалювальний горн. Процес спікання забезпечується за рахунок розрідження, створюваного екстаустером. Продукти горіння проходять очищення у газовому колекторі та циклонних апаратах.

Готовий агломерат після грохочення розділяється за фракціями: дрібна частина повертається в цикл виробництва, а кондиційний агломерат відвантажується залізничним транспортом у доменне виробництво. [1]

1.2 Призначення і область застосування обраної машини, в якості об'єкту дослідження

Двохвалкова дробарка типу ДГ 400×250 призначена для подрібнення паливних матеріалів, зокрема коксу, до гранулометричного складу, що відповідає вимогам агломераційного виробництва (0...3 мм). Крім того, обладнання використовується для вторинного дроблення шматків матеріалу, отриманих після роботи короткоконусних дробарок типу КМД. Основною сферою застосування дробарки є агломераційні фабрики металургійних підприємств.

Подрібнення коксового матеріалу здійснюється за двоступеневою схемою з обов'язковим попереднім розсівом вихідної сировини. На першій стадії кокс надходить на колосниковий вібраційний грохот типу ГІТ-42 з робочою поверхнею розміром 1500×3000 мм, де матеріал розділяється за крупністю. Шматки коксу з розмірами понад 20 мм відокремлюються та спрямовуються на дроблення у короткоконусні дробарки, де відбувається їх попереднє подрібнення.

Матеріал з крупністю менше 20 мм після грохочення подається на наступну стадію дроблення. На цьому етапі застосовуються двухвалкові дробарки, які забезпечують остаточне зменшення розмірів частинок до необхідної фракції менше 3 мм. Використання такої технологічної схеми дозволяє отримати стабільний гранулометричний склад коксового палива, підвищити ефективність процесу агломерації та зменшити навантаження на обладнання наступних переділів. [2]

1.3 Технічна характеристика машини

Технічна характеристика двухвалкової дробарки ДГ 400×250 наведена в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Технічна характеристика двохвалкової дробарки

Параметр, од. вимір.	Значення
Тип	ДГ400×250
Розмір валків, мм	
- діаметр	400
- довжина	250
Ширина щілини між валками, мм	2... 12
Продуктивність, м ³ /год	2,7... 16,2
Максимальний розмір шматка, який подрібнюється, мм	20
Сила стиснення однієї пружини, Н	41200
Сила тиску на 1см валка, кН	4,905... 9,81
Частота обертання валків, об/хв	179
Електродвигун:	
- тип	А 61-8
- потужність, кВт	2×4,5
- частота обертання, об/хв	730
Габаритні розміри, мм:	
- довжина	2386
- ширина	1430
- висота	865
Маса, кг (без електродвигунів)	2200

Джерело: дані ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

1.4 Опис конструкції машини

Конструктивна схема двохвалкової дробарки типу ДГ 400×250 наведена на рис. 1.2. Дробарка належить до валкових машин з гладкими робочими поверхнями та працює за принципом стиснення матеріалу між двома валками, які розташовані паралельно в горизонтальній площині та обертаються назустріч один одному.

Основним несучим елементом дробарки є станина 1, у якій на підшипниках кочення змонтовано два вали 10 і 11. На валах встановлені валки, що складаються з маточин 12 та змінних бандажів 13, закріплених за допомогою клинових з'єднань. Робоча зона дроблення закрита захисним кожухом 14, а подавання матеріалу здійснюється через завантажувальну воронку 5.

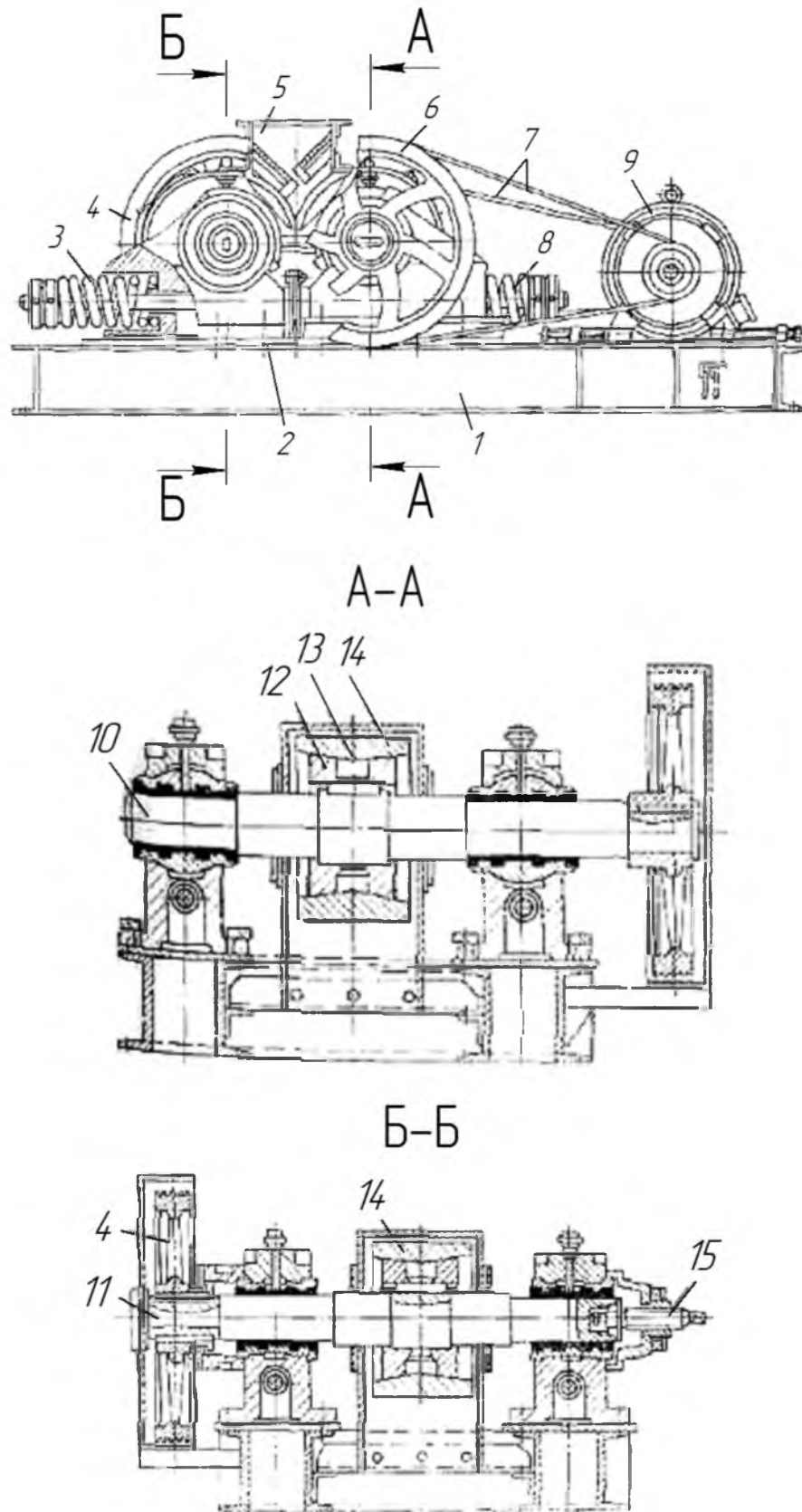


Рис. 1.2. Конструкція двохвалкової дробарки ДГ400×250

Джерело: розроблено із використанням [3]

Привод валків реалізовано від електродвигуна 9 через клинопасову передачу 7 та систему шківів 4 і 6, установлених на валах нерухомого та рухомого валків. Один із корпусів підшипників кожного валка виконаний рухомим, що дозволяє йому зміщуватися під дією зусилля від недробимого шматка, який потрапляє в камеру дроблення. При цьому стискаються спіральні пружини 3 і 8, що забезпечує захист обладнання від аварійних навантажень.

Регулювання зазору між валками здійснюється шляхом встановлення прокладок 2 між корпусами підшипників. Рухомий валок утримується у заданому положенні стрижнями зі спіральними пружинами, ступінь попереднього натягу яких регулюється гайками, що дозволяє змінювати зусилля дроблення. Для осевого регулювання положення валка використовується спеціальний гвинт 15 з фіксацією контргайкою; допустиме осеве переміщення становить до 20 мм у кожний бік.

У більшості випадків валки обертаються з однаковою кутовою швидкістю, однак для подрібнення м'яких, в'язких або вологих матеріалів застосовуються дробарки з різними швидкостями обертання валків, різниця яких становить 14...20 %. Периферійна швидкість валків у швидкохідних дробарках зазвичай знаходиться в межах 4...7 м/с, а в тихохідних — 2...3 м/с, при гранично допустимому значенні до 12 м/с. Ступінь дроблення в двохвалкових гладких дробарках для подрібнення твердих матеріалів складає 3...4, для м'яких – досягає 10.

Підшипники валків змащуються консистентним мастилом; за умови надійної герметизації корпусів змащування виконується, як правило, двічі на рік. [3]

1.5 Аналіз недоліків в роботі машини. Можливі причини недоліків

Експлуатаційний досвід використання двохвалкової дробарки типу ДГ 400×250 свідчить про наявність ряду конструктивних та експлуатаційних недоліків, які негативно впливають на надійність і економічну ефективність ро-

боти обладнання. До основних проблем слід віднести підвищені витрати на технічне обслуговування та ремонт, а також значні простой агрегату, пов'язані з тривалістю виконання ремонтно-відновлювальних робіт.

Детальний аналіз конструкції дробарки та умов її експлуатації показав, що першопричинами зазначених недоліків є ускладнена будова окремих вузлів, підвищена металоємність конструкції та наявність значних ударно-динамічних навантажень у процесі дроблення. Сукупна дія цих факторів призводить до інтенсивного зношування і передчасного виходу з ладу відповідальних деталей та вузлів дробарки.

Окрему увагу слід приділити приводу валків, виконаному на основі клинопасової передачі. В умовах агломераційного виробництва пасова передача працює за значних навантажень, у запиленому середовищі та за наявності вібрацій, що зумовлює її прискорений знос. Часті обриви та прослизання пасів, необхідність регулярного регулювання їх натягу, а також зниження коефіцієнта корисної дії призводять до зростання експлуатаційних витрат і зменшення загальної надійності приводу.

Крім того, пасова передача є чутливою до ударних навантажень, характерних для процесу дроблення коксу, що викликає нерівномірність передавання крутного моменту на валки.

1.6 Формування мети та задач для її досягнення

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення надійності роботи машини, поліпшення експлуатаційних характеристик та зменшення витрат на ремонт за рахунок збільшення терміну експлуатації приводу.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- виконати аналіз існуючих інноваційних технічних рішень і прогресивних концепцій у галузі дроблення, оцінити їхню практичну при-

датність і потенціал для впровадження в умовах агломераційного виробництва;

- розробити оновлену конструктивну схему привода валкової дробарки, надати детальний опис кожного конструкційного елемента, охарактеризувати його функціональні властивості та обґрунтувати очікувані технічні переваги;
- виконати комплекс інженерних розрахунків для обґрунтування працездатності, довговічності та техніко-економічної ефективності запропонованої конструкції, включно з аналізом навантажень, міцнісними характеристиками та динамічними параметрами;
- розробити практичні рекомендації щодо монтажу та введення в експлуатацію модернізованого обладнання, а також підготувати регламент технічного обслуговування і порядок виконання ремонтних операцій, спрямованих на підвищення зручності та надійності експлуатації;
- визначити комплекс організаційно-технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечної роботи валкової дробарки, включаючи оцінку потенційних ризиків, заходи щодо мінімізації впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників, а також рекомендації щодо їхнього контролю та профілактики.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз стану існуючих інноваційних рішень

Відома конструкція валкової дробарки [4], яка зображена на рис. 2.1.

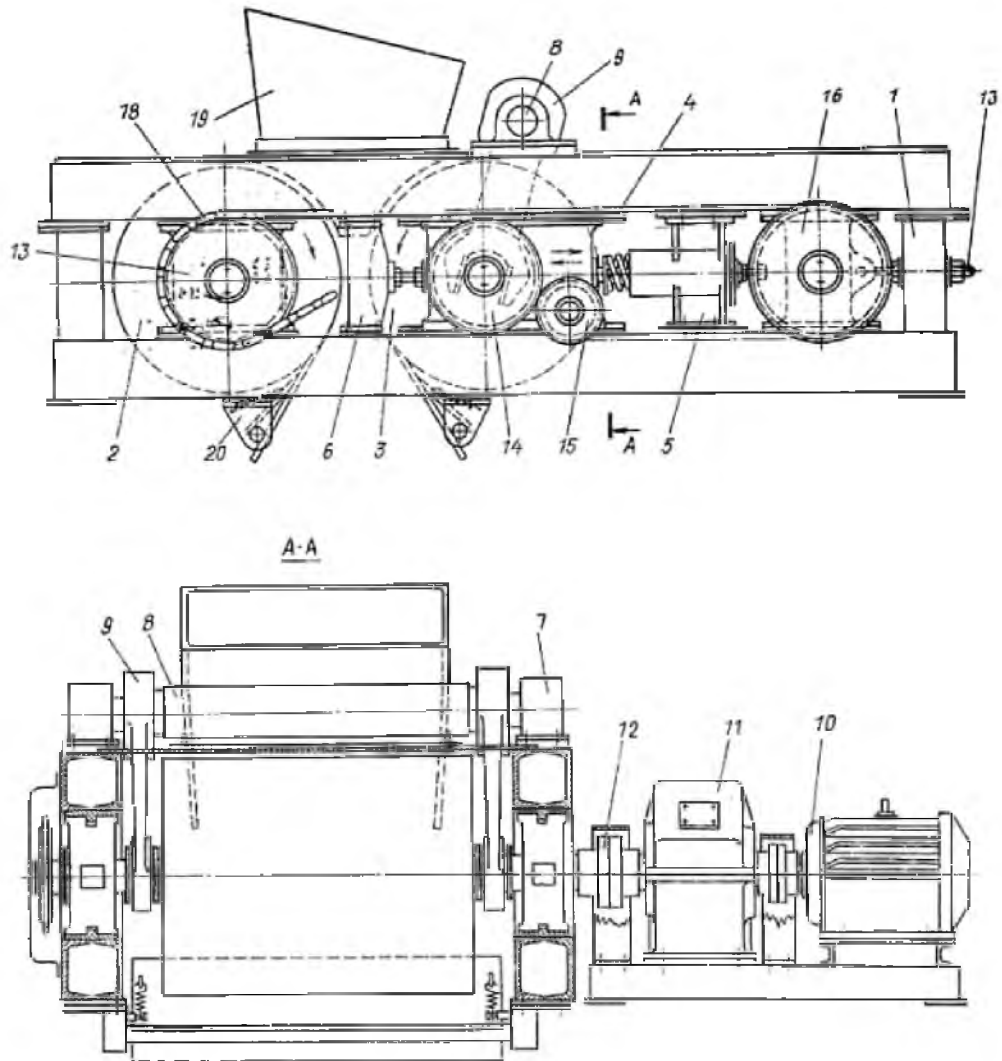


Рис. 2.1. Конструкція валкової дробарки

Джерело: розроблено із використанням [4]

Дробарка містить раму 1, на якій з можливістю обертання встановлені нерухомий 2 і рухомий 3 валки. Кожен з валків складається з барабана, насаженого на вал. Вали встановлені в підшипниках. Корпуси підшипників валка 2 нерухомо закріплені на рамі 1. Корпуси підшипників валка 3 мають можливість переміщу-

ватись по напрямним 4 рами 1, при цьому вони взаємодіють з пружинними пристроями 5. Для регулювання робочої щілини на кронштейні 6 слугує гвинт.

На рамі 1, в зоні рухомого валка 3, в підшипниках 7 встановлений вилчастий кронштейн 8 з пазами на кінцях важелів 9. Цими пазами охоплюється вал рухомого валка 3 з двох сторін барабана.

Привод дробарки складається з електродвигуна 10, редуктора 11, муфти 1, яка з'єднана з валом валка 2. Привод валка 3 здійснюється від вала валка 2 опосередковано через ланцюгову передачу, що містить зірочки 13, 14 і 15 і натяжний пристрій із зірочкою 16. Натягнення ланцюга 18 регулюється гвинтом 17. На рамі 1 також встановлена завантажувальна воронка 19 і скребкові пружинні пристрої.

Дробарка працює наступним чином. При сталому обертанні валків 2 і 3 назустріч один одному, через завантажувальну воронку 19 подається матеріал, який дробиться і розтирається валками. При виникненні підвищених зусиль стискання з однієї зі сторін робочої щілини валок 3 намагається відійти від валка 2 і давить своїм валом на один з важелів 9 вильчатого кронштейна 8. Одночасно другий важіль кронштейна передає це зусилля на протилежний кінець вала, в результаті чого валок 3 переміщується по напрямним 4 паралельно валку 2. Це дозволяє підвищити якість дроблення матеріалу, а також підвищити експлуатаційну надійність дробарки, так як усувається перекис в ланцюговій передачі і підшипникових вузлах. Проте така конструкція дробарки є занадто складною, а наявність муфти призводить до зниження надійності привода валків.

Відомий також передавальний механізм валкової дробарки [5], конструкція якого зображена на рис. 2.2.

Передагочний механізм двухвалкової дробарки має вали 1 і 2, на яких жорстко насаджені відповідно приводний 3 і ведений 4 валки. Валки оснащені шестернями 5 і 6 відповідно, при цьому валок 4 встановлений на підпружинений важелях 7, що гойдаються.

Шестерні валків кінематично з'єднані між собою через шестерні 8 і 9, що вільно посаджені на осях 10 і 11, змонтованих на опорній рамі 12. Вал 2 сполучений з важелями 7, жорстко посадженими на вісь 11. Шестерні 5, 6, 8 і 9 утворюю-

ють кінематичний ланцюг, в якому міжосьова відстань шестерень дорівнює робочій довжині важелів 7.

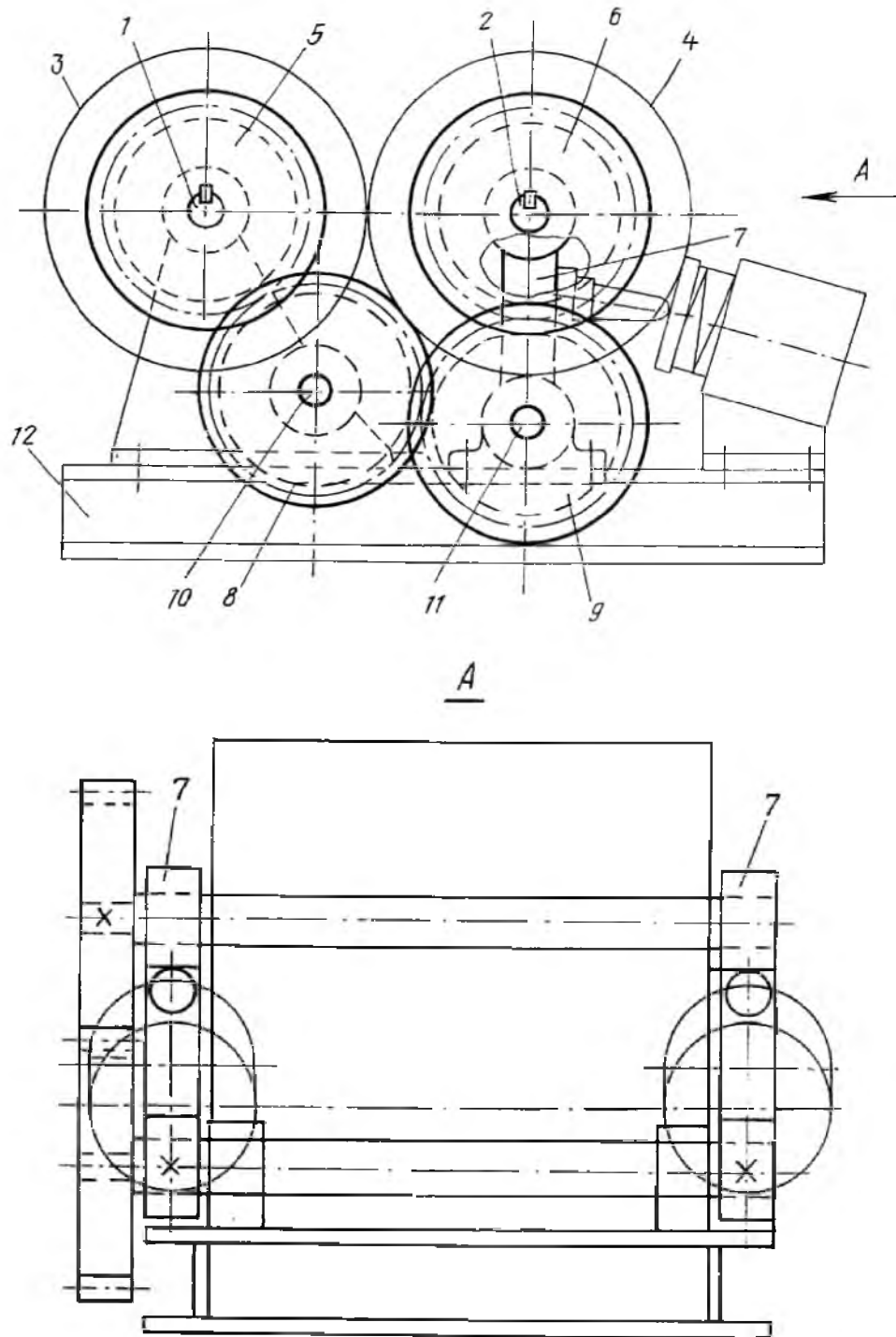


Рис. 2.2. Конструкція передавального механізму валкової дробарки

Джерело: розроблено із використанням [5]

При зміні міжосьової відстані валків (у випадку, наприклад, потрапляння з матеріалом не подрібнюваних тіл), при якій ведений валок 4 відхиляється на важелях 7, рух валка відбувається без порушення зачеплення шестерень і зі збереженням паралельності приводному валку за рахунок руху валка 4 по дузі, радіус якої так само дорівнює міжосьовій відстані шестерень. При цьому шестерні не відчують кутових зміщень зубців, і збільшується ККД за рахунок зменшення кількості точок ковзання.

Проте при конструюванні такої передачі виявилось, що габаритні розміри її є дуже значними, що приводить до збільшення інерційності валків і зубчатих коліс і збільшення навантаження на фундамент дробарки.

Відомі вальці для помелу керамічної сировини [6], які схематично показані на рис. 2.3., на рис. 2.4. показана система автоматичного врівноважування вальців.

Вальці складається з приводних валків рухомого 1 і нерухомого 2, станини 3, механізму 4 запобігання рухомого валка газогідравлічної системи 5 керування. Приводні валки 1 і 2 змонтовані на станині 3 і приводяться в обертання електродвигунами 6 і 7 через клинопасові передачі 8 і 9. Валок 2 являється нерухомим, так як він не переміщується в процесі роботи по станині 3. Приводний валок 1 змонтований з можливістю переміщення в напрямних 10 станини 3, його опори обертання підтиснуті до вертикального упору станини механізму 4 запобігання.

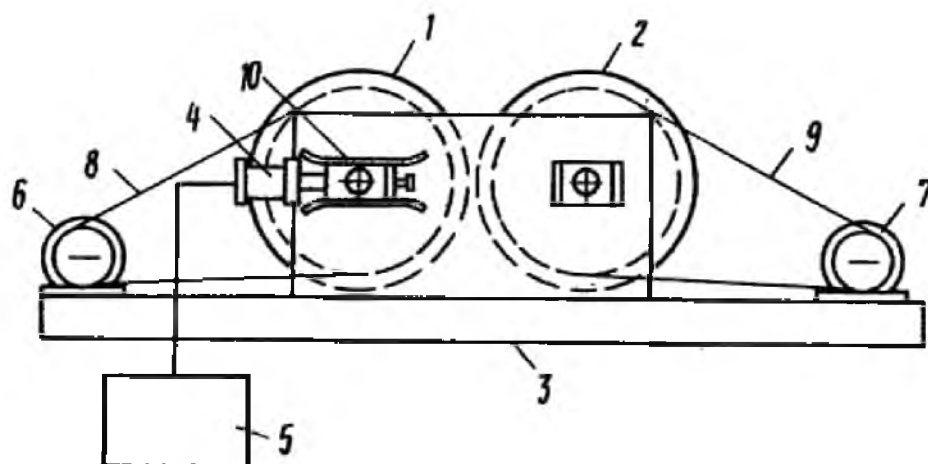


Рис. 2.3. Конструкція вальців (схематична)

Джерело: розроблено із використанням [6]

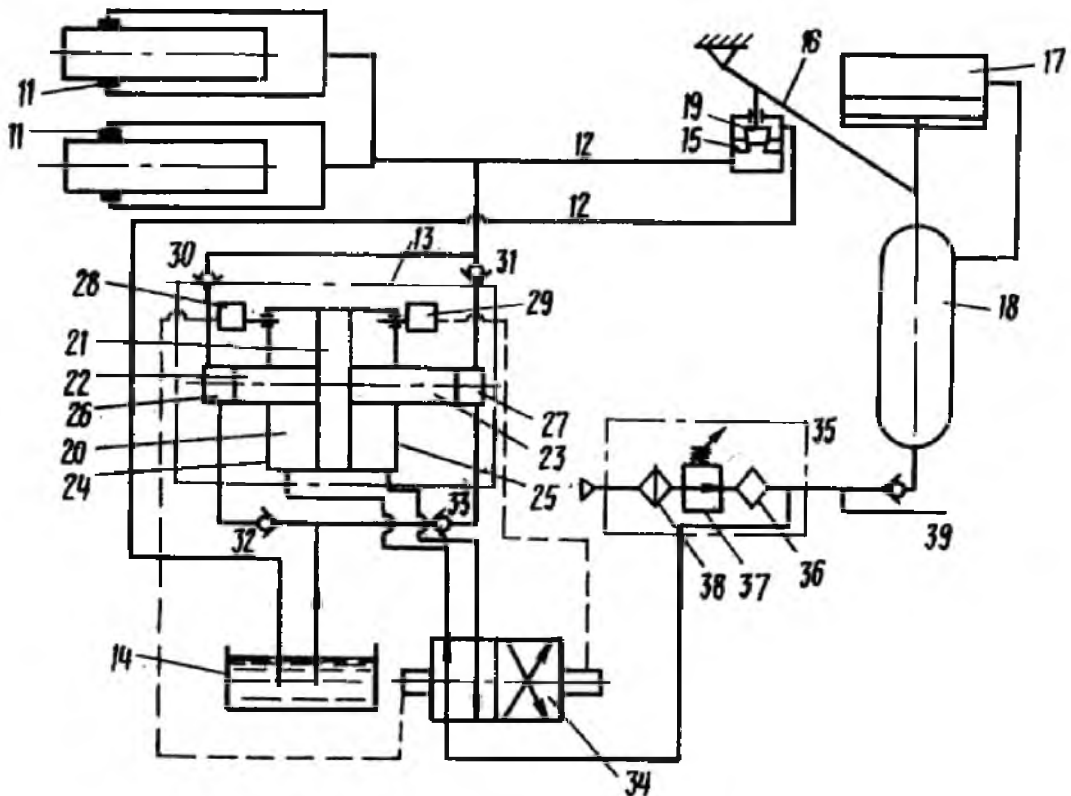


Рис. 2.4. Система автоматичного врівноважування вальців

Джерело: розроблено із використанням [6]

Механізм 4 запобігання призначений для зняття пікових навантажень при перевантаженнях, стабілізації зусиль розмелу і автоматичного повернення рухомого валка в робоче положення після зняття пікових зусиль.

Механізм 4 складається (див. рис. 2.4.) з гідроциліндрів 11 і гідропневматичної системи 12 автоматичного зрівноважування, що містить гідропневмомультіплікатор 13, ємність 14 мастила, клапан 15, двоплечий шарнірний важіль 16, пневмоциліндру 17 і акумулятор 18 тиску. Гідроциліндри з'єднані з клапаном 15 гідропневмомультіплікатором 13 і ємністю 14 мастила. Клапан 15 має сідло 19, яке з'єднано шарнірним важелем 16 з пневмоциліндром 17. Гідропневмомультіплікатор 13 складається з пневмоциліндра 20, поршня 21 з плунжерами 22 і 23, кришок 24 і 25, корпусів 26 і 27. В кришках 24 і 25 змонтовані штоки кінцевих вимикачів 28 і 29. Корпуси 26 і 27 з'єднані через зворотні клапани 30 і 31 з гідроциліндрами 11, а також через зворотні клапани 32 і 33 з ємністю 14 мастила.

Газогідравлічна система 5 керування призначена для керування механізмом 4 запобігання валка. Вона складається з розподільника 34, блока 35 підготовки повітря, що містить маслорозпилювач 36, регулятор 37 тиску і вологовідділювач 38. Блок 35 підготовки повітря з'єднаний магістраллю 39 з акумулятором 18 тиску. Кінцеві вимикачі 28 і 29 з'єднані з обмотками (на рис. 2.3. і 2.4. не показані) керування пневморозподільювача 34.

Вальці працюють наступним чином. Приводні валки 1 і 2 встановлені з суворо контрольованим зазором, обертаються назустріч один одному і розмелюють керамічну масу, що подається між валками живильником. Зазор між валками 1 і 2 повинен бути стабільним і контролюється гідروпневматичною системою 12 врівноважування наступним чином.

Регулятор 37 тиску встановлюється на потрібний тиск в залежності від заданих умов помелу, тобто зусилля на гідроциліндри 11, клапан 15 і пневмоциліндра 17. При потраплянні в вальці не подрібнених тіл розпірне зусилля між валками 1 і 2 зростає вище заданого і рухомий валок 1 відходить в напрямних 10, відтискує штоки гідроциліндрів 11. При відході валка 1 мастило в гідроциліндрах передає зусилля стискування на сідло 19 клапана 15, сідло 19 відходить і повертає двоплечий важіль 16, який переміщує поршень пневмоциліндра 17, стискаючи повітря в акумуляторі 18. При відході сідла 19 клапан 15, що має більшу пропускну здатність, відкривається і зливає надлишок мастила з порожнин гідроциліндрів 11 в ємність 14 мастила.

Після проходження не подрібненого тіла за час приблизно 0,01...0,015 с поршень пневмоциліндра 17 під дією стиснутого повітря і акумулятора 18 повертається у вихідне положення і важіль 16 закриває клапан 15. Як тільки клапан 15 закривається, рухомий валок під дією гідропневмомультіплікатора 13 повертається у вихідне положення.

Гідропневмомультіплікатор 13 працює наступним чином. Повітря з магістралі 39 через блок 35 підготування повітря і пневморозподільювач 34 подається, наприклад, у ліву порожнину гідропневмомультіплікатора 13, при цьому права порожнина пневмоциліндра 20 через пневморозподільювач 34 з'єднана з атмосфе-

рою Мاستило, що знаходиться в корпусі 27, видавлюється поршнем 21 через зворотній клапан 31 і гідроциліндри 11, повертаючи валок 1 у вихідне положення, одночасно з цим відбувається всмоктування мاستила з ємності 14 в лівий корпус 26. При досягненні крайнього положення поршня 21 від впливає на кінцевий вимикач 29, який дає команду розподільнику 34 на перемикач. Останній переміщується вліво, при цьому тиск повітря подається в праву порожнину циліндра 20, а ліва порожнина з'єднується з атмосферою. Поршень 21 починає переміщуватись вліво до врівноважування зусилля тиску повітря зусиллям плунжера 22, при цьому тиск в гідросистемі від гідроциліндрів 11 до клапана 15 стабілізується і поршень 21 зупиняється в нейтральному положенні, не доходячи до кінцевого вимикача 29.

Застосування такої системи врівноважування валків є придатним до роботи для дробарок з подрібнення керамічної сировини, проте для дроблення вугілля, чи то коксу, не потрібна така занадто складна, а значить коштовна в обслуговуванні система керування положенням валків.

2.2 Пропозиції по досягненню поставленої мети

На підставі проведеного аналізу стану наявних інноваційних рішень, враховуючи зазначені недолі існуючої конструкції пропонується для модернізації двохвалкової дробарки застосувати технічне рішення наведене в авторському свідоцтві [7], яке полягає у наступному.

Валкова дробарка (рис. 2.5) містить раму 1, на якій змонтовані приводний 2 і ведений 3 валки. Привод валка 2 здійснюється за допомогою електродвигуна 4 через пасову передачу 5 зі шківками 6 і 7 на вал 8, а привод валка 3 – за допомогою конічної шестерні 9, жорстко закріпленій на валу 8 валка 2, через конічні шестерні 10 і 11, жорстко насаджені на проміжний вал 12, на конічну шестерню 13, жорстко закріплену на валу 14 валка 3. Шестерні 9, 10, 11 і 13, закріплені на валах 8,

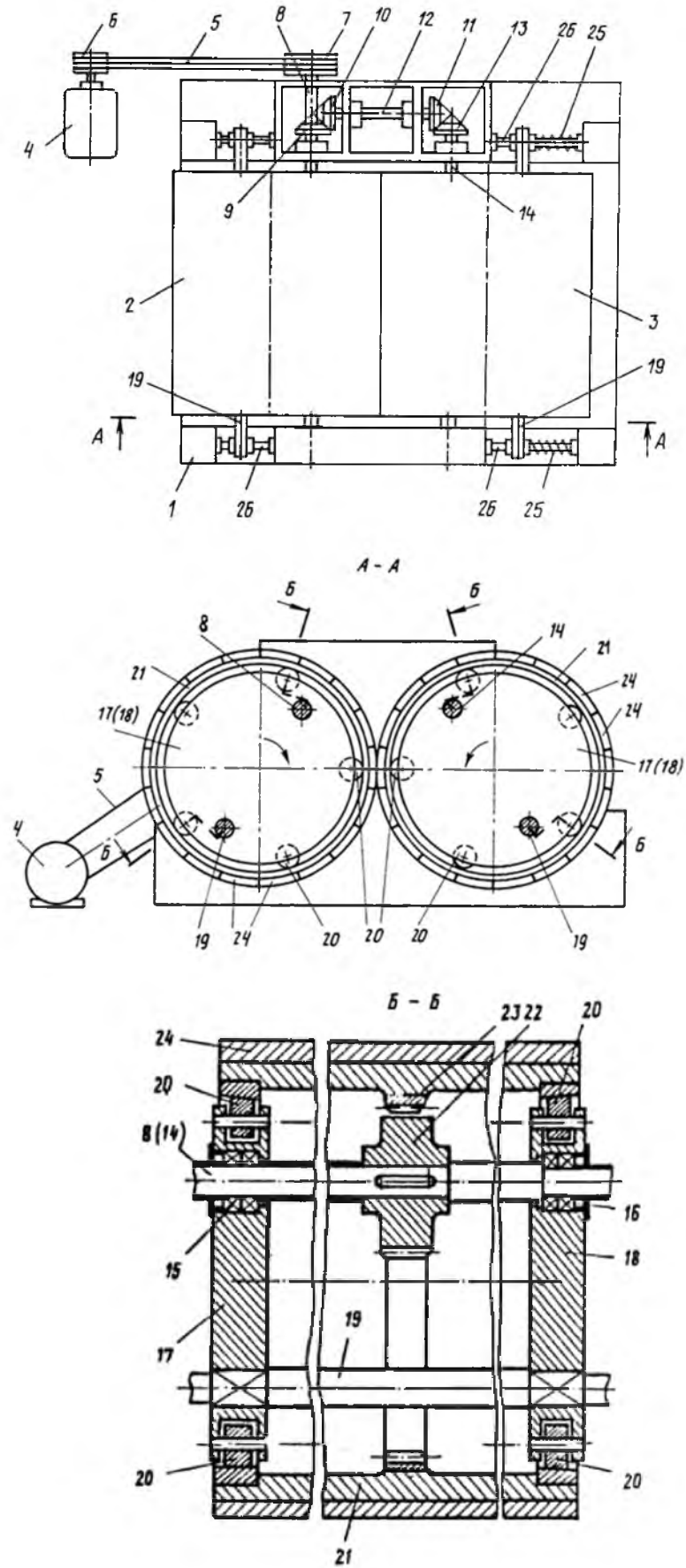


Рис. 2.5. Пропонована конструкція валкової дробарки

Джерело: розроблено із використанням [7]

12 і 14, представляють собою між валкову передачу, об'єднані в одному корпусі, розташованому на рамі 1.

Вали 8 і 14 розташовані ексцентрично відносно осей обертання валків 2 і 3. На валах 8 і 14 за допомогою підшипників 15 і 16 встановлені важелі 17 і 18, що гойдаються, які виконані у вигляді маточин, з'єднані між собою жорстким зв'язком 19 і оснащені роликівими конічними опорами 20. На роликівих опорах 20 з можливістю обертання встановлений корпус 21 валка 2 або 3, кінематично зв'язаний з валом 8 або 14 за допомогою вмонтованої у валок 2 або 3 передачі внутрішнього зачеплення, що складається з шестерні 22, жорстко встановленої на валу 8 або 14, і колеса 23, жорстко зв'язаного з внутрішньою поверхнею корпуса 21 валка 2 або 3. На зовнішній поверхні корпуса 21 жорстко закріплені знімні накладки 24, що утворюють робочу поверхню валка. Вільні кінці жорсткого зв'язку 19 виступають за межі валків 2 і 3 і можуть взаємодіяти з амортизаторами 25 (для валка 3) і регульованими упорами 26 (для валка 2). Обидва пристрої 25 і 26 призначені для утримування валків в робочому положенні з необхідним міжвалковим зазором.

Дробарка працює наступним чином. Від електродвигуна 4 через пасову передачу 5 зі шківками 6 і 7 обертання передається на вал 8, який обертається разом з жорстко насадженою на нього шестернею 22 і передає обертання на колесо 23 корпуса 21 приводного валка 2. В результаті корпус 21 валка 2 починає вільно обертатись на роликівих конічних опорах 20 важелів 17 і 18. Одночасно обертання передається через шестерні 9, 10, 11 і 13 на вал 14 і далі через шестерню 22 на колесо 23 корпуса 21 валка 3. В результаті валки 2 і 3 починають обертатись назустріч один одному. Необхідний міжвалковий зазор забезпечується за допомогою регульованих упорів 26 і амортизаторів 25. Матеріал подається зверху в зазор між валками 2 і 3. Дроблення матеріалу здійснюється жорстко закріпленими на корпусах 21 валків 2 і 3 знімними накладками 24. У випадку потрапляння у міжвалковий зазор не подрібнюваного тіла, корпус 21 веденого валка 3 намагається відійти від валка 2, збільшуючи міжвалковий простір. При цьому корпус 21 валка через роликіві конічні опори 20 діє на важелі 17 і 18, зв'язані між собою жорст-

ким зв'язком 19, які повертаються на підшипниках 15 і 16 відносно осі вала 14. В результаті відбувається паралельний відхід валка 3 від валка 2, в процесі якого вільні кінці зв'язків 19 діють на амортизатори 25. Після проходу не подрібнюваного тіла амортизатори 25 повертаються валок 3 в робоче положення.

Пропонована конструкція валкової дробарки дозволить зменшити металоємність дробарки, підвищити її надійність та як наслідок скоротити витрат на обслуговування і ремонт.

2.3 Аналітичні розрахунки

З метою збереження існуючої пропускної здатності ланки двохвалкова дробарка ДГ400х250 повинна відповідати наступним вимогам:

Діаметр валка, мм	900
Довжина валка, мм	700
Ширина вихідного зазору валків, мм	3
Межа міцності дробленого матеріалу при стисканні, МПа	30
Частота обертання валків, об/хв (об/с)	179 (2,983)

Продуктивність валкової дробарки можна обчислити, якщо представити процес дроблення як рух стрічки матеріалу шириною, рівній довжині валка і товщиною, рівній ширині вихідної щілини. Тоді обсяг матеріалу за один оберт валка, що пройшов через вихідну щілину буде дорівнювати

$$V = \pi \cdot D \cdot L \cdot a = 3,14 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 0,003 = 0,00495 \text{ м}^3, \quad (2.1)$$

де $D = 0,9$ м – діаметр валка; $L = 0,7$ м – довжина валка; $a = 0,003$ м – зазор між нижніми валками.

Виходить, що при певній частоті обертів продуктивність дробарки складатиме

$$Q = V \cdot n = 0,00495 \cdot 2,983 = 0,048 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.2)$$

де $n = 2,983$ об/с – частота обертання валків.

Необхідно мати на увазі, що при дробленні матеріалів середньої міцності пружини, що підтискають рухомі валки, трохи стискаються й валки розходяться. При цьому ширина вихідної щілини може суттєво змінитися, що потрібно враховувати, особливо при дрібному дробленні порід середньої міцності на гладких впритул зрушених валках, тобто при $a = 0 - Q = 0$.

Фактично продуктивність не дорівнює нулю, тому що валки розсовуються на ширину, що залежить від фактичних зусиль дроблення й ступені твердості запобіжних пружин. В такому випадку

$$Q = \pi \cdot D \cdot L \cdot (a + b) \cdot n = 3,14 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot (0,003 + 0,000625) \cdot 2,983 = 0,0184 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.3)$$

де $b = 0,000625$ м – відстань на яку розширюється міжвалковий зазор при стисненні пружин.

Так як зазвичай довжина валка використовується не повністю й матеріал виходить із дробарки в розпушеному вигляді, а не щільною стрічкою, то у формулу продуктивності вводиться коефіцієнт, що враховує ступінь розпушеності матеріалів. Крім того, в формулу вводиться також величина щільності матеріалу.

Визначимо фактичну продуктивність 4-х валкової дробарки

$$Q_{\text{факт}} = Q \cdot \mu \cdot \rho = 0,0184 \cdot 0,25 \cdot 1,25 \cdot 3600 = 20,7 \text{ т/год}, \quad (2.4)$$

де $\mu = 0,2 \dots 0,3$ – коефіцієнт, що враховує ступінь розпушеності матеріалу;
 $\rho = 1,2 \dots 1,3 \text{ т/м}^3$ – щільність матеріалу, що дробиться (кокс).

2.3.1 Розрахунок потужності приводу

Розрахунок потужності приводу валків ведемо за [8].

Необхідну потужність електродвигуна валкової дробарки можна визначити, якщо врахувати витрати потужності на дроблення матеріалу й тертя в підшипниках, тобто на подолання всіх опорів при роботі машини

$$N_{\text{розр}} = \frac{N_1 + N_2}{\eta}, \quad (2.5)$$

де N_1 – потужність, що витрачається на дроблення матеріалу, кВт; N_2 – потужність, що витрачається на подолання тертя в підшипниках, кВт; η – ККД передачі, приймаємо $\eta = 0,95$.

Дроблення матеріалу здійснюється певними зусиллями, середнє значення яких складає

$$P_{\text{сер}} = \sigma_{\text{ст}} \cdot L \cdot l \cdot \mu = 20 \cdot 10^6 \cdot 0,7 \cdot 0,13 \cdot 0,25 = 5,46 \cdot 10^5 \text{ Н}, \quad (2.6)$$

де $\sigma_{\text{ст}} = 20$ МПа – межа міцності на стискання, матеріалу, що дробиться; l – довжина дуги на ділянці подрібнювання матеріалу, визначається як

$$l = R \cdot \alpha = D \cdot \frac{\alpha}{2} = 0,145 \cdot D = 0,145 \cdot 0,9 = 0,13 \text{ м}, \quad (2.7)$$

де $\alpha = 16^\circ 40''$ – кут захоплення матеріалу.

Клушанцевим Б. В. встановлено, що коефіцієнт розпушення слушний при розрахунках продуктивності, не повністю відображає завантаження камери дроблення при визначенні діючих зусиль. При дробленні міцного кускового матеріалу відбуваються часткове ковзання окремих шматків, обминання або обколювання їх країв та інші явища, які не викликають більших зусиль. [9]

Фактична кількість шматків, що зазнають розколювання в якийсь момент, значно менше кількості шматків, що перебувають у зоні дроблення. Тому при визначенні зусилля дроблення в розрахункову формулу необхідно додатково ввести коефіцієнт, враховуючий одночасність розколювання, який за дослідними даними для середньої міцності й міцних складає близько $\lambda = 0,01 \dots 0,02$.

В такому випадку середнє зусилля дроблення складатиме

$$P_{\text{сер } 1} = P_{\text{сер}} \cdot \lambda = 5,46 \cdot 10^5 \cdot 0,02 = 10920 \text{ Н.} \quad (2.8)$$

При захваті валками шматків матеріалу середнє сумарне зусилля $P_{\text{сум}}$ дроблення викликає силу тертя, рівну

$$P_{\text{сум}} = f \cdot P_{\text{сер } 1} \quad (2.9)$$

де $f = 0,3 \dots 0,45$ – коефіцієнт тертя матеріалу по валкам.

Добуток цієї сили на радіус « R » валка являє собою момент сили, на подолання якого витрачається частина потужності двигуна. Добуток моменту сили тертя й кутової швидкості валка визначає потужність, необхідну для дроблення

$$N_1 = \omega \cdot P_{\text{сер } 1} \cdot f \cdot R = 18,72 \cdot 10920 \cdot 0,4 \cdot 0,45 = 3,68 \text{ кВт,} \quad (2.10)$$

де ω – кутова швидкість валка, с^{-1}

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 2,983}{30} = 18,72 \text{ с}^{-1}. \quad (2.11)$$

Визначимо потужність, необхідну для подолання сил тертя в підшипниках валків

$$N_2 = \omega \cdot d \cdot f_1 \cdot G = 18,72 \cdot 0,17 \cdot 0,001 \cdot 11538,5 = 0,038 \text{ кВт}, \quad (2.12)$$

де $d = 0,17$ м – діаметр шийки вала валка, прийнятий конструктивно; G – еквівалентне радіальне навантаження на підшипник валка, Н.

$$G = \sqrt{Q_{\text{вал}}^2 + P_{\text{сер}1}^2} = \sqrt{37270^2 + 10920^2} = 11538,5 \text{ Н}, \quad (2.13)$$

де $Q_{\text{вал}} = 37270$ Н – вага валка.

Визначимо загальну потужність електродвигуна валкової дробарки

$$N_{\text{розр}} = \frac{N_1 + N_2}{0,95} = \frac{3,68 + 0,038}{0,95} = 3,976 \text{ кВт}.$$

Виконаний розрахунок показує, що існуючий електродвигун типу А61-8, для якого: $N_{\text{дв}} = 4,5$ кВт; $n_{\text{дв}} = 750$ об/хв придатний до роботи в модернізованій конструкції.

2.3.2 Силовий та кінематичний аналіз механізму

Визначимо необхідне передаточне число привода

$$i = \frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{в}}} = \frac{750}{179} = 4,078, \quad (2.14)$$

де $n_{\text{в}} = 179$ об/хв – частота обертання валка.

Через необхідність обертання обох валків з однаковою швидкістю приймаємо передаточне відношення конічної передачі $i_{\text{к}} = 1$.

Звідси передаточне відношення циліндричної внутрішньої передачі

$$i_{\text{вн}} = i = 4,078.$$

Визначимо частоту обертання всіх валів. Оскільки передаточне відношення в конічних зачепленнях дорівнює 1,0, то

$$n_1 = n_2 = n_{\text{дв}} = 750 \text{ об/хв.}$$

$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_{\text{дв}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{дв}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 750}{30} = 18,73 \text{ с}^{-1}. \quad (2.15)$$

Визначимо крутний момент на валу електродвигуна

$$T_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{дв}}}{\omega_{\text{дв}}} = \frac{4500}{18,73} = 1061,4 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.16)$$

Крутний момент на приводних валах складатиме

$$T_1 = T_2 = \frac{T_{\text{дв}}}{i \cdot \eta} = \frac{1061,4}{4,078 \cdot 0,97} = 271,1 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.17)$$

2.3.3 Розрахунок та вибір елементів кінематичної схеми

Розрахунок конічної зубчатої передачі

Для отримання порівняно невеликих габаритів передачі, припускаючи, що діаметр шестерні $d \leq 125$ мм ширина вінця колеса $b \leq 80$ мм, для виготовлення колеса і шестерні приймаємо відповідно до [10] сталь 40Х (поковка). Назначаємо для шестерні і колеса одну і ту ж твердість робочих поверхонь зубців – 48 HRC₃, термічна обробка – покращення.

Розрахунок ведемо за методикою [10]. Визначимо межу контактної та згинальної міцності зубців

$$\sigma_{Hmin} = 17 \cdot HRC_3 + 200 = 17 \cdot 48 + 200 = 1016 \text{ МПа}; \quad (2.18)$$

$$\sigma_{Fmin} = 0,65 \cdot \sigma_{Hmin} = 0,65 \cdot 1016 = 650 \text{ МПа}. \quad (2.19)$$

Визначимо допустиму контактну напругу зубців

$$\sigma_H = \frac{\sigma_{Hmin}}{S_{Hmin}} \cdot Z_N = \frac{1016}{1,2} \cdot 1 = 847 \text{ МПа}, \quad (2.20)$$

де $S_{Hmin} = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує довжину контактної лінії для зубчатих коліс із поверхневим зміцненням зубців; $Z_N = 1$ – коефіцієнт ресурсу роботи, при 36000 годин.

Визначимо допустиму напругу вигину при розрахунку на втому

$$\sigma_F = \frac{\sigma_{Fmin}}{S_{Fmin}} \cdot Y_a \cdot Y_N = \frac{650}{1,75} \cdot 1 \cdot 1 = 371 \text{ МПа}, \quad (2.21)$$

де $S_{Fmin} = 1,75$ – коефіцієнт, що враховує ширину контактної лінії для поковок і штамповок; $Y_a = 1$ – коефіцієнт, що враховує симетричність прикладення навантаження, при односторонньому прикладенні; $Y_N = 1$ – коефіцієнт, що враховує тривалість роботи передачі при 36000 годин.

При

$$\psi_{bd} = \frac{b}{d} = 0,166 \cdot \sqrt{i_k^2 + 1} = 0,166 \cdot \sqrt{1^2 + 1} = 0,23. \quad (2.22)$$

Визначаємо значення коефіцієнта $K_{H\beta 1} = 1,23$. Тоді коефіцієнт, що враховує розподілення навантаження по ширині колеса складатиме

$$K_{H\beta} = \sqrt{K_{H\beta 1}} = \sqrt{1,23} = 1,11. \quad (2.23)$$

Визначимо коефіцієнт виду зубів

$$v_H = 0,81 + 0,15 \cdot i = 0,96. \quad (2.24)$$

Знаходимо розрахункове значення зовнішнього ділительного діаметра

$$d_e = 165 \cdot \sqrt[3]{\frac{10^3 \cdot T \cdot K_{H\beta} \cdot i}{\sigma_H^2 \cdot v_H}} = 165 \cdot \sqrt[3]{\frac{10^3 \cdot 1061,4 \cdot 1,11 \cdot 1}{847^2 \cdot 0,96}} = 125 \text{ мм}. \quad (2.25)$$

За ГОСТ 12289-76 приймаємо $d_e = 125$ мм і $b = 21$ мм.

Знаходимо число зубів одного колеса, приймаючи $C = 11,2$.

$$z = C \cdot \sqrt[3]{i^2} \cdot \sqrt[6]{d_e} = 11,2 \cdot \sqrt[3]{1^2} \cdot \sqrt[6]{125} = 25. \quad (2.26)$$

Визначаємо зовнішній окружний модуль

$$m_e = \frac{d_e}{z} = \frac{125}{25} = 5 \text{ мм}. \quad (2.27)$$

Схема до визначення основних геометричних параметрів конічних коліс показана на рис. 2.6.

Визначимо кути ділительних конусів

$$\delta = \arctg i = \arctg 1 = 45^\circ \quad (2.28)$$

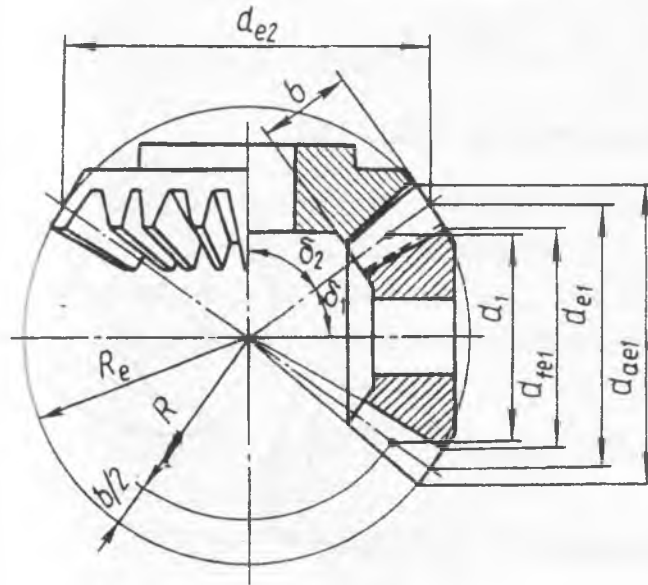


Рис. 2.6. Схема до визначення геометричних параметрів конічних коліс
Джерело: розроблено із використанням [10]

Визначимо зовнішню конусну відстань

$$R_e = 0,5 \cdot m_e \cdot \sqrt{z^2 + z^2} = 0,5 \cdot 5 \cdot \sqrt{25^2 + 25^2} = 88,39 \text{ мм.} \quad (2.29)$$

Визначимо зовнішній ділительний діаметр

$$d_e = m_e \cdot z = 5 \cdot 25 = 125 \text{ мм.} \quad (2.30)$$

Визначимо діаметр вершин зубців

$$\begin{aligned} d_a &= d_e + 1,64 \cdot m_e \cdot \cos \delta = 125 + 1,64 \cdot 5 \cdot \cos 45^\circ = \\ &= 130,8 \text{ мм.} \end{aligned} \quad (2.31)$$

Визначимо середній діаметр шестерень

$$d = d_e \cdot (1 - 0,5 \cdot K_{be}) = 125 \cdot (1 - 0,5 \cdot 0,237) = 110,19, \quad (2.32)$$

де K_{be} – коефіцієнт ширини зубчатого вінця, визначається як

$$K_{be} = \frac{b}{R_e} = \frac{21}{88,39} = 0,237. \quad (2.33)$$

Зіставляючи габаритні розміри коліс спроектованої конічної передачі з рекомендаціями [10], впевнюємось, що призначена на початку розрахунку марка сталі 40X і термічна обробка коліс не потребують змін.

Розрахунок клинопасової передачі ведемо за [11], враховуючи, що передаточне число передачі рівне одиниці.

Визначимо діаметр ведучого шківів

$$\begin{aligned} D_1 = D_2 &= K \cdot \sqrt[3]{T_{дв} \cdot 10^3} = (3 \dots 4) \cdot \sqrt[3]{1061,4 \cdot 10^3} = \\ &= 306 \dots 408 \text{ мм}, \end{aligned} \quad (2.34)$$

де K – емпіричний коефіцієнт, для полі клинових ременів $K = 3 \dots 4$.

Враховуючи розрахунковий інтервал діаметрів, приймаємо стандартне значення $D_1 = 355$ мм. Даному діаметру відповідає полі клиновий пас перетином «Л», для якого $d_{min} = 180$ мм. Прийняте значення ведучого шківів не повинно бути менше d_{min} . Для зменшення напруги вигину в паску і збільшення його довговічності, при відсутності жорстких вимог до габаритів, рекомендується діаметр ведучого шківів приймати в розрахунковому інтервалі – більшим.

Визначимо кутову швидкість веденого шківів з урахуванням прослизання ремня

$$\begin{aligned} \omega_2^{пр} &= \frac{D_1 \cdot \omega_1 \cdot (1 - \varepsilon)}{D_2} = \frac{355 \cdot 18,73 \cdot (1 - 0,015)}{355} = \\ &= 18,44 \text{ с}^{-1}, \end{aligned} \quad (2.35)$$

де $\varepsilon = 0,015 \dots 0,02$ – коефіцієнт прослизання ременя.

Визначимо передаточне число з урахуванням прослизання ременя

$$u_{\text{р.п.}}^{\text{пр}} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{18,72}{18,44} = 1,015. \quad (2.36)$$

Визначимо мінімальне значення міжосьової відстані

$$\begin{aligned} a_{\min} &= 0,55 \cdot (D_1 + D_2) + H = 0,55 \cdot (355 + 355) + 9,5 = \\ &= 400 \text{ мм}, \end{aligned} \quad (2.37)$$

де H – висота перетину ременя, для поліклінового пасу перетином «Л»
 $H = 9,5$ мм.

Визначимо розрахункову довжину паса

$$\begin{aligned} L_p &= 2 \cdot a_{\min} + \frac{D_1 + D_2}{2} \cdot \pi + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4 \cdot a_{\min}} = \\ &2 \cdot 400 + \frac{355 + 355}{2} \cdot 3,14 + \frac{(355 - 355)^2}{4 \cdot 400} = 1915,26 \text{ м}. \end{aligned} \quad (2.38)$$

Для поліклінового пасу перетином «Л» приймаємо стандарту довжину
 $L_p = 2000$ мм.

Визначимо лінійну швидкість паса передачі

$$v = \omega_2^{\text{пр}} \cdot \frac{D_2}{2} = 18,44 \cdot \frac{0,355}{2} = 3,273 \text{ м/с}. \quad (2.39)$$

Визначимо кут обхвату ведучого шківа

$$\alpha_1 = 180^\circ - 60^\circ \cdot \left(\frac{D_2 - D_1}{a_p} \right) = 180^\circ - 60^\circ \cdot \left(\frac{355 - 355}{400} \right) = 180^\circ. \quad (2.40)$$

Схема визначення зусиль, що діють у передачі показана на рис. 2.7.

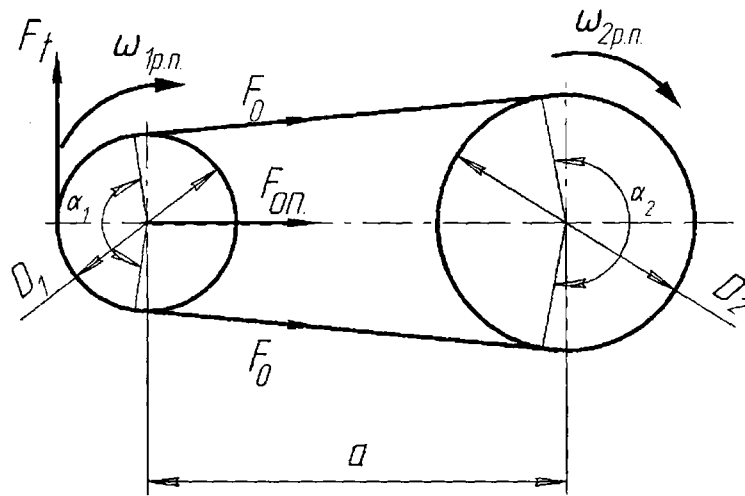


Рис. 2.7. Схема визначення зусиль, що діють в передачі

Джерело: розроблено із використанням [11]

Визначимо окружну силу, що передається пасом

$$F_t = \frac{N_{дв} \cdot 10^3}{v} = \frac{4,5 \cdot 10^3}{3,273} = 1375 \text{ Н.} \quad (2.41)$$

Визначимо силу попереднього натягу паса

$$F_0 = \frac{850 \cdot N_{дв} \cdot C_L}{v \cdot C_\alpha \cdot C_p} = \frac{850 \cdot 4500 \cdot 1}{3,273 \cdot 0,82 \cdot 0,7} = 1168,65 \text{ Н,} \quad (2.42)$$

де $C_L = 1$ – коефіцієнт, що враховує вплив довжини ременя на його довговічність; $C_\alpha = 0,82$ – коефіцієнт, що враховує вплив кута обхвату ременем ведучого шківа; $C_p = 0,7$ – коефіцієнт режиму роботи.

Визначимо силу, що діє на вали

$$F_{оп} = 2 \cdot F_0 \cdot \sin \frac{\alpha_1}{2} = 2 \cdot 1168,65 \cdot \sin \frac{180^\circ}{2} = 2337,3 \text{ Н.} \quad (2.43)$$

Визначимо ширину шківів

$$B_1 = B_2 = t \cdot (Z - 1) + 2 \cdot l = 4,8 \cdot (10 - 1) + 2 \cdot 5,5 = 54,2 \text{ мм}, \quad (2.44)$$

де t і l – конструктивні параметри шківів передачі, для поліклинових шківів $t = 4,8$ мм, $l = 5,5$ мм; $Z = 10$ – кількість ребер поліклинових шківів.

2.3.4 Розрахунки на міцність

Розрахунки на міцність поліклинового паса ведемо за [12].

Визначимо напругу від зусилля, що передається пасом

$$\sigma_1 = \frac{F_t}{A} = \frac{1375}{227,2} = 6,05 \text{ МПа}, \quad (2.45)$$

де A – площа поперечного перетину ремня, $A = 227,2$ мм².

Визначимо напругу від зусилля попереднього натягу

$$\sigma_2 = \frac{F_0}{A} = \frac{1168,65}{227,5} = 5,14 \text{ МПа}. \quad (2.46)$$

Визначимо еквівалентну напругу в пасі та порівняємо з межею міцності матеріалу, з якого він зроблений

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} = \sqrt{6,05^2 + 5,14^2} = 7,93 \text{ МПа} < [\sigma_p] = 20 \text{ МПа}, \quad (2.47)$$

де $[\sigma_p]$ – межа міцності на розрив матеріалу паса — гума з синтетичного ізопренового каучуку СІК, $[\sigma_p] = 20$ МПа.

2.4 Монтаж, ремонт, змашення

2.4.1 Прив'язка машини до технологічного тракту

Дробарка встановлюється на залізобетонний фундамент. Допустимі відхилення фактичних розмірів від проектних не повинні перевищувати [13]:

- для розмірів прив'язок осей ± 20 мм;
- для висотних позначок -30 мм;
- для розмірів в плані ± 30 мм;
- для осей анкерних болтів ± 5 мм;
- для відмітки верхніх торців анкерних болтів -20 мм.

Приймання готового фундаменту полягає в перевірці відповідності його фактичних висотних позначок і розташування закладних деталей під анкерні болти проектним.

Геодезичне обґрунтування монтажу дробарки показане на рис. 2.8.

За нульову висотну відмітку приймаємо рівень чистої підлоги першого поверху фабрики. Прив'язка дробарки виконується до осей механічного обладнання спряженого з дробаркою відповідно до технологічної схеми.

2.4.2 Технологічна карта монтажу

Враховуючи незначні габарити, до місця монтажу дробарку транспортується у складеному вигляді залізничним транспортом.

Після доставки обладнання на комбінат, проводять звірку комплектності, після чого платформу відправляють до агломераційного цеху № 2.

Відомість необхідних для монтажу матеріалів приведена в табл. 2.1, відомість монтажного устаткування, пристроїв та інструментів наведена в табл. 2.2.

Монтажне креслення зі специфікацією показані на рис. 2.9.

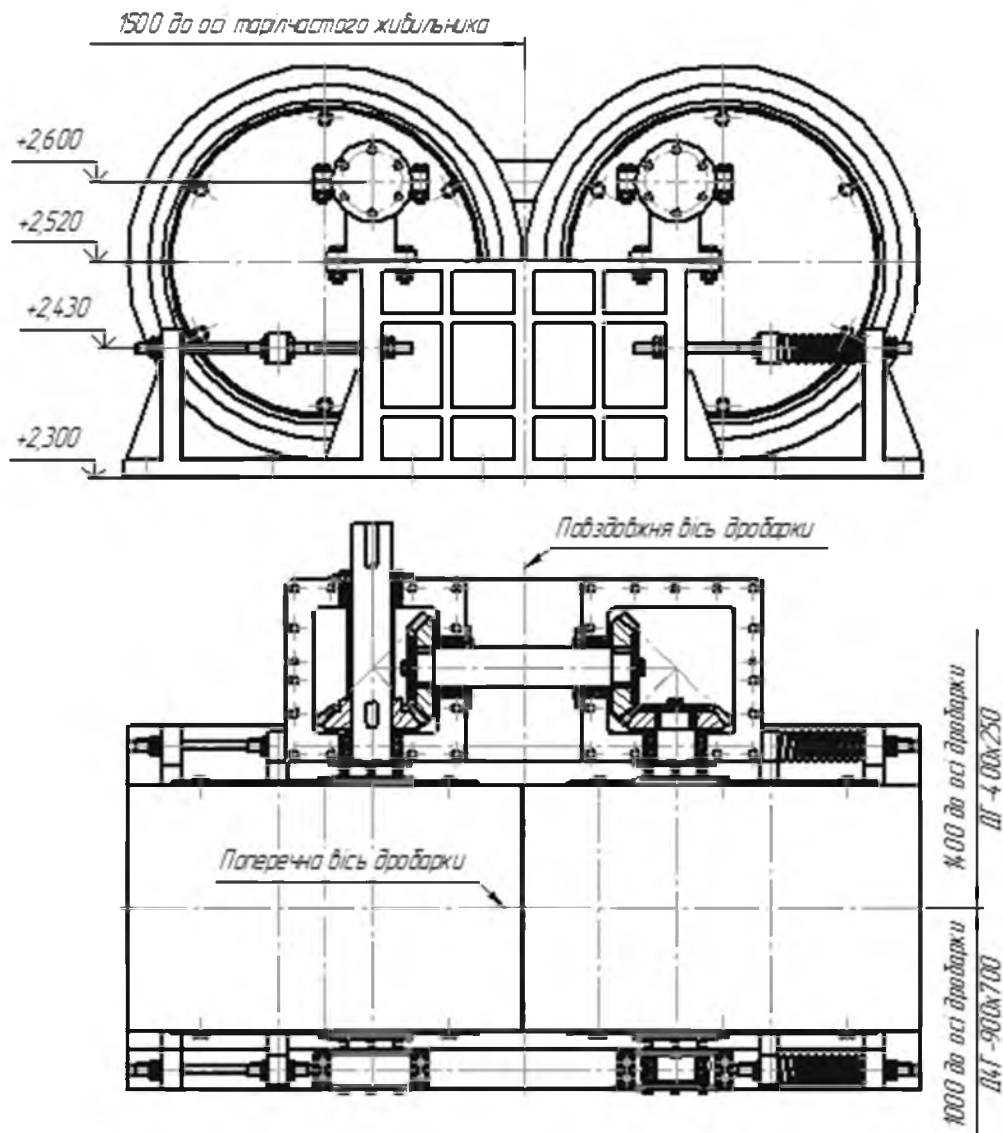


Рис. 2.8. Геодезичне обґрунтування монтажу
(розроблено автором)

Таблиця 2.1

Відомість необхідних для монтажу матеріалів

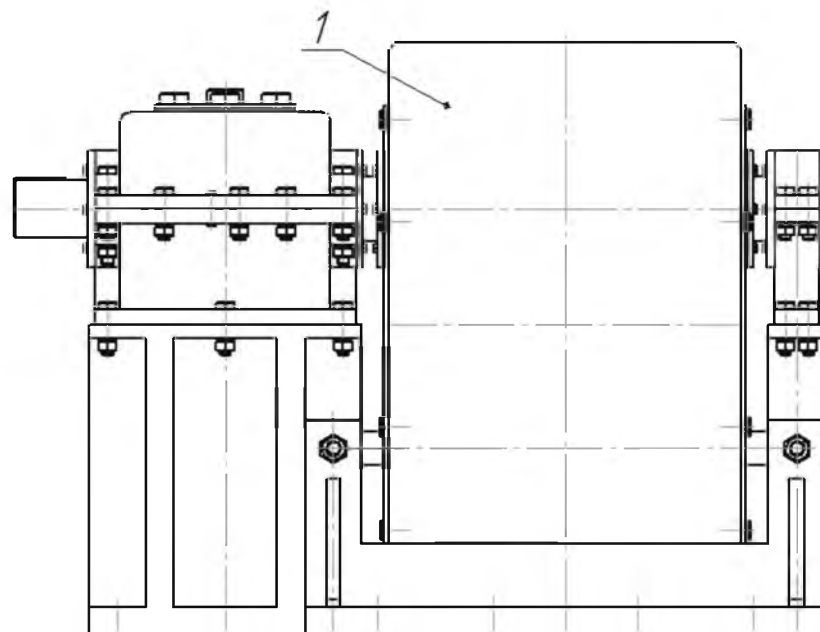
Найменування	Од. вимірювання	Кількість
Гас технічний	л	14,1
Обтиральні матеріали	кг	2
Кисень	м ³	3

Джерело: розроблено автором

Відомість монтажного устаткування та інструментів

Найменування	Од. вимірювання	Кількість
Ключі гайкові від S12 до S100	шт	12
Електромостовий кран Q = 20/5 т	шт	1
Кувалда	шт	2
Зубило слюсарне	шт	2
Строп СКП 5×2500 ДСТУ БВ 2,8-10-98	шт	2
Рівень слюсарний	шт	1

Джерело: розроблено автором



№ поз.	Найменування	Кількість	Маса, кг	
			одинична	загальна
1	Дробарка	1	2200	2200

Рис. 2.9. Монтажне креслення

(розроблено автором)

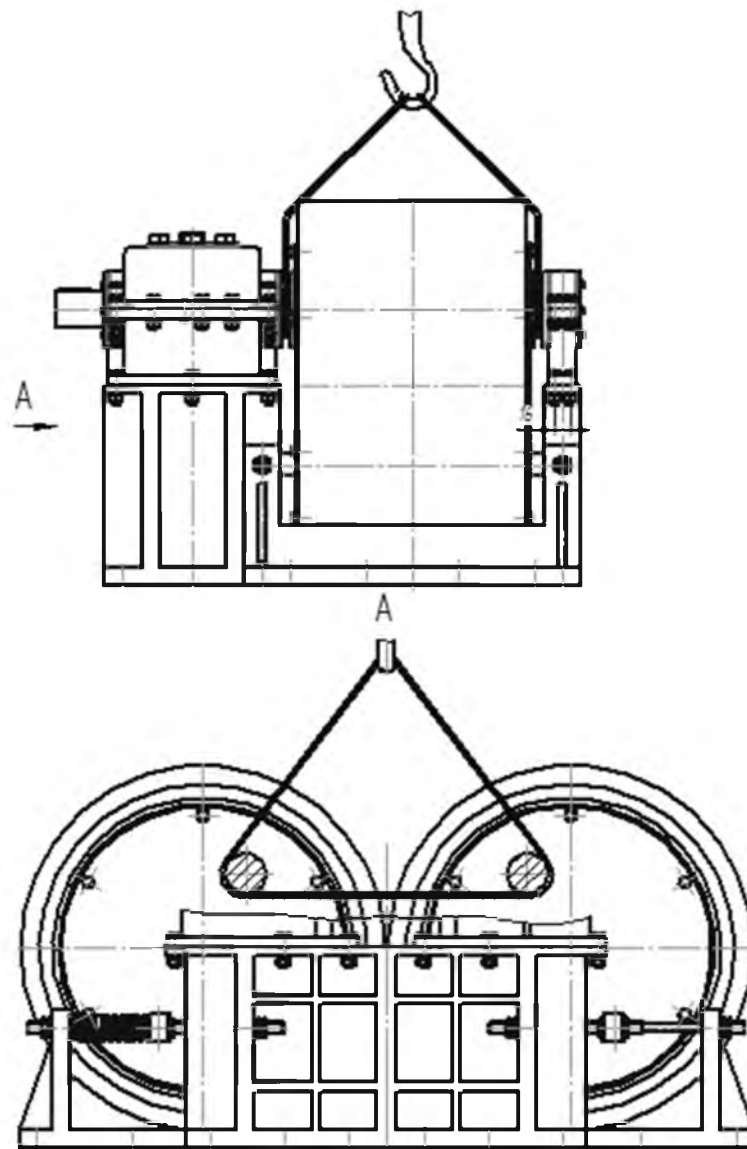
Графік робіт по монтажу дробарки, їх вартість і потреба в робочих наведений в табл. 2.3, схема строповки дробарки показана на рис. 2.10.

Технологічна карта монтажу

Таблиця 2.4. Графік робіт по монтажу дробарки

№ з/п	Обсяг робіт із складання в технологічній послідовності	Калькуляція						Склад ланки	Продовження операції, годин	Графік виконання робіт, годин				
		Один. виміру	Обсяг робіт	На одиниці		На весь обсяг				1	2	3	4	5
				Норма часу, годин	Розцінки, грн	Витрати часу, годин	Сума зароб., грн							
1	Демонтувати існуючу двошвалкову дробарку	шт	1	1	40	1	80	5/5	0,5	—				
2	Змонтувати розроблену дробарку	шт	1	3	60	3	180	6/5/5	1	—	—			
3	Здійснити монтаж привода дробарки	шт	1	1	50	1	100	5/5	0,5		—			
4	Накрити дробарку кожухом	шт	1	3	40	3	120	5/5/5	1			—		
5	Провести монтаж і наладку системи змащення	шт	1	2	60	2	120	6/5	1				—	
6	Здійснити наладку і обкатку дробарки	шт	1	2	50	2	100	6/5	1					—

Джерело: розроблено автором



$m = 2200$ кг; строп парний $\varnothing 28,5$ мм; $l = 2500$ мм

Рис. 2.10. Схема строповки дробарки
(розроблено автором)

2.4.3 Зношення відповідальних деталей та методи їх відновлення

Дробарка експлуатується в стандартних виробничих умовах за середнього режиму навантаження. Фактичний фонд роботи протягом року становить приблизно 3650 годин, при цьому добова тривалість роботи машини становить 8...12 годин.

Найбільш навантажені елементи конструкції зазнають інтенсивної дії змінних (динамічних) навантажень під час пуску та зупинки обладнання.

Температура виробничого середовища підтримується в діапазоні від +10 до +30 °C і практично не залежить від пори року чи кліматичних факторів. Вологість повітря перебуває в межах 30...65 % і визначається зовнішніми кліматичними умовами. Концентрація пилу у повітрі становить близько 13,6 мг/м³, при цьому основну частку пилових частинок становить сірчистий оксид (приблизно 12,6 мг/м³).

Процес дроблення супроводжується інтенсивним пиловиділенням.

У ході експлуатації найбільшому зносу піддаються такі вузли та деталі:

- приводні вали дробарки (залишкові деформації, спрацювання шийок, руйнування та викришування робочих поверхонь і шпонкових з'єднань);
- робочі поверхні бандажів;
- підшипники кочення валів та підшипникових вузлів;
- зубчасті передачі редукторів і валків.

Дефекти валів виявляють шляхом зовнішнього огляду та контрольних вимірювань. Під час перевірки найчастіше фіксуються биття та прогин, які визначають шляхом установки валу в центри або на призми з подальшим вимірюванням індикатором. Якщо величина прогину не перевищує 0,0008 від довжини валу, його допустимо виправляти у холодному стані. За більшого прогину правку виконують із попереднім нагріванням.

Виправлення валів здійснюють за допомогою гвинтових домкратів, прикладаючи навантаження плавно та поступово. Ударна правка (удари молотком по валу) категорично заборонена. Після завершення операції вал обов'язково повторно перевіряють у центрах або на призмах.

Зношені шийки валів відновлюють шляхом переточування до чергового ремонтного розміру. Виконувати наплавлення або зварювання шийок не дозволяється. Шпонкові канавки, що мають ознаки вироблення, доводять до ремонтного розміру фрезеруванням або слюсарною обробкою.

Під час заміни відпрацьованих мастильних матеріалів корпуси підшипників необхідно промити керосином і висушити продуванням стисненим повітрям. [14]

При контролі стану підшипників оцінюють такі параметри [14]:

- посадку зовнішнього кільця у корпусі (посадка повинна бути ковзною; радіальний зазор у з'єднанні для більшості діаметрів становить 0,05...0,1 мм);
- осьові зазори зовнішнього кільця в опорно-упорних підшипниках (сума повинна становити близько 0,3 мм); в опорних підшипниках осьовий зазор має забезпечувати можливість вільного теплового подовження валу;
- радіальні зазори тіл кочення у доріжках кочення (сукупний знос кульок/роликів та доріжок не повинен перевищувати 0,2 мм);
- щільність посадки внутрішнього кільця на вал (кільце не повинно провертатися відносно шийки);
- технічний стан тіл кочення, сепаратора та кілець (не допускаються тріщини, корозійні ураження, вибоїни, задири та інші дефекти).

Зубчасті колеса та вінці валків, які втратили працездатність внаслідок зношування, ремонту не підлягають та підлягають повній заміні.

2.4.4 Розробка графіка планово-попереджувальних ремонтів

З метою підвищення якості ремонтних робіт, забезпечення стандартизації та уніфікації операцій, а також скорочення тривалості простоїв обладнання, для дробарки прийнято змішану форму організації ремонтного виробництва. Поточні ремонти виконуються переважно вузловим методом, тоді як капітальні ремонти проводяться розосереджено на спеціалізованих ремонтних дільницях.

На основі структури ремонтного циклу (див. табл. 2.4) формується графік планово-попереджувальних ремонтів (ППР) (табл. 2.5), у якому передбачено проведення поточних ремонтів П1, П2 та капітального ремонту.

Таблиця 2.5

Структура ремонту дробарки

Обладнання	Тривалість ремонтів, діб			Періодичність ремонтів в місяцях			Структура ремонту
	П1	П2	К	П1	П2	К	
Дробарка ДГ 400×250	1	2	3	2	12	36	15П1+2П2+К

Джерело: дані ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Таблиця 2.6

Графік планово - попереджувальних ремонтів

Найменування устаткування	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Дробарка ДГ 400×250		П1		П1		П1		П1		П1		К

Джерело: розроблено автором

Під час виконання поточного ремонту типу П1 здійснюються такі основні роботи:

- заміна швидкозношуваних елементів (бандажів, футерувальних листів);
- технічна ревізія валків;
- перевірка та оцінка стану підшипників;
- заміна ущільнювальних елементів;
- оновлення мастильних матеріалів;

- ремонт або заміна мастильних приладів;
- регулювання систем блокування та захисту.

Поточний ремонт типу П2 включає увесь перелік робіт П1, а також додатково передбачає:

- часткове розбирання дробарки та вузлів, що зазнають інтенсивного зношування;
- ремонт або заміну деталей, ресурсу яких недостатньо до наступного планового ремонту;
- заміну зношеного кріплення, ущільнень і пасових передач;
- після завершення робіт — змащування всіх вузлів, контроль працездатності, налагодження та перевірку з'єднань.

Під час капітального ремонту, окрім операцій, передбачених ремонтами П1 та П2, виконують:

- повну заміну валків;
- заміну редукторів;
- ремонт або відновлення металоконструкції станини;
- заміну електродвигунів. [15]

2.4.5 Змащення

Об'єм масляної ванни приймаємо таким, щоб забезпечити відведення теплоти від зачеплення до стінок редукторів. Згідно з [16], об'єм масляної ванни рекомендується приймати таким, щоб на 1 кВт потужності, що передається, приходилось близько 0,35...0,7 л мастила. Отже

$$V_k = (0,35 \dots 0,7) \cdot N_{\text{дв}} = (0,35 \dots 0,7) \cdot 4,5 = 1,575 \dots 3,15 \text{ л.} \quad (2.48)$$

Для надійнішого відведення теплоти приймаємо $V_k = 2,5 \text{ л.}$

Підшипники редукторів змащуються з картера в результаті розбрикування мастила колесами, утворення масляного туману і розтікання мастила по валах.

Розрахунок витрати мастила для змащування циліндричних зубчатих зачеплень валків ведемо за [16].

Визначимо кількість теплоти, що виділяється в зачепленнях

$$\begin{aligned} Q_{з.з} &= 7,76 \cdot 2 \cdot (1 - \eta_{з.з}) \cdot N_{дв} = \\ &= 7,76 \cdot 2 \cdot (1 - 0,98) \cdot 4,5 = 1,3968 \text{ кДж/хв}, \end{aligned} \quad (2.49)$$

де 2 – кількість зубчатих зачеплень; $\eta_{з.з}$ – ККД циліндричного зубчатого зачеплення, приймаємо $\eta_{з.з} = 0,98$ [12].

Визначимо витрату мастила для змащування вказаних зачеплень за формулою

$$\begin{aligned} P_{з.з} &= \frac{Q_{з.з}}{\xi \cdot c \cdot \gamma \cdot (t_p - t_m)} = \\ &= \frac{1,3968 \cdot 10^3}{0,65 \cdot 1800 \cdot 800 \cdot (100 - 30)} = 0,00002 \frac{\text{м}^3}{\text{хв}} = 0,02 \frac{\text{л}}{\text{хв}} = 1,2 \frac{\text{л}}{\text{год}}, \end{aligned} \quad (2.50)$$

де ξ – коефіцієнт, що враховує ступінь використання мастила у вузлі тертя, $\xi = 0,5 \dots 0,8$; c – об'ємна питома теплоємність мастила, для мастила марки Індустріальне І-100А $c = 1800 \text{ Дж/кг} \cdot \text{°C}$; γ – об'ємна маса мастила, для мастила марки Індустріальне І-100А $\gamma = 800 \text{ кг/м}^3$; t_p – робоча температура мастила, $t_p = 100 \text{ °C}$; t_m – температура мастила на вході до вузла тертя, $t_m = 30 \text{ °C}$.

Карта змащування дробарки приведена в табл. 2.7. Схема точок змащування приведені на рис. 2.11.

Карта змащення дробарки

Точка змащення	Назва вузла тертя	Кіл-ть точок змащення	Тип мастила		Спосіб змащення	Витрата і періодичність заміни
			влітку	взимку		
1	Підшипник опори валу	4	Циліндрове 52 ГОСТ 6411-76		Централізований автоматичний	Згідно з діючими технічними інструкціями
2	Підшипник важеля валка	8	Циліндрове 52 ГОСТ 6411-76		Закладний	При заміні підшипника. 1 раз на рік
3	Редуктор конічний	2	Індустріальне I-50A ГОСТ 20799-75		Картерний	Об'єм картера 2,5 л. Заміна 1 раз на 3 місяці.
4	Циліндричне зубчате зачеплення валка	2	Індустріальне I-50A ГОСТ 20799-75		Централізований автоматичний	1,2 л/год. Заміна 1 раз на рік.

Джерело: дані ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

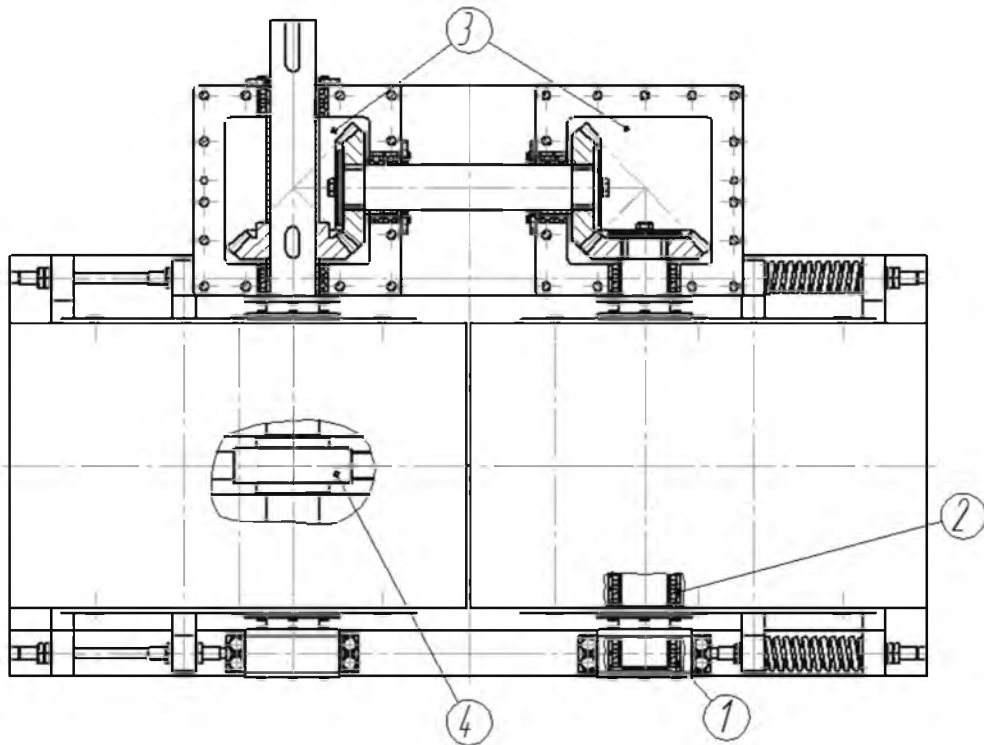


Рис. 2.11. Схема розташування точок змащення дробарки
(розроблено автором)

2.5 Економічна доцільність запропонованих рішень

В табл. 2.8 наведено техніко-економічні показники агломераційного цеху № 2 агломераційного департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Таблиця 2.8

Техніко-економічні показники

Найменування показника	Одиниця виміру	Розмір показника
Річний обсяг продукції	т	3500000
Кількість робочих днів	дні	340
Списочний склад працівників	чол	956
Фонд споживання (річний)	тис. грн	7173
Середня заробітна плата	грн	7503,14
Продуктивність праці працівника (річна)	т/чол	3661,088
Собівартість одиниці продукції	грн/т	203,821
Енергетичні витрати на одиницю продукції	грн/т	8,87
Витрати на обслуговування і ремонт на одиницю продукції	грн/т	3,63
Собівартість продукції (загальний обсяг)	тис. грн	713373,5

Джерело: дані ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Аналіз даних таблиці свідчить, що витрати на технічне обслуговування та ремонт обладнання, задіяного у виробничому циклі, становлять суттєву частку в структурі загальних витрат на виготовлення агломерату. У зв'язку з цим модернізація двохвалкової дробарки ДГ400×250, що використовується для дроблення коксу, з метою підвищення її експлуатаційної надійності, є економічно доцільним заходом. Реалізація модернізації дозволить зменшити витрати на ремонт і технічне обслуговування, а отже знизити собівартість продукції агломераційного виробництва.

Розрахунок капітальних вкладень ведемо за [17].

Визначимо ціну однієї дробарки

$$Ц_{д.} = M \cdot \Phi_{н} = 2,2 \cdot 40000 = 88000 \text{ грн}, \quad (2.51)$$

де M – вага дробарки, $M=2,2$ т; $\Phi_{н}$ – норматив вартості, $\Phi_{н} = 40000$ грн/т.

Визначимо первісну вартість однієї дробарки

$$\begin{aligned} \Phi_{п} &= Ц_{д.} \cdot (1 + L_t + L_M) = \\ &= 88000 \cdot (1 + 0,05 + 0,07) = 98560 \text{ грн}, \end{aligned} \quad (2.52)$$

де L_t – коефіцієнт, що враховує витрати на транспорт, для всіх видів обладнання $L_t = 0,05$; L_M – коефіцієнт, що враховує витрати на монтаж, для всіх видів дробарок $L_M = 0,07$.

Визначимо вартість демонтованої дробарки

$$K_{д} = M_{д} \cdot Ц_{м.б.} = 2,2 \cdot 3000 = 6600 \text{ грн}, \quad (2.53)$$

де $M_{д}$ – вага демонтованої дробарки, $M_{д} = 2,2$ т; $Ц_{м.б.}$ – вартість металобрухту, $Ц_{м.б.} = 3000$ грн/т.

Визначимо загальні капітальні витрати на впровадження розроблених заходів

$$\begin{aligned} K_{заг} &= 4 \cdot (\Phi_{п} + B_{д} - K_{д}) = 4 \cdot (98560 + 14785 - 6600) = \\ &= 426980 \text{ грн}, \end{aligned} \quad (2.54)$$

де $B_{д}$ – витрати на демонтаж існуючого обладнання, $B_{д} = 14785$ грн.

Визначимо річну норму амортизації

$$H_a = \frac{1}{T_{\text{мд}}} \cdot 100\% = \frac{1}{5} \cdot 100\% = 20\%, \quad (2.55)$$

де $T_{\text{мд}}$ – мінімально допустимий термін корисного використання встановлюваного устаткування, для машин та обладнання $T_{\text{мд}} = 5$ років.

Визначимо річну амортизацію прямолінійним методом

$$A_p = \Phi_{\text{п}} \cdot \frac{H_a}{100\%} = 98560 \cdot \frac{20}{100\%} = 19712 \text{ грн.} \quad (2.56)$$

Річні витрати на запасні частини базових і модернізованих дробарок розраховуємо за формулою

$$C_{\text{з.ч.}} = C_{\text{з.ч.}} \cdot K \quad (2.57)$$

де $C_{\text{з.ч.}}$ – ціна одиниці запасної частини, грн; K – кількість запасних частин.

Розрахунок річних витрат на запасні частини базових та модернізованих машин зводимо в табл. 2.9, 2.10.

Таблиця 2.9

Річні витрати на запасні частини базових машин

Найменування запасної частини	Кількість, шт	Ціна один., грн	Сума, грн
Муфта зубчата	4	20000	80000
Ланцюг передаточного механізму	8	5600	44800
Пружина амортизатора	12	8520	102240
Всього	—	—	227040

Джерело: дані ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Таблиця 2.10

Річні витрати на запасні частини модернізованих машин

Найменування запасної частини	Кількість, шт	Ціна один., грн	Сума, грн
Приводний пасок	4	2300	9200
Підшипник 1000908	8	240	1920
Пружина амортизатора	4	8520	34080
Всього	–	–	45200

Джерело: дані ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Визначимо додаткові витрати на обслуговування та ремонт базових дробарок

$$\begin{aligned}
 B_{\text{дод}}^{\text{Б}} &= t_{\text{обсл}}^{\text{Б}} \cdot \text{Ч}_{\text{дод}} \cdot T_{\text{год}} \cdot \left(1 - \frac{v}{100}\right) = \\
 &= 450 \cdot 3 \cdot 50 \cdot \left(1 - \frac{37}{100}\right) = 42525 \text{ грн},
 \end{aligned}
 \tag{2.58}$$

де $t_{\text{обсл}}^{\text{Б}}$ – річна витрата часу на обслуговування та ремонт базових машин, $t_{\text{обсл}}^{\text{Б}} = 450$ год; $\text{Ч}_{\text{дод}}$ – кількість додаткового персоналу, $\text{Ч}_{\text{дод}} = 3$ чол.; $T_{\text{год}}$ – середньогодинна зарплата одного робітника, $T_{\text{год}} = 50$ грн/год; v – відрахування від заробітної плати, $v = 37\%$.

Визначимо додаткові витрати на обслуговування та ремонт модернізованих дробарок

$$\begin{aligned}
 B_{\text{дод}}^{\text{М}} &= t_{\text{обсл}}^{\text{М}} \cdot \text{Ч}_{\text{дод}} \cdot T_{\text{год}} \cdot \left(1 - v/100\right) = \\
 &= 300 \cdot 3 \cdot 50 \cdot \left(1 - \frac{37}{100}\right) = 28350 \text{ грн},
 \end{aligned}
 \tag{2.59}$$

де $t_{\text{обсл}}^{\text{М}}$ – річна витрата часу на обслуговування та ремонт модернізованих машин, $t_{\text{обсл}}^{\text{М}} = 300$ год.

Визначимо річну зміну витрат коштів на запасні частини

$$\Delta C_{з.ч.} = B_{з.ч.}^B - B_{з.ч.}^M = 227040 - 45200 = 181840 \text{ грн.} \quad (2.60)$$

де 7 – кількість дробарок в цеху.

Визначимо річну зміну витрат на обслуговування та ремонт

$$\Delta C_{обсл} = B_{дод}^B - B_{дод}^M = 42525 - 28350 = 14175 \text{ грн.} \quad (2.61)$$

Вплив розроблених заходів на загальний обсяг витрат по виробництву агломерату наведений в табл. 2.11.

Таблиця 2.11

Вплив розроблених заходів на загальний обсяг витрат

Найменування чинника	Вплив на витрати (\pm)	
	на весь випуск, грн	на одиницю продукції, грн
Зміна витрат на запасні частини	-181840	-0,05195
Зміна витрат на обслуговування і ремонт	-14175	-0,00405
Зміна амортизаційних витрат	+19712	+0,00563
Сумарна зміна витрат	-176303	-0,05037

Джерело: дані ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Визначимо річний економічний ефект

$$E_{\phi} = \Delta C - E_H \cdot K_{заг} = 176303 - 0,15 \cdot 426980 = 112256 \text{ грн.} \quad (2.62)$$

де ΔC – сумарна зміна витрат (економія) від впровадження розроблених заходів (див. табл. 3.3.), грн.; E_H – нормативний показник економічної ефективності, $E_H = 0,15$ [17].

Термін окупності капітальних вкладень складе

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{заг}}}{E_{\text{ф}}} = \frac{426980}{112256} = 3,8 \text{ року.} \quad (2.63)$$

Результати розрахунків зведені в табл. 2.12.

Таблиця 2.12

Основні техніко-економічні показники

Найменування показника	Показники		Відхилення	
	базові	прогнозні	абсолютні (+, -)	відносні (%)
Річний обсяг виробництва: - тис. т - тис. грн.	3500 713373,5	3500 713197,19 7	0 -176,303	0 0,02470
Собівартість продукції, грн/т	203,821	203,77063	-0,05037	0,02470
Запасні частини, грн/т	3,63	3,57805	-0,05195	1,43113
Обслуговування і ремонт, грн/т	2,54	2,53595	-0,00405	0,15945
Амортизація ОЗ, грн/т	0,54	0,54563	+0,00563	1,04259
Термін окупності капіталь- них вкладень, рік	-	3,8	-	-
Річний економічний ефект, грн		112256		

Джерело: розроблено автором

Виконавши аналіз отриманих техніко-економічних показників, виявлено, що при впровадженні розроблених проектних рішень собівартість виробленого агломерату зменшиться на 0,0247 грн/т, витрати на запасні частини скоротяться на 0,05195 грн/т, а витрати на обслуговування і ремонт на 0,00405 грн/т, що разом зі збільшенням амортизаційних витрат на 0,00563 грн/т призведе до річного економічного ефекту у розмірі 112256 грн, і при загальних капітальних вкладеннях в обсязі 426980 грн — термін їх окупності складе не більше 3,8 року. Таким чином, впровадження запропонованих заходів є економічно доцільним.

РОЗДІЛ 3

ОРГАНІЗАЦІЯ БЕЗПЕЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

3.1 Аналіз основних шкідливостей і небезпечностей

Виробничі процеси, що виконуються персоналом у відділенні дроблення, за санітарно-гігієнічною класифікацією згідно з вимогами СНіП 2.09.04-87 належать до категорії робіт групи 2А. Працівники виконують зазначені операції протягом усього календарного року, без сезонних перерв.

Параметри мікроклімату в робочій зоні приміщення характеризуються показниками, наведеними в табл. 3.1, які відображають фактичні умови виробничого середовища.

Таблиця 3.1

Показники мікроклімату робочого приміщення

Найменування показника	Нормативне значення [18]	Фактичне значення
Температура повітря, °С	19...21	10...35
Відносна вологість, %	40...60	45...65
Швидкість руху повітря, м/с	1	0,5... 15
Інтенсивність теплового випромінювання, Вт/м ²	1400	120...210

Джерело: дані ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Аналіз даних свідчить, що на персонал дробильного відділення аглофабрики діють значні шкідливі виробничі фактори. До них насамперед належать підвищені значення температури, вологості та швидкості руху повітря, які змінюються залежно від пори року й погодних умов. Перевищення нормативних параметрів мікроклімату справляє несприятливий вплив на стан організму працівників і може знижувати їх працездатність.

Основним джерелом надходження шкідливих речовин у повітря робочої зони дробильного відділення агломераційної фабрики є шихтові матеріали. Виділення пилу відбувається під час дії вітрового потоку, при

дробленні, пересипанні та транспортуванні сировини. Результати вимірювання концентрації пилу в робочому приміщенні наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Показники концентрації шкідливого пилу в робочому приміщенні

Найменування речовини	Гранично-допустима концентрація, г/м ³ [18]	Фактична концентрація, г/м ³	Клас небезпечності [18]
Оксид заліза	0,006	12...22	III
Оксид кремнію	0,004	1,1...1,7	III
Пил вапняковий	0,006	0,6...0,9	III

Джерело: дані ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Як видно з таблиці, фактичний вміст шкідливих домішок у повітрі значно перевищує встановлені гранично допустимі концентрації.

Пил, що містить оксиди заліза, може спричиняти розвиток пневмоконіозу, запальні захворювання органів дихання, порушення функції печінки, зниження секреторної активності шлунку, а також негативні зміни з боку кровоносної та серцево-судинної систем. Дрібнодисперсний діоксид кремнію є високонебезпечним фактором і може зумовлювати виникнення силікозу. Контакт шкіри з вапняковим пилом нерідко викликає алергічні дерматити, а його інгаляція чи потрапляння всередину організму призводить до подразнення дихальних шляхів, ураження легень, порушення діяльності печінки та травної системи.

Працівники дробильного відділення виконують роботи, що пов'язані з постійним візуальним контролем за перебігом технологічного процесу. При цьому фактичний рівень освітленості становить близько 90 лк за нормативного значення 150 лк. Освітлення здійснюється лампами прямого світла від мережі з напругою $U = 220$ В. Недостатня освітленість ускладнює тривалу роботу, сприяє швидкій втомлюваності та підвищує ризик розвитку зорових порушень. Знижені рівні освітлення можуть викликати сонливість, зниження

працездатності, а за тривалого впливу — уповільнення обмінних процесів в організмі.

Технологічні операції дроблення, перевантаження та транспортування шихти супроводжуються інтенсивним шумом і вібрацією. Основними джерелами цих факторів є дробарки, бункерні затвори, а також рухомий залізничний транспорт, який подає матеріал до місця складування. Порівняльні показники шуму та вібрації наведено в табл. 3.3. Проведений аналіз підтверджує значне перевищення нормативних рівнів. Тривала дія підвищеного шуму призводить до функціонального перевантаження слухового аналізатора, розвитку приглухуватості, а в окремих випадках — стійкої втрати слуху внаслідок ураження слухового нерву.

Таблиця 3.3

Аналіз рівня шуму й вібрації у відділенні дроблення

Найменування показника	Нормативне значення [18]	Фактичне значення
Рівень шуму, дБА	75	120
Вібрація, дБ амплітуда переміщення при гармонійних коливаннях, мм	115 0,63... 1,6	100... 145 0,8... 1,3
Середньо-квадратична швидкість коливань, мм/с	2,8	1,7

Джерело: дані ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Крім безпосереднього впливу на слуховий аналізатор, інтенсивний шум чинить негативну дію на органи зору, функціональний стан вестибулярного апарату, а також на вищу нервову діяльність і вегетативну нервову систему людини. Порушення поширюються й на серцево-судинну систему. Сукупність змін, що виникають в організмі під дією тривалого виробничого шуму, визначають як «шумову хворобу».

Виробнича вібрація також спричиняє істотний негативний вплив на працівників. Вона викликає зміни як функціонального, так і фізіологічного

стану організму. На функціональному рівні це проявляється у підвищенні стомлюваності, збільшенні часу зорово-рухових реакцій, порушенні координації рухів, що, у свою чергу, знижує продуктивність праці. Фізіологічні наслідки вібраційного впливу полягають у розвитку неврологічних розладів, порушенні діяльності серцево-судинної системи, ураженні опорно-рухового апарату, м'язових тканин і суглобів, а також у розладах ендокринної системи. У комплексі ці зміни формують захворювання, відоме як «вібраційна хвороба».

Працівники дробильного відділення агломераційної фабрики додатково піддаються ризику ураження електричним струмом. Небезпека виникає під час контакту зі струмоведучими частинами електроприводів дробарок, бункерних затворів, залізничного рухомого складу, а також зі струмонепровідними елементами обладнання, що можуть опинитися під напругою внаслідок порушення ізоляції.

У відділенні переважно експлуатуються електроустановки напругою до 1000 В, які потребують постійного обслуговування. Умови мікроклімату істотно залежать від пори року, оскільки приміщення відкрите з двох боків для проходу залізничних вагонів. У зимовий період температура може знижуватися до $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, а влітку підвищуватися до $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$; вологість і швидкість руху повітря також можуть перевищувати допустимі нормативні значення. Значна кількість пилу, що проводить електричний струм, проникає всередину електрообладнання та осідає на струмопровідних частинах, що призводить до витоків струму та коротких замикань між фазами і на корпус. З огляду на наведені фактори, дробильне відділення агломераційної фабрики класифікується як електротехнічне приміщення з підвищеною небезпекою.

3.2 Заходи щодо зниження шкідливостей і небезпечностей

У зв'язку з тим, що відділення дроблення агломераційної фабрики розташоване майже на відкритому просторі, негативний вплив підвищеної

або зниженої температури повітря, підвищеної вологості та швидкості руху повітря, а також шкідливого пилу на організм працюючого персоналу можливо зменшити лише шляхом застосування засобів індивідуального захисту (респіраторів та теплового одягу).

Негативний вплив зазначених факторів на операторів, що перебувають безпосередньо в кабінах керування, доцільно усувати шляхом герметизації кабін для запобігання проникненню пилу, а також застосування систем вентиляції, кондиціонування і опалення (залежно від пори року та погодних умов). Крім того, пропонується закрити дробарки кожухами для зменшення пиловиділення в робоче приміщення та встановити системи аспірації.

Негативний вплив підвищеного рівня шуму на обслуговуючий персонал рекомендується зменшити шляхом шумоізоляції кабін керування.

Негативний вплив виробничої вібрації на працюючих у відділенні дроблення агломераційної фабрики пропонується усунути шляхом:

- віброізоляції робочих місць за допомогою віброізолюючих опор;
- зниження вібраційної активності обладнання (забезпечення достатнього статичного та динамічного балансування деталей, що обертаються);
- застосування у кінематичних схемах приводів косозубих і шевронних коліс замість прямозубих;
- заміна підшипників кочення на підшипники ковзання, за можливості, з текстоліту;
- перехід на густі мастильні матеріали замість рідких);
- підвищення жорсткості системи шляхом установа додаткових ребер жорсткості.

У випадках, коли зазначені заходи виявляються недостатніми, необхідно застосовувати спеціальні антивібраційні рукавиці та напівчоботи. Також слід обмежувати час контакту працюючих з вібруючим обладнанням та рекомендувати перерви тривалістю 20 хвилин через 1–2 години після початку

зміни та через 2 години після обіду. Під час перерв доцільно виконувати комплекс гімнастичних вправ і самомасаж кінцівок. Для підвищення захисних властивостей організму, працездатності та трудової активності доцільно впроваджувати виробничу гімнастику, вітамінну профілактику (двічі на рік) та спецхарчування.

Для захисту працівників від ураження електричним струмом пропонується встановити огороження обладнання та інформаційні попереджувальні плакати «Обережно! Електрична напруга!».

Під час виконання ремонтних робіт необхідно попередньо знімати напругу, унеможлилювати помилкове або самовільне вмикання пускової апаратури, вивішувати на вимикачах плакати «Не вмикати – працюють люди!», а за потреби застосовувати додаткові захисні засоби. Відсутність напруги слід перевіряти переносним вольтметром або індикатором безпосередньо у місці проведення робіт, після чого електроустановку необхідно заземлити.

Пропонується також установити на всіх електродвигунах захисні кожухи, які під час відкривання автоматично розривають електричне живлення.

Контроль стану ізоляції окремих ділянок електромережі доцільно виконувати мегаомметрами один раз на 7 днів. Опір ізоляції повинен становити не менше 0,5 МОм. Контроль опору захисного заземлення проводити методом амперметра–вольтметра за допомогою електростатичного вольтметра зі значним внутрішнім опором та вимірювача опору М4-16 не рідше одного разу на 14 днів.

З метою недопущення накопичення електричних зарядів необхідно заземлити обладнання та комунікації, на яких можливе їх утворення. Кожну систему обладнання слід заземлювати не менше ніж у двох місцях.

Для відведення зарядів статичної електрики, що накопичуються на людях, рекомендується обладнати робочі майданчики гумовим покриттям, а

пішохідні доріжки асфальтовим покриттям. Параметри статичної електрики слід контролювати за допомогою струнного електрометра, а для визначення густини зарядів використовувати гальванометри постійного струму.

3.2.1 Засоби індивідуального захисту

Згідно з вимогами чинних санітарних і будівельних нормативів (у тому числі СНіП № 539 від 28.10.2003), персонал виробничих цехів повинен бути забезпечений спеціальним одягом і засобами індивідуального захисту. Їх призначенням є мінімізація впливу небезпечних та шкідливих чинників виробничого середовища.

Обладнання робочих місць здійснюється відповідно до галузевих стандартів і включає видачу повного комплекту засобів індивідуального захисту, необхідних для безпечного виконання технологічних та ремонтних операцій. До них належать, зокрема, засоби для захисту органів дихання від пилу та шкідливих аерозолів, такі як фільтрувальні респіратори та пилозахисні маски типу «Пелюстка».

Захист шкіри та тіла працівника від високих температур, агресивних середовищ і механічних пошкоджень забезпечується шляхом використання спеціального робочого одягу (костюмів, курток, брюк тощо). Для запобігання травмуванню ніг застосовується спеціальне захисне взуття, конструктивно пристосоване до роботи в умовах значних механічних навантажень.

Руки працюючих захищаються спеціальними рукавицями різних типів, вибір яких визначається характером виконуваних операцій. Безпека голови забезпечується використанням захисних касок із внутрішніми амортизаційними елементами, а для робіт у зонах інтенсивного теплового випромінювання — теплоізоляційних шоломів.

Для зменшення теплового навантаження та захисту обличчя від твердих частинок, що відлітають під час обробки матеріалів, застосовуються прозорі захисні щитки та маски. Під час зварювальних робіт використовують щитки

зі світлофільтрами, які оберігають очі та шкіру обличчя від іскор, бризок розплавленого металу та шкідливого випромінювання.

Негативний вплив виробничого шуму на органи слуху зменшується за допомогою засобів акустичного захисту, серед яких — протишумові навушники, шоломи, вушні вкладиші та заглушки. Окрему категорію становлять захисні окуляри різних конструкцій, що запобігають механічним, хімічним та променевим ушкодженням очей, у тому числі засліпленню електричною дугою.

3.2.2 Санітарно-побутові приміщення і пристрої

Відповідно до санітарно-гігієнічної класифікації виробничих процесів, установлені вимогами СНіП 2.09.04-87, технологічний процес у агломераційному цеху належить до групи 2А. Зазначена категорія характеризується підвищеним фізичним навантаженням і впливом несприятливих виробничих чинників, що зумовлює необхідність улаштування розширеного комплексу санітарно-побутових приміщень.

Для умов групи 2А у складі побутової інфраструктури цеху передбачено душові та умивальні приміщення, гардеробні, санітарні вузли, пункти організації харчування, місця питного водопостачання, а також медичний пункт. Гардеробні призначені для зберігання особистого та спеціального одягу працівників; їх місткість визначається з урахуванням фактичної чисельності персоналу з додатковим резервом 5 %, при цьому кожен працівник забезпечується індивідуальною шафою.

Розрахунок площі та кількості інших побутових приміщень здійснюється виходячи з чисельності працівників найбільш завантаженої зміни. Кількість душових сіток приймається з розрахунку одна душова установка на трьох осіб, а кількість умивальників — із розрахунку один водорозбірний кран на двадцять працівників. Душові та умивальні приміщення розміщують-

ся у безпосередній близькості до гардеробних, що забезпечує раціональну організацію побутового обслуговування.

Для забезпечення харчування персоналу в структурі цеху функціонує їдальня, місткість якої визначається за нормативом одне посадкове місце на чотири працівники. З метою компенсації втрат рідини та мінеральних речовин, спричинених роботою в умовах підвищених температур, у виробничих приміщеннях установлені питні фонтанчики та автомати з підсоленою газованою водою. У теплий період року працівникам додатково надаються білково-вітамінні напої. Джерела питного водопостачання розташовуються на відстані не більше ніж 75 м від робочих місць, а їх кількість визначається з розрахунку один питний пристрій на сто осіб.

Санітарні вузли розміщуються з урахуванням вимог доступності, при цьому відстань від робочих місць до вбиралень не перевищує 75 м. Кількість санітарно-технічних приладів визначається з нормативного співвідношення один прилад на п'ятнадцять працівників.

Медичне обслуговування персоналу, що працює в цілодобовому режимі, забезпечується здоровпунктом II категорії, який відповідає встановленим вимогам щодо надання первинної медичної допомоги на виробництві.

3.3 Пожежна профілактика

Пожежі у відділенні дроблення можуть виникати внаслідок:

- загорання електрообладнання при перевантаженнях, перегріванні та коротких замиканнях (клас пожежі – Е);
- загорання горючих змащувальних матеріалів у разі потрапляння в них іскор електричного або механічного походження, дії тепла від нагрітих поверхонь чи відкритого вогню (клас пожежі – В);
- самозаймання промасленого ганчір'я (клас пожежі – А);
- дії статичного або грозового розряду.

Небезпека виникнення пожежі у відділенні зменшена завдяки впровадженню таких заходів: оснащення систем керування електрообладнанням автоматами максимального струмового захисту та плавкими запобіжниками; обмеження кількості горючих змащувальних матеріалів обсягом добової потреби (інші запаси зберігаються у спеціально облаштованому пожежобезпечному складі); застосування у електродвигунах системи замкнутої примусової вентиляції з охолодженням та очищенням повітря від пилу; збирання промасленого ганчір'я у металеві ящики з герметичними кришками з подальшим вивезенням у кінці зміни за межі цеху та спалюванням у спеціально відведеному місці; відведення статичного заряду через систему заземлення.

Виробничий процес у відділенні дроблення за вибуховою, вибухопожежною та пожежною небезпечністю відповідно до НАПБ Б.03.002-2007 належить до категорії «Д».

Ймовірність ураження обладнання блискавкою зменшена застосуванням системи блискавкозахисту I категорії, виконаної згідно з вимогами СН 305-77. Для гасіння можливих локальних осередків займання біля основного обладнання передбачені первинні засоби пожежогасіння відповідно до «Правил пожежної безпеки в Україні».

У табл. 3.4 наведені норми первинних засобів пожежогасіння для відділення дроблення.

Таблиця 3.4

Перелік і норми необхідних первинних засобів пожежогасіння

Категорія приміщення	Захисна площа, м ²	Клас пожежі	Пінні вогнегасники ємністю 10 л	Порошкові вогнегасники ємністю 5 л	Вуглекислотні вогнегасники ємністю 5 л
Дз	4400	А	6	6	-
		В	-	6	-
		Е	-	6	6

Джерело: дані ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Для гасіння пожеж водою використовується пожежний водопровід, з'єднаний із виробничим. На його мережі поблизу електроустановок установлені пожежні крани з брезентовими рукавами та стволами. По периметру складу в підземних колодязях розміщені пожежні гідранти.

Системи автоматичного пожежогасіння та пожежної сигналізації чинними нормативами не передбачені.

Пожежні щити встановлюються на території складу з розрахунку один щит на 5000 м². До їх складу входять: вогнегасники – 3 шт; ящик із піском – 1 шт; покривало з вогнетривкого матеріалу – 1 шт; багри – 2 шт; ломи – 2 шт; лопати – 2 шт; сокири – 2 шт.

ВИСНОВКИ

Двохвалкова дробарка типу ДГ 400×250 призначена для подрібнення паливних матеріалів, зокрема коксу, до гранулометричного складу, що відповідає вимогам агломераційного виробництва (0...3 мм).

Її експлуатація дозволила визначити низку конструктивних недоліків, а саме, надмірну металоємність, підвищені експлуатаційні витрати через передчасний вихід з ладу клинопасової передачі приводу валків, яка в умовах агломераційного виробництва працює за високих навантажень у запиленому та вібраційному середовищі, що призводить до швидкого зносу, обривів і прослизання пасів.

На підставі аналізу стану існуючих інноваційних рішень пропоную конструкцію дробарки, де робочі валки приводяться в обертання через внутрішнє циліндричне зубчасте зачеплення, а передача крутного моменту на ведений валок виконується конічною зубчастою передачею зі збільшеною висотою зуба, яка розташована у герметичному кожусі.

Пропонована конструкція валкової дробарки дозволить зменшити її металоємність, підвищити надійність та як наслідок скоротити витрат на обслуговування та ремонт.

Річний економічний ефект від впровадження складе 112256 грн. Термін окупності капітальних вкладень не більше 3,8 років.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: підручник для студентів металургійних спеціальностей вищих навчальних закладів / Д. Ф. Чернега, В. С. Богушевський, Ю. Я. Готвянський [та ін.]; за ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. – Київ: Вища школа, 2006. – 503 с.
2. Білецький В. С., Олійник Т. А., Смирнов В. О., Скляр Л. В. Основи техніки та технології збагачення корисних копалин / В. С. Білецький та ін. – Львів: Ліра-К, 2020. – 634 с.
3. Сокур М. І., Білецький В. С., Єгурнов О. І., Воробйов О. М., Смирнов В. О., Божик Д. П. Підготовка корисних копалин до збагачення : навч. посібник / М. І. Сокур, В. С. Білецький, О. І. Єгурнов, О. М. Воробйов, В. О. Смирнов, Д. П. Божик. – Київ : ПП Щербатих О. В., 2017. – 226 с.
4. Валкова дробарка: а. с. 473517: В02С 4/32 / В. І. Єршов. № 1807528/23-33; заявл. 10.07.1972; опубл. 14.06.1975, Бюл. № 22. 2 с.
5. Передавальний механізм двохвалкової дробарки: а. с. 1172589: В02С 4/42 / В. Н. Санніков. № 3478818/29-33; заявл. 25.05.1982; опубл. 15.08.1985, Бюл. № 30. 2 с.
6. Вальці для помелу керамічної сировини: а. с. 1135487: В02С 4/32 / В. М. Виноградов. № 3571786/29-33; заявл. 04.04.1983; опубл. 23.01.1985, Бюл. № 3. 4 с.
7. Валкова дробарка : а. с. 1546133: В02С 4/42 / С. С. Грибов. № 4406750/23-33 ; заявл. 08.04.1988; опубл. 28.02.1990, Бюл. № 8. 4 с.
8. Большаков В. І., Учитель А. Д., Засельський В. Й., Пополов Д. В., Учитель С. А., Коноваленко В. В. Розрахунок металургійних машин. Обладнання обжигових та агломераційних цехів / В. І. Большаков та ін. – Кривий Ріг : Чернявський, 2012. – 336 с.
9. Дробилки: конструкция, расчет, особенности эксплуатации / Б. В. Клушанцев, А. И. Косарев, Ю. А. Муйземнек. – Москва: Машиностроение, 1990. – 320 с.

10. Деталі машин. Курсове проєктування: навч. посіб. / В. О. Малащенко, В. В. Янків. – Львів: Новий Світ-2000, 2021. – 228 с.
11. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків: навч. посіб. / А. В. Гайдамака. – Харків: НТУ «ХП», 2020. – 275 с.
12. Деталі машин: підручник / А. В. Міняйло, Л. М. Тіщенко, Д. І. Мазоренко та ін. – Київ: Агроосвіта, 2013. – 448 с.
13. Жук А. Я., Малишев Г. П., Желябіна Н. К., Таратута К. В. Монтаж металургійного обладнання: навч. посіб. / А. Я. Жук, Г. П. Малишев, Н. К. Желябіна, К. В. Таратута. – Київ : Кондор, 2017. – 328 с.
14. Жук А. Я., Малишев Г. П., Желябіна Н. К., Таратута К. В. Ремонт металургійного обладнання: навч. посіб. / А. Я. Жук, Г. П. Малишев, Н. К. Желябіна, К. В. Таратута. – Київ: Видавничий дім «Кондор», 2017. – 236 с.
15. Жук А. Я., Малишев Г. П., Желябіна Н. К., Таратута К. В. Технічне обслуговування металургійного обладнання: навч. посіб. / А. Я. Жук, Г. П. Малишев, Н. К. Желябіна, К. В. Таратута. – Київ: Кондор, 2024 – 286 с.
16. Максименко О. П., Перемітько В. В., Самохвал В. М. Теорія і практика змащування металургійних машин: навч. посіб. / О. П. Максименко, В. В. Перемітько, В. М. Самохвал. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2006. – 172 с.
17. Бойчук І. М. Економіка підприємства: підручник. І. М. Бойчук. – К.: Кондор-Видавництво, 2016 – 378 с.
18. Шеремет В.О. Охорона праці на гірничо-металургійному комбінаті: навчальний посібник / В.О. Шеремет. – Дніпропетровськ: Пороги, 2003. – 387 с.

ДОДАТКИ

ЗГОДА

здобувача(чки) вищої освіти

Державного університету економіки і технологій

про перевірку кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії Університету

Я, *Маякін Роман Михайлович*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна магістерська робота *«Механічне обладнання агломераційного цеху №2 Агломераційного департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»*. Розробка *двохвалкова дробарка коксу* виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений(а). Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований(на), що відповідно до «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» зазначена робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ). З умовами такого розміщення ознайомлений(на).

15.01.2026



Маякін Р.М.

(ініціали, прізвище, власноруч)