Міністерство освіти та науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

(назва факультету)

Кафедра металургійного обладнання

(повна назва кафедри)

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему «Модернізація приводу валкового млина»

Виконав: студент групи 6.133З-с2
Сорокопуд Денис Дмитрович _____
(ПІБ) (підпис)

спеціальності 133 Галузеве машинобудування»
(шифр і повна назва)

спеціалізація
_____
(шифр і повна назва)

освітньо-професійна програма
133.00.12 Металургійне обладнання
(шифр і повна назва)

Керівник Шевченко І.А. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Н.контроль Васильченко Т.О. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя – 2026 року

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні .

Кафедра металургійного обладнання .

Рівень вищої освіти бакалавр .

(перший рівень)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування .

(шифр і назва)

Спеціалізація - .

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри А.О. Власов

_____

“____” _____2026 року

ЗАВДАННЯ
ДО ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА

Сорокопуд Денис Дмитрович

(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи: Модернизація приводу валкового млина .

керівник магістерської роботи доцент, канд. техн. наук Шевченко І.А. .

затверджені наказом вищого навчального закладу від 23.12.2025 №1831-с

2. Термін подання студентом роботи 01.06.2026.
3. Вихідні дані: номінальна потужність приводу - 600 кВт; частота обертів ведучого вала - 990 об/хв; частота обертів відомого валу - 34,5 об/хв; передаточне число -1 / 28,73.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Загальна частина; 2. Спеціальна частина; 3. Експлуатаційна частина; 4. Охорона праці та техногенна безпека; Висновки; Список використаних джерел.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень): Креслення загального виду – 1шт ; Складальні креслення - 2 шт., Деталювання -2 шт.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Шевченко І.А., доцент		
2	Шевченко І.А., доцент		
3	Шевченко І.А., доцент		
4	Шевченко І.А., доцент		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Збір матеріалу для роботи	13.05.2026-20.05.2026	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань кваліфікаційної роботи	21.05.2026-27.05.2026	
3	Виконання теоретичної частини роботи	26.05.2026-29.05.2026	
4	Виконання графічної частини роботи	30.05.2026-05.06.2026	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	06.06.2026-10.06.2026	
6	Перевірка кваліфікаційної роботи консультантом	11.06.2026-13.06.2026	
8	Оформлення кваліфікаційної роботи	За графіком	
9	Захист проекту у ДЕК	За графіком	

Студент _____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Шевченко І.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Сорокопуд Д.Д. Модернізація приводу валкового млина.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти бакалавра за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування, науковий керівник І.А. Шевченко. Інженерний навчально-науковий інститут запорізького національного університету ім. Ю.М. Потебні ЗНУ, кафедра «Металургійне обладнання», 2026.

В роботі проведено огляд технології та аналіз вузлів вертикального валкового млина, як основного обладнання технологічного процесу подрібнення вугільного палива, для підвищення його експлуатаційних властивостей, з модернізацією його приводу. Запропоновано використовувати конічно-планетарний редуктор. визначені його основні параметри. Проведено розрахунки навантажень на вузли валкового млина. Приділено увагу питанням особливостей експлуатації та обслуговування валкового млина, техногенної безпеки та екології.

Ключові слова: ВАЛКОВИЙ МЛИН, ВУГІЛЛЯ, ПРИВОД, ПЛАНЕТАРНИЙ РЕДУКТОР.

ABSTRACT

Sorokopud D.D. Modernization of the roller mill drive.

final work for obtaining a bachelor's degree in specialty 133 - Industrial mechanical engineering, scientific supervisor I.A. Shevchenko. Engineering Educational and Scientific Institute of Zaporizhia National University named after Yu.M. Potebnia ZNU, Department of "Metallurgical Equipment", 2026.

The work reviews the technology and analyzes the components of a vertical roller mill, as the main equipment of the technological process of grinding coal fuel, to improve its operational properties, with the modernization of its drive. It is proposed to use a bevel-planetary reducer. Its main parameters are determined. Calculations of loads on the roller mill components are carried out. Attention is paid to the issues of the features of the operation and maintenance of the roller mill, technogenic safety and ecology.

Keywords: ROLLER MILL, COAL, DRIVE, PLANETARY GEAR.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ……. 5
ВСТУП ……... 6
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА …… 8
1.1 Призначення та область застосування валкових млинів …….. 8
1.2 Класифікація валкових млинів …….. 10
1.3 Конструкції валкових млинів …….. 13
1.4 Огляд конструкцій робочих органів вертикальних валкових млинів ……. 19
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА ……. 25
2.1 Привод вертикального валкового млина …….. 25
2.2 Розрахунок параметрів приводу вертикального валкового млина.. 27
2.3 Розрахунки на міцність та стійкість …….. 37
3 ЕКАСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА …….. 47
3.1 Особливості експлуатації та обслуговування обладнання …….. 47
3.2 Складання ремонтного циклу …… 47
3.2 Розрахунок трудомісткості виконання ремонтних робіт за видами ремонтів і обслуговувань та за видами робіт ……..... 48
3.3 Особливості експлуатації машини та її основних вузлів ……. 52
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА ЕЗПЕКА ……. 57
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів виробництва …….. 57
4.2 Розрахунок потенційно небезпечного фактора …… 62
4.3 Розрахунок потенційно небезпечного фактора ……..... 65
ВИСНОВКИ …….. 69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ……. 70
СПИСОК ВИКОНАНИХ КРЕСЛЕНЬ …… 72
ДОДАТКИ ……. 73

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

n	частота обертання валу
ω	кутова швидкість валу
P	потужність
T	обертаючий момент
u	передаточне число
α_W	кут зачеплення
σ_H	контактне напруження зубчатих коліс
F_t	колова сила в зачепленні зубчатих коліс
F_{r1}	радіальна сила на шестерні передачі
F_{a1}	осьова сила на шестерні передачі
Z_1	число зубів шестерні
m_e	зовнішній окружний модуль передачі
δ_1	кут ділильного конуса шестерні
δ_2	кут ділильного конуса колеса
b	ширина венця зубчатого колеса передачі
υ	колова швидкість передачі
S_T	ступінь точності передачі
$[\sigma_H]$	допустиме контактне напруження
m	модуль зачеплення
a_w	міжосьова відстань передачі
α	кут зачеплення
E	модуль пружності
G	модуль зсуву
ρ	щільність
σ_T	границя текучості
σ_B	границя міцності
L	розрахункова довговічність вальниці

ВСТУП

Вертикальні валкові млини визнані одними з найефективніших доступних на даний момент пристроїв для помелу та можуть використовуватися для одночасного помелу і сушіння матеріалів, таких як вапняк, негашене вапно, цементна сировина, тальк, боксит, магнезит, фосфат, польовий шпат, барити, графіт і вугілля.

Помел матеріалу у вертикальних валкових млинах досягається шляхом стиснення та зсуву у шарі частинок; поверхневий контакт між частинками розподіляє напруження в шарі матеріалу, що змелюється. При досягненні достатньої величини напруження утворюються мікротріщини, а компресійне подрібнення з регульованою часткою зсувних зусиль призводить до енергоефективного зменшення розміру порівняно з барабанними млинами [1-5].

Вертикальні валкові млини працюють у складних умовах високого тертя та ударних навантажень.

Енергоефективність є критичним фактором для процесів промисловості.

У приводі вертикальних валкових млинів переважно застосовуються планетарні або планетарно-циліндричні редуктори вертикального типу, які здатні витримувати значні осьові навантаження від столу млина.

Об'єкт модернізації - привод вертикального валкового млина.

Мета роботи – модернізація приводу вертикального валкового млина шляхом застосування конічно-планетарного редуктора.

Вдосконалення конструкції сприятиме підвищенню продуктивності вертикального валкового млина, зниженню навантажень на обладнання та зменшенню частоти технічного обслуговування.

Конічний ступінь (вхідний) - спірально-конічна передача, що забезпечує кутову передачу потужності (90°), компактність та високу міцність. Вона дозволяє розташувати двигун горизонтально, що зручно під час монтажу.

Планетарні ступінь (вихідний) забезпечують дуже високий крутний момент, плавність роботи, високий ККД та рівномірний розподіл навантаження між сателітами.

Поєднання планетарної передачі із конічною дає максимальний крутний момент при мінімальних габаритах.

Кваліфікаційна робота складається з вступу, 4 розділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи 75 сторінок, 18 рисунків та списка використаних джерел з 26 позицій.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Призначення та область застосування валкових млинів

Валкові млини займають важливу роль серед обладнання для підготовки пиловугільного.

До основних переваг млинів вказаного типу відносяться [1-4].

- низькі питомі витрати електроенергії на тону подрібненого палива, а саме в 1,5 – 2 рази менше в порівнянні з тихохідними шаровими барабанними млинами (ШБМ);
- компактність установки, що займає площу в 4 рази меншу ніж ШБМ;
- малий знос помольних елементів, який складає 4,0 – 20,0 г/т палива проти 400 – 500 г/т у ШБМ.

До недоліків валкових млинів відносяться:

- неможливість експлуатації млинів при потраплянні в робочу камеру металевих включень, що призводить до поламки помольних елементів та зупинки процесу помелу [1-4];
- жорсткі вимоги до вологості подрібнюваного палива, за для унеможливлення злипання та замазування палива.

Вертикальні валкові млини (рис.1.1) застосовують стискальну силу за допомогою валків, що натискають вниз на обертовий шліфувальний стіл. Матеріал, що подрібнюється, подається в центр розмельного поворотного столу через живильний жолоб. Звідти він відцентровими силами подається під валки і, утворюючи шар матеріалу, зазнає руйнування, а потім перетікає через край розмельного столу. Потік повітря, що піднімається через отвори по периметру поворотного столу, підхоплює і транспортує цей матеріал вгору до класифікатора, де готовий продукт продовжує підніматися вгору та виходить із млина, тоді як грубі частинки осаджуються вниз і повертаються до млина для подальшого помелу. Дуже грубі частинки, які занадто важкі, для їх піднімання повітряним потоком, виходять з нижньої частини млина і потребують механічного транспортування назад для подачі до млина (рис.1.2). Після виходу

з млина дрібний продукт проходить через рукавний фільтр або циклон та рукавний фільтр, щоб відокремити тверді частинки від потоку повітря. Певного поширення набули конструкції, де класифікатор грубого помелу вилучає надмірний продукт, який вже не повертається на млин. Це дає змогу використовувати систему з двома продуктами, де дрібні фракції вилучаються через перелив класифікатора, а основна частина продукту через нижній потік за допомогою так званого екстрактора крупи [2]

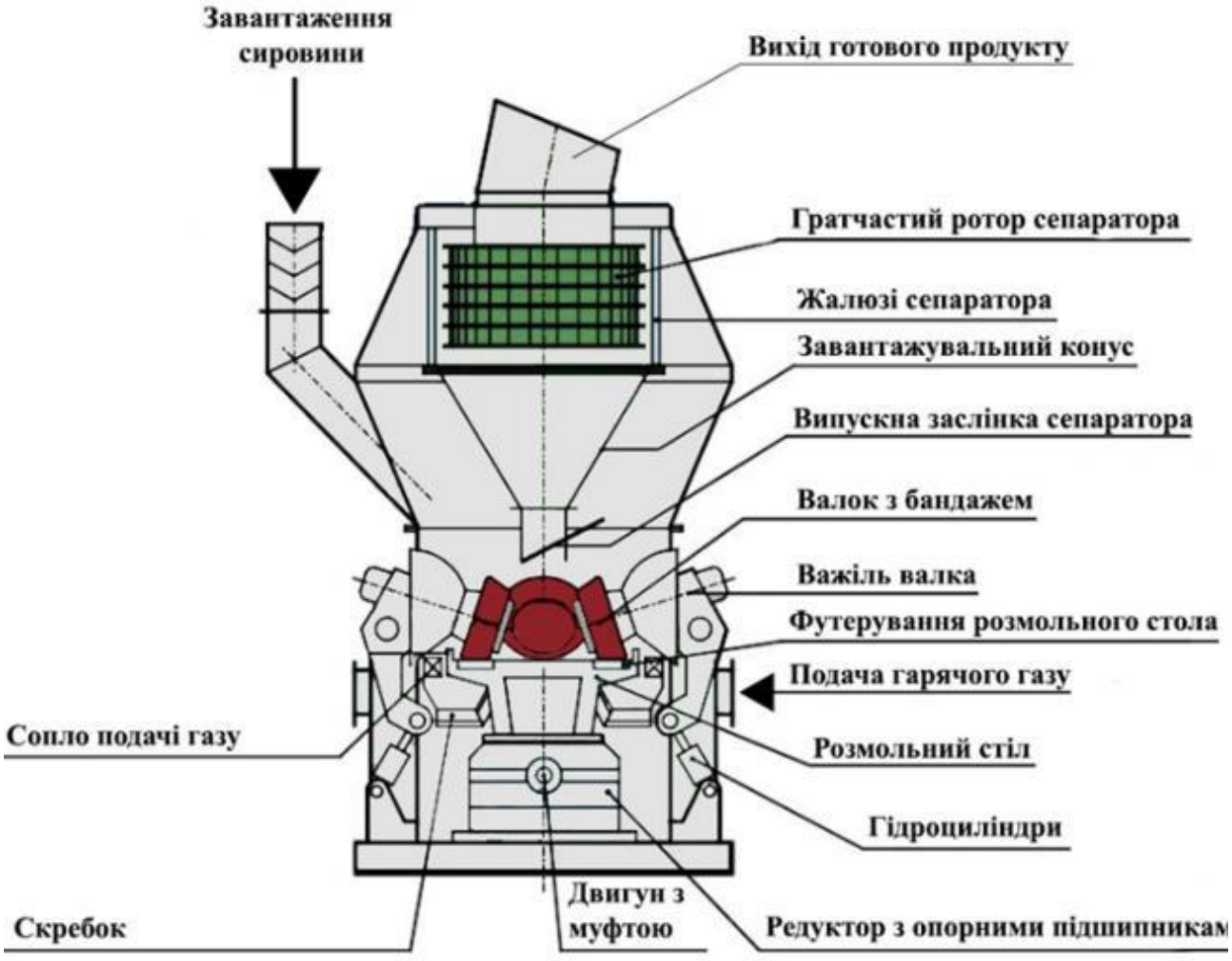


Рисунок 1.1 - Конструкція вертикального валкового млина [2]

Помел матеріалу у вертикальних валкових млинах досягається шляхом стиснення та зсуву у шарі частинок; поверхневий контакт між частинками розподіляє напруження в шарі матеріалу, що змелюється. При застосуванні достатньої величини напруження утворюються мікротріщини. У шарі змелювання є кілька точок контакту, де на частинки чиниться тиск.

Компресійне подрібнення з регульованою часткою зсувних зусиль призводить до енергоефективного зменшення розміру порівняно з барабанними млинами.

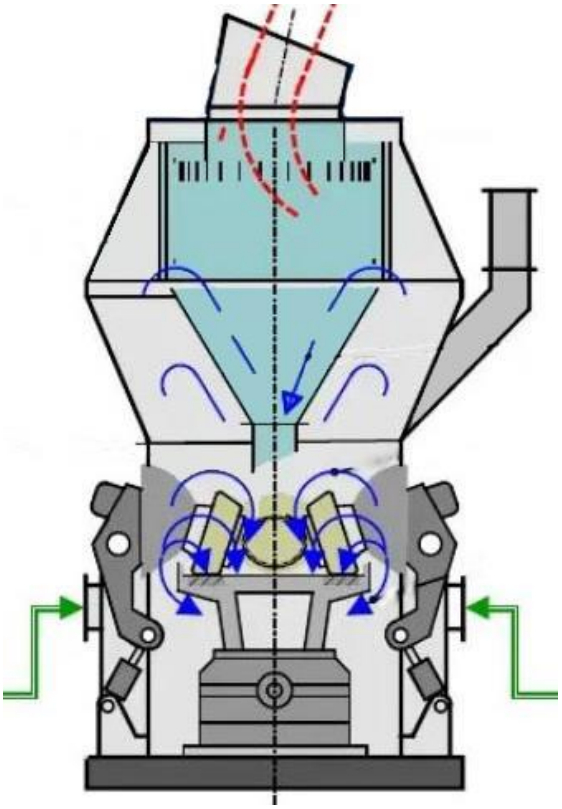


Рисунок 1.2 - Схематичне зображення потоку матеріалу при помелі у вертикальних валкових млинах [2]

1.2 Класифікація валкових млинів

Млинами називають машини для мілкого, тонкого та колоїдного (надтонкого) подрібнення.

Млини поділяють на [7-9]:

- барабанні (тихохідні),
- маятникові, - роликові,
- кільцеві та інші (середньохідні),
- молоткові, - шахтні (ударні),
- вертикальні,
- вібраційні,
- струминні.

Класифікація основних типів млинів показана на рис.1.3.

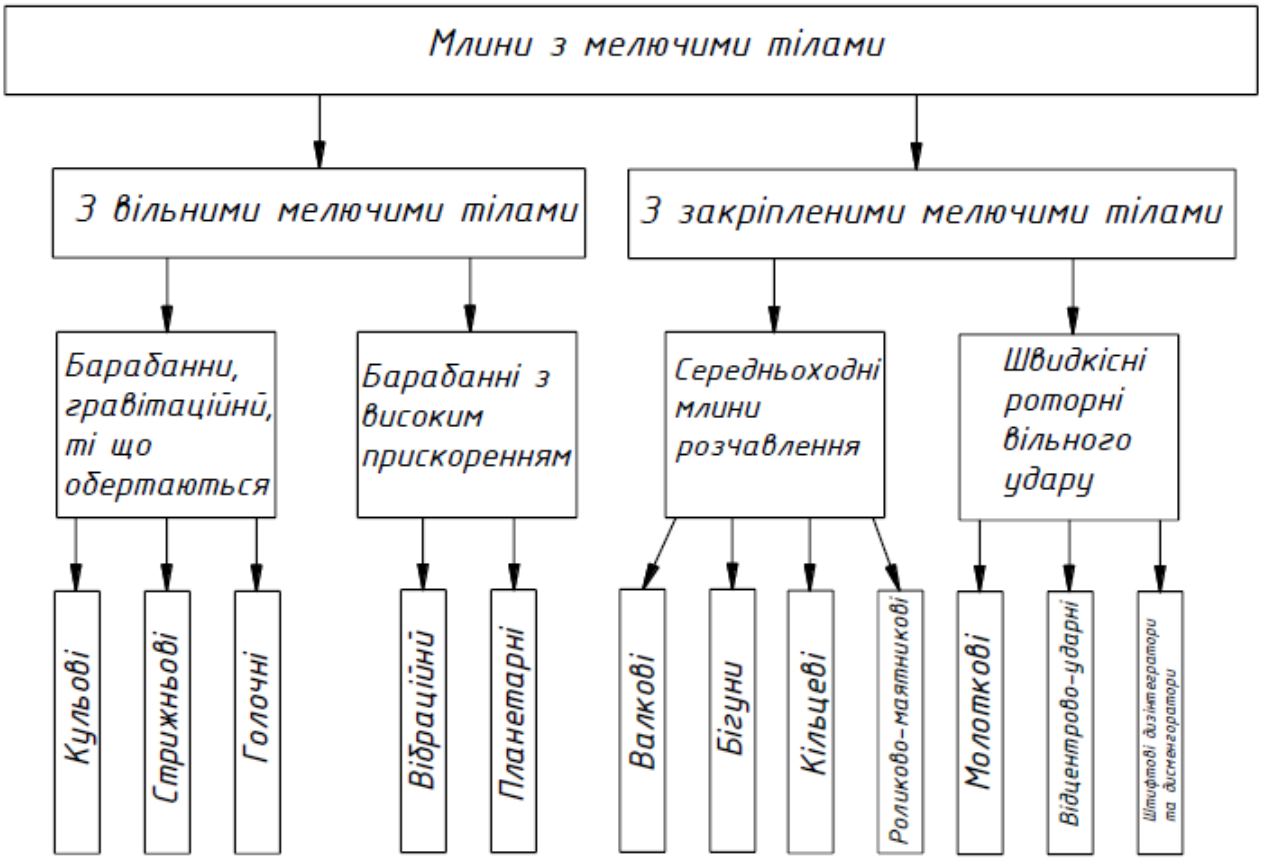


Рисунок 1.3 - Класифікація основних типів млинів

Класифікація валкових млинів проводиться за наступними параметрами: номінальною продуктивність по розрахунковому паливу, параметричним та габаритним відомостям, частоті обертання робочих органів, витратам сушильного агенту та його температури, робочому тиску, надійності помольних елементів, маси млину та встановленої потужності (рис.1.4) [5].

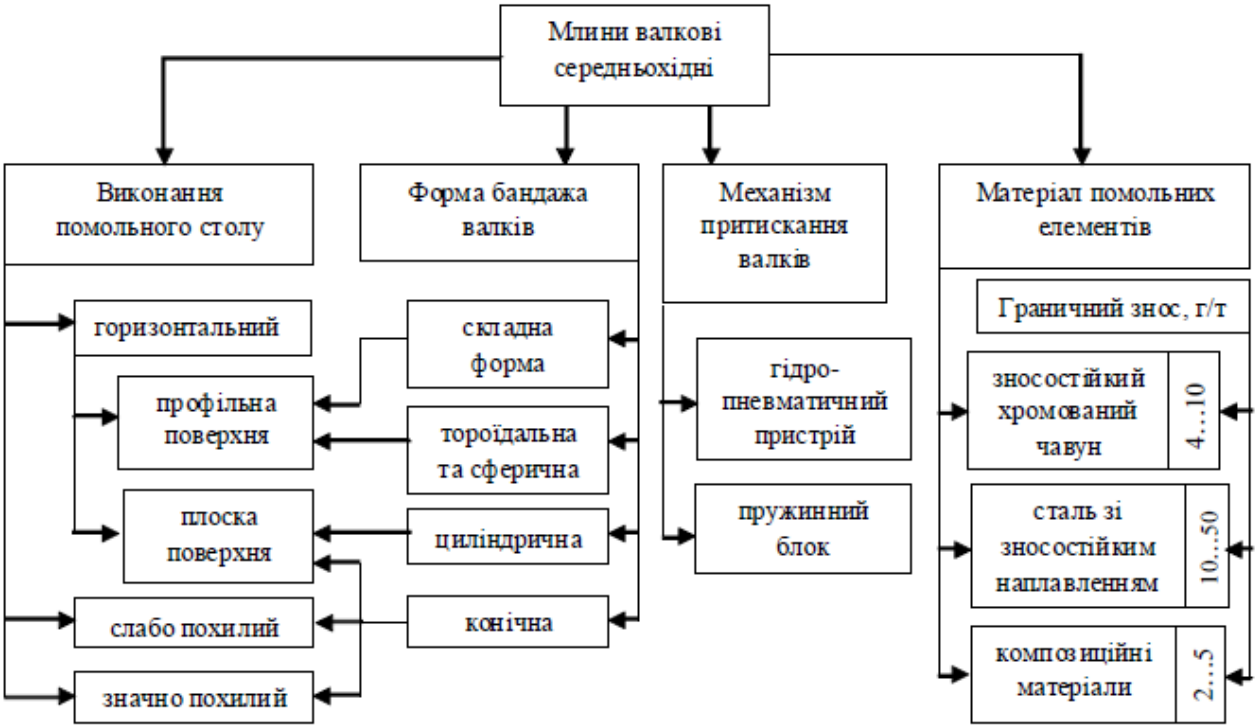


Рисунок 1.4 – Класифікація середньохідних вертикальних валкових млинів [5]

Типовий валковий млин [5] представляє з себе корпус у якому розташовані основні робочі органи: обертовий стіл, який приводиться до руху за допомогою електродвигуна через редуктору; двох або більше помольних валків, що оснащені притискним механізмом.

Технологічний процес дроблення починається з подачи вугілля в центр обертового столу. Відцентровою силою воно переміщується в область валків. По краях обертового столу паливо утримується за рахунок підтискного кільця. Валки притискаються до столу зусиллям блоку пружин або гідропневматичним пристроєм, що забезпечує необхідні зазори між бронями столу та поверхнею бандажа і регулює необхідне зусилля подрібнення матеріалу. Досягнувши певного розміру частки потрапляють в газовий потік, що рухається по всьому периметру робочого столу. Наступним етапом технологічного процесу є роділення часток у сепараторі. Більші частки потрапляють назад в млин в центр обертового столу, а менші залишаються в

потоці, виноситься з сепаратора і по пилепроводам направляються до пальників.

1.3 Конструкції валкових млинів.

На сьогодні млини зазначеного типу випускаються богатьма виробниками, зокрема: FL Smidth - Данія, Gebr. Pfeiffer AG – Німетчина, корпорація Krupp Polysius, Greate Wall Co – Китай та інші [5].

Привод млина складається з електродвигуна та конічно-циліндричного редуктора, з'єднаних між собою зубчатою муфтою. Двигун має два хвостовика, для редуктора та для млинового вентилятору. На тихохідному валу редуктора встановлена план-шайба, на яку монтується помольний стіл. Помольний стіл складається з чавунного корпусу та стальної конічної чаші або горизонтальною поверхнею столу. Внутрішня поверхня чаші футерується броньованими листами, які кріпляться зверху сталевим кільцем, а знизу входять в спеціальний паз. В нижній частині кріплять скребки для видалення провалу. В конічних чашах кут нахилу внутрішньої створюваної плит броні до вертикалі дорівнює 20°. Помольний ролик кріпиться до корпусу сепаратору. Бандаж встановлений на маточину по конічній поверхні 8°. Кожен ролик маж пружинний блок. Пружини встановлені між важелем та траверсою. Переміщення важеля догори обмежується опорою блоку, що встановлює зазор між плитами броні столу та бандажем. Переміщення траверси регулює натяг пружин. В млинах даної конструкції застосовують сепаратори повітряно-прохідного типу. Тонина помелу регулюється поворотом лопаток сепаратору, що приводиться від сервомотору. Сушильний агент підводиться під стіл та через направляючий апарат в помольну частину млину. Направляючий апарат представляє собою зварний обід з лопатями та встановленою над ним кільцевою фасонною бронею, що направляє потік у центр млину.

Конструкції млинів типу MPS. На сьогодні млини зазначеного типу випускаються фірмой «Бабкок» [5].

Млин має три валки великого діаметру з тороїдальним бандажем, які перекочуються по увігнутій доріжці помольного столу. Частота обертання останнього лежить в діапазоні 30…40 хв$^{-1}$. Дана конструкція не передбачає

пристрою підняття валків, тому двигун повинен мати великий пусковий момент. Валки шарнірно кріпляться до натискного кільця. Підшипники валків закріплені на нижньому опорному кільці, тиск на які передається через систему пружин від верхнього натискного кільця. Особливістю даної конструкції є профіль поверхні помольних елементів, який полегшує набігання валків на шар палива та зменшує питомі витрати енергії на помел, а також передача натискних зусиль на фундамент за допомогою системи тяг. Останній фактор зменшує навантаження на корпус. Сила натиску на верхнє кільце створюється та регулюється гідравлічним або пневматичним пристроєм. Тримачі валків спираються в натискному кільці на два ролики та можуть переміщуватись в радіальному напрямі. За рахунок збільшеного діаметру столу в зрівнянні з іншими типами млинів, як слід діаметр корпусу також більший. Це зменшує газовий опір.

Конструкції млинів типу «Раймонд» [5] має 3 валки та стіл у вигляді конічної чаші з кутом нахилу помольної поверхні столу до вертикалі близько 20°. В млинах з такою конструкцією столу при зношуванні робочих поверхонь спостерігається ковзання валків та зменшення частоти їх обертання.

Конструкції млинів типу МВ. На сьогодні млини зазначеного типу випускаються фірмой «Фостер-Уіллер» [5].

Млин складається з помольних валків та кільця складного профілю, які виготовляють за патентом Марка Берца. Помольний пристрій млину складається з 3 валків, обертового столу та верхнім натискним нерухомим кільцем, на яке тиск утворюється пружинами від натяжного гідравлічного пристрою аналогічно з млину фірми «Бабкок».

Особливістю даної конструкції також слід відзначити що валки не мають осей. За відомостями що надає фірма млин підходить для помелу всіх сортів палива та суміші палива з вологим шламом до 15% вологості [5].

Конструкція валкового млину Loesche. (рис.1.5). На сьогодні однією з найпоширених фірм в області виробництва вертикальних валкових млинів є фірма *Loesche.*

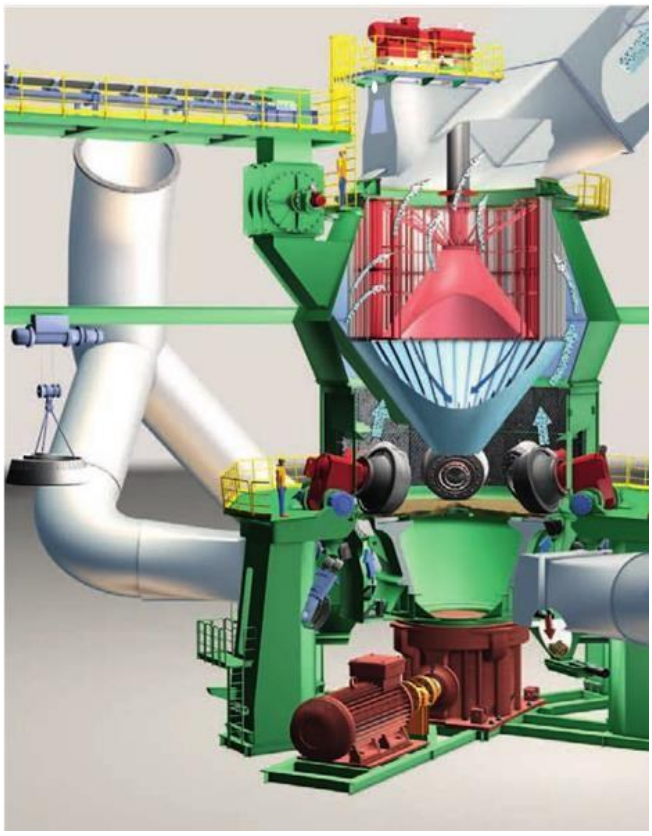


Рисунок 1.5 – Вертикальний валковий млин Loesche

Складається млин з наступних частин:

- основа млину, у складі фундаментної рами, опорної плити редуктора, станини, балки для зв'язку між станинами, газово / кільцевого каналу і газового каналу (вхідний патрубок) з інтегрованою воронкою для видалення сторонніх домішок;
- верхня частина, що представляє собою циліндричний корпус футерований броньованими плитами;
- помольний стіл, що складається з тіло помольного столу жорстко з'єднане різьбовими пальцями з приводним фланцем (план-шайба) редуктора млину. Горизонтальна верхня площина помольного столу футерована помольною плитою і утворює робочу поверхню. У центрі помольного столу вмонтований конус, який виконує роль витискання та розподілу вугілля. Помольна плита поділена на сегменти, які кріпляться притискними кільцями між внутрішнім і зовнішнім бортами помольного столу;
- жалюзійне кільце, що розміщується навколо помольного столу всередині

кільцевого каналу. Жалюзійні кільце рівномірно направляє гарячий газ, що виходить з кільцевого каналу, а лопаті, розташовані під кутом, забезпечують циркуляцію часток помелу в робочому просторі млини;

- броньоване кільце, що утворює подовження зовнішнього кільця корпусу жалюзійного кільця. Воно підтримує напрямок гарячого газу, що задається верхньою частиною стінки.
- скидачі, що встановлені на дні кільцевого каналу. Тут під час роботи або при запуску млина сторонні частинки захоплюються скидачами і направляються до спускної воронки.
- валки у кількості двох, трьох, чотирьох або шести. Валки розташовуються в нульовому положенні спираються з невеликим осьовим нахилом на горизонтальну робочу поверхню. Рекомендований кут нахилу для 13° - 16° до поверхні помольного столу .
- хитний важиль. Завданням хитного важеля є передача зусилля, створюваного гідравлічним циліндром на валок. При цьому зусилля з шарнірних пальців для натискної штанги в нижній частині виделки передається через затискний вузол на маточини, в центральний важіль і на валки. Вигнута форма виделки була обрана з урахуванням ефективного співвідношення зусиль між циліндром і валком для того, щоб звести до мінімуму зусилля на підшипниках кочення і розміри циліндрів [5];
- сепаратор. Піднімаючись з робочого простору млину потік направляється через статичний направляючий апарат в зону сепарації. Пилогазова суміш в залежності від положення лопатей цілеспрямовано поступає в зону між направляючим апаратом та концентрично обертовим ротором з сепараторними планками. Особливістю такої конструкції є неперервна додаткова сепарація відділених ротором потоків частинок, що виключає злипання готового продукту [4].

Модульний принцип конструкції млинів цього типового ряду дозволяє безпроблемне проектування млинів ще більшої продуктивності. Завдяки застосуванню модульних вузлів, випробуваних протягом тривалого часу в цементній промисловості, виробничий ризик виключається.

Області застосування:

- парові котли ТЕЦ, що працюють на твердому паливі;
- пиловугільні пальники для обертових печей у цементній промисловості і інших промислових печей; - установки газифікації та зрідження вугілля;
- установки для вдування пиловугільного палива в доменні печі. Модульна конструкція великих валкових млинів дозволяє використання одних і тих же конструктивних елементів у млинах різної величини. Такими конструктивними модулями зокрема є: помольних валок, важіль валка, основа і система амортизації.

Цей принцип конструювання був запатентований в 1970 році і застосовується як у вугільних млинах, так і в млинах для цементної промисловості і при переробці нерудних копалин. Цей принцип дозволяє проектувати млини з двома, трьома, чотирма і навіть шістьма помольними валками. Перші вугільні модульні млина типу LM 26.3 D були розроблені у 1980 році. 12 млинів цього типу були вперше встановлені на 2х600 МВт енергоблоках теплової електростанції Дувга, Південна Африка.

З 1994 року впроваджені й успішно працюють млини типу LM 35.3 D: - у чорній металургії:Тубарао, Бразилія, 1994 і 2004 рр. - в цементній промисловості: Нгі Сон, В'єтнам, 1998 рік, Гуанчжоу, Китайська народна республіка, 2005 рік.

Черговим важливим кроком у розвитку нашого обладнання стала розробка в 1970 році для цементної промисловості 4-х валковою млини для продуктивності вище 150 т/год на базі випробуваних модульних вузлів.

Дана конструкція дозволяє вести процес як з двома, так і з однією парою валків. Це підвищує технічну готовність установки і розширює діапазон її регульованості.

Великі вугільні помольні установки фірми Loesche без проблем сумісні з компонентами до установок, що використовуються в цементній промисловості протягом десятиліть.

В результаті споживачі отримують наступні переваги:
- скорочення інвестиційних витрат на електротехніку, контрольно-вимірювальну техніку і системи автоматичного управління

- скорочення витрат на будівництво, монтаж і експлуатацію;
- скорочення витрат на технічне обслуговування;
- скорочення витрат на запасні частини.

Класифікаційні млинів фірми «Loesche» наведена в табл.1.1.

Таблиця 1.1 – Конструктивні та технологічні параметри млинів валкових середньохідних фірми «Loesche» 5]

<table>
<tr><td rowspan="6">Конструктивні</td><td colspan="10">Параметр</td></tr>
<tr><td colspan="10">Діаметр столу млина, м</td></tr>
<tr><td>Малі млини</td><td colspan="9">Великі млини</td></tr>
<tr><td>1,2…2</td><td>2,1</td><td>2,3</td><td>2,8</td><td>2,6</td><td>2,8</td><td>3,5</td><td>4,1</td><td>4,3</td><td>5,3</td></tr>
<tr><td colspan="10">Кількість валків, шт.</td></tr>
<tr><td colspan="5">2</td><td colspan="3">3</td><td colspan="2">4</td><td>6</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Технологічні</td><td colspan="10">Продуктивність млину, т/ч</td></tr>
<tr><td colspan="3">10…50</td><td colspan="4">50…100</td><td colspan="3">100…300</td></tr>
<tr><td colspan="10">Енерговитрати, кВт/год.</td></tr>
<tr><td colspan="3">90…335</td><td colspan="4">400…700</td><td colspan="3">800…2400</td></tr>
</table>

Вугільні млини фірми Loesche розробляються відповідно до індивідуальних потреб замовників. Перехід з одного матеріалу, що подрібнюється на інший може здійснюватися без зупинки млина.

Фірма Loesche має багаторічний досвід роботи з наступними паливами:
- кам'яним вугіллям всіх сортів,
- антрацитом,
- нафтовим коксом різної якості,
- твердим бурим вугіллям,
- підсушеним бурим вугіллям,
- підсушеним і попередньо подрібненим лісоматеріалом (деревні окатиші),
- торф'яними окатишами і торф'яними брикетами,
- згущеним шламом.

До вертикальних валкових млинів здебільш висуваються такі вимоги: якість вихідного продукту (тонина помелу), продуктивність млину, витрати електроенергії на виробничий процес, знос помольних елементів. На ефективність роботи впливає велика кількість факторів: кількість циклів

подрібнення матеріалу, сила притискання валків, частота обертання помольного столу, регулювання параметрів роботи сепаратору, коефіцієнт розмолоздатності вугілля, зносостійкість матеріалу помольних елементів та інше. Але без належної уваги залишаються такі параметри: робочий процес відділення фракцій у сепараторі, характер руху матеріалу на обертовому столі, аеродинамічні процеси в камері млину та вплив конструкції соплового апарату, регулювання конструктивних параметрів помольного столу та бандажів. Також визначення питомих енерговитрат валкових млинів та продуктивності млину зводиться до впливу діаметру столу, що не відображує повною мірою процес подрібнення та обходить стороною такі важливі чинники як кінетика, динаміка та аеродинаміка [5].

Огляд конструкцій валкових млинів показує усю різноманітність можливих схем помелу. У роботі даного обладнання спостерігається велика кількість чинників, що впливають на ефективність експлуатації, більшість з яких мало досліджена. Отже можна впевнено визначити області подальшого вивчення та дослідження валкових млинів: вплив конструктивного виконання соплового апарату на аеродинаміку процесів в млині; кінетичні процеси помелу вугілля; процес сепарації та прогнозування гранулометричного складу; конструктивне виконання помольного столу та валків.

1.4 Огляд конструкцій робочих органів вертикальних валкових млинів

Принцип дії вертикального валкового млина представлений на рис.1.6 [6]. Матеріал подається через живильний жолоб у центр поворотного розмельного столу 8, що обертається редуктором 10, і під дією відцентрових сил розподіляється під валки 5. Валки формують шар матеріалу та змелюють його. Для захисту від зношування розмельний стіл оснащений футерувальними плитами 7, а валки – бандажами. Змелений матеріал перетікає через край столу, після чого гарячий повітряний потік крізь сопла 13 піднімає його до сепаратора 2. Тут готовий продукт проходить через ротор 1, а грубі частинки повертаються крізь воронку 3 до млина для повторного помелу. Занадто великі частки виводяться через лоток 12 і транспортуються для повторної переробки. Валки

змонтовані на осях, що встановлені на важелях 6. Для забезпечення необхідного зусилля стискання матеріалу між валками та столом при помелі використовують гідроциліндри 9.

Процес помелу у вертикальних валкових млинах базується на стисненні та зсуві в шарі матеріалу. Розподіл напруження у шарі сприяє утворенню мікротріщин, що забезпечує енергоефективне зменшення розміру частинок порівняно з барабанними млинами.

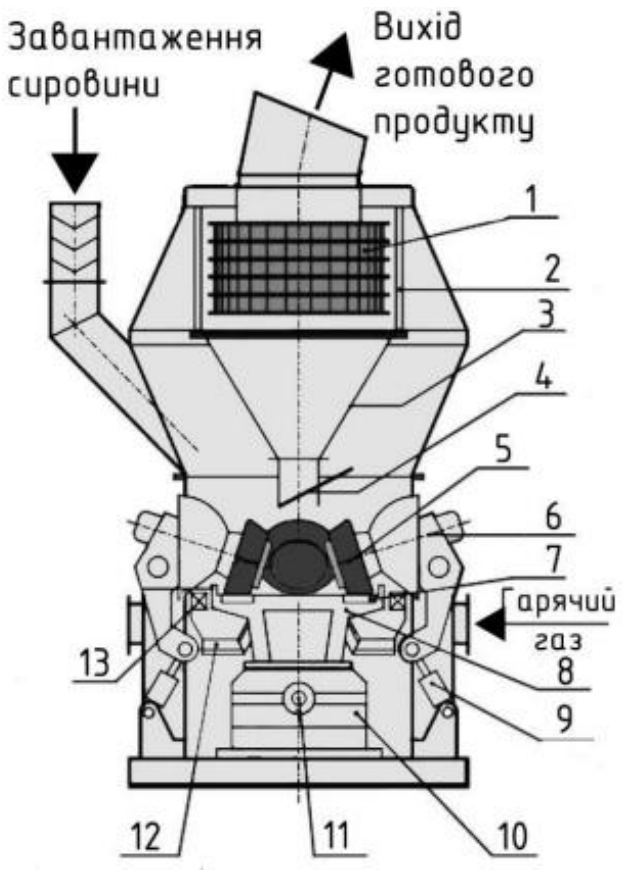
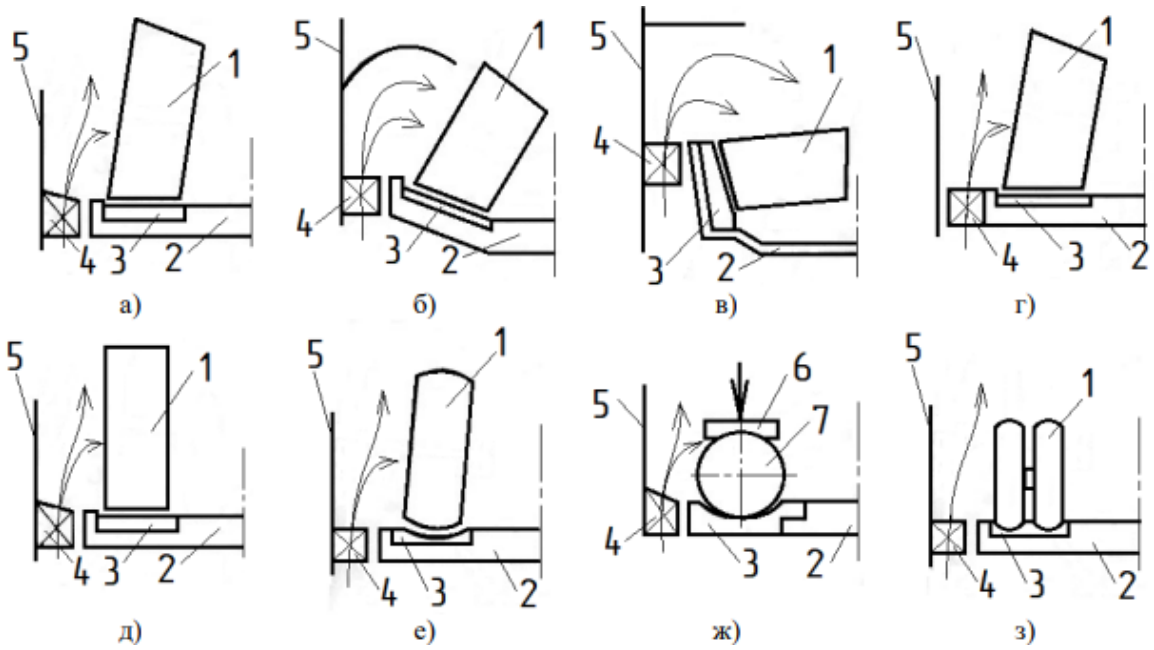


Рис. 1.6 - Конструкція вертикального валкового млина [6]

На рис.1.7 показано основні принципові схеми взаємного розташування розмелювальних елементів середньохідних млинів. В залежності від виробника суттєво різняться конструкція поротного столу, конструкція і кількість роликів та пристроїв забезпечення необхідного натискання розмелювальних елементів. Розмелювальні пристрої (рис.1.7) складаються з обертового столу 2, поверхня якого захищена бронею 3, і роликів 1 або куль 7, що котяться по столу. Розташування поверхні столу та роликів може бути різним: горизонтальним

(рис.1.7, а, г, д, е), слабопохилим (б), або крутопохилим (в). Форма поверхні помольних тіл так само, як і стіл, виконується різною: гладкою (рис.1.7, а, б, в, д) або тороїдальною (е). Подача повітря до розмелювальних елементів здійснюється через напрямні сопла 4, які роблять закріпленими на корпусі 5 млина (рис.1.7, а, б, в, г, е) або безпосередньо на обертовому помольному столі 2.

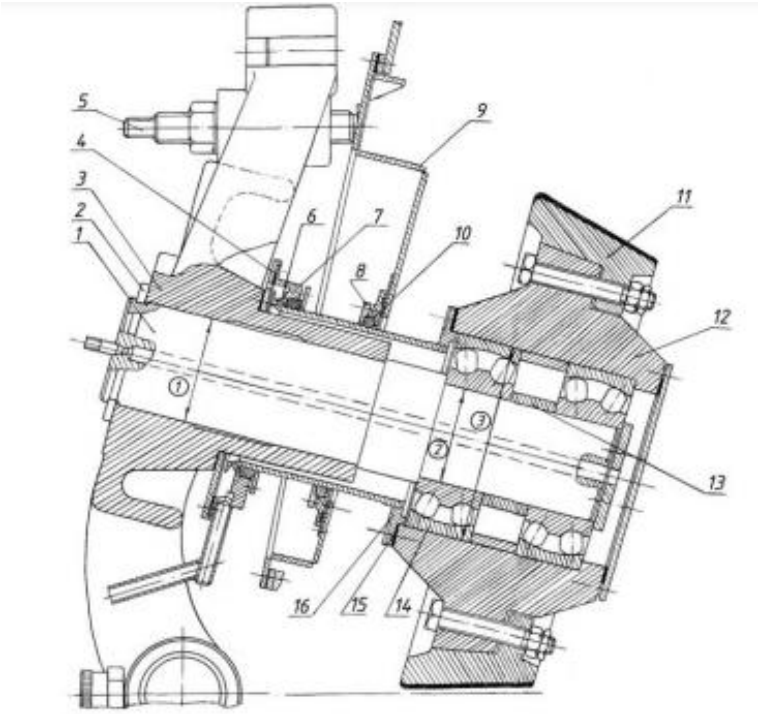


1 – валок; 2 – помольний стіл; 3 – бронеплита; 4 – пристрій подачі повітря; 5 – корпус млина; 6 - напірне кільце; 7 – кулі.

Рисунок 1.7 - Основні схеми розташування робочих елементів у вертикальних валкових млинах [6]

Сучасні вертикальні валкові млини оснащуються високотехнологічними системами автоматизованого управління, які інтегрують алгоритми штучного інтелекту та методи машинного навчання для адаптивної оптимізації параметрів помелу. Такі інтелектуальні системи забезпечують обробку технологічних даних у режимі реального часу, що дозволяє оперативно коригувати робочі режими з метою досягнення максимального рівня продуктивності, енергоефективності та стабільної якості продукту. Актуальні конструктивні рішення орієнтовані на принципи сталого розвитку, зокрема на мінімізацію питомого енергоспоживання та зменшення викидів вуглекислого газу у виробничому циклі. Запровадження теплотехнічних рішень, зокрема систем рекуперації тепла, дозволяє підвищити

загальну енергоефективність помельного процесу. Вдосконалені інженерні підходи до конструкції корпусу млина та віброізоляційних систем спрямовані на зниження рівня шуму й вібрацій, що розширює можливості експлуатації обладнання у зонах з підвищеними екологічними вимогами. Отже сучасні конструкції млинів передбачають модульний підхід до формування вузлів, що забезпечує оперативну заміну зношених елементів та гнучку адаптацію агрегату під різні види матеріалів з урахуванням їх фізико-механічних властивостей. Зростання вимог до сили притискання валків до робочої поверхні зумовило відмову від традиційних пружинних вузлів, які забезпечували одночасне зусилля на опозитні валки, на користь індивідуальних гідравлічних циліндрів.



1 – вісь валка; 2 - півкільце; 3 – важіль; 4 – диск передній; 5 – болт спеціальний; 6 - кільце; 7 – корпус ущільнення; 8 – кришка; 9 – кожух; 10 – диск задній; 11 - бандаж валка; 12 – корпус валка; 13 - розпірна втулка; 14 – підшипник; 15 - ущільнення; 16 – втулка

Рисунок1.8 - Конструкція вузла валка

Це дозволило здійснювати точне регулювання тиску кожного валка окремо відповідно до властивостей матеріалу, що подрібнюється. Перехід від м’яких

матеріалів, таких як вугілля, до високоміцних і абразивних компонентів -зокрема гранульованих шлаків – призвів до суттєвого збільшення зношування елементів помольної зони, передусім поверхонь валків і помольного столу. Якщо для вугілля було достатньо поверхневої твердості валка на рівні HRC 52 при хвилястості до 3 мм і товщині футерувального шару не менше 6,5 мм, то для шлакових матеріалів стали необхідними нові типи зносостійких наплавок та облицювань з підвищеними експлуатаційними характеристиками.

Для помелу матеріалів середньої міцності допускається використання бандажів із маловуглецевої сталі, армованих зносостійким наплавленим шаром. Як матеріали для наплавлення доцільно застосовувати порошкову стрічку типу ПЛ-АН 101, порошкові дроти ПП АН-125 або ПП-Нп350Х10Б8Т2 згідно з вимогами EN 14700 TZFe6, а також електроди типу Е-320Х23С2 ГТР. Таке виконання забезпечує задовільну зносостійкість при експлуатації у стандартних умовах помелу. В умовах інтенсивного абразивного зношування, зокрема під час помелу матеріалів з високим вмістом кремнезему, доменних шлаків та інших твердих включень, функціональні елементи валкового млина піддаються підвищеним навантаженням. Надмірне зношування поверхні валків призводить до зниження ефективності подрібнення, збільшення питомих енерговитрат та зростання експлуатаційних витрат. Особливу увагу необхідно приділяти стану футерувальних плит помольного столу, оскільки їх деградація може призводити до зростання вібраційних навантажень, що, у свою чергу, підвищує ризик виходу з ладу ключових вузлів обладнання та зменшує загальний ресурс млина. Знос робочих органів вертикальних валкових млинів, зокрема валків та помольного столу, є одним із визначальних чинників, що впливають на експлуатаційну ефективність, надійність і технічну готовність обладнання. Умови роботи цих елементів характеризуються дією інтенсивного абразивного зносу, високими контактними навантаженнями та періодичними ударними впливами, що ускладнює забезпечення їх довговічності та стабільної роботи протягом тривалого часу.

Одним із перспективних підходів до підвищення зносостійкості елементів помольного тракту є застосування полімер-металевих композиційних матеріалів, які демонструють кращі експлуатаційні характеристики порівняно з

традиційними матеріалами, такими як леговані сталі або високоміцний чавун. Завдяки поєднанню високої механічної міцності, ударної в'язкості та низького коефіцієнта тертя, полімер-металеві композити дозволяють істотно знизити інтенсивність зношування функціональних поверхонь. Використання таких матеріалів сприяє зменшенню частоти технічного обслуговування та скороченню витрат на ремонтні роботи, що безпосередньо впливає на економічну доцільність експлуатації млина. Крім того, результати експериментальних і промислових досліджень засвідчують, що впровадження полімер-металевих композитів забезпечує стабільну продуктивність млинів навіть у режимі тривалого циклічного навантаження. Подовження ресурсу основних вузлів без погіршення їх технічного стану позитивно впливає на загальну надійність системи подрібнення та мінімізує ризики незапланованих простоїв, які можуть спричинити значні втрати у виробничому процесі.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Привод вертикального валкового млина

Привід вертикальної валкового млина (ВВМ) - це ключовий вузол, що забезпечує обертання помольного столу і передачу необхідного для подрібнення матеріалів високого крутного моменту.

Основні елементи та принципи роботи приводу:

- двигун (зазвичай використовується потужний електродвигун),
- редуктор: він знижує високу швидкість обертання двигуна до необхідної низької швидкості помольного столу і одночасно збільшує крутний момент. Часто використовуються планетарні або конічно-циліндричні редуктори, здатні витримувати величезні вертикальні навантаження,
- система мастила: редуктор ВВМ працює в екстремальних умовах, тому система мастила забезпечує охолодження та зниження тертя.
- привід валків: у більшості ВВМ валки обертаються за рахунок тертя про матеріал на столі (самообіг), а привод обертає саме помольний стіл.

Типи приводів:

- роздільний привід: двигун з'єднаний із редуктором через муфту,
- привід із клинопасовою передачею: Іноді використовується для м'якшого пуску.

2.1.2 Конічно-планетарний редуктор

Вертикальний редуктор використовує одноступінчасту конічну передачу у поєднанні з планетарною зубчастою передачею [14,19].

Конічний ступінь (вхідний): зазвичай спірально-конічна передача, що забезпечує кутову передачу потужності (90°), компактність та високу міцність. Вона дозволяє розташувати двигун горизонтально, що зручно під час монтажу. Планетарні ступені (вихідні) забезпечують дуже високий крутний момент, плавність роботи, високий ККД та рівномірний розподіл навантаження між сателітами.

Основні компоненти:

- конічна пара (вхідна): конічна шестерня на вхідному валу передає обертання на конічне колесо планетарного механізму.
- сонячна шестерня (центральна): отримує обертання від конічної пари.
- сателіти: шестерні, що обертаються навколо сонячної шестерні та зчеплені з нею.
- водило: елемент, на якому закріплені осі сателітів; зазвичай є вихідним валом.
- епіцикл (зовнішнє зубчасте колесо): нерухоме зовнішнє кільце, з яким зчеплені сателіти.

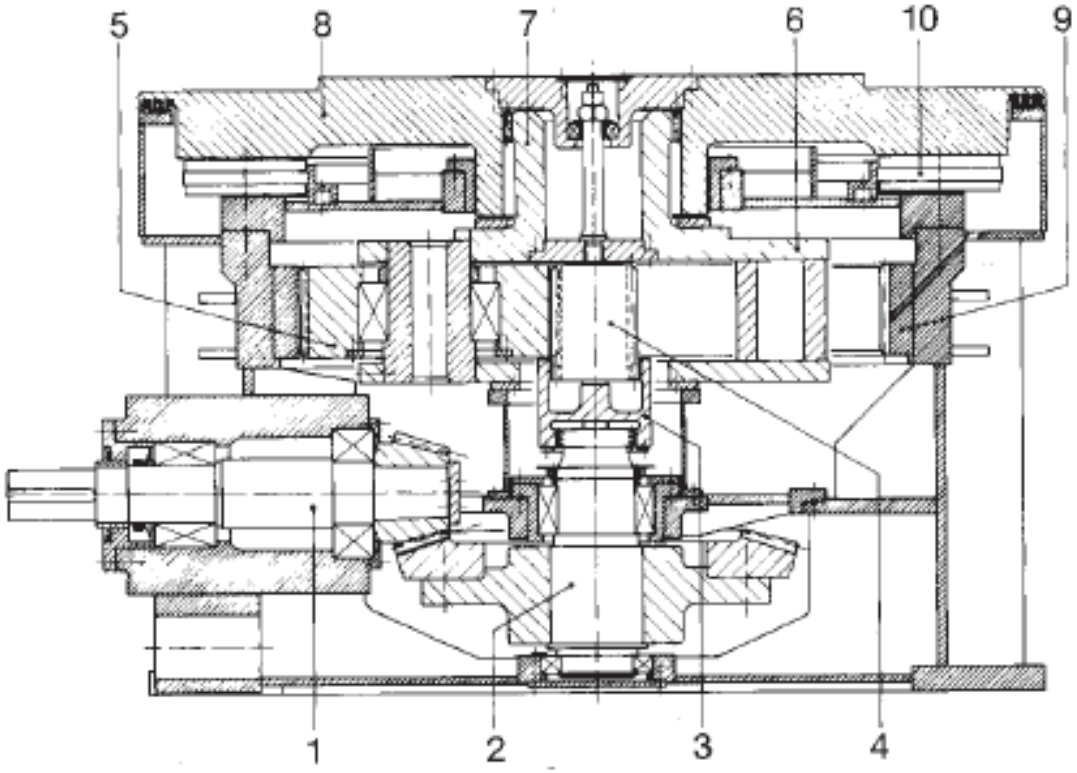
Принцип роботи:

- вхід обертання: обертовий момент від двигуна надходить на вхідний вал, де конічна шестерня передає його на «сонячну» шестерню планетарного механізму.
- рух сателітів: сонячна шестерня обертає сателіти. Оскільки сателіти також зчеплені із зовнішнім нерухомим епіциклом, вони починають обкатуватися по його внутрішній поверхні.
- зниження швидкості (редукція): за рахунок того, що сателіти мають менший діаметр, ніж епіцикл, вони обертаються навколо своєї осі та одночасно рухаються по колу, передаючи меншу швидкість на водило.
- збільшення крутного моменту: через різницю в кількості зубців між сонячною шестернею та сателітами, частота обертання водила (вихідного вала) стає значно нижчою, ніж у вхідного вала, але крутний момент при цьому зростає пропорційно зменшенню швидкості.
- вихід: обертання знімається з водила, яке обертається повільніше, але з більшою силою.

Особливості та переваги:

- високе передавальне число: завдяки планетарній системі, один ступінь редуктора може забезпечити велике зниження швидкості.
- компактність: вся потужність розподіляється між кількома сателітами (зазвичай 3 або 4), що дозволяє зменшити розміри.
- кутова передача: конічна пара дозволяє розмістити вхідний вал під кутом 90° до вихідного.

2.1.2 Конструкція конічно-планетарного редуктора



1,2 - вали конічної шестерні; 3 - зубчаста муфта; 4 - центральна сонячна шестерня планетарної ступеня; 5 - три планетарні шестерні; 6 - регульована сонячна шестерня; 6 - водило планетарної передачі; 8 – упорна пластина 9 - центральне кільце планетарного ступеня; 10 - вальниці ковзання



Рисунок 2.1 - Конструкція конічно-планетарного редуктора

Привід здійснюється через конічну шестерню з горизонтально розташованим вхідним валом. Вал конічної шестерні (1) та вал конічної шестерні (2) встановлені на конічних та циліндричних роликових підшипниках.

Парні конічні роликові підшипники сприймають осьовий зусилля, що виникає від конічної шестерні.

Планетарна ступінь

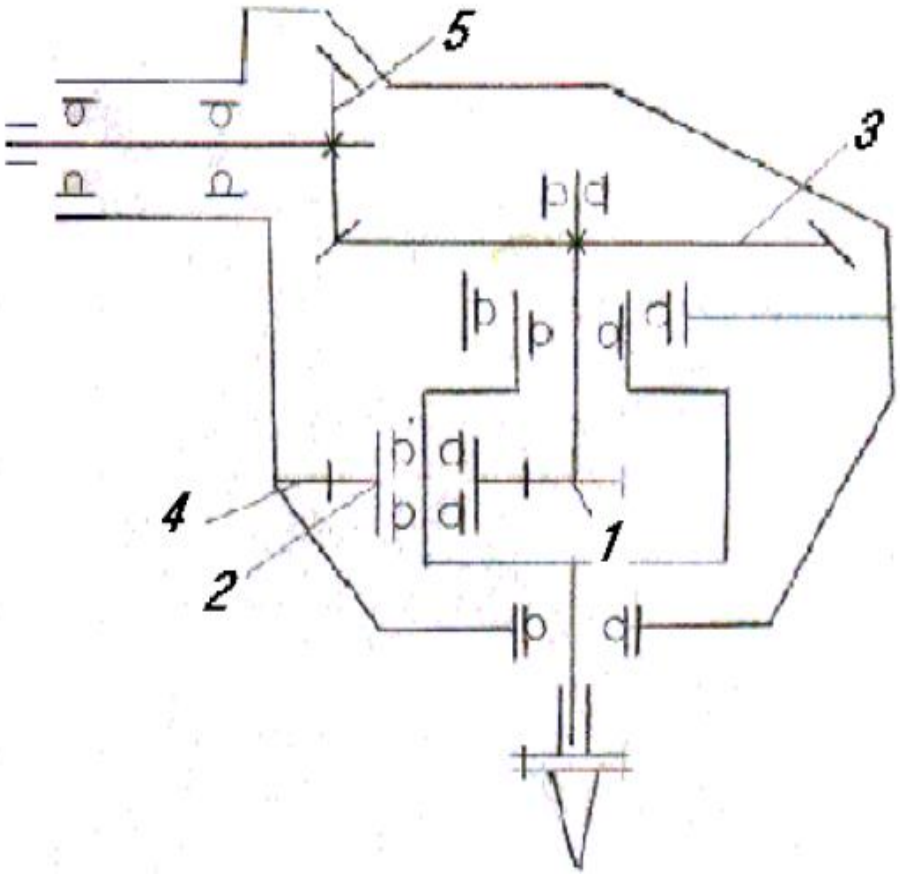
Крутний момент передається зубчастою муфтою (3) від вала конічної шестерні (2) до центральної сонячної шестерні (4) планетарної ступеня. Рівномірний розподіл крутного моменту на три планетарні шестерні (5) забезпечується вільно регульованою сонячною шестернею (4) та планетарними шестернями (5), які спираються на сферичні роликові вальниці.

Як додатковий ступінь свободи, водило планетарної передачі (6) не спиратиметься на підшипники у випадку редукторів розміром від B1PV 140 і вище. У цьому випадку зубчаста муфта з'єднує водило планетарної передачі з упорною шайбою (8) на вихідному боці.

Центральне кільце (9) планетарної ступені міцно закріплене на корпусі в обох випадках.

Вихідний сигнал редуктора здійснюється через натискну пластину (8), яка міцно з'єднана зі шліфувальним столом за допомогою болтів. Вертикально спрямовані шліфувальні сили, що виникають від млина, безпосередньо передаються через різні підшипники ковзання (10) та через стінку корпусу у фундамент. Додаткові радіальні сили, що виникають в процесі шліфування, поглинаються підшипниками ковзання для редукторів розміру від 140, та роликовими підшипниками для менших редукторів розміру до 125.

2.2 Розрахунок параметрів приводу вертикального валкового млина



1 - сонячна шестерня - центральне зубчасте колесо планетарного ряду;

2 - сателіт – шестерня (яка обертається навколо своєї осі і одночасно переміщається разом із водою навколо сонячної шестерні);

3 - вал (вторинний або проміжний, передає крутний момент до наступного вузла);

4 - коронна шестерня (зовнішнє зубчасте колесо з внутрішнім зачепленням);

5 - конічна передача (служить для зміни напрямку передачі крутного моменту).

Рисунок 2.2 а - Кінематична схема конічно-планетарного редуктора

Тип редуктора	BPP085V
Номінальна потужність	600 кВт
Частота обертів ведучого вала	990 об/хв
Частота обертів відомого валу	34,5 об/хв
Передаточне число	1 / 28.73

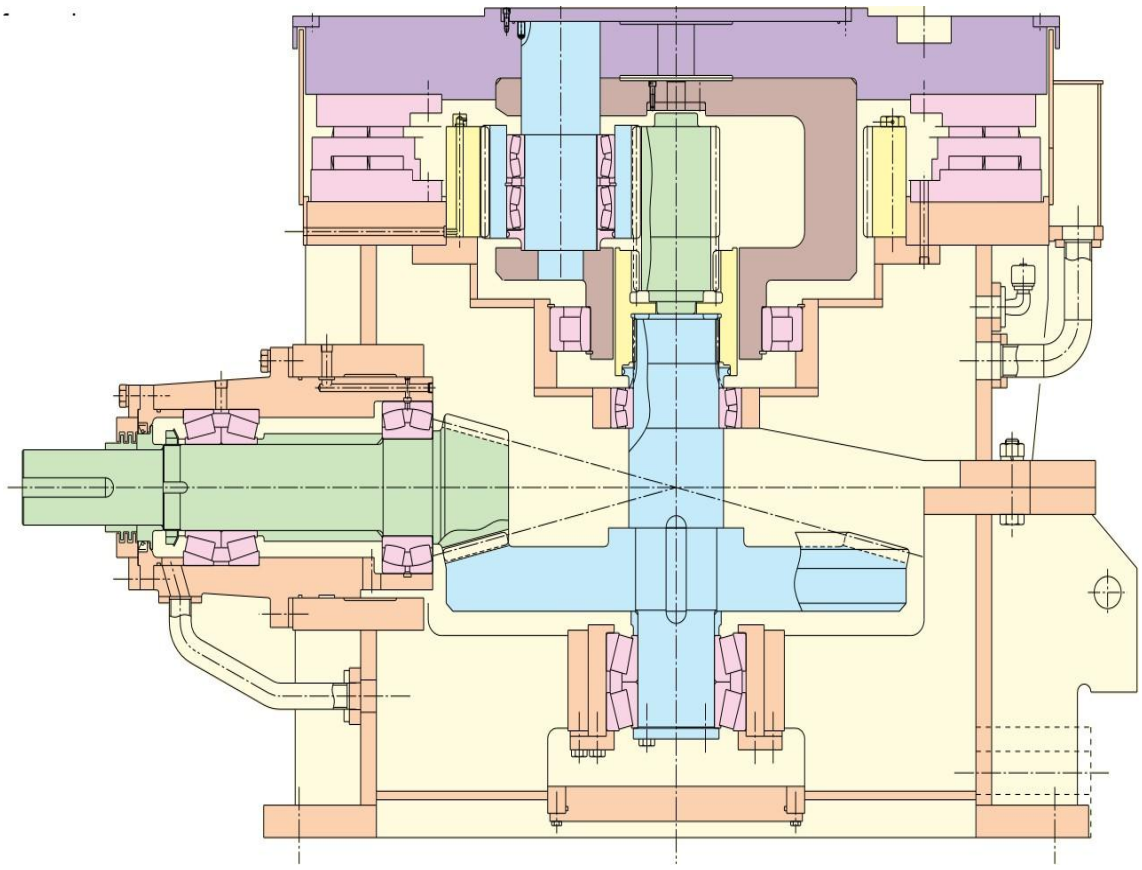


Рисунок 2.2 б - 2-х ступінчатий планетарний редуктор BPP085V валкового млина

2.2.2 Визначення кінематичних та силових параметрів [15,16]

Визначаємо частоту обертання валів

$$n_1 = n_{ЕД} = 990 \text{ об/ хв}$$

$$n_{11} = \frac{n_1}{U_ш} = \frac{990}{4.93} = 200{,}81 \text{ об/ хв}$$

$$n_{111} = \frac{n_{11}}{U_m} = \frac{200.81}{5.82} = 35.4 \text{ об/ хв.}$$

Визначаємо кутову швидкість валів

$$\omega_1 = \frac{\pi n_1}{30} = \frac{3{,}14 \cdot 950}{30} = 103{,}67 \text{ рад/с}$$

$$\omega_1 = \frac{\pi n_{11}}{30} = \frac{3{,}14 \cdot 20{,}81}{30} = 21 \text{ рад/с}$$

$$\omega_{111} = \frac{\pi n_1}{30} = \frac{3{,}14 \cdot 35{,}4}{30} = 3{,}61 \text{ рад/с}$$

Таблиця 2.1 - Результати кінематичного та силового розрахунку

Вал	Числові значення параметрів привода			
	Потужність *P*, кВт	Кутова швидкість ω, рад/с	Частота Обертання *n*, об/ хв	Обертаючий момент *T*, кН·м
I	631	103.67	990	5,7
II	625	21	200.81	28.1
III	600	3.61	34.5	166.2

Визначаємо потужність на валах

$$P_{111} = P = 600 \text{ кВт}$$

$$P_{11} = \frac{P_{111}}{\eta_{III}} = \frac{600}{0{,}96} = 625 \text{ кВт}$$

$$P_{11} = \frac{P_{111}}{\eta_{III}} = \frac{600}{0{,}96} = 625 \text{ кВт}$$

Визначаємо обертаючі моменти на валах

$$T_1 = \frac{P_1}{\omega_1} = \frac{3{,}31 \cdot 10^3}{103{,}67} = 5{,}7 \text{ кН·м}$$

$$T_{11} = \frac{P_{11}}{\omega_{11}} = \frac{3{,}609 \cdot 10^3}{21} = 28{,}1 \text{ кН·м}$$

$$T_{111} = \frac{P_{111}}{\omega_{111}} = \frac{600 \cdot 10^3}{3{,}61} = 166{,}2 \text{ кН·м}$$

Розрахунок швидкохідної зубчастої конічної передачі

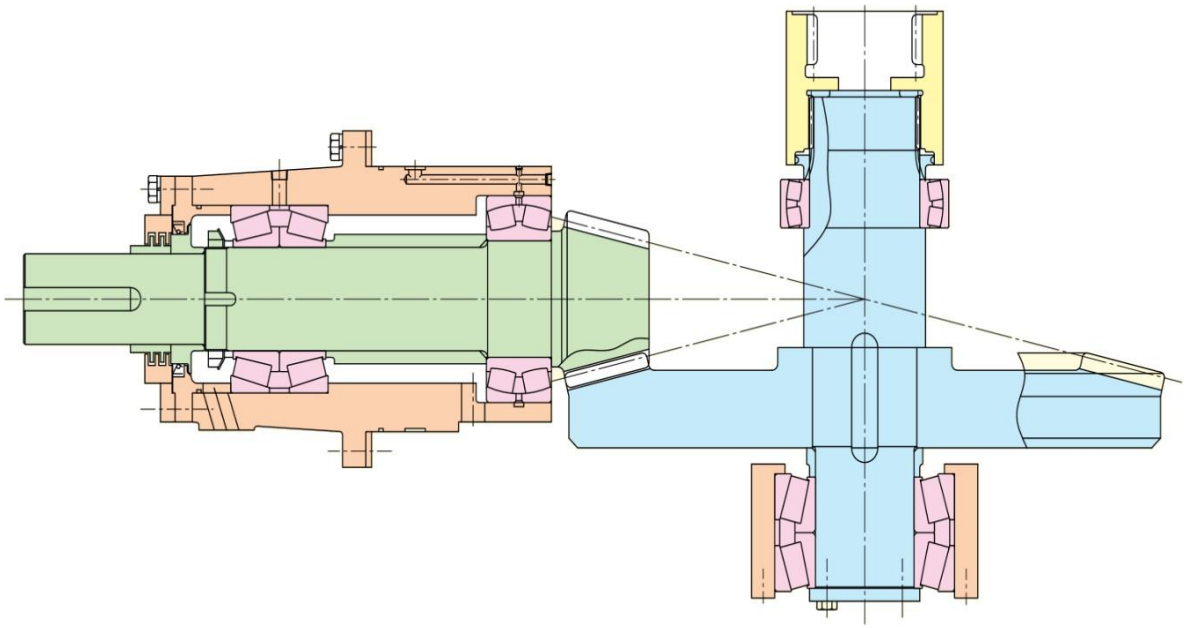


Рисунок 2.3 - Конічна передача

Тип передачі	косозуба
Момент обертаючий на колесі, номінальний	$T_{2H} = 28.1$ кНм
Частота обертання колеса	$n_2 = 200$об / хв
Модуль зачеплення	$m_e = 13$ мм
Кількість зубів:	
Шестерні	$Z_1 = 16$
Колеса	$Z_2 = 79$
Кут нахилу зубів :	25°

Матеріал зубчастих коліс

- шестерня : сталь 20ХМ , термообробка –, $\sigma_B = 780$ МПа , $\sigma_T = 590$ МПа, , середнє $\overline{HB} = 179$

- колесо : сталь 20ХМ , термообробка –, $\sigma_B = 780$ МПа , $\sigma_T = 590$ МПа, , середнє $\overline{HB} = 179$

Визначаємо кут ділильного конуса

$$\delta_1' = arctg\frac{1}{U} = arctg\frac{1}{4{,}93} = 11{,}4^o$$

Визначаємо дійсні величини кутів ділильних конусів

$$\delta_1' = arctg\frac{1}{U} = arctg\frac{1}{4{,}93} = 11{,}4^o$$

$$\delta_1 = arctg\frac{z_1}{z_2} = arctg\frac{16}{79} = 11{,}44^o$$

$$\delta_2 = arctg\frac{z_2}{z_1} = arctg\frac{79}{16} = 78{,}55^o$$

Визначаємо дійсну зовнішню конусну відстань

$$R_e = 0{,}5 \cdot m_e \cdot \sqrt{Z_1^2 + Z_2^2} = 0{,}5 \cdot 13 \cdot \sqrt{16^2 \cdot 79^2} = 524$$

Визначаємо фактичне передаточне число :

$$U_\Phi = \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$U_\Phi = \frac{79}{16} = 4{,}938$$

Визначаємо погрішність передаточного числа :

$$\Delta U = \frac{U - U_\Phi}{U} \cdot 100\% \qquad (2.1)$$

$$\Delta U = \frac{4{,}93 - 4{,}938}{4{,}93} \cdot 100\% = 0{,}2\%$$

Визначаємо геометричні розміри зубчастих коліс

Знаходимо ширину :

- колеса

$b_2 = 140$мм ,

- шестерні

$b_1 = b_2 + (2...5)$,

$b_1 = 40 + 4 = 145$мм

Визначаємо зовнішню висоту головки зубів шестерні h_{ae1} та колеса h_{ae2}

$$h_{ae1} = h_{ae2} = \text{m=13}$$

Визначаємо зовнішню висоту ніжки зубів шестерні h_{fe1} та колеса h_{fe2}

$$h_{fe1} = h_{fe2} = 1{,}2 \cdot m_e = 1{,}2 \cdot 13 = 15{,}6 \text{ мм}$$

Визначаємо зовнішню висоту зубів шестерні h_{e1} та колеса h_{e2}

$$h_{e1} = h_{e2} = 2{,}2 \cdot m_e = 2{,}2 \cdot 13 = 28{,}6 \text{ мм}$$

Визначаємо зовнішні ділильні діаметри шестерні d_{e1} та колеса d_{e2}

$$d_{e1} = m_e \cdot Z_1 = 13 \cdot 16 = 208 \text{ мм}$$

$$d_{e2} = m_e \cdot Z_2 = 13 \cdot 79 = 1027 \text{ мм}$$

Визначаємо зовнішні діаметри зубів шестерні d_{ae1} та колеса d_{ae2}

$$d_{ae1} = d_{e1} + 2 \cdot h_{ae1} \cdot \cos\delta_1 = 208 + 2 \cdot 13 \cdot \cos 11{,}44 = 233{,}4 \text{ мм}$$

$$d_{ae2} = d_{e2} + 2 \cdot h_{ae2} \cdot \cos\delta_2 = 1027 + 2 \cdot 13 \cdot \cos 78{,}55 = 1032 \text{ мм}$$

Визначаємо зовнішні діаметри впадин зубів шестерні d_{fe1} та колеса d_{fe2}

$$d_{fe1} = d_{e1} - 2 \cdot h_{fe1} \cdot \cos\delta_1 = 208 - 2 \cdot 15.6 \cdot \cos 11{,}44 = 177.4 \text{ мм}$$

$$d_{fe2} = d_{e2} - 2 \cdot h_{fe2} \cdot \cos\delta_2 = 1027 - 2 \cdot 15{,}6 \cdot \cos 78{,}55 = 1020 \text{ мм}$$

Визначаємо середній окружний модуль зачеплення m_m

$$m_m = m_e \cdot \left(1 - \frac{0{,}5 \cdot b}{R_e}\right) = 13 \cdot \left((1 - 0{,}5 \cdot \frac{140}{523{,}9}\right) = 11.26 \text{ мм}$$

Визначаємо середні ділильні діаметри шестерні d_{m1} та колеса d_{m2}

$$d_{m1} = m_m \cdot Z_1 = 11.26 \cdot 16 = 180.21 \text{ мм}$$

$$d_{m2} = m_m \cdot Z_2 = 11.26 \cdot 79 = 889.7 \text{ мм}$$

Визначаємо колову швидкість передачі

$$V = \frac{\pi \cdot d_2 \cdot n_2}{60 \cdot 1000}$$

$$V = \frac{3{,}14 \cdot 1027 \cdot 200.8}{60 \cdot 1000} = 11.18 \text{ м/с}$$

За ДСТ 1643-81 приймаємо степінь точності 8 - $V = 10$ м/с

Визначення коефіцієнта ширини венця зубчатого колеса відносно середнього ділильного діаметру шестерні

$$\Psi_{bd} = \frac{b}{d_{m1}} = \frac{140}{180} = 0{,}77$$

Приймаємо кут зачеплення $\alpha_W = 20^\circ$

Визначаємо дійсне контактне напруження зубчатих коліс

$$\sigma_H = 1{,}18 \cdot \sqrt{\frac{E_{np} \cdot T_1 \cdot K_H \cdot \sqrt{U^2 + 1}}{\upsilon_H \cdot d_{m1}^2 \cdot b \cdot \sin(2 \cdot \alpha_W) \cdot U}}$$

$$\sigma_H = 1{,}8 \cdot \sqrt{\frac{5{,}7 \cdot 1{,}3 \cdot \sqrt{4{,}93^2 + 1}}{11{,}8 \cdot 180{,}21^2 \cdot 140 \cdot \sin(2 \cdot 20) \cdot 4.93}} = 725 \text{ МПа}$$

Визначаємо колову силу в зачепленні зубчатих коліс

$$F_t = \frac{2 \cdot T_1}{d_{m1}} = 2 \cdot 5700 / 0{,}180 = 63161.31 \text{ Н}$$

Визначаємо радіальну силу на шестерні передачі F_{r1} яка дорівнює осьовій силі колеса F_{a2}

$$F_{r1} = F_{a2} = \frac{F_t}{\cos\beta_n} \cdot (\operatorname{tg} \alpha_W \cdot \cos \delta_1 - \sin\beta_n \cdot \sin \delta_1)$$

$$F_{r1} = F_{a2} = \frac{63161,3}{\cos 25°} \cdot \left(tg20° \cdot \cos 11,44 + \sin 25° \cdot \sin 11,44° \right) = 18709H$$

Визначаємо осьову силу на шестерні передачі F_{a1} яка дорівнює радіальній силі колеса F_{r2}

$$F_{a1} = F_{r2} = \frac{F_t}{\cos\beta_n} \cdot \left(tg\alpha_W \cdot \sin\delta_1 + \sin\beta_n \cos\delta_1 \right)$$

$$F_{a1} = F_{r2} = \frac{63161,3}{\cos 25°} \cdot \left(tg20° \cdot \sin 11,44 + \sin 25° \cdot \cos 11,44° \right) = 33898H$$

Таблиця 2.2 – Результати розрахунків тихохідної ступені

Параметр	Значення
Число зубів шестерні Z_1	16
Число зубів колеса Z_2	79
Зовнішній окружний модуль передачі m_e, мм	13
Кут ділильного конуса шестерні δ_1, град	11.44°
Кут ділильного конуса колеса δ_2 , град	78.55°
Зовнішній ділильний діаметр шестерні d_{e1}, мм	208
Зовнішній ділильний діаметр колеса d_{e2}, мм	1027
Зовнішня конусна відстань передачі R_e, мм	523
Ширина венця зубчатого колеса передачі b , мм	140
Кут нахилу зубів коліс β_n	25°
Колова швидкість передачі υ, м/с	11.8
Ступень точності передачі S_T	10
Окружна сила в зачепленні зубчатих коліс F_t, Н	63161
Розрахункове допустиме контактне напруження $[\sigma_H]$, МПа	724.95

Параметр	Значення
Дійсне контактне напруження в зубчатому зачепленні $[\sigma_H]$, МПа	725
Допустиме напруження згину для зубів колеса σ_{F2}, МПа	285.8
Дійсне напруження згину зубів колеса σ_{F2}, МПа	235.8

2.2.3 Розрахунок тихохідної зубчастої планетарної передачі [14,17]

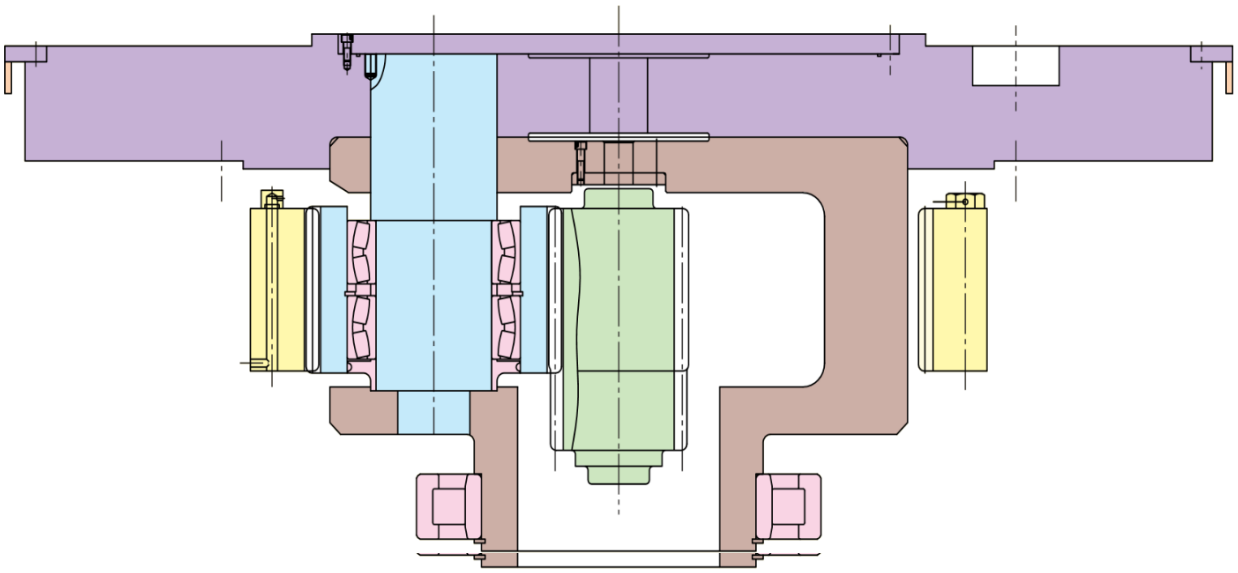


Рисунок 2.4 - Планетарна передача

Тип передачі - Планетарна

Обертаючий момент вихідного валу T_{2m} = 166кНм;

Частота обертання вихідного валу n_{2m} = 34,5 об/хв.

Модуль зачеплення m = 8 мм.

Кількість зубів:

Сонячної шестерні Z_1 = 22;

Планетарної шестерні Z_2 = 42;

Шестерні внутрішнього зачеплення Z_3 =106

Матеріал зубчастих коліс

Сонячної шестерні

сталь 20ХМ , термообробка –, $\sigma_B = 780$ МПа , $\sigma_T = 590$ МПа, , середнє $\overline{HB} = 179$

Планетарної шестерні сталь 20ХМ , термообробка –, $\sigma_B = 780$ МПа , $\sigma_T = 590$ МПа, , середнє $\overline{HB} = 179$

Шестерні внутрішнього зачеплення

Сталь 38ХМ ,

термообробка – $\sigma_B = 980$ МПа , $\sigma_T = 885$ МПа,

середнє $\overline{HB} = 241$

Міжосьова відстань передачі

$$a_w = 1 + \frac{z_1 + z_2}{2} = 1 + \frac{22 + 42}{2} = 256 \text{ мм}$$

Приймаємо a_w = 256 мм.

Уточнюємо передаточне число по формулі:

$$u_ф = 1 + \frac{106}{22} = 5{,}816$$

Геометричний розрахунок:

Сонячної шестерні

d_{1T} = 22·8= 176 мм;

d_{a1T} = 176 + 2·8 = 192 мм;

d_{f1T} = 176 – 2,5·8 = 156 мм;

$в_{1m}$ = 80+4=204 мм.

Планетарної шестерні

d_{2T} = 42·8 = 336 мм;

d_{a2T} = 336 +2·8 = 352 мм;

d_{f2T} = 336 – 2,5·8 = 316мм;

$в_{2m}$ = 0,4·200 = 209 мм;

Шестерні внутрішнього зачеплення

d_{3T} =106 ·8 = 848 мм;

d_{a3T} = 848 +2·8 = 864 мм;

d_{f3T} = 848 – 2,5·8 = 864мм;

$в_{3m}$ = 0,4·200 = 207 мм.

Коефіцієнт ширини шестерні

$$\psi_{вd} = \frac{204}{176} = 1{,}15$$

Колова швидкість передачі

$$\vartheta = \frac{\pi \cdot d_{2t} \cdot n_2}{60 \cdot 1000};$$

$$\vartheta = \frac{3{,}14 \cdot 336 \cdot 34.5}{60 \cdot 1000} = 0{,}604 м/с.$$

Сили в зачепленні

Колова $F_{t3} = F_{t4} = \frac{2T_4}{d_4}$,

де T_2 – обертаючий момент на колесі, Н·м;

d_2 – ділильний діаметр колеса, м.

$$F_{t3} = F_{t4} = \frac{2 \cdot 166 \cdot 10^3}{0{,}336} = 988095 \text{ Н},$$

Радіальна $F_{r3} = F_{r4} = F_t \cdot tg\alpha$,

де α - кут зачеплення, $\alpha = 20°$.

$$F_{r1} = F_{r2} = 988095 \cdot tg20° = 359637 H.$$

Таблиця 2.3 – Результати розрахунків тихохідної ступені

Параметри передач		Тихохідна ступінь		
		Сонячна Шестерня	Планетарна шестерня	Колесо
1.	Діаметр ділильної окружності, мм	d_{1m} =176	d_{2m}= 336	d_{3m}= 848
2	Діаметр окружності виступів, мм	d_{a1m}=192	d_{a2m}=352	d_{a3m}=864
3	Діаметр окружності западин, мм	d_{f1m}=156	d_{f2m}=316	d_{f3m}=828
4	Ширина венця, мм	b_{1m} = 204	b_{2m} = 209	b_{3m} = 207
5	Число зубів	Z_{1m} = 22	Z_{2m} = 42	Z_{3m} = 106
6	Модуль нормальний, мм	m_{nm} = 8		
8	Кут нахилу зубів, град.	0°		
9	Міжосьова відстань, мм	a_{wt} = 256		
10	Сили в зачепленні, колова Радіальна, Н	F_{tt} = 98809 5Н , F_{rm} =359637 Н		

2.3 Розрахунки на міцність та стійкість

2.3.1 Вибір конструктивних матеріалів [14,18,19]

Основними критеріями вибору конструкційних матеріалів для виготовлення окремих елементів конструкції валкової дробарки є: забезпечення необхідної корозійної стійкості матеріалу в робочих умовах, високі механічні і технологічні властивості матеріалу, низька вартість і не дефіцитність [14,18,19].

Так як перероблювана сировина не є корозійно активною, то найбільш оптимальним вибором для виготовлення відповідальних деталей валкової дробарки, а так само рами є сталь конструкційна низьколегована 09Г2С (замінники: сталь 09Г2, сталь 09Г2ДТ, сталь 09Г2Т, сталь 10Г2С).

Вид поставки (сортамент): фасонний прокат (квадрат г/катаний, коло г/катаний), листовий прокат (лист товстий г/катаний, лист тонкий х/катаний ГОСТ 19904-90, смуга), профільний прокат (швелер г/катаний, балка двотаврова г/катана).

Основні фізико-механічні властивості сталі 09Г2С наведено в табл.2.4.

Таблиця 2.4 – Фізико-механічні властивості сталі 09Г2С

Показник	Значення
Модуль пружності *E*, *МПа*	200000
Модуль зсуву *G*, *МПа*	77000
Щільність ρ, *кг/м*^{3}	7850
Границя міцності σ_B, *МПа*	не менше 360
Границя текучості σ_T, *МПа*	не менше 180
Відносне звуження ψ, %	56
Відносне подовження δ, %	25
Твердість за Брінелем, НВ	115
Зварюваність	без обмежень

2.3.2 Розрахунок приводного валу

Приводний вал млина працює у важких умовах. На нього впливають статичні і динамічні навантаження, особливо при дробленні твердих порід. Діючими силами є (рис.2.5) крутний момент M_K, окружне зусилля від натягу ременя *РН*, яке в залежності від розташування електродвигуна з редуктором може створювати деформацію вигину в одній площині або в двох (вертикальній і горизонтальній) силами $P_{НВ}$ і $P_{НГ}$ дроблення матеріалу $P_{ДР}$, спрямоване в горизонтальній площині. Силу $P_{ДВ}$ у вертикальній площині, від тертя вальця за матеріалом, при розрахунку до уваги не беремо. Вона становить не більше 5 % і дорівнює різниці між силою, що утримує матеріал від виштовхування і виштовхувальною силою.

Таким чином, отримаємо наступну рівність:

$$P_{др} f \cos\alpha - P_{др} \sin\alpha = P_{др}\left(0{,}45\cos 20^o - \sin 20^o\right) = 0{,}04 P_{др}$$

Натяг паса у вертикальній площині може бути дуже малим і його слід приймати при розрахунку тільки в тому випадку, коли кут нахилу ременя до горизонту буде більше 30°.

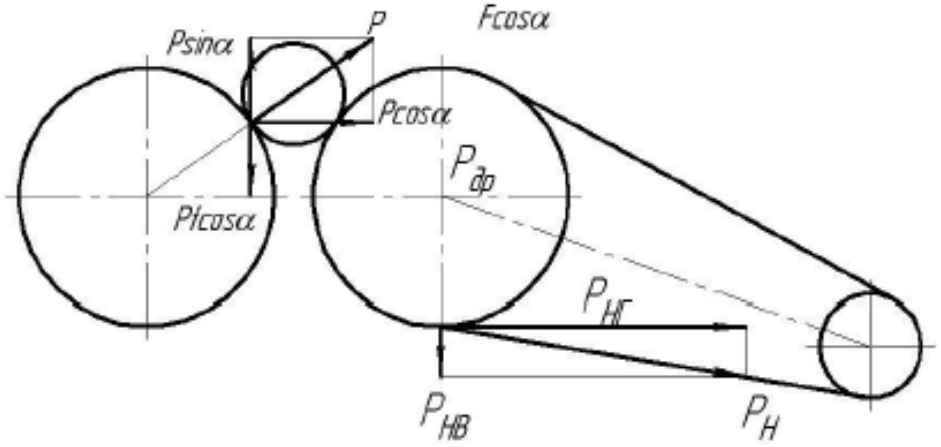


Рисунок 2.5 – Схема навантаження приводного вала

Для визначення реактивних сил в опорах А і Б складаємо рівняння суми моментів сил:

$$\sum M_B = 0;\ \sum M_A = 0;\ \sum R_A = 0;\ \sum R_B = 0;\ l_2 = l_4$$

$$\sum M_B = 0:\ P_{HГ}(l - l_1) + \frac{P_y}{2}(l_3 + l_2) - R_B(l_2 + l_3 + l_4) - P_3 l_1 = 0$$

$$R_B = \frac{P_{HГ}(l - l_1) + \frac{P_y}{2}(l_3 + l_2) - P_3 l_1}{l_2 + l_3 + l_4}$$

$$\sum M_B = 0:\ \sum R_A = 0;\ R_A = \frac{P_B(l - l_{51}) + \frac{P_y}{2}(l_3 + l_2) - P_{HГ} l_5}{l_2 + l_3 + l_4}$$

Небезпечним перетином будуть $x - x$ і $y - y$ місця кріплення валка на валу шпонкою. Розраховуємо вал на кручення і вигин, по максимальним навантаженням. Для цього будуємо епюри згинальних і крутних моментів (рис.2.6) і перевіряємо виконання умов міцності на вигин і кручення.

з епюрами згинальних і крутних моментів

Визначаємо еквівалентний згинальний момент для найбільш навантаженого перерізу вала за [32]:

$$M_E = \sqrt{3465^2 + 79015^2} = 8640\ \text{Н·м}.$$

Тоді напруги вигину в перерізі вала 2 – 2 [32]:

$$\sigma = \frac{8640}{0{,}1 \cdot 0{,}14^3} = 31{,}46 \cdot 10^6 \text{ Па} \quad \text{або} \quad 31{,}48 \text{ МПа}.$$

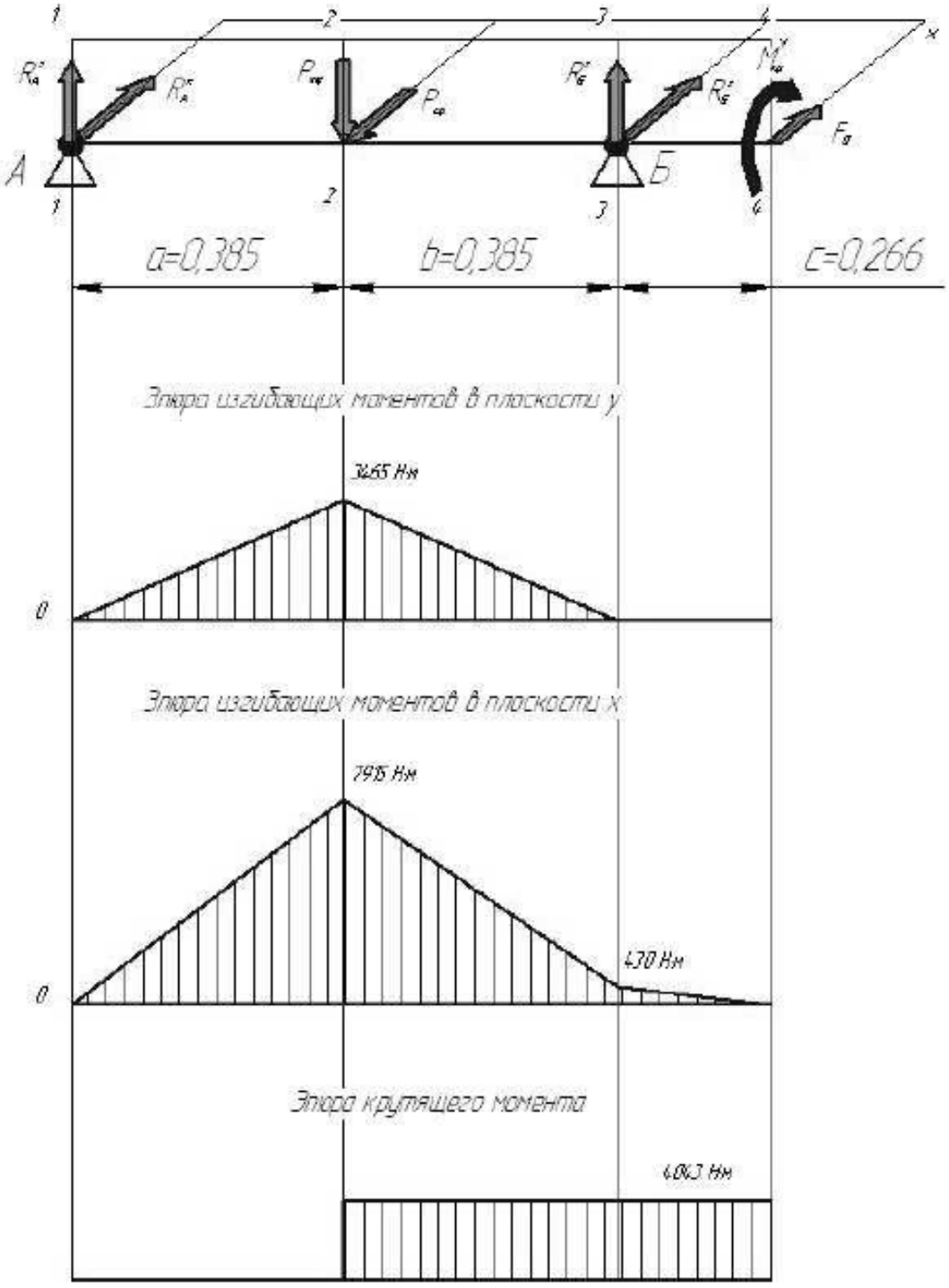


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема приводного вала дробарки

Тоді умова міцності вала в найбільш навантаженому перерізі складе [15]

$$\sigma_E = \sqrt{31{,}48^2 + 4 \cdot 7{,}37^2} = 34{,}76 \text{ МПа} < 213 \text{ МПа}.$$

Отже, умова міцності вала виконується.

2.3.2 Розрахунок вольниць

Розрахунок вальниць проводимо відповідно до методики, викладеної в [15]. Для початку визначаємо сили, що діють на вал з боку пасової передачі: окружна сила F_t = 3054 Н; осьова сила F_a = 782 Y; радіальна сила F_r =1147 Н ; момент від сили F_a :

$$M_{Fa} = F_a \frac{d_1}{2} = 782 \cdot \frac{43{,}35}{2} = 16{,}9 \cdot 10^3 \ Нмм.$$

Згідно [15] на вал дробарки діє додаткова сила

$$F_M = 125\sqrt{T_2} = 125 \cdot \sqrt{66{,}2} = 1017 \ H.$$

Оскільки напрямок сили невідомий (залежить від випадкових неточностей монтажу), то приймаємо її напрямок таким, щоб вона збільшувала напруги і деформації від сили F_t (найгірший випадок).

Визначаємо реакції опор.

У площині XOY:

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow -M_{Fa} + F_r \cdot 55 - R_B \cdot 110 = 0;$$

$$R_B = \frac{F_r \cdot 55 - M_{Fa}}{110} = \frac{1147 \cdot 55 - 16{,}9 \cdot 10^3}{110} = 420 \ H;$$

$$\sum M_B = 0 \Rightarrow F_r \cdot 55 + M_{Fa} - R_A \cdot 110 = 0;$$

$$R_A = \frac{F_r \cdot 55 + M_{Fa}}{110} = \frac{1147 \cdot 55 + 16{,}9 \cdot 10^3}{110} = 727 \ \ H;$$

Перевірка:

$$\sum F_y = -R_B + F_r - R_A = -420 + 1147 - 727 = 0.$$

$$M_{1-1}^{ліворуч} = R_B \cdot 55 = 420 \cdot 55 = 23{,}1 \cdot 10^3 \ \ H \cdot мм$$

$$M_{1-1}^{праворуч} = R_B \cdot 55 + M_{Fa} = 420 \cdot 55 + 16{,}9 \cdot 10^3 = 40 \cdot 10^3 \ \ H \cdot мм$$

В площині XOZ:

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow F_M \cdot 71 + F_t \cdot 55 - R_B \cdot 110 = 0;$$

$$R_B = \frac{F_M \cdot 71 + F_t \cdot 55}{110} = \frac{1017 \cdot 71 + 3044 \cdot 55}{110} = 2183 \ \ H;$$

$$\sum M_B = 0 \Rightarrow F_t \cdot 55 + R_A \cdot 110 - F_M \cdot 181 = 0;$$

$$R_A = \frac{F_M \cdot 181 - F_t \cdot 55}{110} = \frac{1017 \cdot 181 - 3054 \cdot 55}{110} = 146 \ \ H;$$

Перевірка:

$$\sum F_z = R_B - F_t - R_A + F_M = -2183 - 3054 - 146 + 1017 = 0.$$

$$M_{1-1} = R_B \cdot 55 = 2183 \cdot 55 = 120{,}1 \cdot 10^3 \ \ H \cdot мм$$

$$M_A = F_M \cdot 711 = 1017 \cdot 71 = 72{,}2 \cdot 10^3 \ \ H \cdot мм$$

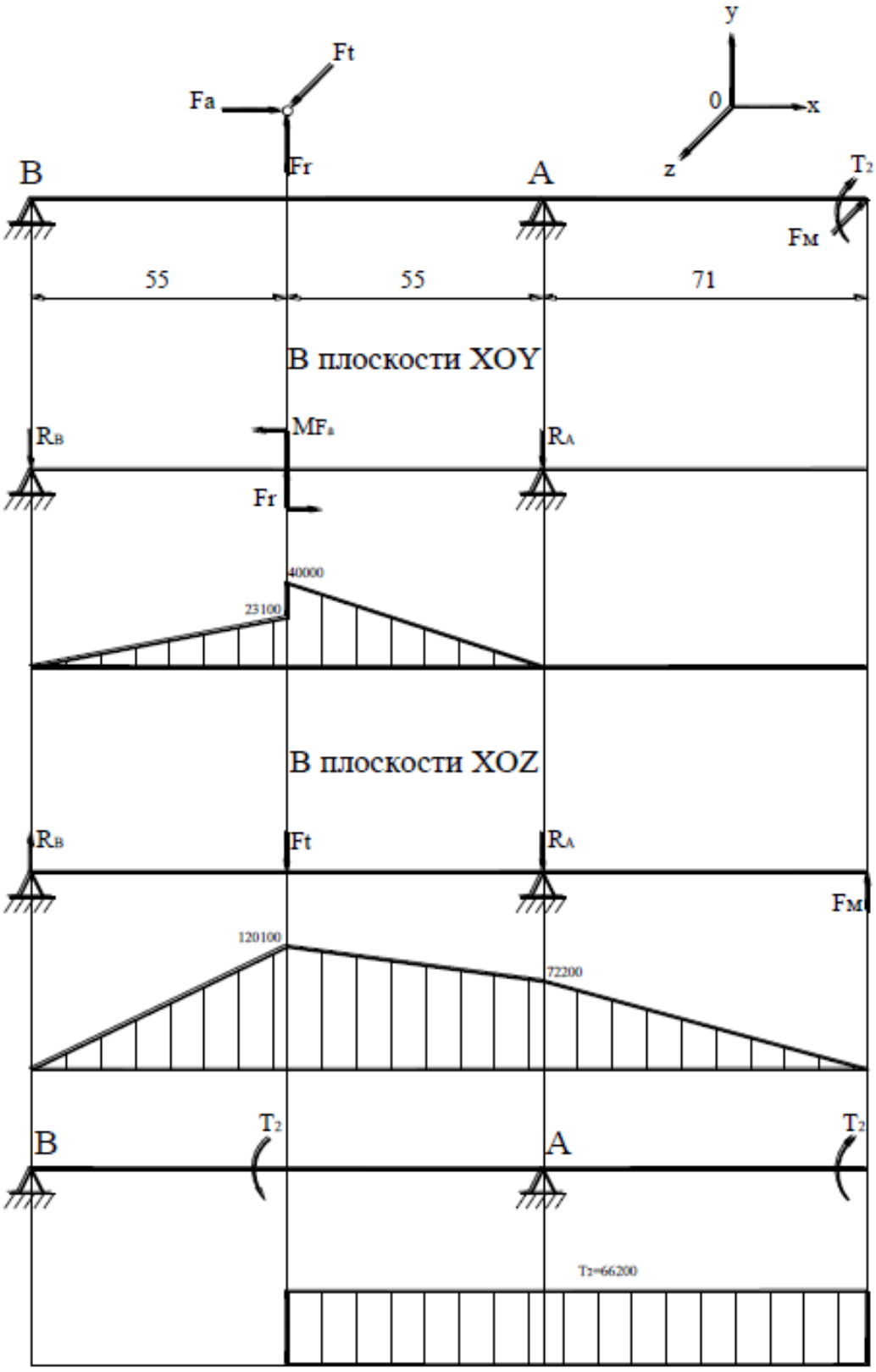


Рисунок 2.7 – Розрахункова схема

Попередньо приймаємо радіальні кулькові вальниці легкої серії 207, для яких $C_r = 20{,}1\ кН$; $C_{r0} = 13{,}9\ кН$.

Визначаємо сили, що діють на вальниці:

- опори А: $F_{rA} = \sqrt{727^2 + 146^2} = 742 \ H$;

- опори В: $F_{rB} = \sqrt{420^2 + 2183^2} = 2223 \ H$

Попередньо визначаємо для опори А:

$\frac{F_{aA}}{C_{0r}} = \frac{782}{13{,}9 \cdot 10^3} = 0{,}056$, тоді за [33, с. 335, табл. 16.5] Y = 1,71; e = 0,26 .

Тоді $\frac{F_{aA}}{F_{rA}} = \frac{782}{742} = 1{,}05 > e = 0{,}26$, значить X = 0,56; Y = 1,71.

Визначаємо еквівалентне динамічне навантаження за [33, с. 335] $K_б$=1,3; K_T=1,0.

$$P_r = \left(XVF_r + YF_a\right)K_б K_T$$

$$P_{rA} = \left(0{,}56 \cdot 1 \cdot 742_r + 1{,}71 \cdot 782\right) \cdot 1{,}3 \cdot 1{,}0 = 2279 \ H$$

$$P_{rB} = 223 \cdot 1{,}3 \cdot 1{,}0 = 2890 \ H$$

Далі розраховуємо тільки вальницю опори В, як більш навантажений. За [33, с. 336] при $L_{hE}=K_{HE}L_h$= 0,25·36000= 9000 годин знаходимо:

$$LE=60 \cdot 10^{-6} n_2 L_{hE}=60 \cdot 10^{-6} \cdot 720 \cdot 9000=388{,}8 \text{ млн.об.}$$

За [33, с. 332] необхідна динамічна вантажопідйомність

$C = P_{rB}\sqrt[3]{L_E} = 2890 \cdot \sqrt[3]{388{,}8} = 21{,}09 \ кН > \ C_r = 20{,}1 \ кН$ – вальниця не підходить.

Остаточно приймаємо вальницю середньої серії 307 (C_r = 26,2 *кН;* C_{0r} =17,9 0 *кН*), довговічність яких становить:

$$L_E = \left(\frac{C_r}{P_{rB}}\right)_3 = \left(\frac{26{,}2 \cdot 10^3}{2890}\right)^3 745{,}1 \ млн.об$$

або

$$L_{hE} = \frac{L_E}{60 \cdot 10^{-6} n_2 K_{HE}} = \frac{745{,}1}{60 \cdot 10^{-6} \cdot 720 \cdot 0{,}25} = 68991 \ год > t_\Sigma = 36000 \ год.$$

1.2.3 Розрахунок шпонкового з’єднання

Для забезпечення передачі крутного моменту від шківа пасової передачі на вал дробарки застосуємо шпонкові з’єднання з призматичною шпонкою. Для з’єднання хвостовика вала з маточиною колеса пасової передачі застосуємо шпонку типорозміру 28×16×100. Глибина паза 8 мм.

Ескіз шпонкового з’єднання наведено на рис.2.7.

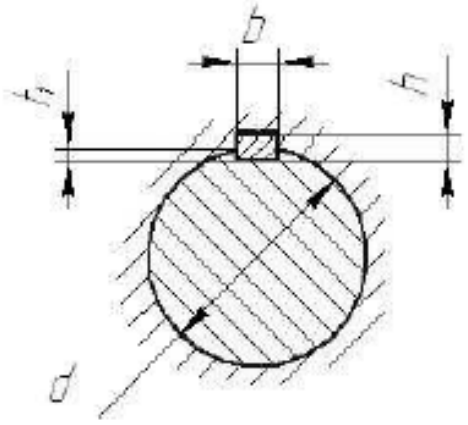


Рисунок 2.8 - Ескіз шпонкового з’єднання

У якості матеріалу для виготовлення шпонки приймемо Сталь 40Х.

Розрахуємо умову застосовності шпонки при заданих навантаженнях на умову зминання за формулою:

$$\sigma_{з.м} = \frac{2T}{d(h - t_1)(l - b)} \le [\sigma_{з.м}],$$

де T – розрахунковий крутний момент сил на валу, який становить 4043 Н·м.

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 4043}{0{,}12 \cdot (0{,}016 - 0{,}08)(0{,}1 - 0{,}028)} = 117 \ \ МПа < 130 \ \ МПа .$$

Умова виконується, отже, шпонку вибрано правильно.

3 ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА

3.1 Особливості експлуатації та обслуговування обладнання

У процесі експлуатації обладнання відбувається його поступовий знос, що вимагає такої організації технічного обслуговування, яка забезпечує безперебійну роботу та мінімізує ризик незапланованих зупинок. Ці завдання реалізуються за допомогою системи планово-попереджувального ремонту (ППР) або системи технічного обслуговування і ремонту (СТОІР). Основою цих систем є регулярна періодичність виконання ремонтних робіт і, найважливіше, обов'язкове проведення профілактичних заходів, що запобігають частим поломкам та забезпечують тривалий строк служби обладнання. Відповідно до ДСТУ роботи передбачені ППР і СТОІР, підрозділяються на технічні обслуговування – ТО і ремонти – Р [21-23].

3.2 Складання ремонтного циклу

Складання ремонтного циклу передбачає визначення кількості, періодичності та послідовності виконання всіх видів технічного обслуговування і ремонтів протягом усього терміну ремонтного циклу [21-23].

Для подрібнювача газобетонних блоків структура ремонтного циклу має наступне графічне зображення, яке представлене на рис.3.1.

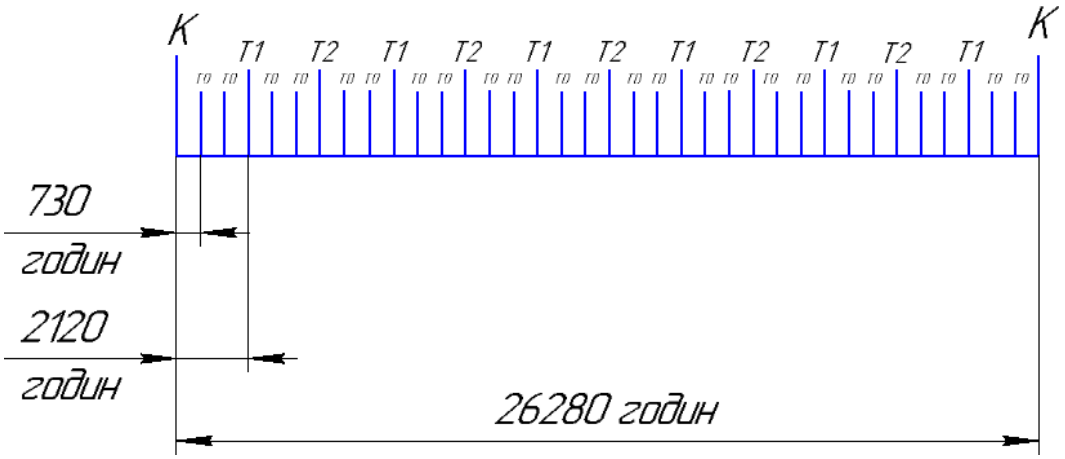


Рисунок 3.1 – Структура ремонтного циклу

Структура ремонтного циклу може бути записана у вигляді:

К + 11Т + 24ТО + К

Періодичність проведення ремонтів і технічного обслуговування:

ТО - кожні 730 годин;

Т - кожні 2120 годин;

К - кожні 26280 годин;

R - кількість одиниць ремонтної складності для подрібнювача газобетонних блоків, R = 300/50= 6 одиниць ремонтної складності.

3.2 Розрахунок трудомісткості виконання ремонтних робіт за видами ремонтів і обслуговувань та за видами робіт

Для планування та розрахунку трудомісткості виконання ремонтних робіт машини використовуються встановлені нормативи, що зазначені в положеннях щодо обслуговування будівельної галузі.

Для проведення необхідних розрахунків трудоємкості ремонтів і обслуговувань застосовується система нормативних коефіцієнтів, яка базується на групах ремонтної складності обладнання.

Все обладнання класифікується за групами ремонтної складності, що враховують ступінь складності та специфічні ремонтні особливості кожної машини.

Група ремонтної складності вказує на кількість умовних ремонтних одиниць, що містяться у загальній трудомісткості ремонту конкретної машини.

Трудоємність ремонту або обслуговування складається з трудоємності ремонту механічної частини машини та електричної частини, враховуючи окремо час, необхідний для кожної з цих частин.

Повна трудоємність ремонту машини включає не тільки витрати часу на ремонт механічної та електричної частин, але й витрати на підготовчі роботи, які складають 30% від трудоємності ремонту механічної частини.

Трудоємкість виконання ремонтних робіт визначається за формулою:

$$Q=KR, \text{ люд.год},$$

де К – трудомісткість умовної одиниці ремонтної складності для різних видів робіт, пов'язаних з відповідним ремонтом і технічним обслуговуванням (таблиця 3.1);

R – група ремонтної складності.

Група ремонтної складності однакова для однієї і тієї ж машини, незалежно від галузі, в якій вона експлуатується. Це визначається технічними характеристиками машини та її конструктивними особливостями, а не умовами її використання.

Трудоємкість умовної одиниці ремонтної складності для кожної галузі має різні значення і надається в галузевих положеннях ППР (СТОІР).

Згідно системи ППР (СТОІР) для механічної частини подрібнювача група ремонтної складності дорівнює – *R* = 6 од. рем. скл.

Таблиця 3.1 - Трудомісткість різних видів робіт.

Вид ремонту	Роботи, люд.-год			Усього
	Слюсарні	Верстатні	Інші	
	($К_С$)	($К_М$)	($К_і$)	
1 Промисловість залізобетону				
ТО	0,5	0,05	0,4	0,95
Т	3,8	1,0	1,2	6,0
К	30,0	9,0	11,0	50

Трудомісткість виконання ремонтних робіт і технічного обслуговування за видами ремонтів визначається шляхом наступних розрахунків:

Для виконання капітального ремонту:

$$Q_{\text{слюс}} = к_с \cdot R = 30{,}0 \cdot 6 = 180, \text{люд.} - \text{год.}$$

$$Q_{\text{верст}} = к_с \cdot R = 9{,}0 \cdot 6 = 54, \text{люд.} - \text{год.}$$

$$Q_{\text{інші}} = к_с \cdot R = 11{,}0 \cdot 6 = 66, \text{люд.} - \text{год.}$$

Для виконання поточного ремонту:

$$Q_{\text{слюс}} = \text{к}_\text{с} \cdot R = 3{,}8 \cdot 6 = 22{,}8\text{ , люд.} - \text{год.}$$

$$Q_{\text{верст}} = \text{к}_\text{с} \cdot R = 1{,}0 \cdot 6 = 6\text{, люд.} - \text{год.}$$

$$Q_{\text{інші}} = \text{к}_\text{с} \cdot R = 1{,}2 \cdot 6 = 7{,}2\text{ , люд.} - \text{год.}$$

Для виконання технічних обслуговувань:

$$Q_{\text{слюс}} = \text{к}_\text{с} \cdot R = 0{,}5 \cdot 6 = 3\text{ , люд.} - \text{год.}$$

$$Q_{\text{верст}} = \text{к}_\text{с} \cdot R = 0{,}05 \cdot 6 = 0{,}3\text{ , люд.} - \text{год.}$$

$$Q_{\text{інші}} = \text{к}_\text{с} \cdot R = 0{,}4 \cdot 6 = 2{,}4\text{ , люд.} - \text{год.}$$

Планова тривалість перебування обладнання в ремонті та технічному обслуговуванні визначається з урахуванням режиму змінності виконання ремонтних робіт. Вона залежить від обсягу робіт, складності ремонту, доступності запасних частин і ресурсів, а також організації робочого процесу.

Під час планування ремонтних робіт, крім трудоємкості, також розраховується планова тривалість знаходження обладнання в ремонті. Це визначається на основі трудоємкості ремонту, кількості необхідних операцій, а також врахуванням часу на підготовчі та завершальні роботи. Планова тривалість ремонту допомагає визначити час простою обладнання, що є важливим для оптимізації виробничого процесу і планування ресурсів.

Фактична тривалість знаходження машини в ремонті залежить від кількох факторів, зокрема від виду ремонту (поточний, капітальний, або плановий), кваліфікації ремонтної бригади, рівня організаційно-технічних заходів (як швидко організовано забезпечення ремонтними матеріалами, інструментами тощо), а також від наявності додаткових труднощів, таких як дефіцит запасних частин або непередбачені пошкодження обладнання. Всі ці фактори можуть впливати на ефективність ремонту і час, необхідний для його завершення.

Планова (попередня) норма перебування обладнання в ремонті при п'ятиденному робочому тижні та двох вихідних днях розраховується за

формулою:

$$n_0 = NR, \text{ днів},$$

де N – норма знаходження в ремонті на одиницю ремонтної складності.

Для подрібнювача за тризмінної роботи ремонтної бригади $N_К = 0{,}87;\ N_Т = 0{,}22;\ N_{ТО} = 0{,}1$ днів на одиницю ремонтної складності.

Перебування в ремонті і ТО буде:

Для виконання капітального ремонту:

$$n_0 = N_К \cdot R = 0{,}87 \cdot 6 = 5{,}22 \text{ днів}$$

Для виконання поточного ремонту:

$$n_0 = N_Т \cdot R = 0{,}22 \cdot 6 = 1{,}32 \text{ днів}$$

Для виконання технічних обслуговувань:

$$n_0 = N_{ТО} \cdot R = 0{,}1 \cdot 6 = 0{,}6 \text{ днів}$$

Одержані результати розрахунків трудоміскості та знаходження в Р і ТО заносимо у таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Трудоміскість та час знаходження подрібнювача в ремонті.

Види ремонтів	Число ремонтів і ТО в циклах	Види робіт та трудоємкість, люд. –год.						Всього за ремонтний цикл	Знаходження в ремонті дні	
		слюсарні		верстатні		інші			Норма на одиницю ремонтної складності [в добах]	Всього за ремонтний цикл
		$К_С$	трудоємкість	$К_М$	трудоємкість	$К_і$	трудоємкість			
К	1	30,0	180	9,0	54	11	66	300	0,87	5,22
Т	11	3,8	22,8	1,0	6	1,2	7,2	396	0,22	14,52
ТО	24	3	3	0,05	0,3	0,4	2,4	136,8	0,1	14,4
Всього								832,8	1,19	34,14

3.3 Особливості експлуатації машини та її основних вузлів

На початку зміни, перед початком роботи, необхідно виконати наступні [21]:

Перевірити працездатність і чистоту механізмів.

- Оцінити справність пускових пристроїв і механізмів управління.
- Переконатися у відсутності сторонніх предметів у корпусі подрібнювача.
- Перевірити надійність кріплення лопатей до ротора.

Усі виявлені несправності повинні бути негайно доведені до відома майстра. У разі, якщо несправності не були виявлені під час приймання обладнання, відповідальність за подальші дефекти під час роботи несе як майстер, так і працівник, на зміні яких були виявлені ці недоліки.

В процесі роботи на обладнанні виробничі необхідно:

- стежити за наявністю мастила в системі;
- періодично контролювати температуру поверхонь, що труться і вальниці;
- при появі стукотів, збільшенні температури, запаху гару і т.п. негайно зупинити обладнання для визначення і усунення дефектів і про це інформувати майстра;
- у випадку відсутності подачі електроенергії, а так само при різкій зміні напруги негайно відключати електродвигуни;
- при виході з ладу обладнання - зупинити його.

Періодичне технічне обслуговування (ТО) виконується ремонтно-експлуатаційною службою, до складу якої входять чергові слюсарі, електрики та мастильники, із залученням виробничих робітників. Планове ТО здійснюється під час перерв у роботі обладнання, щоб мінімізувати вплив на виробничий процес.

Залежно від організаційної структури ремонтно-експлуатаційної служби підприємства, поточний ремонт виконується або силами виробничого цеху, який експлуатує обладнання, або спеціалізованим ремонтно-механічним цехом.

Капітальний ремонт обладнання проводиться ремонтно-механічним цехом або підрядною організацією. Цей ремонт може виконуватися безпосередньо на місці установки обладнання, або ж обладнання демонтується з фундаменту і транспортується до ремонтного цеху для проведення робіт.

Таблиця 3.3 - Карта змащення

№ точок змазки на схемі	Збірна одиниця	Змащувана деталь	Кількість точок змащення	Прийнята змазка	ДСТУ	Спосіб змащення	Періодичність
1	Електро-двигун	вальниці	4	Жирова змазка 1-13	1631-61	через маслянку	1 раз на 3 місяців
2	Редуктор	конічна пара, вальниці	2 4	Масло індустріальне - 45	799-75	занурення розбризку-вання	1 раз у 3 місяці
3	Вузол вальниць	вальниці	1	Мастило жирове 1-13	861-73	через маслянку	періодично

Таблиця 3.4 - Характерні несправності вертикальних валкових млинів та методи їх усунення

Вид несправності	Ймовірна причина	Методи усунення
Вібрація електродвигуна	Перевантаження під час пуску внаслідок завалу млина паливом Слабо затягнуті болти, що кріплять електродвигун до рами. Несправність самого електродвигуна	Зменшити подачу палива до млина до встановленої норми. При необхідності зупинити млин та очистити від палива всі канали для проходу гарячого повітря Провести підтяжку болтів з перевіркою центрування двигуна з редуктором млина З'ясувати та усунути причину
Вібрація редуктора разом із середньою частиною рами по відношенню до корпусу	Відсутність бетону під центром (серединою) рами	Виконати додаткову підливу бетоном внутрішньої порожнини рами. При необхідності викотити редуктор

Продовження таблиці 3.4

Вид несправності	Ймовірна причина	Методи усунення
Вібрація млина разом із рамою по відношенню до фундаменту	Ослаблення затягування фундаментних болтів Зруйновано бетон	Зупинити млин та видалити сторонні предмети. Усунути можливість потрапляння сторонніх предметів
Стук в млині над столом	Попадання разом із паливом шматків металу Випадання кріпильних та інших деталей через недостатнє їх закріплення	Зупинити млин та видалити сторонні предмети. Усунути можливість потрапляння сторонніх предметів Зупинити млин, з'ясувати та усунути несправність. Здійснити ревізію затяжки кріплення
Стук в редукторі	Порушення правильності зачеплення внаслідок зношування зубів шестерень Зношування вальниць	Перевірити зубчасті зачеплення та при необхідності замінити шестерні Вальниці замінити на нові
Пиляння (прокидання вугільного пилу) на редуктор	Зношування напівлінзи ущільнення Тиск гарячого повітря в млині під розмеленим столом більше, ніж тиск повітря, що подається до повітряного ущільнення столу Перекіс розмольного столу	Перевірити стан ущільнення та відрегулювати його положення зміною товщини прокладки Перевірити тиск повітря, що подається на ущільнення столу, і відрегулювати його так, щоб цей тиск був більший на 0,008—0,012 кг/см^2, ніж тиск гарячого повітря під столом Перевірити правильність встановлення планшайби редуктора
Витік масла через ущільнення розмольних валків	Знос гумового коміра Забивання картера ущільнення сторонніми предметами (ворсинками від ганчірки та іншого обтирального матеріалу, брудом) Ущільнення затиснене більше допустимого	Замінити ущільнення Припинити подачу олії в розмольні валки на 30-45 хв, від'єднати гумовий шланг від штуцера зливу олії і очистити через цей штуцер. Підібгання ущільнень типу УР (ущільнення гумове) рекомендується проводити на 1/20 його ширини, тобто приблизно на 1 мм

Продовження таблиці 3.4

Вид несправності	Ймовірна причина	Методи усунення
Витік масла через ущільнення розмольних валків	Неправильне встановлення скидання масла Биття втулки зливу олії, що кріпиться до корпусу валка, більш допустимого за кресленнями заводу	Скидач масла в розмольному валку повинен бути встановлений відповідно до схеми збирання млина. Перевірку правильності установки скидачі масла потрібно проводити наступним чином: відвернути гвинти і зняти кришку з корпусу ущільнення, а потім повертати валок вручну в напрямку, що відповідає схемі складання млина. При цьому скидач масла не повинен зачіпати за гвинти, що кріплять кільце, що скидає, до втулки. Зазор між торцем кільця та скидувачем олії має бути в межах 0,2-0,3 мм. Зазор між виточкою в кільці і торцем скидання масла приблизно дорівнює 1-2 мм Відцентрувати втулку по відношенню до осі валка
Збільшення провалу палива разом з матеріалами, що не розмелюються.	Перевантаження млина паливом	Тимчасово скоротити чи навіть зовсім припинити подачу палива до відновлення нормального становища. Подача палива до млина має бути рівномірною. Перевірити роботу автоматики завантаження млина вугіллям
Підвищений нагрів вальниць редуктора	Погана якість олії Недостатня кількість олії Неправильно встановлені зазори в конічних підшипниках Недостатнє охолодження олії в маслоохолоджувачі	Злити масло із системи та заповнити її маслом марки, зазначеної в інструкції з експлуатації млина Долити масло в картер редуктора та перевірити роботу насоса. Здійснити регулювання конічних підшипників з метою створення нормальних зазорів. За необхідності замінити їх Перевірити температуру води, що охолоджує, і кількість, що надходить. При необхідності збільшити витрату та знизити температуру води
Недостатнє надходження олії в систему змащення розмольних валків та редукторів	Засмічення всмоктувальної лінії насоса або фільтра	Злити брудне масло, промити систему та залити її чистою олією

Продовження таблиці 3.4

Вид несправності	Ймовірна причина	Методи усунення
Збільшення провалу палива разом з матеріалами, що не розмелюються.	Сильно зношені бандажі розмольних валків та плити броні столу Подача до млина палива з крупністю дроблення вище рекомендованої нормами ПТЕ та інструкцією Розмольний валок не обертається (великий зазор між бандажами валків та площиною столу) Розмольний валок не обертається, тому що вальниці забиті пилом. Недостатня вентиляція млина внаслідок зменшення з будь-яких причин подачі повітря	Зупинити млин і зробити заміну цих деталей Відрегулювати дробарки на відповідну крупність дроблення. Максимальний діаметр шматка має бути не більше 20 мм Опустити валок або збільшити кількість палива, що подається до млина Розібрати валок та промити підшипники. Усунути причини потрапляння пилу в підшипники, замінивши прокладки Уточнити причину та відрегулювати подачу необхідної кількості повітря за відповідної температури
Перекіс розмольного столу	Слабке кріплення планшайби на тихохідному валу редуктора	Виправити посадку планшайби на кону валу та зробити її надійне закріплення
Збільшення провалу палива разом з матеріалами, що не розмелюються.	Сильно зношені бандажі розмольних валків та плити броні столу Подача до млина палива з крупністю дроблення вище рекомендованої нормами ПТЕ та інструкцією Розмольний валок не обертається (великий зазор між бандажами валків та площиною столу) Розмольний валок не обертається, тому що вальниці забиті пилом. Недостатня вентиляція млина внаслідок зменшення з будь-яких причин подачі повітря	Зупинити млин і зробити заміну цих деталей Відрегулювати дробарки на відповідну крупність дроблення. Максимальний діаметр шматка має бути не більше 20 мм Опустити валок або збільшити кількість палива, що подається до млина Розібрати валок та промити підшипники. Усунути причини потрапляння пилу в підшипники, замінивши прокладки Уточнити причину та відрегулювати подачу необхідної кількості повітря за відповідної температури

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА ЕЗПЕКА

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів виробництва

Сучасне дробильне обладнання за своїми санітарно-гігієнічними показниками повністю не відповідає встановленим вимогам і нормам забезпечення нормальних умов роботи обслуговуючого персоналу. Тому вибору способу установки і експлуатації обладнання слід приділяти особливу увагу. Як правило, при цьому оцінюють комплекс заходів. Нижче розглянуто основні показники устаткування по шуму, вібрації, пилоутворенню і заходи щодо їх зниження.

Вібрація. Малі механічні коливання, які виникають в пружних тілах або тілах, що знаходяться під впливом змінного фізичного поля, називають вібрацією. Вплив вібрації на людину класифікують: за способом передачі коливань; по напрямку дії вібрації; по тимчасовій характеристиці вібрації.

Залежно від способу передачі коливань людині вібрацію поділяють на: загальну – що передається через опорні поверхні на тіло сидячої або стоячої людини і локальну – передається через руки людини. Вібрація, що впливає на ноги сидячої людини, на передпліччя, що контактують з вібруючими поверхнями робочих столів, також відноситься до локальної [25].

Вібрація відноситься до факторів, що характеризується високою біологічною активністю. Вираженість відповідних реакцій обумовлюється головним чином силою енергетичного впливу і біомеханічними властивостями людського тіла як складної коливальної системи [25]. Між реакціями організму і рівнем впливання вібрації немає лінійної залежності. Причину цього явища бачать в резонансному ефекті. При підвищенні частот коливань більше 0,7 Гц можливі резонансні коливання в органах людини. Резонанс людського тіла, окремих його органів наступає під дією зовнішніх сил при збігу власних частот коливань внутрішніх органів з частотами зовнішніх сил. Область резонансу для голови в положенні сидячи при вертикальних вібраціях знаходиться в межах 20–30 Гц, при горизонтальних – 1,5…2 Гц.

Особливе значення резонанс набуває по відношенню до органів зору. Розлад зорового сприйняття проявляється в частотному діапазоні між 60 і 90 Гц, що

відповідає резонансу очних яблук. Для органів, розташованих у грудній клітці та черевній порожнині, резонансними є частоти 3…3,5 Гц. Для усього тіла в положенні сидячи резонанс настає на частотах 4…6 Гц.

Вібраційна патологія стоїть на другому місці (після пилових) серед професійних захворювань. Розглядаючи порушення стану здоров'я при вібраційному впливі, слід зазначити, що частота захворювань визначається величиною дози, а особливості клінічних проявів формуються під впливом спектру вібрацій. У робочих вібраційних професій відзначені запаморочення, розлад координації рухів, симптоми заколисування. Порушення зорової функції проявляється звуженням і випаданням окремих ділянок полів зору, зниженням гостроти зору, іноді до 40 %, суб'єктивно – потемніння в очах.

Гігієнічне нормування вібрацій регламентує параметри виробничої вібрації і правила роботи з вібронебезпечними механізмами і обладнанням, ГОСТ 12.1.012-2004 «ССБТ. Вібраційна безпека. Загальні вимоги», 31191.1-2004 (ИСО 2631-1: 1997) «Вібрація та удар. Вимірювання загальної вібрації та оцінка її впливу на людину. Частина 1. Загальні вимоги», ГОСТ 31191.2-2004 (ИСО 2631-2: 2003) «Вібрація та удар. Вимірювання загальної вібрації та оцінка її впливу на людину. Частина 2. Вібрація усередині будівель». Санітарні норми СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Виробнича вібрація, вібрація в приміщеннях житлових і громадських будівель».

Документи встановлюють: класифікацію вібрацій, методи гігієнічної оцінки, нормовані параметри і їх допустимі значення, режими праці осіб вібронебезпечних професій, що піддаються впливу локальної вібрації.

При роботі дробарок на фундаменти передаються великі горизонтальні динамічні навантаження, які найбільш небезпечні для будівельних конструкцій при розташуванні обладнання на високих відмітках. У зв'язку з цим фундаменти дробарок виконують зазвичай з монолітного залізобетону, і, тим не менш, в ряді випадків вони відчувають неприпустимі вібрації. Важливою сферою застосування віброізоляції є установка модернізованого

(більш потужного) обладнання на існуючі фундаменти під застарілі машини. У даний час вже використовують такий шлях. Ефект тут досить значний, так як в іншому випадку потрібно було б розбирати старий фундамент і зводити новий. Випробування показали, що застосування віброізоляції не змінює працездатності і продуктивності дробарок.

Пил. При експлуатації дробильного обладнання найважливішим завданням є захист обслуговуючого персоналу від шкідливих впливів пилу. Пил – поняття, що характеризує фізичний стан речовини – роздробленість його на дрібні частки. Останні, перебуваючи в підвішеному стані, являють собою дисперсійну систему, в якій дисперсною фазою є тверді частинки, а дисперсійним середовищем – повітря [26].

Промисловий пил утворюється в результаті дроблення, розмелювання і транспортування будівельних матеріалів, при напрацюванні сухого ґрунту, приготуванні бетону і розчину, складанні фарб для малярних робіт, піскоструминного очищення фасадів, застосуванні пеку, а також при механічній обробці металу і пластмас.

Вміст пилу вимірюють в міліграмах на 1 м3 повітря. Найбільш шкідливий дрібний пил розмірами частинок до 10 мкм, так як він, не затримуючись у верхніх дихальних шляхах, проникає в легені і викликає їх захворювання на різні види пневмоконіозу (силікоз, азбестоз). Пил більшого розміру затримується на слизових оболонках верхніх дихальних шляхів і подразнює, викликаючи хронічні катари бронхів. Крім того, при тривалому перебуванні в пилонебезпечній зоні у людини виникають захворювання шкіри, вух і очей [26].

Процес дроблення шматків матеріалу в дробильних машинах відбувається з утворенням дрібнодисперсних частинок. Крім того, матеріали, що надходять до дробарки, також містять дрібні пилоподібні фракції, що утворилися в результаті руйнування гірської породи вибухом в кар’єрі, а також від стирання при перевантаженнях і транспортуванні. Повітряні потоки, що виникають від руху робочих органів дробарок і вільного руху шматків матеріалу, захоплюють з собою дрібнодисперсні фракції, виносять їх

в навколишню зону промислового приміщення, створюють несприятливі умови для обслуговуючого персоналу [24].

Формування повітряних потоків в валкових дробарках відбувається подібно формуванню повітряних потоків в відцентрових вентиляторах при швидкому обертанні роторів. Швидкості виходу повітря досягають 7 м/с. Рухомий матеріал захоплює (ежектує) повітря, що нагнітається в технологічні ємності, створюючи в них надлишковий тиск [24]. Для захисту виробничого приміщення від викиду пилу застосовують герметичні укриття обладнання, течок, місць пересипання.

До укриттів ставляться такі вимоги: їх форма повинна відповідати аеродинаміці пилоповітряних потоків; об'єми укриттів повинні бути оптимальними (завищені об'єми вимагають підвищеного відсмоктування пилоповітряної суміші, а малий обсяг знижує ефективність аспірації і сприяє пиловиділенням внаслідок великих швидкостей руху в них повітря). Конструкції укриттів повинні бути просторими і забезпечувати вільний доступ до робочих місць обладнання. Гігієнічне нормування регламентує ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони» (зі зміною № 1, прийнятою у червні 2000 р. (ІКС 9-2000).

Пиловідсмоктувальна вентиляція-аспірація повинна забезпечувати підтримку в укриттях деякого розрідження, значення якого є визначальним для попередження викиду пилу [24].

Шум. Подрібнення матеріалу в дробарках і дробильних установках пов'язано зі значним шумоутворенням, що виникає при розколі шматків і вібрації деталей. Шум визначають як сукупність аперіодичних звуків різної інтенсивності і частоти. Навколишні шуми мають різну інтенсивність: розмовна мова – 50…60 дБА, автосирена – 100 дБА, шум двигуна легкового автомобіля – 80 дБА, гучна музика – 70 дБА, шум від руху трамвая – 70…80 дБА, шум у звичайній квартирі – 30…40 дБА [25].

Інтенсивний шум на виробництві сприяє зниженню уваги і збільшенню числа помилок при виконанні роботи, виключно сильний вплив робить шум на швидкість реакцій, збір інформації та аналітичні процеси. Через шум знижується продуктивність праці і погіршується якість роботи. Шум

ускладнює своєчасну реакцію працюючих на попереджувальні сигнали внутрішньоцехового транспорту (автонавантажувачів, мостових кранів і т. п.), що сприяє виникненню нещасних випадків на виробництві.

У біологічному відношенні шум є помітним стресовим фактором, здатним викликати зрив пристосувальних реакцій. Акустичний стрес може призводити до різних проявів: від функціональних порушень регуляції ЦНС до морфологічно позначених дегенеративних деструктивних процесів в різних органах і тканинах. Ступінь шумовий патології залежить від інтенсивності і тривалості впливу, функціонального стану центральної нервової системи і, що дуже важливо, від індивідуальної чутливості організму до акустичного подразника. Індивідуальна чутливість до шуму становить 4…17 %. Вважають, що підвищена чутливість до шуму визначається сенсибілізованою вегетативною реактивністю, властивою 11 % населення. Жіночий та дитячий організми особливо чутливі до шуму.

Шум впливає на весь організм людини: пригнічує ЦНС, викликає зміну швидкості дихання і пульсу, сприяє порушенню обміну речовин, виникненню серцевосудинних захворювань, гіпертонічної хвороби, може призводити до професійних захворювань. Шум з рівнем звукового тиску до 30…35 дБ звичний для людини і не турбує його. Підвищення цього рівня до 40–70 дБ в умовах середовища проживання створює значне навантаження на нервову систему, викликаючи погіршення самопочуття, і при тривалій дії може бути причиною неврозів. Вплив шуму рівнем понад 75 дБ може привести до втрати слуху – професійної приглухуватості. При дії шуму високих рівнів (більше 140 дБ) можливий розрив барабанних перетинок, контузія, а при ще більш високих (більше 160 дБ) і смерть [25].

Специфічний вплив шуму, що супроводжується пошкодженням слухового аналізатора, виявляється повільно прогресуючим зниженням слуху. У деяких осіб серйозне шумове пошкодження слуху може настати в перші місяці дії, у інших – втрата слуху розвивається поступово, протягом усього періоду роботи на виробництві. Зниження слуху на 10 дБ практично невідчутно, на 20 дБ – починає серйозно заважати людині, так як

порушується здатність чути важливі звукові сигнали, настає ослаблення розбірливості мови.

4.2 Розрахунок потенційно небезпечного фактора

Згідно з вимогами ГОСТ 12.1.030 «ССБТ. Електробезпека. Захисне заземлення, занулення», ГОСТ 12.1.019 «ССБТ. Електробезпека. Загальні вимоги і номенклатура видів захисту» лінії електромережі для підключення дробильного обладнання повинні бути заземлені.

Захисне заземлення виноситься за межі приміщення, де знаходиться обладнання. Поблизу будівлі вирівається траншея глибиною 0,6…0,8 м, в яку забиваються захисні заземлювачі на відстані від 1 до 3 м. Останні виконуються у вигляді труб діаметром 3…5 см і довжиною 2…3 м.

Для розрахунків приймаємо, що заземлювачі поглиблені і розміщені в один ряд (глибина закладання t =80см). Вихідні дані наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані до розрахунку заземлення валкового млина

Вид заземлювача	труба
Довжина заземлювача, см	200
Діаметр заземлювача, см	5
Ширина сполучної смуги, см	5
Ґрунт чорнозем	чорнозем
Кліматична зона	III

Відповідно до вимог ПУЕ визначаємо допустиме опір розтікання струму в заземленні $R_з$. Для мереж з напругою до 1000 В можна взяти $R_з$ = 4 Ом.

Визначаємо питомий опір ґрунту, яке рекомендується для розрахунків $\rho_{ТАБЛ}$ = 2000 Ом·см за [26].

Визначаємо підвищувальні коефіцієнти для труб вертикальних заземлювачів $K_{П.Т}$ і для сполучної смуги $K_{П.С}$, які враховують зміну опору ґрунту в різні пори року залежно від наявності опадів. За [26]

$K_{П.Т}$ =4...1,6 , $K_{П.С}$ =2,5...4 .

Приймаємо $K_{П.Т}$ =1,5, $K_{П.Т}$ =3.

Визначаємо питомий розрахунковий опір ґрунту для вертикальних електродів (труб або стрижнів) з урахуванням несприятливих умов за допомогою підвищувального коефіцієнта:

$$\rho_{РОЗР.Т} = \rho_{ТАБЛ} K_{П.Т}, \tag{4.1}$$

$$\rho_{РОЗР.Т} = 2000 \cdot 1{,}5 = 3000 \ \ Ом \cdot см$$

Визначаємо питомий розрахунковий опір ґрунту для горизонтального заземлювача (сполучної смуги):

$$\rho_{РОЗР.П} = \rho_{ТАБЛ} K_{П.С}, \tag{4.2}$$

$$\rho_{РОЗР.Т} = 2000 \cdot 13 = 6000 \ \ Ом \cdot см$$

Визначаємо відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача (рис.4.1):

$$t = h_3 + \frac{l_T}{2}, \tag{4.3}$$

де h_3 =*80 см* – глибина занурення труб;

l_T = *200 см* – довжина вертикального заземлювача.

$$t = 80 + \frac{200}{2} = 180 \ \ см.$$

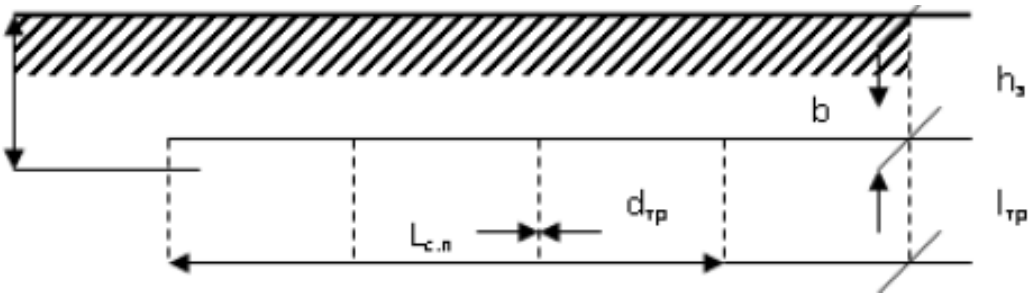


Рисунок 4.1 – Схема заземлення

Визначаємо опір розтікання струму для одиночного вертикального заземлювача, який розташований нижче поверхні землі:

$$R_T = 0{,}366 \frac{\rho_{РОЗР.Т}}{l_T} \left(\lg \frac{2l_T}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t + l_T}{4t - l_T} \right), \tag{4.4}$$

$$R_T = 0{,}366 \frac{3000}{200} \left(\lg \frac{2 \cdot 200}{5} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 180 + 200}{4 \cdot 180 - 200} \right) = 11{,}13 \ \ Ом.$$

Визначаємо відстань між вертикальними заземлювачами зі співвідношення $c = \frac{L_T}{l_T}$. Для стаціонарних заглиблених заземлювачів це співвідношення береться таким: c =1.

$$L_T = cl_T, \tag{4.5}$$

$$L_T = 200 \cdot 1 = 200\,см.$$

Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів без урахування коефіцієнта екранування:

$$n_T = \frac{R_T}{R_3}, \tag{4.6}$$

$$n_T = \frac{11{,}13}{4} = 2{,}78 \approx 3$$

Визначаємо коефіцієнт екранування труб при кількості труб n_T. За [26,] $n_{E.T}$ =78.

Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів з урахуванням коефіцієнта екранування:

$$n_{T.E} = \frac{R_T}{R_3 \eta_{E.T}} \tag{4.7}$$

$$n_{T.E} = \frac{11{,}13}{4 \cdot 0{,}78} = 3{,}57 \approx 4.$$

Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму при отриманій кількість вертикальних заземлювачів:

$$R_{РОЗР.П.Т.Е} = \frac{R_T}{n_{T.E} \cdot \eta_{E.T}}, \tag{4.8}$$

$$R_{РОЗР.П.Т.Е} = \frac{11{,}13}{4 \cdot 0{,}78}\ \ Ом.$$

Визначаємо довжину сполучної смуги:

$$L_{З.С} = 1{,}05 L_T (n_{T.E} - 1), \tag{4.9}$$

$L_{З.С} = 1{,}05 \cdot 200 \cdot (4-1) = 630\ \ см.$

Визначаємо опір розтікання струму в сполучної смузі:

$$R_{З.С} = 0{,}366 \frac{\rho_{РОЗР.П}}{L_{З.С}} \lg \frac{2L_{З.С}}{h_З b_С}, \qquad (4.10)$$

де $h_З$=*80 см* – глибина закладення вертикальних заземлювачів;

$b_С$ =*5 см* – ширина сполучної смуги.

$$R_{З.С} = 0{,}366 \frac{6000}{630} \lg \frac{2 \cdot 630}{80 \cdot 5} = 11{,}49 \ \ Ом.$$

Визначаємо коефіцієнт екранування для сполучної смуги. За [26] $\eta_{Е.З.С} = 0{,}77$.

Визначаємо розрахунковий опір для розтікання електричного струму в сполучній смузі з урахуванням коефіцієнта екранування:

$$R_{РОЗР.С} = \frac{R_{З.С}}{n_{Е.С} \eta_{Е.З.С}}, \qquad (4.11)$$

де $\eta_{З.С} = 1$.

$$R_{РОЗР.С} = \frac{11{,}49}{1 \cdot 0{,}77} = 14{,}92 \ \ Ом.$$

Визначаємо загальний розрахунковий теоретичний опір розтікання струму від вертикальних заземлювачів і сполучної смуги:

$$R_{ЗАГ.РОЗР} = \frac{1}{\frac{1}{R_{РОЗР.П.Т.Е}} + \frac{1}{R_{РОЗР.С}}}, \qquad (4.12)$$

$$R_{ЗАГ.РОЗР} = \frac{1}{\frac{1}{3{,}57} + \frac{1}{14{,}92}} = 2{,}88 \ \ Ом.$$

Система заземлення для валкового млина є ефективною:

$$R_{РОЗР.П.Т.Е} = 3{,}57 \ \ Ом \ > \ R_{ЗАГ.РОЗР} = 2{,}88 \ \ Ом.$$

4.3 Ймовірність аварій та їх ліквідація

Будь-яку машину, механізм можна розглядати як систему, що складається

з окремих елементів – деталей. Аварія – результат відмови одного чи декількох елементів.

Причинами виникаючих аварійних ситуацій на ділянці подрібнення є:

– неправильне настроювання млина;
– недотримання технології подрібнення та його транспортування
– незадовільне обслуговування електричного й механічного встаткування;
– порушення правил експлуатації устаткування;
– некваліфіковані дії обслуговуючого персоналу.

Імовірність аварії розраховується за формулою:

$$Q = 1 - \prod_{n=1}^{n} \cdot (1 - Q_i), \qquad (2.72)$$

де Q_i – імовірність відмови кожного елемента:

$$Q_i = \lambda_i \cdot \tau, \qquad (2.73)$$

де λ_i – інтенсивність відмови і-го елементу;

τ – загальний час роботи даного елемента за аналізований період часу.

Імовірність аварії за один рік.

Відомо що $\lambda = 7 \cdot 10^{-5}$ рік$^{-1}$ τ=1 рік

$$Q_i = 7 \cdot 10^{-5} \cdot 1{,}0 = 7 \cdot 10^{-5}$$

Тоді підставивши отримані значення в формулу (7.11) отримаємо

$$Q = 1 - \prod_{n=1}^{n} \cdot (1 - 7 \cdot 10^{-5}) = 1 - 0{,}999 = 0{,}001 = 0{,}1\%$$

Імовірність невисока, застосування захисних засобів не потрібне.

Найбільш можливими відмовами є поломки електричного й механічного встаткування. Виникнення аварійних ситуацій можливо по незалежних від обслуговуючого персоналу й цеху зовнішнім причинам, таким, як відключення електроенергії, порушення водопостачання цеху й т.п.

Наслідками аварійних ситуацій є:

– зрив виробничого завдання;

– збільшення браку й відсортованої продукції;

– підвищення травмобезпеки;

– збільшення ймовірності виходу з ладу іншого устаткування.

Основними заходами, спрямованими на зниження ймовірності виникнення аварійних ситуацій, є:

– дотримання технології виробництва;

– своєчасний профілактичний огляд і ремонт устаткування;

– підвищення кваліфікації персоналу;

– дотримання правил техніки безпеки.

Також рекомендується проводити навчальні заходи щодо локалізації аварійних ситуацій.

Можливі надзвичайні ситуації наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Оцінка можливих аварійних ситуацій

Відхилення параметрів, виникнення аварійної ситуації	Можливий збиток							Заходи захисту
	Травма людини	Летальна поразка людини	Постійний шкідливий вплив	Відмова устаткування	Зрив завдання робіт	Руйнування будівлі і устаткування	Збиток навколишньому середовищу	
Заклинювання млина	так	немає	немає	так	так	так	немає	Правильне настроювання стану, дотримання технології
Вихід з ладу привода	немає	немає	немає	так	так	немає	немає	Контроль стану й роботи устаткування
Поломка млина	немає	немає	немає	так	так	немає	немає	Дотримання технології подрібнення,
Коротке замикання	так	так	немає	так	так	немає	немає	Застосування захисного заземлення
Вибух у маслопідвалі	так	так	немає	так	так	так	так	Заходи щодо попередження аварій

Пожежа	так	так	немає	так	так	так	так	Дотримання ТБ, забезпечення засобами пожежогасіння, підтримка чистоти приміщень
Відключення електроенергії	так	немає	немає	так	так	так	немає	Аварійне включення додаткової електропідстанції

ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи було:

1. Розглянуто загальні відомості про валкові млини, в тому числі вертикальних. Проведено огляд існуючих конструкцій вертикальних валкових млинів, їх конструктивних особливостей та роботи.
2. З метою підвищення продуктивності дробарки запропоновано варіант модернізації приводу вертикального валкового млина шляхом використання конічно-планетарного редуктора. Для визначення навантажень та режиму роботи проведено розрахунки потужності електродвигуна та редуктора механізму.
3. Проведені розрахунки на міцність найбільш навантажених деталей і вузлів валкового млина вказують на працездатність і надійність механізму.
4. Розглянуто особливості експлуатації та обслуговування обладнання. Складено ремонтний цикл, зроблено розрахунок трудомісткості виконання ремонтних робіт за видами ремонтів і обслуговувань та за видами робіт
5. Для створення безпечних умов праці персоналу й охорони навколишнього середовища зроблено аналіз небезпечних та шкідливих факторів виробництва, зроблені розрахунок потенційно небезпечного фактора та ймовірності аварій та їх ліквідація.

СПИСОК ВИКОРАСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інтернет ресурс : Vertical Roller Mill GEARBOX OVERVIEW INCLUDING MANUFACTURING Process at Elecon Engineering Co. Ltd. https://www.youtube.com/watch?v=6VyfPfjiqnc
2. Марач В., Губчик М., Клименко М. Оцінка конструктивних параметрів вертикальних валкових млинів при помелі цементів та гранульованих шлаків. *International Scientific-Practical Conference of young scientists "Build-Master-Class-2024"* : International scientific–practical conferenceof young scientists, Kyiv, 05-07 november 2024 / Kyiv national university of construction and architecture (KNUCA); chief editor: V. I. Skochko. – Kyiv : KNUCA, 2024. - С. 349 – 350. https://repositary.knuba.edu.ua/handle/123456789/15754
3. Заміховський Л.М., Скрип'юк Р.Б., Ровінський В.А. Метод контролю технічного стану вертикального валкового млина AG MPS 180BK за його вібраційними характеристиками. *Нафтогазова енергетика*. 2010. № 1. с. 138-142. http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/2765
4. Мікульонок І. О., КАРВАЦЬКИЙ А. Я., ЛЕЛЕКА С. В., ІВАНЕНКО О. І. Валкові дробарки і млини. (Огляд конструкцій). *Bulletin of National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» Series «Chemical Engineering, Ecology and Resource Saving»*. 2022. №1 (21). с.31-43. URL : https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/aeda4b00-0a78-4ebf-be87-cac5df226a0f/content
5. Гроздєв А.В., Таратута К.В. Аналіз конструкцій валкових млинів для підготовки пиловугільного палива та шляхи їх подальшого розвитку. *Металургія*, 2016 р., Вип. 1, с. 63-67.
6. Інтернет ресурс. URL : https://uk.beentools.com/product/slag-vertical-roller-mill/
7. Клименко М., Марач М., Губчик М. Порівняння конструкцій робочих органів вертикальних валкових млинів. *Техніка будівництва* : Випуск/Issue 42, 2025. с.123-130. DOI: https://doi.org/10.32347/tb.2025-42.0513
8. Сокур М.І., Білецький В.С., Божик Д.П. Рудопомольні апарати самоподрібнення (млини і дезінтегратори) : Навчальний посібник. Кременчук : Видавництво «НОВАБУК», 2023. 252 с.

9. Дубинін А. І., Ханик Я. М., Атаманюк В. М. Обладнання для подрібнення матеріалів. Львів: НУ «Львівська політехніка», 2005. 140 с.
10. Бублейник О.С. Обладнання для подрібнення матеріалів. Львів : НУ «Львівська політехніка», 2005. 140 с.
11. Смирнов В.О., Білецький В.С. Підготовчі процеси збагачення корисних копалин : навчальний посібник. Донецьк : Східний видавничий дім, Донецьке відділення НТШ, 2012. 284 с.
12. Білецький В.С., Олійник Т.А., Смирнов В.О., Скляр Л.В.Основи техніки та технології збагачення корисних копалин : навчальний посібник. Київ : Ліра-К 2020. 634 с.
13. Хмара Л.А., Шипілов О.С., Онищенко О.Г. Дробильно-сортувальні заводи і устаткування : навч. посіб. Полтава : ПолтНТУ, 2009. 209 с.
14. Інтернет ресурс : Привод вертикальної мельниці. https://kpd-drive.com.ua/images/upload/files_entity/726/487/elecon-vertical-roller-mills-drive-catalogue-pdf.pdf
15.Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків : навчальний посібник. Харків : НТУ «ХПІ», 2020. 275 с.
16. Пилипенко С. С., Потапенко О. П., Тарасов В. К., Воденнікова О. С., Воденнікова Л. В., Бабошко Д. Ю. Багатоступеневий редукторно-мультиплікаторний гідравлічний привід машин. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. Серія : Технічні науки. 2020. Т. 31(70). № 5. С. 19-23. URL: https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/04.
17. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин : підручник Київ : «Наукова думка», 2002. 660 с.
18. Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Е.С. Опір матеріалів : підручник. Київ : Вища школа, 2004. 655 с.
19. Інтернет ресурс : Vertical Roller Mill Gearbox. https://www.youtube.com/watch?v=AjcDdsrxKWo&t=97s
20. Скрип'юк Р. Б. Контроль технічного стану вертикальних валкових млинів : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.11.13 "Прилади і методи контролю та

визначення складу речовин" : Дата захисту 10.06.11 . Івано-Франківськ, 2011. 225 с.

21.Седуш В.Я. Надійність, ремонт і монтаж металургійних машин : підручник. Донецьк, 2008. 379с.

22.Жук А.Я., Малишев Г.П., Желябіна Н.К., Таратута К.В. Монтаж металургійного обладнання : навчальний посібник. Видавничий дім «Кондор», 2018. 382 с. URL : http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Zhuk_2018_330.pdf

23.Жук А.Я., Малишев Г.П., Желябіна Н.К.,Таратута К.В.. Технічне обслуговування металургійного обладнання. Видавництво «Кондор», 2017. 288 с.

24.Глиняна Н.М. Охорона праці у ливарному виробництві: курс лекцій. Краматорськ : ДДМА, 2009. 184 с. URL : http://www.dgma.donetsk.ua/docs/kafedry/hiop/metod/21_otolp.pdf

25.Ткачук К.Н., Зацарний В.В., Зеркалов Д.В. та ін. Основи охорони праці Київ : Основа, 2014. 456 с.

26.Правила охорони праці під час дроблення і сортування, збагачення корисних копалін і огрудкування руд і концентратів. Затверджено наказом Міністерства надзвичайних ситуацій України 27.06.2012 N 933, Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 20 липня 2012 р. за N 1227/21539.

СПИСОК ВИКОНАНИХ КРЕСЛЕНЬ

№ п/п	Найменування	Кільк. листів	Формат
1	Валковий млин	1	А1
2	Привод	1	А1
3	Конічно-планетарний редуктор	1	А1
4	Колесо	1	А4
5	Вал	1	А4

ДОДАТКИ