**Тема роботи:**
«Аналіз конструкції та розробка технології ремонту барабана млина кульового типу МШЦ 3200х4500»

**Частина І.** «Аналіз конструкції млина кульового типу МШЦ 3200х4500»

Виконав: студент групи ГМБ-22-1 _____ Я.І.Лопушанський

Керівник випускної роботи: канд.техн.наук, проф. _____ Ю.Г.Горбачов

**Частина ІІ:** «Розробка технології ремонту барабана млина кульового типу МШЦ 3200х4500»

Виконав: студент групи ГМБ-22-1 _____ В.З.Муляк

Керівник випускної роботи: канд.техн.наук, проф. _____ Ю.Г.Горбачов

Кривий Ріг

2026 р

# ВСТУП

Розвиток сучасної промисловості безпосередньо пов’язаний із підвищенням технічного рівня виробництва, що досягається за рахунок прискорення науково-технічного прогресу, технічного переозброєння підприємств та реконструкції виробничих потужностей. Важливу роль у цьому процесі відіграє ефективне використання існуючого обладнання, оптимізація технологічних процесів і вдосконалення систем технічного обслуговування та ремонту. Реалізація цих заходів сприяє зниженню енерговитрат, підвищенню продуктивності та покращенню економічних показників виробництва.

Одним із ключових процесів у гірничодобувній та збагачувальній промисловості є подрібнення корисних копалин. Цей процес належить до найбільш енергоємних і витратних операцій. Щорічно у світі подрібнюється понад 3 млрд тонн мінеральної сировини, при цьому витрати електроенергії досягають десятків мільярдів кіловат-годин, що становить значну частку загального енергоспоживання. Крім того, значні витрати припадають на зношування подрібнювальних тіл і футерування робочих органів, що потребує регулярного технічного обслуговування та відновлення обладнання.

На збагачувальних фабриках операції дроблення і подрібнення займають до 50–70% як капітальних, так і експлуатаційних витрат. Це зумовлює необхідність постійного вдосконалення конструкцій подрібнювального обладнання, підвищення його надійності, довговічності та енергоефективності. Особливого значення набуває оптимізація конструкцій барабанних млинів, які широко застосовуються для тонкого подрібнення руд і інших твердих матеріалів.

Кульові млини є одним із найбільш поширених типів подрібнювального обладнання, що використовується на збагачувальних фабриках. Вони відзначаються відносною простотою конструкції, універсальністю застосування та здатністю забезпечувати необхідний ступінь подрібнення матеріалу. Одним із представників цього класу обладнання є кульовий млин типу МШЦ 3200×4500, який широко застосовується для подрібнення руд у замкнутих і відкритих циклах збагачення.

Разом із тим, експлуатація кульових млинів пов’язана з інтенсивним зношуванням їх основних вузлів, зокрема барабана, футеровки, підшипникових вузлів і приводу. Барабан млина є одним із найбільш відповідальних елементів конструкції, що сприймає значні динамічні навантаження, удари подрібнювальних тіл та вплив абразивного середовища. Його технічний стан безпосередньо впливає на надійність і ефективність роботи всього агрегату.

У зв’язку з цим особливої актуальності набуває розробка ефективних технологій ремонту та відновлення барабанів кульових млинів, що дозволяють продовжити строк їх служби, знизити витрати на експлуатацію та підвищити економічну ефективність роботи підприємства. Комплексний підхід, який поєднує аналіз конструкції обладнання та розробку технології його ремонту, дає можливість отримати обґрунтовані технічні рішення щодо підвищення надійності та довговічності млинів.

Дана комплексна бакалаврська робота складається з двох взаємопов’язаних частин. У першій частині виконано аналіз конструкції кульового млина типу МШЦ 3200×4500, розглянуто його основні вузли, принцип роботи та умови експлуатації. У другій частині розроблено технологію ремонту барабана млина, що спрямована на підвищення надійності та зниження витрат на технічне обслуговування.

**Мета роботи** – аналіз конструкції кульового млина типу МШЦ 3200×4500 та розробка ефективної технології ремонту його барабана з метою підвищення надійності, довговічності та економічної ефективності експлуатації обладнання.

**Об’єкт дослідження** – процес роботи та експлуатації кульового млина на збагачувальній фабриці.

**Предмет дослідження** – конструктивні особливості барабана млина та технологія його ремонту, що впливають на надійність, ресурс і ефективність роботи обладнання.

# РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО БАРАБАННІ МЛИНИ

## 1.1. Принцип дії і область призначення

Для подрібнення корисних копалин найбільш широко використовують барабанні млини — кульові та стрижньові. На збагачувальних фабриках великої продуктивності останніми роками також застосовують млини самоподрібнення (без використання куль) і напівсамоподрібнення, у яких передбачене додавання невеликої кількості куль [1–5].

Барабанний млин (рис. 1.1) являє собою порожнистий барабан 3, закритий з обох боків торцевими кришками 2 і 4, у центральній частині яких розташовані пустотілі цапфи 1 і 5.

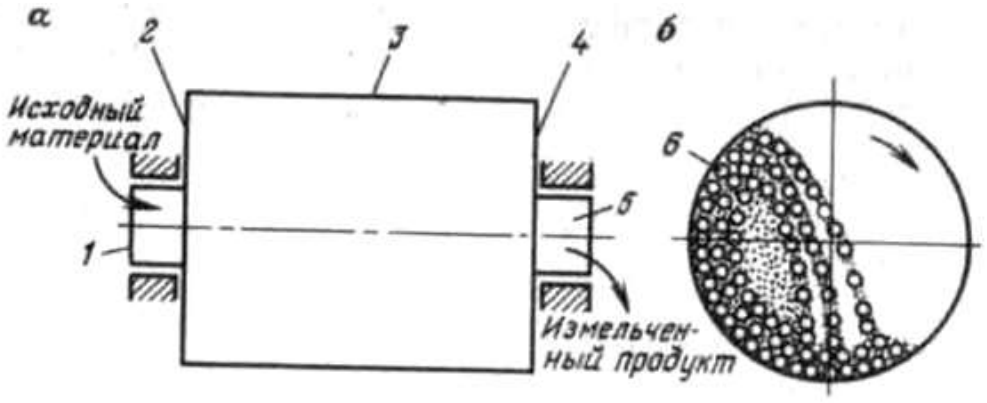



Рис. 1.1 – Схема та принцип роботи барабанного (кульового) млина [1–5]: а – загальний вигляд; б – схема руху матеріалу.

Цапфи встановлюються на підшипникові опори, завдяки чому барабан обертається навколо горизонтальної осі. Усередині барабан приблизно до половини об’єму заповнюють подрібнювальними тілами 6. Під час обертання барабана ці тіла під дією сил тертя захоплюються внутрішньою поверхнею, піднімаються на певну висоту, після чого падають або перекочуються вниз. Через одну з порожнистих цапф у барабан безперервно подається вихідний матеріал. Переміщуючись уздовж барабана, він зазнає впливу подрібнювальних тіл і руйнується внаслідок ударів, стирання та роздавлювання. Готовий подрібнений продукт безперервно видаляється через іншу порожнисту цапфу. Під час роботи барабана матеріал переміщується вздовж його осі завдяки різниці рівнів між

зонами завантаження і розвантаження, а також під дією тиску нових порцій матеріалу, що надходять у млин. При мокрому подрібненні транспортування матеріалу відбувається потоком води, а при сухому — повітряним потоком, який утворюється внаслідок відсмоктування повітря з барабана [1–5].

Основними параметрами млинів є внутрішній діаметр барабана D (без урахування футерування) та його робоча довжина.

### 1.2. Класифікація барабанних млинів

В основу їх класифікації покладено принцип обумовлений видом енергії, яка використовується для руйнування. Традиційно виділяють механічну роботу дробильних органів, подрібнювання за рахунок енерги стисненого повітря, газу, пари або води, електричної чи теплової енерги. Відповідно до цього подрібнювальне устаткування подшяють на механічні млини з подрібнювальними тілами та аеродинамічні (струминні) без них. У свою чергу до перших належать барабанні, роликокільцеві, чашкові та дискові (рис. 1.2), до других - одно- і багатоінжекторні [1- 5 , 20, 21, 25].

Зокрема, залежно від робочої частоти обертання барабанні млини поділені на тихохідні (обертальні) та швидкохідні. На збагачувальних фабриках найбільш поширений тихохідний барабанний млин - порожнистий футерований барабан, який обертається навколо горизонтальної осі та спирається на встановлені в підшипниках порожні цапфи торцевих кришок [1 - 5 , 20, 21, 25].

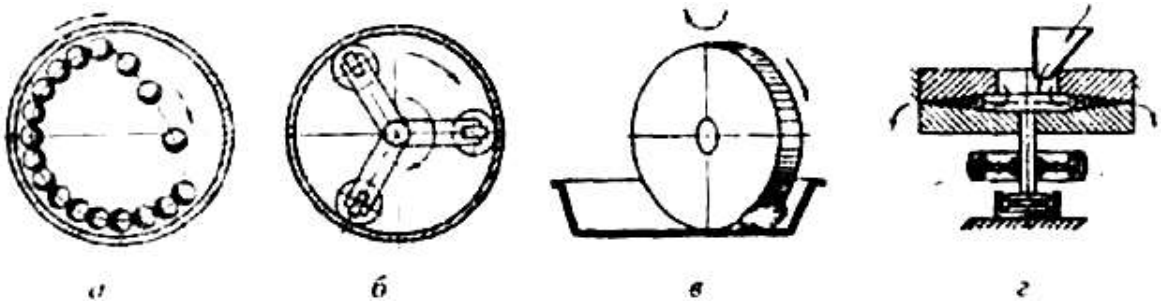



Рис. 1.2 - Схеми млинів за класифікацією [1 - 5 , 20, 21, 25]: *а* - барабанний (кульовий, стрижневий, галечний, рудно-галечний, барабанно-роликовий): *б* - роликокільцевий; *в* - чашковий (з бігунами); *г* - дисковий (стирання, жорна).

При обертанні барабана, заповненого подрібнювальним середовишем приблизно на 45...50%, матеріал за рахунок сил тертя піднімається на деяку висоту та вільно або перекочуючись падає вниз. Здрібнювальний материал подають у барабан через передню цапфу, де під впливом різниці у рівнях на вході і виході млина, а також під натиском безупинного завантаження він рухається вздовж барабана, піддаючись руйнуванню ударом, тертям і роздавлюванням. Готовий подрібнений продукт виводиться з барабана через задню цапфу [1 - 5 , 20, 21, 25].

За методом руйнування розрізняють млини мокрого і сухого подрібнювання. При сухому подрібнюванні у млині безупинної дії готовий продукт розвантажують з барабана через цапфу, циліндричне сито або через вікна в барабані, а при мокрому - через грати і цапфу або безпосередньо через останню. При періодичних режимах - розвантаження млинів через люки [1 - 5 , 20, 21, 25].

За формою барабана розрізняють циліндроконічні та циліндричні млини (рис. 1.3). Останні бувають трьох типів - короткі, довгі та трубні. У коротких млинів робоча довжина барабана L менша або близька до його внутршнього діаметра D (при знятій футеровці), а в довгих – удвічі-утричі більша. Для трубних млинів це відношення 3 і навіть більше [1 - 5 , 20, 21, 25].

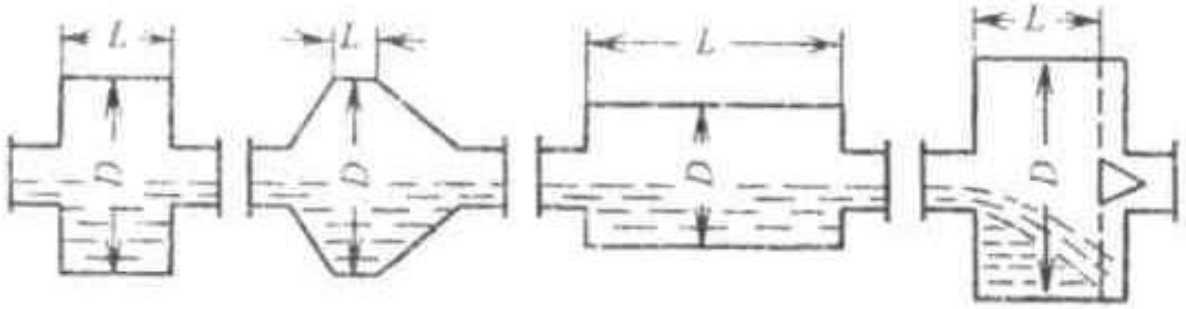



Рис. 1.3 - Типи барабанних млинів [1 - 5 , 20, 21, 25].

За характером роботи млини поділяють на установки періодичної та безперервної дії; за конструктивним виконанням — на барабанні з обертовим корпусом, вібраційні, відцентрові та баштові [1–5, 20, 21, 25].

Відповідно до форми барабана розрізняють циліндро-конічні та циліндричні млини. Циліндричні млини, у свою чергу, поділяються на короткі, довгі та трубні. У коротких млинів довжина барабана менша за його діаметр або приблизно дорівнює йому; у довгих — становить 2–3 діаметри; у трубних — перевищує діаметр щонайменше у три рази [1–5, 20, 21, 25].

Трубні млини набули найбільшого поширення у цементному виробництві.

За типом подрібнювального середовища млини поділяють на кульові, стрижньові, галечні, рудногалечні та млини самоподрібнення. У кульових млинах робочим середовищем є сталеві або чавунні кулі; у стрижньових — сталеві стрижні; у галечних — окатана кременева галька або руда; у млинах самоподрібнення — великі шматки самої руди, що переробляється [1–5, 20, 21, 25].

Залежно від способу видалення готового продукту розрізняють млини з центральним розвантаженням та з розвантаженням через решітку. У млинах із центральним розвантаженням продукт виводиться самопливом через порожнисту розвантажувальну цапфу. Для нормальної роботи таких млинів рівень пульпи всередині барабана має перевищувати рівень нижньої твірної розвантажувальної цапфи. Через це їх також називають млинами зливного типу або млинами з високим рівнем пульпи. У млинах із решітчастим розвантаженням передбачений спеціальний підйомний пристрій, який забезпечує примусове виведення подрібненого матеріалу. Тому рівень пульпи в них може бути нижчим за рівень розвантажувальної цапфи. Такі млини часто називають млинами примусового розвантаження або млинами з низьким рівнем пульпи [1–5, 20, 21, 25].

Циліндричні кульові та стрижньові млини широко використовують на збагачувальних фабриках для подрібнення руд. Стрижньові млини можуть застосовуватися як обладнання для дрібного дроблення перед кульовими млинами, а також для підготовки дрібновкраплених руд перед гравітаційними чи електромагнітними способами збагачення. Галечні млини використовують у тих випадках, коли навіть незначне потрапляння заліза у продукт є небажаним. Млини самоподрібнення протягом останніх десятиліть активно впроваджуються у практику рудопідготовки. Такий спосіб подрібнення успішно конкурує з

використанням сталевих тіл і в окремих випадках не лише здешевлює процес підготовки руди, а й покращує технологічні показники її переробки [1–5, 20, 21, 25].

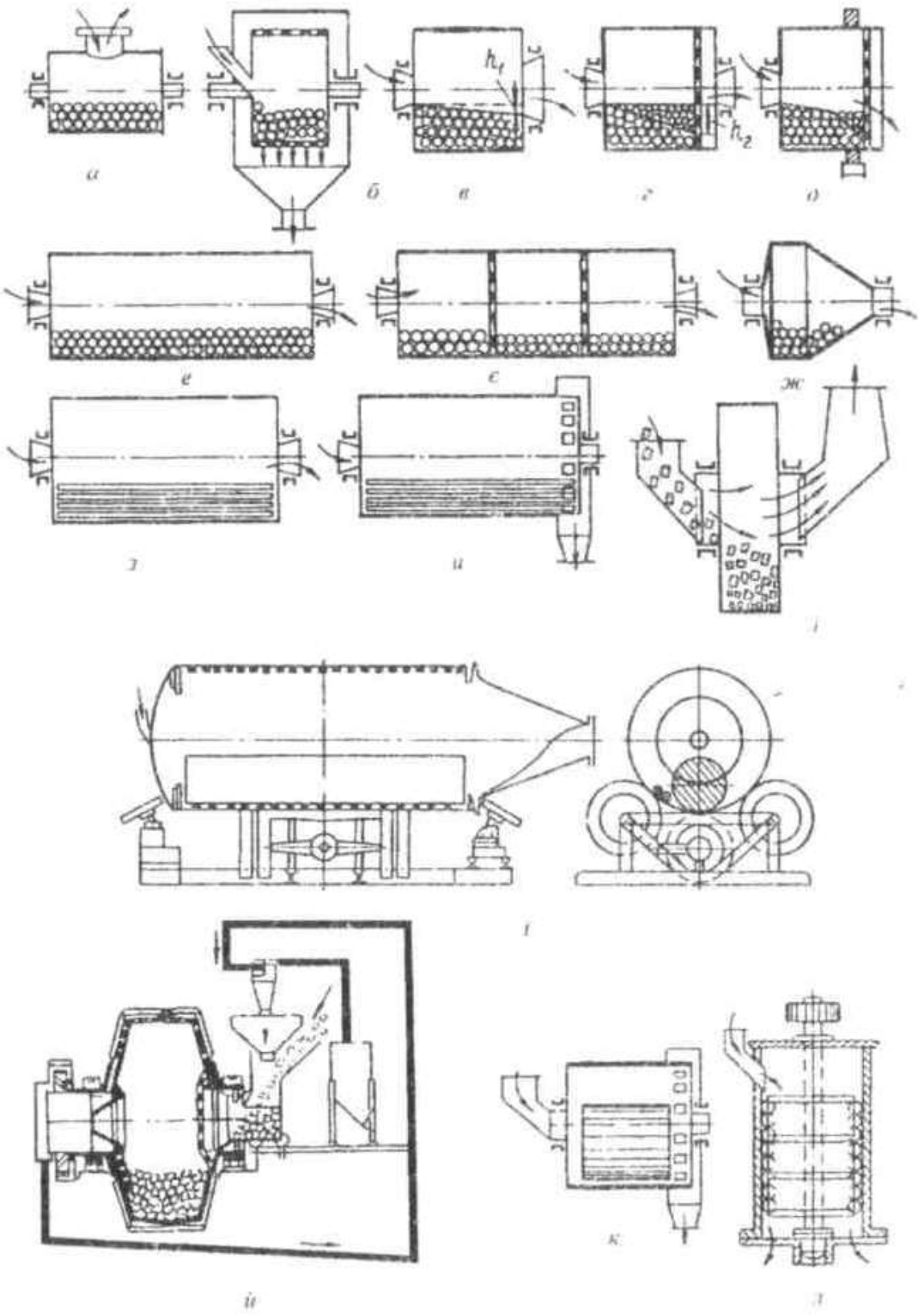


Рис. 1.4 - Схеми барабанних млинів [1 - 5 , 20, 21, 25]

Як подрібнювальні тіла у тихохідних барабанних млинах використовують кулі, циліндричні елементи, стрижні, природну гальку та шматки руди. Найбільш потужними серед барабанних млинів є кульові, рудногалечні та млини самоподрібнення. Стрижньові млини зазвичай мають меншу потужність. Схеми барабанних млинів наведені на рис. 1.4 [1–5, 20, 21, 25].

Кульові і рудно-галечні млини періодичної дії (рис. 1.4 а) використовуються в керамічній та хімічній промисловості при малій продуктивності або як лабораторні, а млини з периферичним розвантаженням (рис. 1.4 б) - переважно для подрібнення в'яжучих матеріалів. У кульових млинів з центральним розвантаженням (рис. 1.4 в) різниця у рівнях пульпи $h_1$ незначна, через що осьова швидкість переміщення подрібнювального матеріалу низька і в результаті цього у розвантаженні цих млинів тонкий продукт. При використанні грат (рис. 1.4 г) ця різниця значно більша, а продукт на виході млина - грубіший. Для збільшення пропускної здатності у цих млинів (рис. 1.4 д) відкритий торець. Звичайно вони працюють у замкненому циклі з класифікаторами [1 - 5 , 20, 21, 25].

В однокамерних трубних млинах (рис. 1.4 е) довжина барабана в 5...6 разів перевищує їх діаметр, що дає можливість отримувати тонкі продукти навіть у відкритих циклах. Багатокамерний варіант млинів (рис. 1.4 є) передбачає використання камер з різним розміром подрібнювальних тіл. Конічні кульові млини зливного типу (рис. 1.4 ж) широкого застосування не знайшли і промисловістю не виготовляються. У стрижневих млинів мокрого (рис. 1.4 з) і сухого (рис. 1.4 и) способів як подрібнювальні тела взято металеві стрижні. Звичайно ці млини працюють у відкритому циклі. При мокрому подрібнюванні вони зливного типу, а при сухому - з периферичним розвантаженням через вікна в барабані. При самоподрібнюванні подрібнювальними тілами є великі куски самого подрібнювального матеріалу. Барабани таких млинів короткі (D=0,3L), а їх діаметр D перевищує 6 м. При D=6..7 м розмір кусків сягає 0,3 м, а при D=9...11 м - 0,6 м [1 - 5 , 20, 21, 25].

При рудному самоподрібнюванні здрібнювальними тілами слугують як найбільш великі куски, так і куски проміжних класів. При сухому подрібнюванні

млин в одному агрегаті з повітряним сепаратором (рис. 1.4 і), а готовий продукт виводиться за допомогою повітря (система «Аерофол»). При мокрому методі млин працює в замкненому циклі з класифікатором (рис. 1.4 й), найчастіше з гідроциклоном (система «Каскад») [1 - 5 , 20, 21, 25].

### 1.3. Технічні характеристики кульових млинів мокрого подрібнювання

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики млинів [7, 8, 10, 11, 19]

| Показники | МШР-900 х х1000 | МШР-1200 х х І300 | МШР-1500 х х 1600 | МШР-2100 х х 1500 | МШР-2100 х х 2200 | МШР-2100 х х 3000 | МШР-2700 х х 2100 | МШР-2700 х х 3600 | МШР-3200 х х 3100 | МШР-3200 х х 3800 | МШР-3600 х х 4000 | МШР-3600 х х 5000 | МШР-4000 х х 5000 | МШР-4500 х х 5000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Товщина футерування, мм | 60 | 65 | 70 | 80 | 80 | 80. | 95 | 95 | 105 | 105 | 110 | 110 | 120 | 120 |
| Внутрішні розміри барабана (без футеровки), мм: діаметр<br>довжина | 900<br>1000 | 1200<br>1300 | 1500<br>1500 | 2100<br>1500 | 2100<br>2200 | 2100<br>3000 | 2700<br>2100 | 2700<br>3600 | 3200<br>3100 | 3200<br>3800 | 3600<br>4000 | 3600<br>5000 | 4000<br>5000 | 4500<br>5600 |
| Робочий об'єем, $м^3$ | 0,50 | 1,20 | 2,3 | 4,3 | 6,3 | 8,5 | 10,0 | 17,5 | 22,0 | 27,0 | 36,0 | 45,0 | 55,0 | 71,0 |
| Масса кульового навантаження, т | 1,0 | 2,4 | 4,8 | 9,1 | 13,4 | 18,3 | 21,5 | 37,0 | 45,0 | 55,0 | 74,0 | 93,0 | 115,0 | 148,0 |
| Частота обертання барабана: хв~'<br>% критичной | 40<br>83,7 | 35<br>85,6 | 30<br>82,9 | 24,4<br>80,3 | 24,4<br>80,3 | 24,4<br>80,3 | 21<br>78,9 | 21<br>78,9 | 19,8<br>81,0 | 19,8<br>81,0 | 18,1<br>78,7 | 18,1<br>78,7 | 17,40<br>79,9 | 16,50<br>80,4 |
| Приводний електродвигун: потужність, кВт<br>частота обертання, $хв^{-1}$ | 13<br>730 | 30<br>735 | 55<br>970 | 132<br>740 | 200<br>735 | 200<br>735 | 400<br>187 | 400<br>187 | 630<br>250 | 800<br>167 | 1000<br>167 | 1250<br>187 | 2000<br>150 | 2500<br>150 |
| Масса млина без двигуна і куль, т | 5,3 | 10,5 | 16,5 | 34,5 | 40,1 | 44,9 | 65 | 77,0 | 92,6 | - | 162,0 | 165,0 | 258,0 | 300,0 |

# РОЗДІЛ 2. ОПИС КОНСТРУКЦІЇ МЛИНА КУЛЬОВОГО ТИПУ МШЦ 3200Х4500

## 2.1. Опис конструкції і принцип роботи

Кульовий млин з розвантаженням через грати (МШР) являє собою циліндричний барабан, зварений з листової сталі, який спирається порожніми цапфами на корінні підшипники ковзання і має равликовий або комбінований живильник (рис.2.1) [6, 9].

У розвантажувальній частині барабана млина перед торцевою кришкою є грати з ребрами. При обертанні барабана вони піднімають подрібнений продукт, який пройшов через грати, і розвантажують його у цапфу. Такий пристрій дає можливість підтримувати низький рівень пульпи у барабані. Перегородка перед торцевою кришкою збирається з окремих секторних грат, які можуть бути литими з довгастими отворами або зібраними з колосників трапецеподібного перетину, зварених разом. Секторні грати кріпляться до торцевої кришки на болтах за допомогою литих смуг з марганцевистої сталі [6, 9].

Внутрішня поверхня барабана і торцевих кришок вкрита футерувальними плитами, найчастіше з марганцевистої сталі. Для вивантаження подрібнювальних тіл і заміни футерувальних плит у корпусі барабана є один або два люки. Найчастіше барабану надають рух відкритою зубчастою передачею з привідним двигуном, приєднаним до ведучої шестерні за допомогою еластичної муфти. У млинах малих розмірів, як правило, використовують проміжний редуктор [6, 9].

У кульових млинів з центральним розвантаженням (МШЦ) пульпа виводиться безпосередньо у розвантажувальну цапфу [6, 9].

Таке конструктивне рішення призводить до високого рівня пульпи в барабану, довшого терміну перебування продукту у млині і більш тонкого подрібнювання. Горловина розвантажувальної цапфи має зворотну спіраль, яка повертає в барабан кулі, що випадково потрапили у неї. Для створення нахилу пульпи у млині ця цапфа трохи більшого діаметра, ніж завантажувальна. Край розвантажувальної лійки має форму розтруба і кільцевий виступ для запобігання

попаданню пульпи у підшипник. В іншому конструкція такого млина подібна до млина з гратами [6, 9].

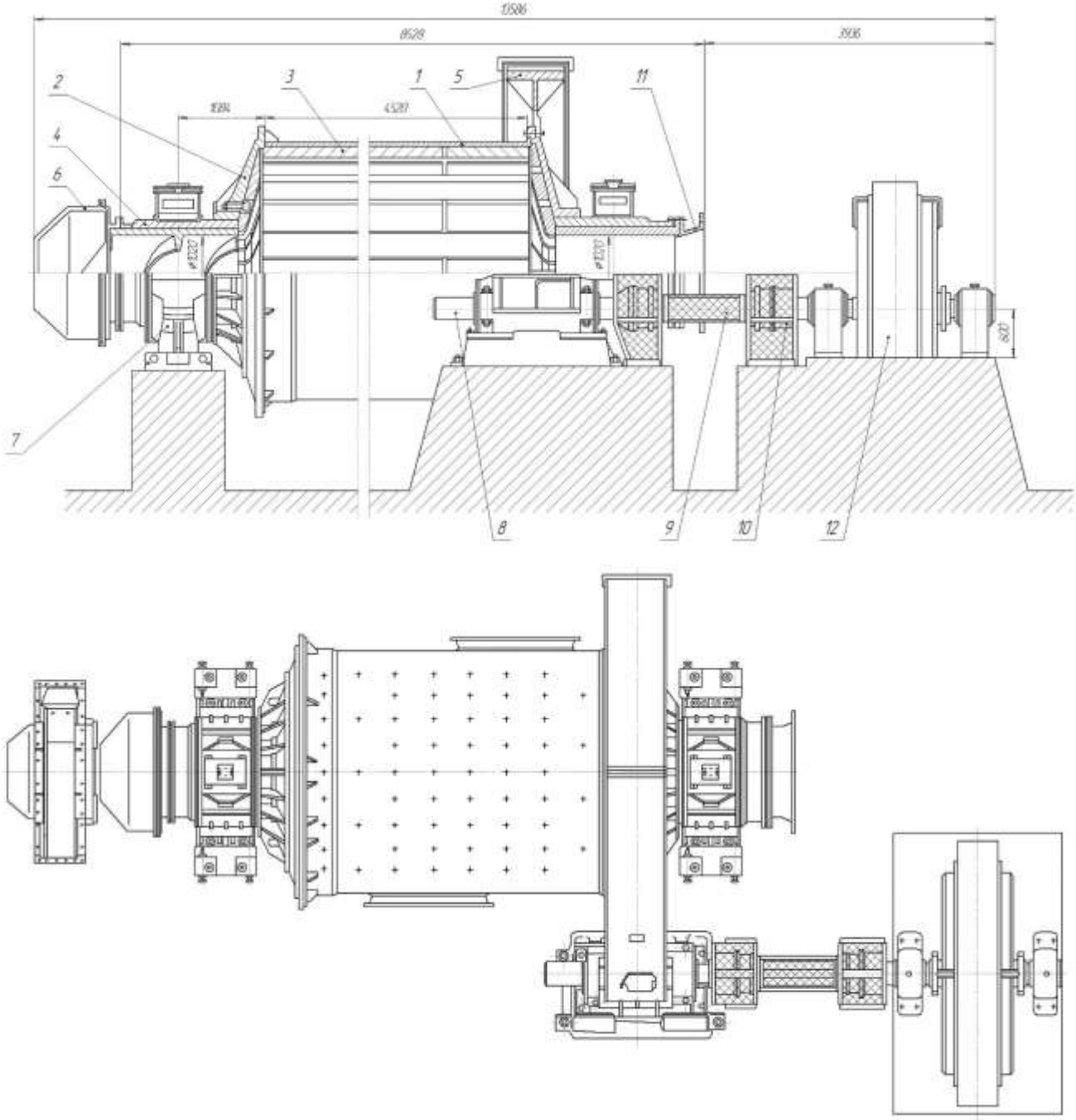



Рис. 2.1 - Розріз кульового млина з центральним розвантаженням [6, 9]: 1 - корпус; 2 - кришка торцева,3 - сталеве футерування; 4 – цапфа барабана; 5 - шестерня венцова; 6 – живильник; 7 – підшипник; 8 - вал-шестерня; 9 – вал проміжний; 10 – муфта зубчаста; 11- патрубок розвантажувальний; 12 - електродвигун.

Привод забезпечує робоче обертання млина із швидкістю 15,625 об/хв і повільне обертання при ремонтних роботах зі швидкості; 0,176 об/хв [6, 9].

***Технічна характеристика приводу***

| | |
|---|---|
| 1. Електродвигун головного привода | |
| потужність | 2000 кВт |
| число обертів | 100 об/хв |
| 2. Вінцева пара | |
| модуль | m = 28 |
| число зубів шестерня/колесо | 30/192 |
| передаточне відношення | 6,4 |
| кут нахилу зуба | 3°50´30´´ |
| 3. Електродвигун допоміжного привода | |
| потужність | 40 кВт |
| число обертів | 740 об/хв |
| 4. Редуктор допоміжного привода | |
| тип | Т4-2280 |
| міжосьова відстань | 2280 |
| передаточне число | 656,5 |
| 5. Номінальний крутний момент на вісі млина від від головного електродвигуна | 114 т.м |
| 6. Швидкість обертання млина головного електродвигуна | 15,625 об/хв |
| 7. Номінальний крутний момент на вісі млина від допоміжного привода | 208т.м. |
| 8. Швидкість обертання млина від допоміжного привода | 0.176 об/хв |
| 9. Змащення | |
| підшипників підвенцевої шестерні та електродвигуна головного привода | Централізована рідка |
| вінцевої пари | централізована густа |
| зачеплення редуктора допоміжного привода | каретна заливна |

| | |
|---|---|
| підшипників редуктора допоміжного привода 1 вала | густа |
| 2,3,4,5 вала | картерна |
| зубчатих муфт промзєднання | густа закладна |
| підшипників урівноважувального пристрою | густа закладна |
| 10. загальна маса привода | 62600кг |

### 2.2. Завантажувальні та розвантажувальні пристрої.

За методом засипання матеріалу в завантажувальну цапфу млини бувають з барабанними, равликовими і комбінованими живильниками, а також із завантажувальними лійками. Барабанний живильник - це циліндрично-конічна камера, відкрита з обох боків та оснащена внутрішньою перегородкою для подачі подрібнюваного матеріалу через цапфу в млин (рис. 2.2) [6, 9].

Барабанний живильник призначений для завантаження матеріалу крупністю до 70 мм на рівні осі барабана і кріпиться до цапфи болтами. Найбільшого поширення отримали барабанні живильники при сухому подрібнені [6, 9].

Равликовий живильник на рис. 2.3 - це спіральної форми черпак з круглим отвором у бічній стінці за обертання для вивантаження матеріалу при зачерпуванні у передню цапфу млина. Знаходять застосування живильники з одним, двома чи трьома черпаками, кожен з яких оснащений змінним козирком з марганцевистої сталі чи легованого чавуну. Млини з такими живильниками застосовують при низькому рівні завантаження матеріалу (наприклад, під час роботи з спіральним класифікатором). Максимальний радіус живильника вибирають таким, щоб частота його обертання не перевищувала 0,8 від критичної для козирка равликового живильника [6, 9].

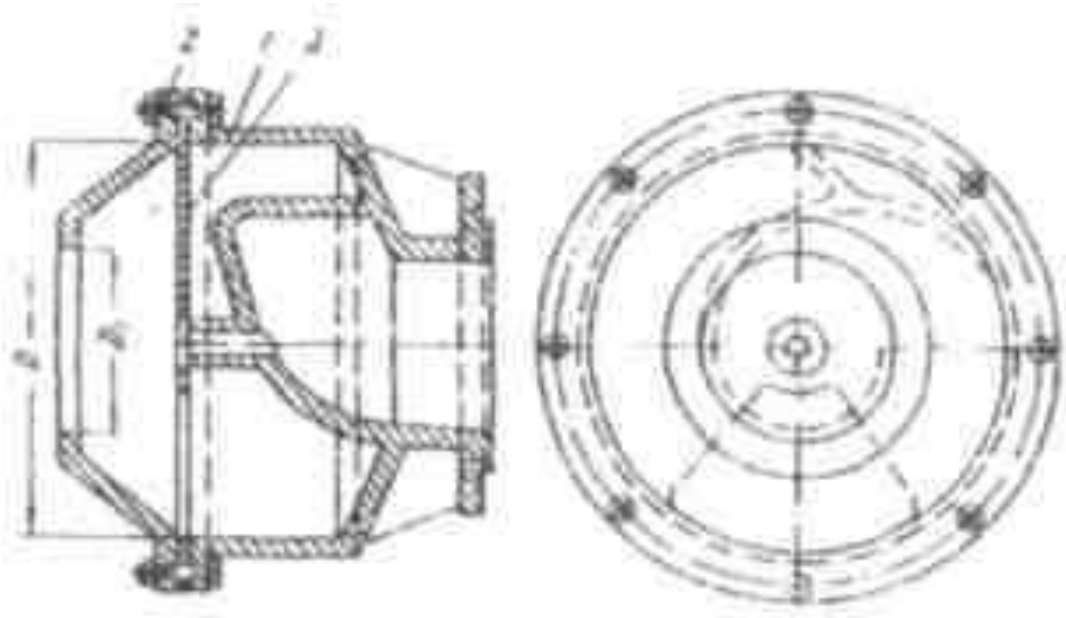


Рис. 2.2 - Барабанний живильник [6, 9]: 1 - корпус; 2 - кришка у вигляді усіченого конуса з круглим отвором; 3 - діафрагма з секторним отвором для випуску завантаженого матеріалу на спіраль корпусу.

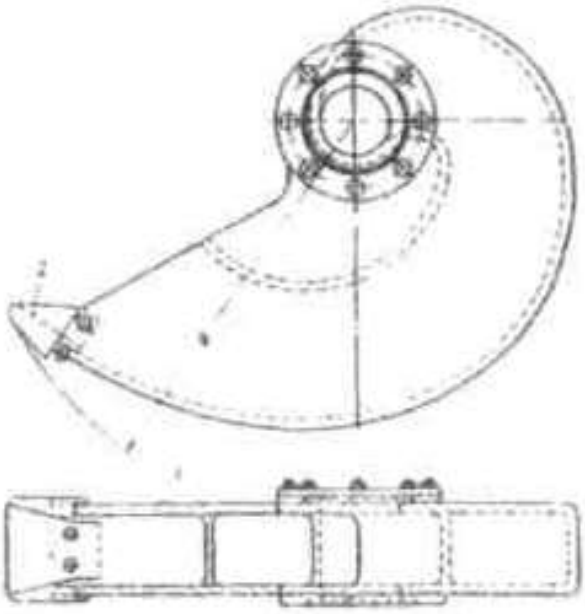


Рис 2.3 - Равликовий живильник

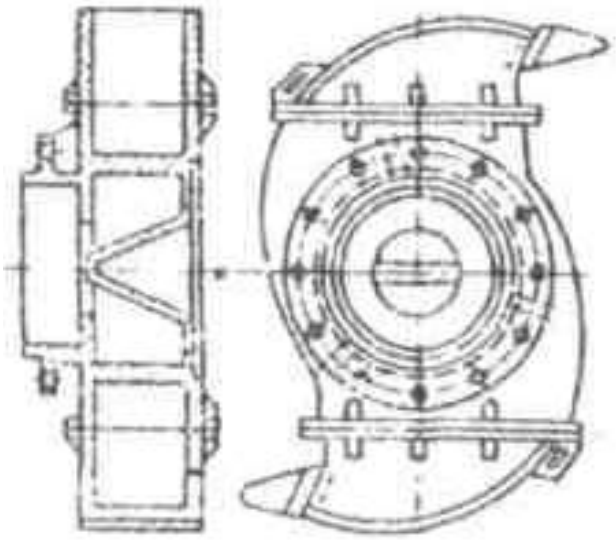


Рис. 2.4 - Двочерпаковий жівильник

Для зниження динамічних навантажень приводу млина перевагу віддають симетричним живильникам (рис. 2.4) з урівноваженими обертовими масами. Для запобігання заклинювання завантажуваного матеріалу відстань між стінками

ємності і равликами не повинна бути меншою найбільшого куска живлення млина.

Комбінованим живильником (рис. 2.5) забезпечується одночасно завантаження млина кусковим матеріалом і пісками класифікатора [6, 9].

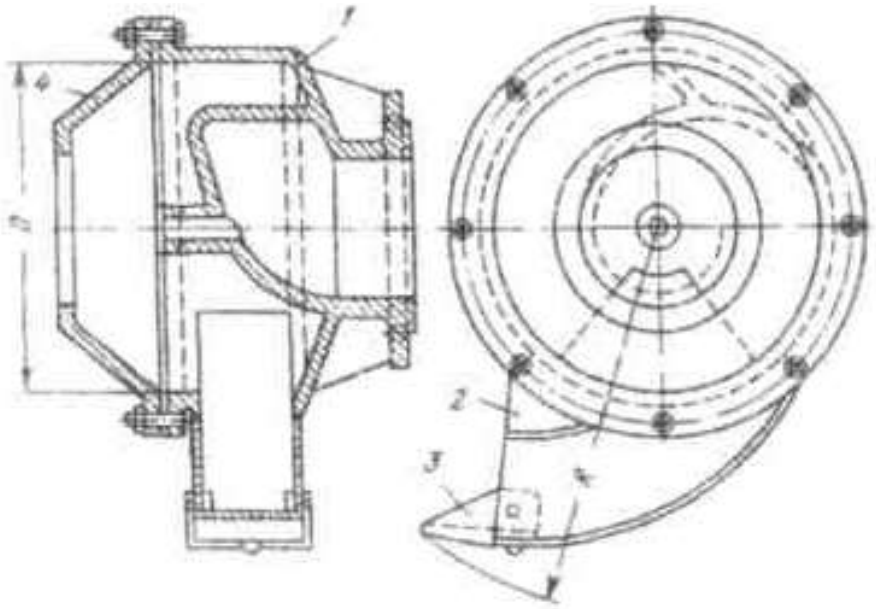



Рис. 2.5 - Комбінований живильник [6, 9]: 1 - корпус; 2 - черпак; 3- козирок черпака

Черпаки при цьому діють як елеватори. Додаткова перевага живильника у тому, що матеріал у вигляді великих кусків потрапляє у млин, минаючи проміжну ємність. Це запобігає заклинюванню великих кусків між черпаком та стінками або днищем ємності, виникненню додаткових зусиль у живильнику і кріпильних болтах [6, 9].

За способом розвантаження поділяють кульові млини на центрального розвантаження і розвантаження за допомогою грат, розташованих у розвантажувальному кінці барабана. Загальна площа отворів грат на порядок більша від площі порожньої розвантажувальної цапфи. Порожнина між розвантажувальними гратами і задньою торцевою кришкою розділена на сектори радіальними або спіральними перегородками-ліфтерами, які за допомогою спеціального розвантажувального конуса забезпечують розвантаження млина через задню порожнисту цапфу. Обидва способи розвантаження застосовують при мокрому і сухому подрібненні [6, 9].

Розмір щілин грат звичайно менший розміру подрібнювальних тіл. У рудно-галечних млинах він дає змогу виводити у розвантажувальну камеру відпрацьовану гальку, яка за допомогою спеціального пристрою - бутари - розвантажується з млина. Розмір отворів бутари - 10... 15 мм. Для млинів самоподрібнювання I стадії - отвори 20...25 мм. Можливе використання дво- чи три-продуктових бутар з різним розміром отворів для виведення окремих продуктів [6, 9].

Застосування розвантажувальних грат збільшує внутрішньомлинову циркуляцію і переподробнює сировину, трохи зменшуючи продуктивність. Разом з тим остання на 10... 15% вища порівняно з млином центрального розвантаження.

Використання центрального розвантаження супроводжується відносно високим рівнем зливу і певним демпфіруванням впливу подрібнювального середовища, що знижує продуктивність млина. Такий пристрій розвантаження застосовують при отриманні тонких продуктів, до того ж він надійно зменшує питомі витрати металу та загалом експлуатаційні [6, 9].

3 погляду на якість і продуктивність перевага - за млинами з периферичним розвантаженням. Це забезпечує відносно низький рівень пульпи, збільшує швидцість проходження матеріалом барабана і зменшує переподрібнювання. Подібний спосіб розвантаження використовується як при сухому, так і при мокрому подрібнюванні. Недоліки - у відносній складності та деякому збільшенні будівельної висоти млина. Вищезгадані розвантажувальні пристрої застосовують як при докритичних, так і надкритичних частотах обертання барабанів [6, 9].

Відомі пристроі, які ефективно працюють лише в умовах надкритичних частот обертання. У таких конструкціях для виведення пульпи з барабана використовують ефект тиску обертальної рідини. Позитивна якість пристрою: низький рівень пульпи в млині, можливість її підйому на певну висоту щодо осі обертання барабана. Недоліки - у підвищеному спрацюванні пульповоду, недоліки надійності [6, 9].

### 2.3. Футерування млинів

Футерівка млинів захищає внутрішню поверхню барабана від спрацювання, визначає траєкторію руху внутрішньомлинового завантаження та ступінь и ковзання

по футеровці, продуктивність млина і питомі витрати енергії, спрацювання куль та самої футерівки. Як матеріал для футерівок переважно вибирають сталь 110Г13Л. За кордоном металеву футерівку виготовляють з легованого чавуну - ніхарду та легованих хромистих, хромомолібденових і хромованадієвих литих чавушв. У країнах СНД застосовують також футерівки з безнікелевого зносостійкого чавуну ИЧХ12Г5 (300х12Г5), який за властивостями не поступається ніхарду. Стійкість спрацювання ИЧХ12Г5 (300х12Г5) на 3...5 разів вища, ніж у 110Г13Л. На практиці знаходять застосування різні профілі футерівок (рис. 2.6) [6, 9].

При виборі профілю керуються бажаною формою руху подрібнювального середовища і максимальною опірністю спрацюванню, ураховують розміри та абразивність подрібнювального матеріалу, коефіцієнт зчеплення між футерівкою і подрібнювальним середовищем. При грубому подрібнюванні використовують ребристі футерівки, а при тонкому - гладкі чи хвилясті. Товщину металевих футерівок вибирають на основі даних табл. 1.1 [6, 9].

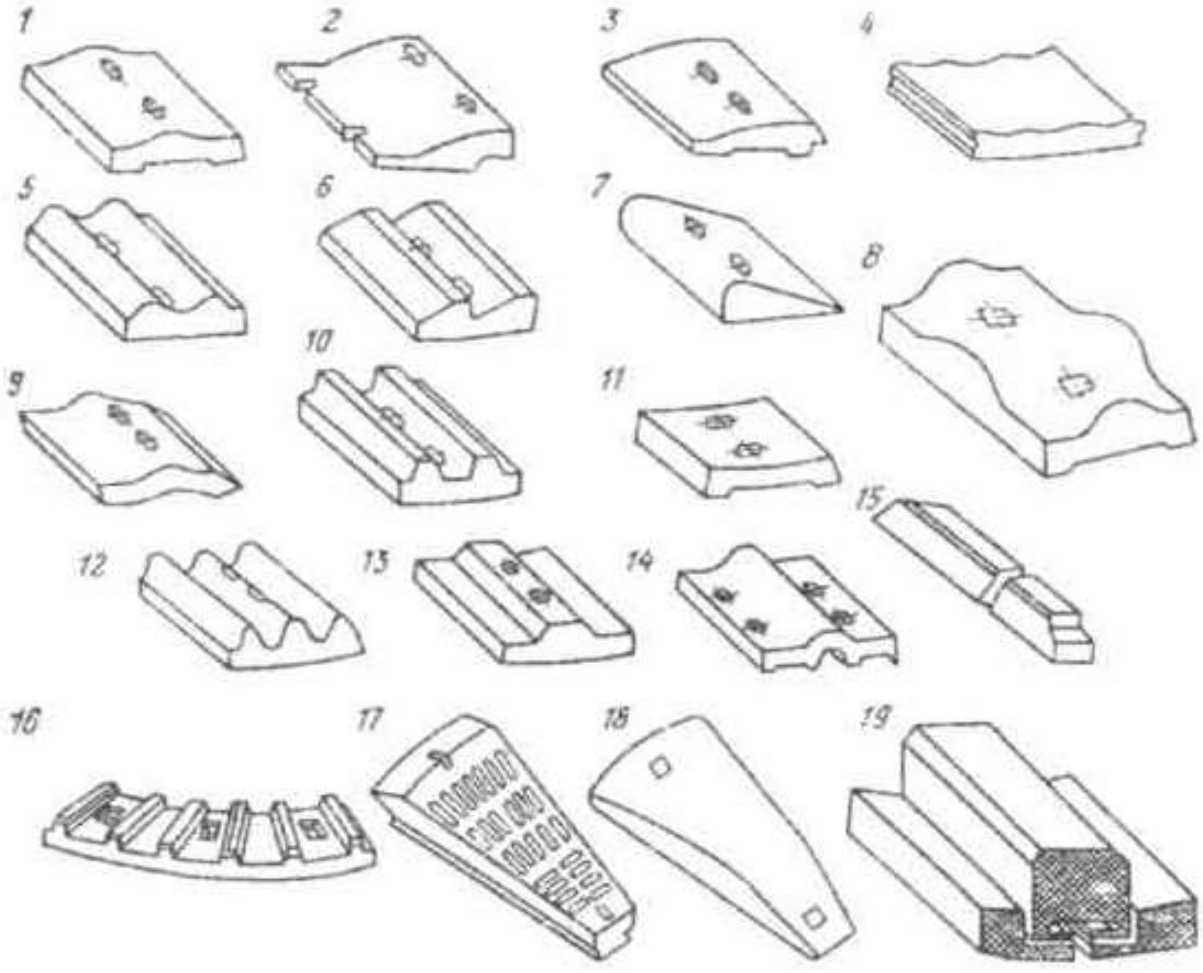


Рис. 2.6 - Профілі футерівок [6, 9]: 1...15 - сталева; 16 - млинів самоподрібнення; 17- грати розвантаження; 18 - кришки; 19 – гумова.

Таблиця 1.2 – Параметри футерування

| Діаметр барабана без футерівки, | 900...150 | 1500...270 | 3200... | 4000...45 |
|---|---|---|---|---|
| Товщина футеровки по | 70 | 100 | 120 | 140 |

До барабана футерівку кріплять прогоничами клиноподібної форми. Під гайку ставлять конусну шайбу з гумовим ущільнювачем у вигляді кільця, а іноді - і кріплення без болтів [6, 9].

Для запобігання скупчення куль біля розвантажувального кінця млина іноді застосовують антиміграційну футерівку зі спіралями. При використанні футерівки з каблуками її встановлюють з нахилом до 4% у бік завантаження [6, 9].

### 2.4. Режими роботи млинів

Режим функціонування кульового млина визначається частотою обертання його барабана. За невеликої швидкості обертання всі кулі зміщуються у напрямку обертання на певний кут і при сталій частоті продовжують рухатися у такому положенні (рис. 2.7) [6, 9, 16, 17].

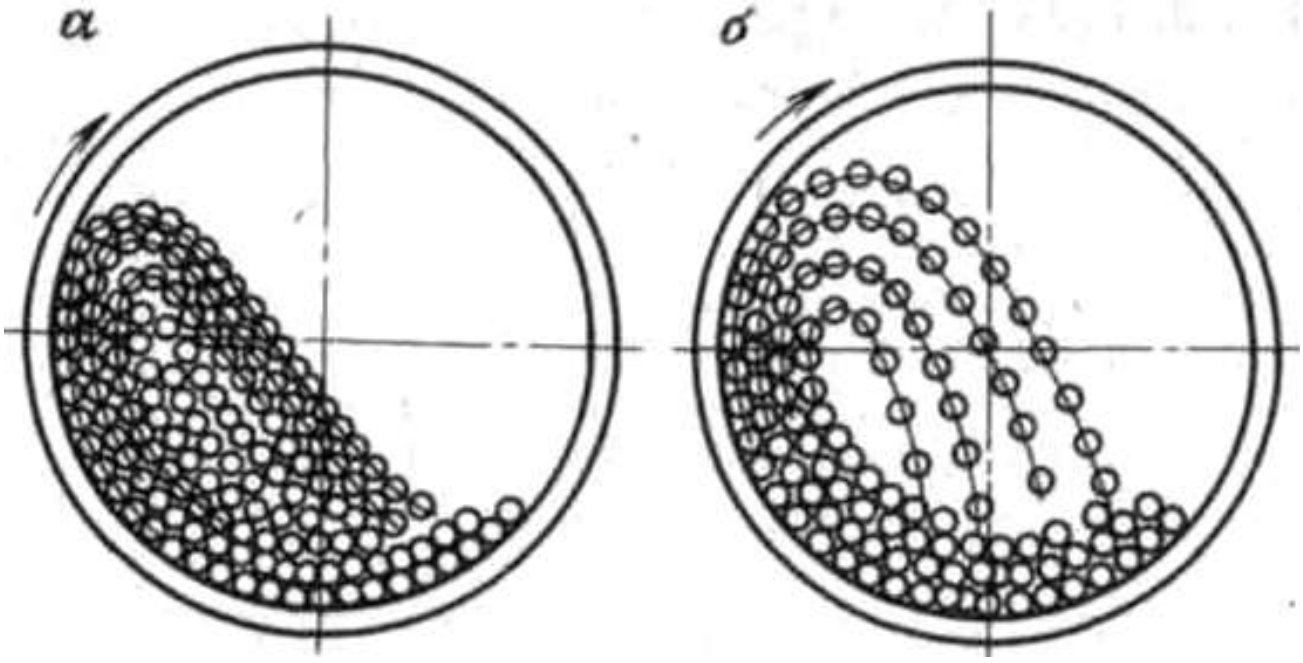


Рис. 2.7 – Контур кульового завантаження [6, 9]: а – каскадний режим роботи млина; б – водоспадний режим роботи млина

Під час роботи кулі безперервно циркулюють усередині барабана: вони піднімаються по концентричних кругових траєкторіях, після чого каскадом скочуються вниз паралельними шарами. Такий характер руху називають каскадним режимом роботи млина (рис. 2.7, а). У цьому випадку подрібнення матеріалу здійснюється переважно шляхом його роздавлювання та стирання кулями, що перекочуються. Каскадний режим забезпечує більш тонке подрібнення, однак супроводжується збільшенням кількості шламів і підвищеним зношуванням футеровки [16, 17].

Із підвищенням частоти обертання барабана кут підйому куль збільшується, і вони переміщуються по кругових траєкторіях на більшу висоту, хоча режим роботи ще може залишатися каскадним. Коли ж кулі досягають певної критичної висоти, яка визначається швидкістю обертання млина, вони сходять із кругових траєкторій і починають рухатися по параболічних траєкторіях, падаючи вниз подібно до водоспаду. Такий режим називається водоспадним (рис. 2.7, б). У цьому режимі подрібнення відбувається головним чином за рахунок ударної дії падаючих куль, а частково — внаслідок стирання. При водоспадному режимі отримують грубіший продукт подрібнення, проте зношування футеровки зменшується. Водночас важливо, щоб кулі падали саме на шар матеріалу, а не безпосередньо на футеровку, оскільки це призводить до підвищення витрат сталі на футеровку та кулі [16, 17].

Чіткої межі між каскадним і водоспадним режимами не існує. Перехід від одного режиму до іншого здійснюється поступово, тому при проміжних значеннях частоти обертання млин працює у змішаному каскадно-водоспадному режимі. За таких умов зовнішні шари куль рухаються по параболічних траєкторіях і падають не на власні траєкторії, а на внутрішні шари куль, які продовжують перекочуватися по схилу відповідно до каскадного режиму [16, 17].

За певної швидкості переміщення кулі будь-якого шару по круговій траєкторії, розташованій у верхньому квадранті барабана, радіальна сила може

зрівнятися з відцентровою силою. Тангенціальна складова сили при цьому компенсується реакцією опори та опором сусідніх куль того самого шару, унаслідок чого куля стає вільною. Маючи швидкість, що дорівнює коловій швидкості руху її центра по траєкторії відповідного радіуса, куля починає рухатися під дією сили тяжіння як тіло, кинуте під певним кутом до горизонту, тобто по параболічній траєкторії [16, 17].

Критичною частотою обертання млина вважають таку частоту, за якої починається центрифугування куль нескінченно малого діаметра, розміщених безпосередньо біля внутрішньої поверхні барабана [16, 17].

При критичній швидкості обертання барабана центрифугуванню піддається лише зовнішній, практично нескінченно тонкий шар куль. Отже, фактично жоден із шарів куль повністю не центрифугує, і процес подрібнення продовжується.

У разі подальшого збільшення частоти обертання понад критичне значення у режим центрифугування поступово переходять шари куль, розташовані ближче до осі млина. При певній надкритичній частоті всі шари куль починають центрифугувати, а їх падіння припиняється. У такому стані млин працює подібно до махового колеса: корисні витрати енергії практично відсутні, але одночасно припиняється і процес подрібнення [16, 17].

Експлуатація млина можлива і при надкритичній частоті обертання за умови, що кулі ковзають по поверхні футеровки та не досягають швидкості, достатньої для центрифугування. Відставання куль від футеровки може бути викликане недостатнім притисканням, наприклад при малому завантаженні подрібнювальних тіл, або низьким коефіцієнтом тертя, який характерний для гладкої чи слабохвилястої футеровки, великих куль, а також рідких пульп або пульп із вираженими мастильними властивостями. Режим роботи млина, при якому частота обертання барабана перевищує критичну, називають надкритичним [16, 17].

Загальний характер руху куль при надкритичних швидкостях може відповідати як каскадному, так і водоспадному режиму та визначається швидкістю переміщення зовнішнього шару куль, що ковзає по футеровці. Для надкритичних режимів зазвичай застосовують гладкі футеровки та невелике

завантаження крупних куль. Частина енергії подрібнення при цьому реалізується в зоні ковзання між футеровкою і кулями. Водночас це супроводжується значним зношуванням футеровки. Надкритичний режим є нестійким, оскільки зі збільшенням коефіцієнта тертя млин може перейти у режим «махового колеса», при якому процес подрібнення припиняється. Зміна коефіцієнта тертя можлива через коливання твердості, крупності або вологості руди [16, 17].

Маса кульового завантаження при заданому ступені заповнення барабана залежить від об'ємної маси подрібнювального середовища. Об'ємна маса, тобто маса одиниці об'єму кульового завантаження (наприклад, 1 м³), визначається щільністю подрібнювальних тіл і ступенем заповнення ними займаного об'єму, що, у свою чергу, залежить від характеру укладання куль у нерухомому барабані млина [16, 17].

Експлуатація млинів супроводжується значними витратами подрібнювальних тіл, вартість яких часто є співставною з енергетичними витратами. Саме цей фактор у багатьох випадках визначає вибір способу подрібнення — із застосуванням металевих тіл або без них. Як подрібнювальні тіла найчастіше використовують стрижні та кулі [16, 17].

Кулі виготовляють методом прокатування, кування або штампування із сталей різних марок. Їх діаметр знаходиться у межах 15...125 мм. Для забезпечення твердості на рівні 300…400 НВ кулі проходять термічне загартування. Поверхня куль не повинна містити тріщин, закатів чи газових раковин. Оптимальний діаметр куль визначається крупністю матеріалу, що підлягає подрібненню [16, 17].

Середня густина кованих і катаних сталевих куль становить приблизно 7,8 г/см3, литих — близько 7,5 г/см3, чавунних низької якості — орієнтовно 7,1 г/см3, а кременевої гальки — 2,5—2,6 г/см3 [16, 17].

За кубічного розташування однорозмірних куль, коли центри дотичних куль формують вершини куба, кульове завантаження займає близько 52 % загального об'єму, тоді як 48 % припадає на міжкульовий простір. При тетраедричному укладанні, де центри куль розміщуються у вершинах тетраедра, кульове середовище займає до 74 % об'єму, а проміжки між кулями становлять приблизно 26 % [16, 17].

Під час роботи барабанних млинів зі сталевими подрібнювальними тілами витрати, пов’язані зі зношуванням куль, стрижнів і футеровки, складають одну з основних статей витрат процесу подрібнення і нерідко досягають рівня енергетичних витрат або навіть перевищують його. Наприклад, при переробці криворізьких магнетитових кварцитів витрати на стрижні та кулі становлять 30—35 % від загальної вартості подрібнення [16, 17].

У ряді випадків саме витрати сталі стають визначальним критерієм при виборі між подрібненням сталевим середовищем і самоподрібненням [16, 17].

Важливим фактором є також вибір раціональної форми подрібнювальних тіл. Досліджувалися кулі, кулі зі сферичними заглибленнями, кубічні елементи, тетраедри, подвійні призми, усічені конуси, циліндри та еліпсоїди. Найкращі результати щодо ефективності подрібнення та зносостійкості показали саме кулі [16, 17].

На сучасних рудозбагачувальних фабриках переважно застосовують стрижні та кулі.

Стрижні виготовляють методом прокатування з вуглецевих сталей. Після досягнення граничного зношування вони повинні ламатися на короткі відрізки, а не скручуватися [16, 17].

Кулі виробляють шляхом прокатування, кування або штампування зі сталей різних марок. Діаметр куль становить від 15 до 125 мм, причому в межах 30—110 мм застосовується градація через кожні 10 мм [16, 17].

Для куль діаметром 15—60 мм використовують сталь із вмістом вуглецю не менше 0,35 %, а для куль розміром 70—125 мм — не менше 0,7 %. Після термообробки твердість куль за Брінеллем повинна складати: для діаметрів 15—80 мм — не менше 400 НВ, для 90—110 мм — не менше 350 НВ, а для куль діаметром 125 мм — не менше 300 НВ. На поверхні не допускаються тріщини, міхури чи шлакові включення [16, 17].

Кулі, стрижні та футеровка зношуються внаслідок тертя під час ковзання подрібнювальних тіл у середовищі абразивного матеріалу, а також при їх взаємодії між собою та з футеровкою за наявності прошарку рудної маси. У результаті виникає абразивне спрацювання у вигляді мікрорізання, мікродряпання металу

рудними частинками та відриву металевих частинок у формі стружки або викришування [24].

Під час сухого подрібнення зношування куль відбувається переважно під дією абразивного механізму. При мокрому подрібненні в хімічно активних водних середовищах до абразивного зношування додається корозійне, за якого руйнування металу відбувається внаслідок хімічної або електрохімічної взаємодії із середовищем [16, 17].

Отже, процес зношування куль є надзвичайно складним і визначається великою кількістю чинників: характеристиками металу або сплаву, з якого виготовлені кулі, їх геометричними розмірами, абразивністю матеріалу, що подрібнюється, крупністю вихідної сировини та готового продукту, способом ведення процесу (сухе чи мокре подрібнення), хімічною активністю середовища (кисле або лужне), температурними умовами, наявністю поверхнево-активних речовин, режимом роботи млина (каскадний чи водоспадний), а також схемою подрібнення — у відкритому або замкненому циклі та іншими факторами [24].

Під час мокрого подрібнення корозійне спрацювання є основною складовою загального зносу, унаслідок чого витратні коефіцієнти значно перевищують показники сухого подрібнення. На практиці знос куль і стрижнів змінюється у широких межах. Середня витрата за тривалий період експлуатації на декількох фабриках становила, кг/т: стрижнів — 0,4—0,5; куль — 1,2—2,2; футеровок — 0,14—0,2. На мідних флотаційних фабриках середня витрата куль дорівнювала 1,5 кг/т, футеровки — 0,1 кг/т; на свинцево-цинкових — відповідно 1,3 кг/т і 0,2 кг/т; на мідно-нікелевих — 1,6 кг/т і 0,12 кг/т. Середні показники витрати куль залежно від крупності подрібненого продукту наведені у табл. 22 [24].

Витрата куль на 1 т подрібненої руди не є сталою величиною, оскільки вона безпосередньо пов’язана з продуктивністю млина, яка визначається властивостями рудної сировини. Більш стабільним показником вважається витрата куль, віднесена до кількості енергії, що витрачається на процес подрібнення [24].

Для сталевих куль ударна стійкість і абразивна зносостійкість часто мають суперечливий характер. Так, марганцевисті сталі характеризуються високою ударною міцністю, але недостатнім опором абразивному зношуванню, тоді як хромисті сталі мають протилежні властивості. Ударостійкість гуми, особливо армованої металевими елементами, може бути навіть вищою завдяки її значному модулю пружності [24].

Будь-який фактор, що сприяє збільшенню енергії окремих тіл подрібнювального середовища, призводить до інтенсивнішого зношування. Встановлено, що величина зносу пропорційна квадрату швидкості обертання млина. Експериментальні дослідження ударних навантажень показали, що мінеральна пульпа приблизно наполовину пом’якшує силу удару. Звідси випливає важливий висновок — робота млина без руди може спричинити прискорене руйнування футеровки [24].

Абразивна стійкість металу значною мірою визначається його твердістю, однак гума здатна витримувати значні деформації, тому її ефективно застосовують при подрібненні особливо твердих мінералів [24].

Для підтримання сталої маси кульового завантаження в млин періодично додають нові кулі, компенсуючи втрати, пов’язані із зношуванням.

У процесі експлуатації діаметр куль поступово зменшується. Оскільки завантаження куль у млин здійснюється у різний час, у барабані одночасно знаходяться кулі різних розмірів — від найбільших, щойно завантажених, до найменших, які працюють у млині тривалий час [24].

Співвідношення між масою великих і дрібних куль у завантаженні, тобто гранулометричний склад кульового середовища, істотно впливає на ефективність роботи млина.

Для визначення оптимальної характеристики кульового завантаження при різних способах подачі куль у млин необхідно враховувати закономірності їх зношування [24].

Існує кілька гіпотез, що пояснюють закономірності спрацювання куль у кульових млинах.

Для компенсації зношування подрібнювальних тіл у промислових умовах використовують два основні способи довантаження:

– регулярне — додавання однотипних і найбільш крупних подрібнювальних тіл (куль, стрижнів або мінеральної гальки);

– раціонне — введення подрібнювальних тіл різних розмірів у визначеному співвідношенні між окремими фракціями.

Металеві подрібнювальні тіла зазвичай додаються до млина періодично — інтервали можуть змінюватися від одного разу за зміну до одного поповнення протягом трьох–п’яти діб. Завантаження куль виконується через спеціальні приймальні воронки окремими порціями заданої маси, а їх транспортування по цеху здійснюється за допомогою мірних кюбелів, які переміщуються мостовим краном. На низці збагачувальних фабрик млини оснащуються шароподавальними пристроями (Пш1, Пш2), що конструктивно поєднують бункер для куль із дозувальним механізмом та системою керування. У багатьох випадках подача куль організовується в автоматичному режимі — залежно від маси переробленої руди, фактичного часу роботи млина або за більш складними алгоритмами керування. Незалежно від способу керування, ручного чи автоматизованого, завантаження куль виконується без зупинки млина, тобто в робочому режимі. Стрижні можуть подаватися мостовим краном або спеціальними завантажувальними машинами, але для цього необхідна зупинка агрегату [24].

Неметалеві подрібнювальні середовища, які застосовуються під час рудного самоподрібнення або галечного подрібнення, додаються або безперервно, або з короткими інтервалами через спеціальні бункерні пристрої. При автоматизованому та дистанційному регулюванні подачі основним контрольним параметром ступеня заповнення млина зазвичай виступає потужність, яку споживає електродвигун приводу [24].

Відомо з практики процесів подрібнення, що зі збільшенням розмірів і твердості вихідного матеріалу зростає потреба у використанні більш крупних і масивних подрібнювальних тіл [24].

# РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ МЛИНА КУЛЬОВОГО ТИПУ МШЦ 3200Х4500

## 3.1. Розрахунок продуктивності млина

Продуктивність млина:

$$Q_ч = P_{пол} \cdot b \cdot K_{т.п.} \cdot K_{эф}; т / год$$

де $P_{пол}[кВт]$ - корисна потужність; b = 0,035 т/кВт год - питома продуктивність, визначається за характеристикою розмелюваності; $K_{эф} = 1{,}1...1{,}25$ - коефіцієнт ефективності процесу; для відкритого циклу $K_{эф} = 1$,. З урахуванням модернізації приймаємо $K_{эф} = 1...1{,}05$; $K_{т.п.}$- поправка на тонкість помелу. При оцінці по $\sum R_{008}[\%]$

$$K_{т.п.} = \left( \lg \frac{100}{\sum R_{008}} \right)^{-1/m};$$

де m - параметр рівняння кінетики визначають за результатами визначення характеристики подрібнюваності.

При $\sum R_{008} = 10$ і m = 0,9

$$K_{т.п.} = \left( \lg \frac{100}{10} \right)^{-1/0{,}9} = 1$$

тоді

$$Q_ч = 1461 \cdot 0{,}035 \cdot 1 \cdot 1{,}05 = 53{,}69 т / ч$$

Далі проводяться дослідження основних чинників на експлуатаційно-технологічні параметри і будуються графічні залежності.

## 3.2. Розрахунок потужності приводу млина

Потужність, що витрачається млином, є найважливішим показником, оскільки продуктивність млина прямо пропорціонально величині корисної потужності - $P_{пол}$, а потужність двигуна $P_{дв}$ близька до споживаної - $P_{потр}$.

Потужність на осі барабана:

$$P_б = P_{пол} + P_{хх} + P_{доп};$$

де $P_{пол}$ - корисна потужність; $P_{хх}$ - втрати на холостий хід; $P_{доп}$ - додаткові втрати в підшипниках цапф, що виникають під дією завантаження, що меле, і матеріалу.

Втрати на приводі враховуються введенням механічного ККД передачі $\eta_{пп}$. З урахуванням цього коефіцієнта потужність на валу електродвигуна :

$$P_{потр} = P_б / \eta_{пп};$$

Для визначення на практиці зручніше використовувати формулу:

$$P_{пол} = 5{,}05 \cdot D_0^{2,5} \cdot \rho_т \cdot \psi \cdot \left(L_1 \cdot \varphi_1^{0,8} + L_2 \cdot \varphi_2^{0,8}\right);$$

де $D_0$ - корисний діаметр млина; $\psi$ - - відносна швидкість обертання; $\varphi$ - міра заповнення; $\rho_м$ - насипна щільність тіл, що мелють;

$$P_{пол} = 5{,}05 \cdot 3{,}05^{2,5} \cdot 4{,}6 \cdot 0{,}7 \cdot \left(7{,}25 \cdot 0{,}28^{0,8} + 7{,}25 \cdot 0{,}32^{0,8}\right) = 1461 кВт$$

Значення $P_{хх}$ і $P_{доп}$ розраховується по приблизних емпіричних залежностях:

$$P_{хх} = 4{,}24 \cdot D_0^{0,5} \cdot L_п \cdot \psi;\ P_{хх} = 4{,}24 \cdot 3{,}05^{0,5} \cdot 14{,}5 \cdot 0{,}5 = 75{,}2 кВт$$

$$P_{доп} = k_{доп} \cdot P_{хх};$$

Тоді

$$P_{доп} = 0{,}42 \cdot 75{,}2 = 31{,}6 кВт$$

$$P_б = 1461 + 75{,}2 + 31{,}6 = 1567{,}8 кВт$$

$$P_{потр} = 1490{,}3 / 0{,}9 = 1742 кВт$$

### 3.3. Розрахунок кутової швидкості обертання барабана

Кутова швидкість обертання барабана визначає характер руху подрібнюючого середовища, а отже — і ефективність процесу помелу. Залежно від її величини змінюється траєкторія руху куль або стрижнів усередині барабана.

При низьких значеннях кутової швидкості завантаження лише частково піднімається разом із барабаном і перекочується вниз по поверхні шару матеріалу. У цьому режимі переважає ковзання і перекочування тіл без значних ударів, що знижує інтенсивність подрібнення.

За надмірно високої швидкості відцентрові сили притискають тіла, що мелють, до внутрішньої поверхні барабана, і вони практично не відриваються від стінок навіть у верхній точці траєкторії. У цьому випадку процес подрібнення також стає неефективним.

Існує граничне значення швидкості — критична кутова швидкість, за якої тіло, що мелє, у верхній точці траєкторії не відривається від стінки барабана. Вона визначається з умови рівності відцентрової сили та сили тяжіння:

$$m \cdot \varpi_{кр}^2 \cdot R \geq mg;$$

Звідки критична кутова швидкість, рад/с

$$\varpi_{кр} \leq \sqrt{g / R};$$

$$n_{кр} = \frac{\omega_{кр}}{2\pi};$$

де $g$ - прискорення вільного падіння, м/с$^2$; $R$ - радіус обертання тіл, що мелють, м;

$$\varpi_{кр} \leq \sqrt{9{,}81 / 1{,}525} = 2{,}54\, рад/с,$$

$$n_{кр} = \frac{2{,}54}{2 \cdot 3{,}14} = 0{,}404\, с^{-1} = 24{,}24\, мин^{-1};$$

Оптимальна кутова швидкість барабана знаходитися з умови забезпечення максимальної висоти падіння кулі, яка визначається координатами точок відриву кулі від стінок і точок зіткнення його з барабаном після падіння. У точці $A$ на кулю діє сила тяжіння $G$, сила інерції $P_u$ і сила тертя $F$. Враховуючи, що матиме місце підпор верхніх часток нижніми, то ковзанням тіл по стінках барабана можна нехтувати, тоді відрив тіл від стінок барабана буде забезпечений за умови:

$$G \cdot \cos\alpha \geq P_e; \text{ або } mg \cdot \cos\alpha \geq m \cdot \varpi^2 \cdot R;$$

Кутова швидкість, рад/з

$$\varpi \leq \sqrt{g \cdot \cos\alpha / R};$$

Після відриву кулі від стінок барабана він рухається по параболі, яка описується системою рівнянь :

$$x = v \cdot t \cdot \cos\alpha;$$

$$y = v \cdot t \cdot \sin\alpha - \frac{gt^2}{2};$$

де v - окружна швидкість, м/с; t - час з моменту відриву кулі, с.

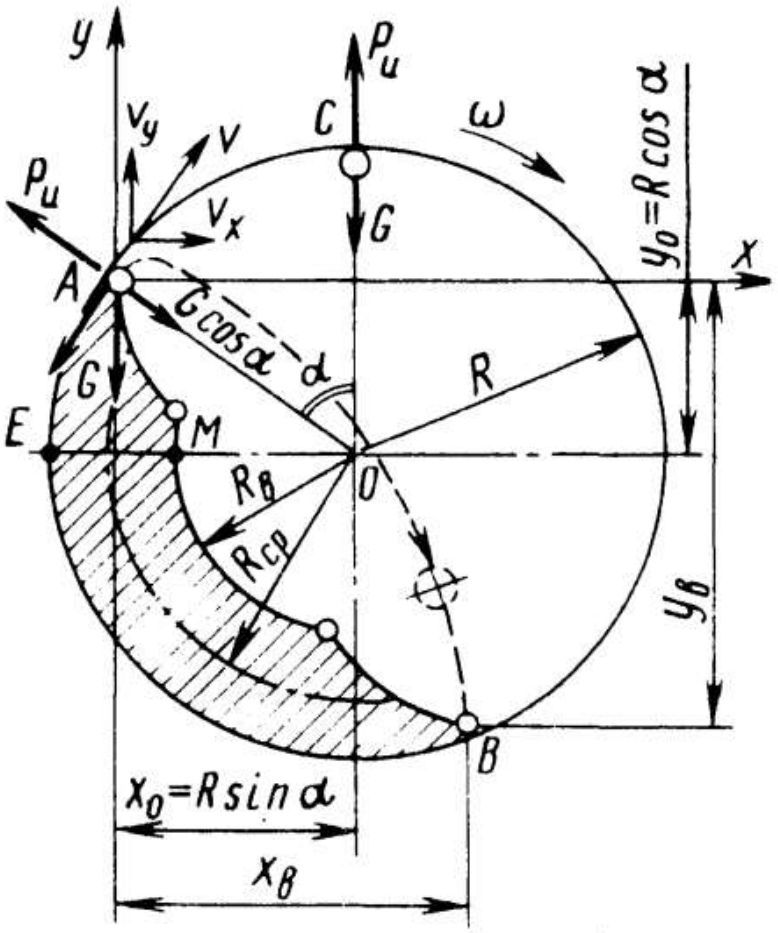



Рис 3.1. - Схема для розрахунку параметрів кульового барабаного млина

Підставивши в ці рівняння значення окружної швидкості, м/с

$$v = \varpi \cdot R = R\sqrt{g \cdot \cos\alpha / R};$$

Отримаємо значення поточної ординати

$$x = R\sqrt{\frac{g\cos\alpha}{R} \cdot t \cdot \cos\alpha},$$

звідки

$$y = R\sqrt{\frac{g\cos\alpha}{R}} \cdot t \cdot \sin\alpha - g\frac{t^2}{2} = R\sqrt{\frac{g\cos\alpha}{R}} \cdot \frac{x}{\sqrt{\frac{g\cos\alpha}{R} \cdot R \cdot \cos\alpha}} \cdot \sin\alpha - g\frac{x^2 \cdot R}{2 \cdot R^2 \cos\alpha \cdot \cos^2\alpha};$$

У результаті отримуємо

$$y = x \cdot tg\alpha - \frac{x^2}{2R \cdot \cos^3\alpha};$$

Траєкторія кола стінок барабана описується рівнянням :

$$X^2 + Y^2 = R^2$$

Як видно з схеми:

$$X = x - R \cdot \sin \alpha;$$
$$Y = y - R \cdot \sin \alpha;$$

Підставивши значення X і Y у формулу і вирішивши спільно рівняння, знайдемо ординату точки :

$$y = -4 \cdot R \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha;$$

Для визначення максимальної висоти падіння необхідно мати першу похідну від попередньої функції і прирівняти її до нуля:

$$y = 8 \cdot R \cdot \sin \alpha \cdot \cos^2 \alpha - R \cdot \sin^3 \alpha = 4 \cdot R \cdot \sin \alpha \left(2\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha\right)$$

Очевидно, що $\sin \alpha$ і R не дорівнюють нулю, тоді

$$2\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 0 \text{ або } tg^2 \alpha = 2$$

З рівняння виходить, що можна знайти найвигідний кут відриву куль, який буде рівний $\alpha = 54^0 40^1$.

$$\varpi_{опт} = \sqrt{g \cdot \cos 54^0 40^1 / R} = 2{,}38 / \sqrt{R} = 1{,}93 \, рад/с$$

$$n_{опт} = \frac{1{,}93}{2 \cdot 3{,}14} = 0{,}307 \, с^{-1} = 18{,}44 \, мин^{-1}$$

### 3.4. Частота обертання робочого органу млина

Для кожного трубного кульового млина є так звана критична час-тота обертання. Робоча частота обертання має бути менше, ніж критична. Оптимальная частота обертання млина n ($с^{-1}$) визначається по формулі:

$$n = \psi \frac{0{,}705}{\sqrt{D}}$$

де $\psi$ - коефіцієнт запасу, що враховує умови поєднання максимально корисної потужності з мінімальним зносом бронефутерування і тіл, що мелють; $\psi$ = 0,78 - 0,84; D - умовний діаметр млина в "світу", м; D = (0,94 - 0,95) D0; D0 - внутрішній діаметр корпусу млина, м.

Фактична частота обертання корпусу млина встановлюється після розрахунку і вибору параметрів приводу. Відхилення фактичної частоти обертання від расчет-ной не повинне перевищувати одного відсотка.

### 3.5. Визначення маси тіл, що мелють

Маса завантажуваних у барабан млина тіл, що мелють, розраховується по формулі:

$$m = \varphi \cdot \mu \cdot \gamma \cdot \pi \cdot R^2 \cdot L, кг$$

де $\mu$ - коефіцієнт розпушування завантаження, для куль $\mu = 0{,}575$; $\gamma$ - об'ємна маса тіл, що мелють, $\gamma = 7800\, кг / м^3$;

При коефіцієнті завантаження $\varphi = 0{,}3$.

### 3.6. Розрахунок корпусу млина на міцність

Після відробітку і вибору кінематичної схеми приводу млина производит-ся її силовий розрахунок, який є основою для подальшого прочностного расче-та основних деталей машини.

Корпус млина є циліндричною оболонкою, навантаженою розподіленими і зосередженими силами і встановлену на дві опори. Распре-деленной навантаженням є: тіла, що мелють, і сировинні матеріали; сила тяжіння міжкамерних перегородок і розвантажувальних пристроїв; сила тяжіння корпусу млина і тому подібне. При розрахунку розподіленого навантаження, діючого на корпус, за розрахункову довжину приймають повну його довжину.

Динамічні навантаження викликані відцентровою силою, завдяки тиску па-дающих мас тіл, що мелють, і сировинних матеріалів.

Після визначення цих навантажень за загальновідомими правилами будуються схема на-грузок у вертикальній площині і епюри перерезывающих сил і момен-тов, що вигинають.

Відповідно до отриманих епюр навантажень визначають величину і будують епюри перерезывающих сил і моментів, що вигинають, діючих на корпус

мель-ницы у вертикальній і горизонтальній площинах. Навантаження в горизонтальній плос-кости створюється тільки горизонтальною складовою відцентрової сили, яка прикладена по довжині корпусу у вигляді рівномірно розподіленого навантаження.

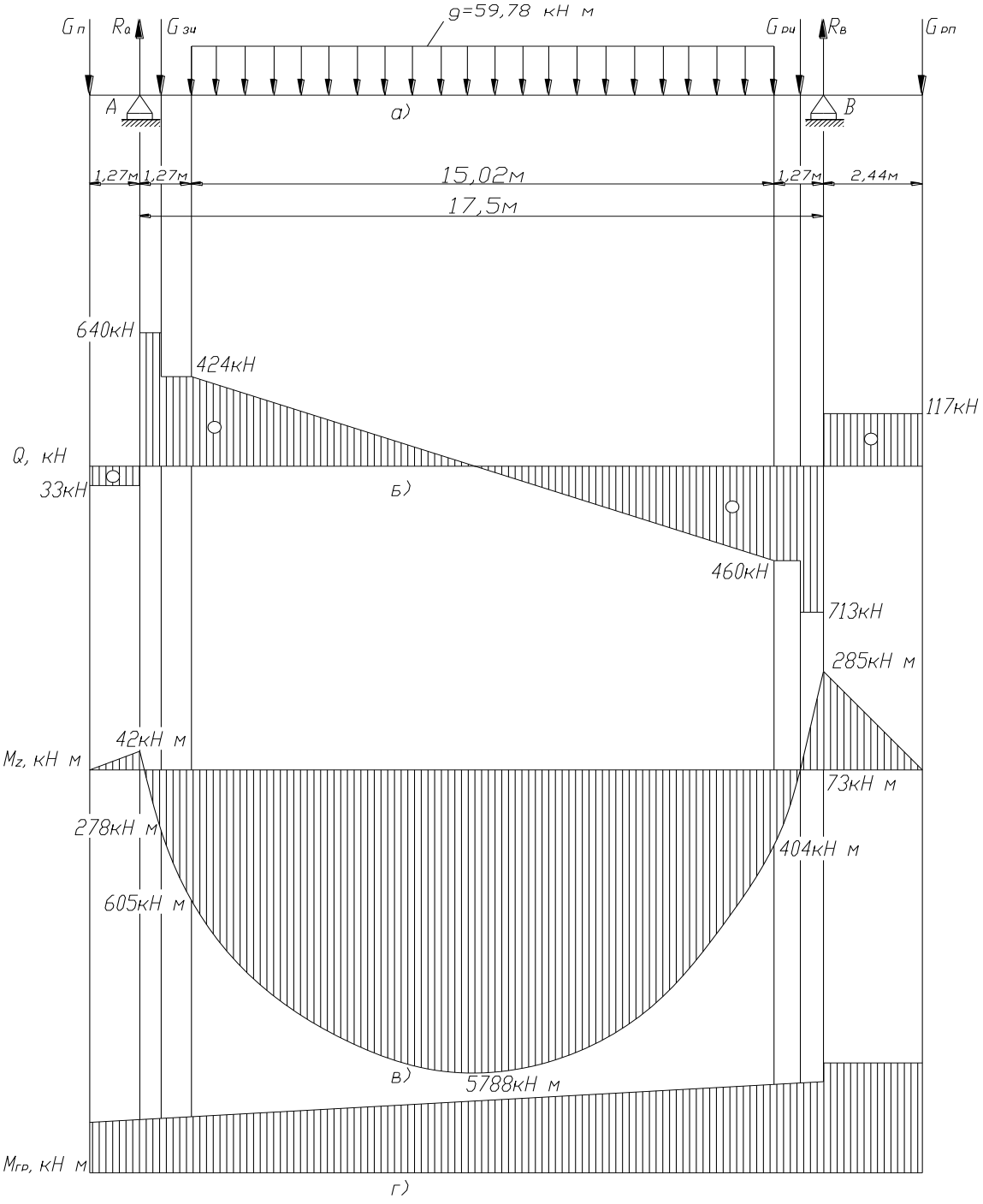



Рис 3.2 - Розрахункова схема навантажень трубного млина

Визначаємо реакції опор, поперечні сили в перерізах і моменти, що вигинають :

$$\sum M_A = 0$$

$$G_{рп} \cdot 19{,}94 - R_в \cdot 17{,}5 + G_{рч} \cdot 17 + G_м \cdot 8{,}78 + G_{зч} \cdot 0{,}5 - G_п \cdot 1{,}27 = 0$$

$$R_в = \frac{19{,}94G_{рп} + 1{,}7G_{рч} + 8{,}78G_м + 0{,}5G_{зч} - 1{,}27G_п}{17{,}5} =$$

$$= \frac{19{,}94 \cdot 117 + 1{,}7 \cdot 250 + 8{,}78 \cdot 898 + 0{,}5 \cdot 216 - 1{,}27 \cdot 33}{17{,}5}$$

$$R_в = 830{,}48кН$$

$$\sum M_B = 0$$

$$-G_п \cdot 18{,}77 - R_а \cdot 17{,}5 + G_{зч} \cdot 17 - G_м \cdot 8{,}53 + G_{рч} \cdot 0{,}5 + G_{рп} \cdot 2{,}44 = 0$$

$$R_а = \frac{18{,}77G_п + 17G_{зч} + 8{,}53G_м + 0{,}5G_{рч} - 2{,}44G_{рп}}{17{,}5} =$$

$$= \frac{18{,}77 \cdot 33 + 17 \cdot 216 + 8{,}53 \cdot 898 + 0{,}5 \cdot 250 - 2{,}44 \cdot 117}{17{,}5}$$

$$R_а = 673{,}76кН$$

Ділянка 1 ($0 < x_1 < 1{,}27$)

$$Q_1 = -G_п = -33кН$$

$$M_{z1} = -G_п \cdot x_1 = -33 \cdot x_1$$

при $x_1 = 0м, M_{z1} = 0$

при $x_1 = 1{,}27м, M_{z1} = -33 \cdot 1{,}27 = -41{,}9кН \cdot м$

Ділянка 2 ($0 < x2 < 0{,}5$)

$$Q_2 = -G_п + R_а = -33 + 673{,}76 = 640{,}76кН$$

$$M_{z2} = -G_п(1{,}27 + x_2) + R_а \cdot x_2 = -33(1{,}27 + x_2) + 673{,}76 \cdot x_2$$

при $x_2 = 0м, M_{z2} = -41{,}9кН \cdot м$

при $x_2 = 0{,}5м, M_{z2} = 278{,}47кН \cdot м$

Ділянка 3 ($0 < x_3 < 0{,}77$)

$$Q_3 = -G_п + R_а - G_{зч} = -33 + 673{,}76 - 216 = 424{,}76кН$$

$$M_{z3} = -G_п(1{,}77 + x_3) + R_а(0{,}5 + x_3) - G_{зч} \cdot x_3 =$$

$$= -33(1{,}77 + x_3) + 673{,}76(0{,}5 + x_3) - 216 \cdot x_3$$

при $x_3 = 0м, M_{z3} = 278{,}47кН \cdot м$

при $x_3 = 0{,}77 м, M_{z3} = 605{,}5 кН \cdot м$

Ділянка 4 ($0 < x_4 < 15{,}02$)

$$Q_4 = -G_n + R_a - G_{зч} - g \cdot x_4 = -33 + 673{,}76 - 216 - 59{,}78 \cdot x_4$$

при $x_4 = 0 м, Q_4 = 424{,}76 кН$

при $x_4 = 15{,}02 м, Q_4 = -473{,}24 кН$

$$M_{z4} = -G_n(2{,}54 + x_4) + R_a(1{,}27 + x_4) - G_{зч}(0{,}77 + x_4) - g \cdot x_4 \cdot x_4 / 2 =$$

$$= -33(2{,}54 + x_4) + 673{,}76(1{,}27 + x_4) - 216(0{,}77 + x_4) - 59{,}78 \cdot x_4^2 / 2$$

при $x_4 = 0 м, M_{z4} = 605{,}5 кН \cdot м$

при $x_4 = 15{,}02 м, M_{z4} = -32558{,}5 кН \cdot м$

Ділянка 5 ($0 < x_5 < 52{,}44$)

$$Q_5 = G_{рп} = 117 кН$$

$$M_5 = G_{рп} \cdot x_5 = 117 \cdot x_5$$

при $x_5 = 0 м, M_{z5} = 0$

при $x_5 = 2{,}44 м, M_{z5} = 285{,}48 кН \cdot м$

Ділянка 6 ($0 < x_5 < 0{,}5$)

$$Q_6 = G_{рп} - R_в = 117 - 830{,}48 = -713{,}48 кН$$

$$M_6 = G_{рп}(2{,}44 + x_6) - R_в \cdot x_6 = 117(2{,}44 + x_6) - R_в \cdot x_6 = 117(2{,}44 + x_6) - 830{,}48 \cdot x_6$$

при $x_6 = 0 м, M_{z6} = 285{,}48 кН \cdot м$

при $x_6 = 0{,}5 м, M_{z6} = -71{,}26 кН \cdot м$

Ділянка 7 ($0 < x_7 < 0{,}72$)

$$Q_7 = G_{рп} - R_в - G_{рч} = 117 - 830{,}48 + 250 = 463{,}48 кН$$

$$M_7 = G_{рп}(2{,}94 + x_7) - R_в(0{,}5 + x_7) + G_{рч} \cdot x_7 =$$

$$= 117(2{,}94 + x_7) - 830{,}48(0{,}5 + x_6) + 250 \cdot x_7$$

при $x_7 = 0 м, M_{z7} = -71{,}26 кН \cdot м$

при $x_7 = 0{,}72 м, M_{z7} = -404{,}96 кН \cdot м$

$$R_{z\max} = 3258 кН \cdot м$$

$$Q_{\max} = 713 кН$$

На ділянці від муфти до першого (з боку муфти) підшипника діє повний момент, що крутить, підводиться до барабана, кНм:

$$M_{кр} = \frac{1000\,N}{\varpi}$$

де N - потужність двигуна, кВт; $\varpi$ - кутова швидкість, рад/с;

$$M_{кр} = \frac{100 \cdot 2000}{1.88} = 1063{,}83 кН \cdot м$$

Внаслідок тертя в подшипнитке момент, що крутить, зменшується на величину

$$M_T = R_B \mu \cdot r_ц$$

де $R_в$ - навантаження на підшипник, кН; $\mu$-коэффициент тертя в підшипнику; $r_ц$ - радіус цапфи, м

$$M_T = 830{,}48 \cdot 0{,}1 \cdot 0{,}7 = 58{,}13 кН \cdot м$$

По довжині корпусу момент, що крутить, змінюється по похилій прямій. Найбільш небезпечний переріз буде в середині прольоту, де приведений момент, кН м

$$M_{пр} = \sqrt{M_z^2 + M_{кр}^2},$$

де $M_z$ - максимальний момент, що вигинає, кН м

$$M_{пр} = \sqrt{3258^2 + 1063^2} = 3427 кН \cdot м$$

Напруга в цьому перерізі, кН м

$$\sigma = \frac{M_{пр}}{kW}$$

де k = 0,8 - коефіцієнт, що враховує послаблення перерізу вирізами і отворами для болтів; W - момент опору перерізу корпусу, $м^3$, який рівний

$$W = \pi S R^2$$

де S - товщина стінки барабана, м; R -наружный радіус корпусу, рівний 1,64 м.

$$W = 3{,}14 \cdot 0{,}04 \cdot 1{,}64^2 = 0{,}34 м^3$$

Підставляючи отримане значення у формулу, отримаємо

$$\sigma = \frac{3427}{0.8 \cdot 0.34} = 12599 кН / м^2$$

### 3.7. Розрахунок болтів

Найбільш навантажені болти з боку приводного пристрою. Болти працюють на зріз і розтягування.

Зріз болтів відбувається під дією рівнодійної Рр ваги частин млина і відцентрової сили інерції, що обертаються, а також окружного зусилля, що створюється моментом, що крутить, який передається від двигуна. Окружне зусилля , прикладене по колу, що проходить через,, центри болтів спрямоване по дотичній до цього кола, Н

$$P_{окр} = \frac{M_{кр}}{R_б} = \frac{N}{2\pi n R_б};$$

де $M_{кр}$ - момент, що крутить, кН м; $M_{кр} = 994{,}7$ кНм; $R_б$ - радіус кола центрів болтів, м; $R_б = 1{,}8$ м; N - потужність електродвигуна, кВт; N = 2000 кВт; n - частота обертання млина, n = 0,32 с - 1

$$P_{окр} = \frac{994718{,}39}{1{,}8} = 552621{,}32\,Н = 552{,}6\,кН$$

Сумарна сила зрізу буде рівна:

$$P_{сум} = P_р + P_{окр}$$

$$P_р = 2324{,}2 \text{ кН}$$

$$P_{сум} = 2324{,}2 + 552{,}6 = 2876{,}8\,кН$$

Величина напруги у болтах під дією сумарної сили зрізу :

$$\tau_{ср} = \frac{P_{сум}}{mF}$$

де т - число болтів, шт; т = 16 ( щільнопідігнаних); F - переріз болта, м$^2$ ; F = 0,01131 м$^2$

$$\tau_{ср} = \frac{2876{,}8}{16 \cdot 0{,}01131} = 15897435\ Па = 16\,МПа$$

Допустима напруга зрізу для сталі Ст 3, $[\tau_{ср}]$ = 48 МПа

Розтягуюче зусилля $Q_{от}$ дії моменту (рис 3.4), що вигинає, буде рівне;

$$Q = \frac{M_{изг}}{m_1 R_б}$$

де $т_1$ - кількість равномернозатянутых болтів, шт; $т_1$ = 32

$$Q = \frac{5795348,8}{32 \cdot 1,8} = 100613,7H = 100,6kH$$

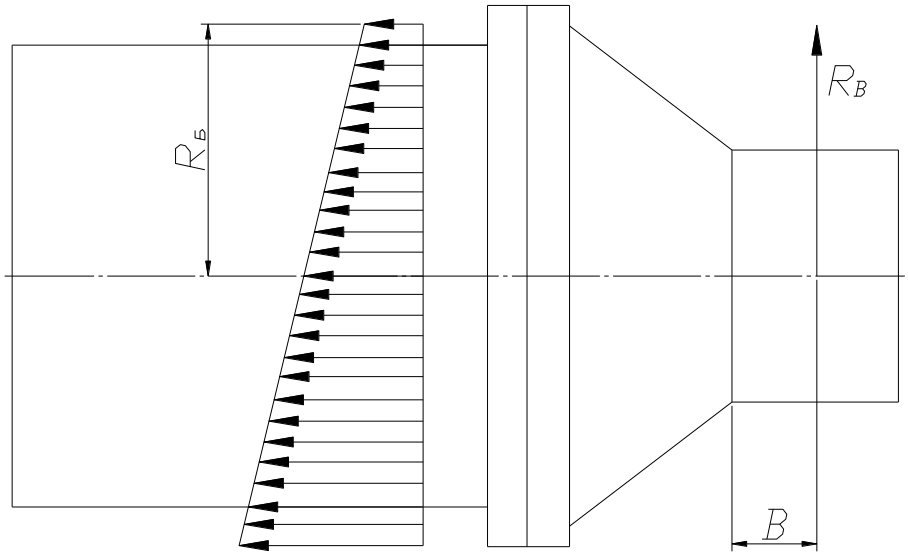



Рис 3.3 - Схема до розрахунку болтів

Зусилля затягування ботів Т, Н.

$$T = \sigma_{зат} \cdot F_1$$

де $\sigma_{зат}$ - напруга затягування, МПа; $\sigma_{зат}$ = 120 МПа; F1 - переріз нарізаної частини болта, м$^2$; F1 = 0,0085 м$^2$

Т = 120 0,0085 =1020 кН

Сумарна величина розтягуючого зусилля , Н, рівна

$$Q_{сум} = к \cdot Q + T$$

де к - коефіцієнт, що враховує пружність болта; к = 0,3

$$Q_{сум} = 0,3 \cdot 100613,7 + 1020000 = 1050,1кН$$

Момент, що крутить, необхідний для затягування болта визначають по формулі;

$$M_{кр} = T \cdot d_o \cdot k_1$$

де $d_0$ - діаметр стержня болта, м; $d_0$= 0,06 м; $к_1$ - коефіцієнт запасу міцності; $к_1$= 1,2.

$$M_{кр} = 10440 \cdot 1.2 = 75,2кН \cdot м$$

Дотична напруга $\tau_н$, МПа, що виникає в нарізаній частині болта, визначається по рівнянню;

$$\tau_H = \frac{M_{кр}}{0{,}2 d_H^3 m_2}$$

де $т_2$ - загальна кількість болтів, шт; $т_2 = 48$; $d_н$ - діаметр нарізаної частини, м; $d_н = 0{,}052$ м

Те ж в його стрижні

$$\tau_H = \frac{M_{кр}}{0{,}2 d_H^3 m_2}$$

$d_c$ - діаметр стрижня, м ; $d_c = 0{,}06$ м

$$\tau_H = \frac{75200}{0{,}2 \cdot 0{,}052^3} \cdot \frac{1}{48} = 55{,}7 МПа$$

$$\tau_c = \frac{75200}{0{,}2 \cdot 0{,}06^3} \cdot \frac{1}{48} = 36{,}3 МПа$$

### 3.8. Розрахунок муфт

З'єднання приводного валу млина з центральним приводом, з редуктором і днищем барабана здійснюється за допомогою шліцьових і зубчастих муфт.

У шліцьових муфтах розрахунку піддаються шліци, які розраховуються на вигин, зріз і замішання від дії окружного зусилля.

$$M_{расч} = к_1 \cdot к_2 \cdot M_{кр}$$

де $к_1$ - коефіцієнт запасу; $к_1 = 1{,}2$; $к_2$ - коефіцієнт, що враховує важкі умови роботи муфти; $к_2 = 1{,}4$

$$M_{расч} = 1{,}2 \cdot 1{,}4 \cdot 4990{,}9 = 8384{,}712 кН \cdot м$$

Окружне зусилля визначаємо по формулі;

$$P_{окр} = \frac{M_{расч}}{D_{ср}}$$

де $d_{ср}$ - діаметр шліцьової муфти; $d_{ср} = 0{,}17$ м

$$P_{окр} = \frac{8384,712}{0,17} = 10889,24$$

Проводимо перевірку шліців на те, що зім'яло $\sigma_{см}$, вигин $\sigma_{изг}$ і $\tau_{ср}$, МПа

$$\sigma_{см} = \frac{P_{окр}}{(D_H - D_{вн}) \cdot l_z \cdot \kappa_и}$$

$$\sigma_{изг} = \frac{P_{окр} \cdot (D_H - D_{вн})}{l \cdot в^2 \cdot z \cdot \kappa_н} \cdot 0,8$$

$$\tau_{ср} = \frac{P_{окр}}{l \cdot в \cdot z \cdot \kappa_н}$$

де $d_н$ - зовнішній діаметр муфти, м; $d_н$ = 0,59 м; $d_{вн}$ - внутрішній діаметр муфти, м; $d_{вн}$ = 0,449 м; l - довжина шліца, м; l = 0,084 м; $\kappa_н$ - коефіцієнт, що враховує, що не усі шліци працюють одночасно; $\kappa_н$ = 0,75; в - ширина шліца, м; в = 0,04 м; z - число шліців, шт ; z = 54 шт

$$\sigma_{см} = \frac{10889,2}{(0,59 - 0,449) \cdot 0,084 \cdot 54 \cdot 0,75} = 23$$

$$\sigma_{изг} = \frac{0,8 \cdot 10889,2 \cdot (0,59 - 0,449)}{0,084 \cdot 0,04^2 \cdot 54 \cdot 0,75} = 226$$

$$\tau_{ср} = \frac{10889,2}{0,084 \cdot 0,04 \cdot 54 \cdot 0,75} = 80$$

Допустима напруга на те, що зім'яло і розтягування [σ] = 240 МПа, на зріз [ τ ] не більше 100 МПа.

# РОЗДІЛ 4. ЕКСПЛУАТАЦІЯ МЛИНА

## 4.1. Транспортування і монтаж

В наслідок великої маси млина в зібраному вигляді транспортувати можливо залізничним транспортом або автомобільним в розібраному вигляді.

При транспортуванні вузли і деталі млина повинні бути захищені від корозії.

Першим етапом передбачено футерування барабану. Використовують монтаж футеровок з болтовим та безболтовим кріпленням. Під час роботи монтаж проводять через торцеві люки, попередньо знявши з них кришки. Футеровки встановлюють рядами вздовж барабана одночасно із секторами торцевої футеровки. Плити футеровки подають у барабан через люк або цапфу за допомогою лебідки і троса із спеціальним гаком чи зачіпкою [13, 22, 23, 26].

При монтажі млина передбачене попереднє очищення вузлів і деталей, які підлягають монтажу, виявлення та усунення пошкоджень, змащення з'єднаних поверхонь. Перелік робіт вміщує стикування вже зафутерованого барабану з торцевими кришками, закріплення зубчастого вінця на передній кришці, монтаж фундаментних плит і корпусів корінних підшипників, установку на них складеного барабана і закріплення плит, збирання й установку приводу, включаючи монтаж і ввімкнення до мережі приводного двигуна, остаточну фіксацію фундаментних плит, установку і закріплення на торці завантажувальної цапфі млина живильника. Для зниження шуму млина встановлюють пружні прокладки між барабаном і металевою футеровкою [13, 22, 23, 26].

## 4.2. Використання млина за призначенням

Режим роботи млина, як правило, є безперервним, із періодичними зупинками для проведення оглядів та профілактичних ремонтів. Завантаження здійснюється за допомогою живильника з бункера, що дає змогу регулювати подачу матеріалу в млин і забезпечувати стабільність технологічного процесу [13, 22, 23, 26].

Пуск подрібнювальної установки виконують у визначеній послідовності: спочатку вводять у роботу класифікуючий апарат (класифікатор або насос гідроциклонів), далі — млин, після чого запускають транспортні засоби подачі руди (стрічкові конвеєри), і лише в кінці — підбункерні живильники. Перед запуском обов'язково перевіряють відсутність засмічень у класифікаторі та живильнику [13, 22, 23, 26].

Зупинка подрібнювального агрегату може бути:

- аварійною (наприклад, при раптовому відключенні електроенергії);
- короткочасною (для виконання регулювальних або допоміжних операцій);
- плановою (для проведення ремонтів) [13, 22, 23, 26].

У разі аварійної зупинки негайно вимикають усі електроприводи та вживають заходів для запобігання «посадці» класифікуючого обладнання (зокрема, піднімають спіралі). При тривалих зупинках пульпу необхідно видалити в аварійні ємності. У системах із гідроциклонами цей процес спрощується завдяки самопливному зливу пульпи після зупинки насосів [13, 22, 23, 26].

Регулювання процесу подрібнення спрямоване на отримання продукту заданої крупності при максимальній продуктивності. Основним параметром регулювання є гранулометричний склад зливу, який контролюють зміною водного режиму та перевіряють за допомогою періодичних ситових аналізів (з інтервалом 0,5–1 год) [13, 22, 23, 26].

Ефективність роботи подрібнювального агрегату визначається рядом факторів:

- стабільністю подачі вихідної руди;
- фізико-механічними властивостями матеріалу (крупність, міцність, вологість);
- характеристиками подрібнюючого середовища;
- технічним станом обладнання;
- параметрами водного режиму [13, 22, 23, 26].

Водний режим має вирішальне значення. Вода подається під постійним тиском, а вміст твердого у пульпі змінюється в широких межах. Оптимальні

значення залежать від крупності живлення: для крупного матеріалу — менший вміст води, для дрібнішого — більший. У різних типах млинів вміст твердого у зливі підтримується на різних рівнях [13, 22, 23, 26].

Для підвищення ефективності подрібнення широко застосовуються системи автоматичного регулювання, які забезпечують стабілізацію технологічних параметрів і компенсацію впливу збурень. Контролю підлягають:

- витрати матеріальних потоків (руда, вода);
- концентрація твердого в пульпі;
- гранулометричний склад продукту;
- запаси матеріалу та подрібнюючого середовища [13, 22, 23, 26].

Вимірювальні сигнали перетворюються у форму, придатну для використання в автоматичних системах керування, які функціонують на різних рівнях — від локальних контурів стабілізації до комплексних систем оптимізації процесу.

Важливим елементом експлуатації є підтримання оптимального стану подрібнюючого середовища. Для компенсації зносу здійснюють регулярне довантаження куль, а також їх періодичне пересортування з видаленням зношених або деформованих елементів [13, 22, 23, 26].

Організація кульового господарства передбачає механізацію операцій завантаження, зберігання і транспортування куль. Для цього використовують спеціальні бункери, розподільчі пристрої, магнітні крани та транспортні засоби. Подача куль у млин здійснюється через спеціальні живильні пристрої безпосередньо в зону завантаження [13, 22, 23, 26].

На великих збагачувальних фабриках пересортування подрібнюючого середовища виконують із застосуванням змінних барабанів: зношений барабан демонтують і замінюють підготовленим заздалегідь. Такий підхід дозволяє значно скоротити простої обладнання, однак потребує застосування потужних підйомно-транспортних засобів [13, 22, 23, 26].

### 4.3. Технічне обслуговування млина

Є три способи організації ремонту млинів.

Перший спосіб — роботи по перекласифікації тіл, що дроблять, і зміні футеровки проводяться на місці, без зняття млина з фундаменту. Застосовується при невеликому числі мельниц— до 4 однотипних або до 6 різнотипних [13, 22, 23, 26].

Другий спосіб — роботи по перекласифікації тіл, що дроблять, і зміні футеровки ведуться на спеціальному стенді. Тіла, що дроблять, і пульпа вивантажуються на місці. Барабан млина (з футеровкой) і тіла, що дроблять, переносяться на ремонтний майданчик роздільно. Застосовується при числі однотипних млинів до 10 і при числі різнотипних млинів до 16 [13, 22, 23, 26].

Третій спосіб — всі роботи проводяться на стенді. Млин з футеровкой, тілами, що дроблять, і пульпою переноситься на ремонтний майданчик. Застосовується при великому числі млинів. При такій організації ремонту млин вимикається з роботи всього на 4—6 год [13, 22, 23, 26].

На нових фабриках слід застосовувати млини максимального розміру, число їх не повинно бути великим. Великі млини для перенесення їх з кулями вимагають застосування крана надмірної вантажопідйомності. У такому разі встановлюють кран малої вантажопідйомності і ремонт ведуть на місці. Так само поступають, якщо використовують млини самоподрібнення [13, 22, 23, 26].

Позапланові зупинки млинів для ремонту зазвичай викликані наступними причинами: порушенням правильності зачеплення головної зубчатої передачі приводу, нагрівом підшипників і ослабленням болтових кріплень футеровки [13, 22, 23, 26].

При зупинках млина необхідно перевіряти і підтягати кріплення живильника равлика. Раз в 3—4 мес живильник равлика повертають щодо барабана млина на деякий кут. Це забезпечує рівномірний знос зубчатого вінця.

Під футеровочние плити підкладають листи гуми або прогумованої тканини (старої конвеєрної стрічки). Унаслідок неточностей при відливанні зазори між футеровочними плитами при збірці можуть доходити до 20 мм. Болти, що

кріплять футеровки до барабана млина, повинні щільно закривати отвори -и не допускати течі. Під гайку ставлять гумову і металеву опуклу шайби [13, 22, 23, 26].

При експлуатації млинів необхідно приймати заходи для уловлювання окремих крупних рудних зерен і металевого скрапу з розвантаження млинів і тріски із зливу класифікаторів. Для цього на розвантажувальну горловину млина надягають невеликий барабанний гуркіт з внутрішньою спіраллю, а в жолобі, відвідному злив класифікатора, встановлюють перфорований сталевий лист або барабанний гуркіт — щепоуловитель. На млинах самоизмельчения бутари виконують роль класифікаційного апарату, тому вони виходять великих розмірів. Конструкція бутар ускладнена пристроями для повернення крупних шматків в млин [13, 22, 23, 26].

Нормальна робота барабанних млинів вимагає регулярного мастила корінних підшипників барабана, підшипників валу малої шестерні, зубчатої передачі обертання барабана і редуктора. Для мастила застосовують рідкі і консистентні мінеральні масла. Як рідкі масла використовують індустріальні масла, як консистентні — індустріальні для прокатних станів, а також синтетичні солидоли. Вен-цовиє зубчаті відкриті передачі змащують графітним мастилом, що розпилюється стислим повітрям [13, 22, 23, 26].

Обслуговування млина поділяється на щозмінне та періодичне технічне.

Щозмінне обслуговування виконується безпосередньо під час роботи обладнання, у міжзмінні перерви або під час короткочасних технологічних простоїв. Його основною метою є підтримання працездатного стану млина та запобігання аварійним відмовам.

У межах щозмінного обслуговування виконують такі операції:

- змащування вузлів і деталей, що зазнають тертя;
- контроль стану кріпильних елементів (болтових і шпонкових з’єднань) з метою недопущення їх самовідгвинчування та перегріву;
- перевірка справності захисних огороджень, блокувальних та запобіжних пристроїв, а також системи заземлення;

- контроль стану ущільнень і герметичності з’єднань;
- усунення незначних несправностей і дрібних дефектів без зупинки тривалої експлуатації;
- візуальний контроль стану футеровки та виявлення ознак її підвищеного зношування [16, 19].

Періодичне технічне обслуговування виконується після відпрацювання млином встановленого ресурсу часу і передбачає більш глибоку перевірку технічного стану основних вузлів і систем.

До складу періодичного технічного обслуговування входять:

- контроль стану робочих поверхонь швидкозношуваних елементів, зокрема футеровки;
- перевірка стану роликопідшипникових вузлів (середній ресурс роботи становить 4500–80000 год);
- діагностика стану зубчастих передач;
- перевірка електрообладнання та систем керування;
- виконання всіх операцій, передбачених щозмінним обслуговуванням [16, 19].

З метою зменшення простоїв обладнання на ремонтних підприємствах застосовується вузловий метод обслуговування та ремонту. Відповідно до цього підходу в ремонтно-механічних цехах або на спеціалізованих ділянках здійснюється виготовлення та відновлення основних змінних вузлів і деталей, зокрема елементів футеровки.

Заміна зношених або пошкоджених деталей виконується ремонтним персоналом відповідної дільниці із застосуванням регламентованих технологічних карт та засобів механізації, що забезпечує скорочення часу простою обладнання та підвищення ефективності ремонтного циклу [16, 19].

***Методи ремонту деталей, що зношуються.*** Періодичність поточних ремонтів млина багато в чому залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу, що переробляється, і кліматичних умов, а тому у кожному окремому випадку визначається безпосередньо на місці експлуатації.

В середньому поточним ремонтом млина є комплекс заходів, направлених на усунення несправностей, що виникають в процесі роботи і відновлення працездатності млина.

Стикові шви – використання стиків зварного шва, тавров з'єднань з роздільними кромками.

Всі з'єднання повинні добре зварюватися – це властивість металу або поєднання при заданій технології зварки утворювати з'єднання, що відповідають їх функціональному призначенню і умовам роботи.

Застосовувати ті марки електродів, які відповідають вимогам і умовам роботи устаткування.

## Висновки до частини І

1. У результаті дослідження встановлено, що барабанні млини є основним видом обладнання для тонкого подрібнення мінеральної сировини. Вони забезпечують необхідну ступінь подрібнення матеріалу за рахунок взаємодії подрібнювальних тіл із оброблюваною сировиною. Розглянуто принцип дії, область застосування та класифікацію барабанних млинів, що дозволило визначити місце млина МШЦ 3200×4500 серед інших типів подрібнювального обладнання.
2. Проведено аналіз конструкції млина МШЦ 3200×4500, в якому детально розглянуто будову основних вузлів: барабана, футерування, завантажувальних і розвантажувальних пристроїв, приводу та допоміжних систем. Встановлено, що конструкція млина є достатньо надійною та відповідає вимогам технологічного процесу, проте окремі елементи піддаються значному зношуванню в процесі експлуатації.
3. Особливу увагу приділено барабану млина як одному з найбільш відповідальних елементів конструкції. Встановлено, що він працює в умовах значних динамічних навантажень, впливу ударних сил і абразивного середовища, що обумовлює необхідність регулярного технічного обслуговування та ремонту.
4. У процесі дослідження визначено основні режими роботи млина, які впливають на ефективність подрібнення. Встановлено, що оптимальні режими роботи забезпечують максимальну продуктивність при мінімальних енерговитратах і зношуванні елементів конструкції.
5. Виконано інженерні розрахунки основних параметрів млина, зокрема продуктивності, потужності приводу, кутової швидкості обертання барабана, частоти обертання та маси подрібнювальних тіл. Отримані результати підтверджують відповідність конструкції млина заданим умовам експлуатації.
6. Проведено розрахунки на міцність корпусу млина, а також перевірено надійність болтових з’єднань і муфт. Результати розрахунків показали, що

конструкція має достатній запас міцності, однак потребує контролю технічного стану в процесі експлуатації.

7. Розглянуто питання транспортування, монтажу, використання за призначенням та технічного обслуговування млина. Встановлено, що правильна організація цих процесів є важливим фактором забезпечення довговічності та безперебійної роботи обладнання.
8. Проведений аналіз конструкції млина МШЦ 3200×4500 дозволив виявити його основні технічні характеристики, визначити умови роботи та експлуатаційні особливості, а також встановити найбільш навантажені та схильні до зношування елементи. Отримані результати є основою для подальшої розробки ефективної технології ремонту барабана млина, що розглядається у другій частині роботи.

# РОЗДІЛ 5. ОРГАНІЗАЦІЯ РЕМОНТУ БАРАБАНУ МЛИНА

## 5.1. Розробка технологічної схеми ремонту барабану млина

У процесі виконання капітального ремонту обладнання важливе значення мають підготовчі роботи, від якості яких значною мірою залежить ефективність і своєчасність проведення ремонту [13, 22, 23, 26].

Підготовка до ремонту охоплює комплекс організаційних і технічних заходів, зокрема:

- складання попередньої відомості дефектів на основі результатів останнього огляду машини та накопичених експлуатаційних даних;
- підготовку необхідної технічної документації (робочих креслень, технічних умов на ремонт, альбомів карт бракування тощо);
- розроблення проєкту виконання ремонтних робіт;
- формування заявок на запасні частини, матеріали та інструмент із подальшим їх забезпеченням і доставкою [13, 22, 23, 26].

У проєкті виконання ремонтних робіт визначають:

- раціональні способи проведення ремонту;
- засоби механізації та організацію робочих процесів;
- потребу в інструменті та оснащенні;
- чисельність і розподіл робочого персоналу [13, 22, 23, 26].

Проєктування технологічного процесу ремонту включає:

- розроблення технології виконання робіт із встановленням їх послідовності;
- складання схем розбирання та збирання машини із зазначенням застосовуваних технічних засобів;
- підготовку специфікацій деталей для складальних карт;
- нормування трудових витрат;
- формування технічних завдань на виготовлення спеціального оснащення;
- вибір методів і засобів контролю якості виконаних робіт [13, 22, 23, 26].

Необхідну конструкторську та технологічну документацію, як правило, отримують від заводу-виробника. У разі її відсутності для деталей, що підлягають

виготовленню або відновленню, виконують ескізи за фактичними зразками. Якщо під час капітального ремонту передбачається модернізація обладнання, додатково розробляють креслення вдосконалених вузлів і організовують їх виготовлення [13, 22, 23, 26].

Опис технологічного процесу ремонту барабану млина приведений в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. - Технологічний процес ремонту барабану млина [13, 22, 23, 26]

| п/п | Операція | Устаткування та інструмент |
|---|---|---|
| 1 | Очищення барабану від бруду і мастила | |
| 2 | Розбирання барабану | Ключі, молотки, знімачі і тому подібне |
| 3 | Очищення барабану від старої фарби | Ванна із спецрозчином |
| 4 | Миття і сушка деталей | Ванна для миття або мийна машина |
| 5 | Контроль і сортування | Інструмент для перевірки геометричних розмірів, прилади для ультразвукового, рентгенівського і іншого контролю |
| 6 | Ремонт деталей барабану | Устаткування для зварювання, наплавлення, металізації, гальванічні ванни та ін. |
| 7 | Складання і регуляція барабану | Ключі, преси, молотки, скоби, індикатори і тому подібне |
| 8 | Змазування барабану | |
| 9 | Випробування барабану | Електроприлади, прилади для визначення температури, тиску і ін. |
| 10 | Фарбування барабану | Краскопульт, сушильна піч |
| 11 | Сушка барабану | Сушильна камера |

## 5.2. Розбирання барабану млина

У структурі виробничого процесу капітального ремонту машин значну частку займає розбирання, яке становить близько 10–15 % загального обсягу робіт і забезпечує до 70 % деталей, придатних для повторного використання [13, 22, 23, 26].

Розбирання — це процес послідовного розчленування машини на агрегати, вузли та окремі деталі, що за потреби включає виконання демонтажних операцій [13, 22, 23, 26].

Перед початком розбирання машину піддають зовнішньому очищенню та попередньому огляду, під час якого оцінюють її технічний стан. Результати огляду фіксують у приймально-здаточній документації. Сам процес виконують у спеціалізованих розбірних цехах або на відповідних ділянках ремонтних підприємств, оснащених підйомно-транспортним обладнанням, інструментом і технологічними пристроями.

У ході розбирання машину послідовно поділяють:

- на агрегати — функціонально завершені частини (наприклад, привід, що включає електродвигун і редуктор);
- на вузли — сукупності взаємопов'язаних деталей (наприклад, редуктор);
- на окремі деталі [13, 22, 23, 26].

Послідовність операцій визначається технологічними картами, де регламентуються порядок виконання робіт, застосовуване обладнання, інструменти та нормативи часу. Розбирання може здійснюватися:

- послідовним методом — поетапне розбирання вузлів;
- комбінованим методом — паралельне виконання операцій, що дозволяє скоротити тривалість ремонту [13, 22, 23, 26].

Особливу увагу приділяють збереженню комплектності взаємопов'язаних деталей. Не допускається розукомплектування:

- збалансованих елементів (наприклад, маховика і колінчастого вала);
- деталей із фіксованим взаємним положенням (кришки підшипників, корпусні елементи);
- придатних до роботи зубчастих передач [13, 22, 23, 26].

Такі елементи маркують або фіксують їх взаємне положення (кернуванням, фарбою), щоб забезпечити правильне складання після ремонту.

Для роз'єднання з'єднань використовують:

- ручний інструмент (ріжкові, торцеві ключі, викрутки);
- механізований інструмент (електричні, пневматичні, гідравлічні гайковерти);

– спеціальні пристрої (знімачі, преси) — для демонтажу посадок з натягом, підшипників, зубчастих коліс тощо [13, 22, 23, 26].

Розбирання супроводжується операціями підйому і транспортування деталей, які виконують за допомогою кранів, талей, лебідок та інших механізмів. При цьому необхідно забезпечувати збереження поверхонь деталей, особливо високоточних елементів, підшипників і компонентів гідросистем.

***Вимоги безпеки при розбиранні та монтажі.*** Для забезпечення безпечних умов праці необхідно дотримуватись таких вимог [13, 22, 23, 26]:

– виконувати роботи відповідно до затверджених технологічних інструкцій;
– допускати до робіт лише персонал, що пройшов інструктаж і навчання;
– застосовувати справні та сертифіковані вантажопідйомні пристрої;
– забезпечувати правильну строповку вантажів і їх стійкість під час підйому;
– забороняти скидання вузлів і деталей при демонтажі;
– використовувати інструмент відповідного розміру і призначення;
– дотримуватись правил виконання зварювальних робіт;
– підтримувати порядок і чистоту робочого місця.

При роботі з інструментом особливу увагу приділяють його технічному стану. Забороняється використовувати несправний або невідповідний інструмент, а також виконувати роботи в небезпечних умовах (наприклад, на нестійких опорах). Працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту — спецодяг, каски, окуляри, а також забезпечувати належне освітлення робочої зони.

### 5.3. Миття барабану млина

Після розбирання машини всі деталі підлягають обов’язковому очищенню від експлуатаційних забруднень, до яких належать пил, мастильні матеріали, нагар, продукти корозії та інші відкладення. Якість миття має суттєвий вплив на подальші етапи дефектації, ремонту та збирання, тому цей процес є важливою складовою ремонтного виробництва [13, 22, 23, 26].

Для очищення застосовують водні розчини лужних компонентів, а також сучасні синтетичні мийні засоби. Розчини на основі каустичної соди використовуються переважно для сталевих і чавунних деталей. Вони забезпечують ефективне знежирення та видалення стійких забруднень і, як правило, містять 50–80 г/л каустичної соди та 8–10 г/л мила. Процес миття проводять при температурі 80–90 °С із подальшим ополіскуванням гарячою водою (50–60 °С). Водночас такі розчини є агресивними, можуть спричиняти корозію та не допускаються для обробки алюмінієвих деталей [13, 22, 23, 26].

Для деталей з алюмінієвих сплавів застосовують менш агресивні склади на основі кальцинованої соди, тринатрійфосфату та рідкого скла. Ці розчини забезпечують достатню якість очищення без руйнування матеріалу. Більш сучасною альтернативою є синтетичні мийні засоби (СМС), які характеризуються високою мийною здатністю, відсутністю корозійного впливу та зниженою токсичністю. Вони придатні для очищення як чорних, так і кольорових металів і в ряді випадків не потребують додаткового ополіскування. На практиці широко застосовуються склади типу МЛ-51, МС-5, МС-6, МС-8, Лабомід-101 [13, 22, 23, 26].

***Способи очищення деталей.*** У ремонтному виробництві використовують два основні способи миття: струменевий та зануренням.

Струменеве очищення є найбільш ефективним і поширеним методом. Воно поєднує хімічну дію мийного розчину з механічним впливом струменів рідини, що значно підвищує інтенсивність видалення забруднень. Такий спосіб реалізується в спеціальних мийних машинах періодичної або безперервної дії. У машинах безперервної дії деталі переміщуються через зони миття та ополіскування за допомогою конвеєрів, що забезпечує високу продуктивність і стабільність якості очищення [13, 22, 23, 26].

Метод очищення зануренням застосовується для деталей складної форми або при значному забрудненні. Деталі витримують у ваннах із підігрітим мийним розчином протягом певного часу (від кількох годин до 6–20 год залежно від ступеня забруднення). Для цього використовують спеціальні ванни з підігрівом і

вентиляцією. Після витримки деталі додатково промивають гарячою водою [13, 22, 23, 26].

Процеси очищення супроводжуються використанням гарячих і хімічно активних розчинів, тому необхідно суворо дотримуватися вимог охорони праці:

- миття виконують у спеціально обладнаних приміщеннях із водонепроникною підлогою та системою відведення стоків;
- мийні ванни повинні бути оснащені місцевою витяжною вентиляцією, а приміщення — загальнообмінною вентиляцією;
- персонал має використовувати засоби індивідуального захисту (гумові рукавички, чоботи, фартухи, захисні окуляри);
- для захисту шкіри застосовують спеціальні пасти та захисні креми [13, 22, 23, 26].

Раціонально організований процес миття деталей забезпечує ефективне видалення забруднень, підвищує точність дефектації та якість подальшого ремонту. Використання сучасних мийних засобів і технологій дозволяє підвищити продуктивність робіт, зменшити шкідливий вплив на персонал і забезпечити належний рівень екологічної безпеки.Основні процеси миття барабану млина, описані в таблиці 5.2.

### 5.4. Дефектація деталей барабану млина

Після виконання операцій миття всі деталі машин підлягають обов’язковій дефектації та подальшому сортуванню. Основною метою дефектації є визначення фактичного технічного стану деталей, виявлення дефектів і прийняття рішення щодо можливості їх подальшого використання. Оцінювання проводиться відповідно до встановлених технічних вимог, які оформлюються у вигляді дефектаційних карт для кожної конкретної деталі [13, 22, 23, 26].

За результатами контролю деталі розподіляють на три основні групи:

- придатні до експлуатації — деталі, геометричні параметри яких знаходяться в межах допустимих значень; вони передаються безпосередньо на складання або на склад готових виробів;
- ті, що підлягають відновленню — деталі зі зносом або пошкодженнями, які можуть бути усунені шляхом ремонту; після визначення технології відновлення їх направляють на відповідні ремонтні дільниці;
- непридатні — деталі, відновлення яких є технічно неможливим або економічно недоцільним; вони підлягають списанню та здаються у металобрухт [13, 22, 23, 26].

Таблиця 5.2 - Технологічний процес миття деталей барабану млина [13, 22, 23, 26]

| п/п | Операції, переходи і технічні умови | Устаткування, пристрої і інструменти |
|---|---|---|
| 1 | Навісити окремі елементи барабану на конвеєр, і включити мийну машина | Таль електрична ТЗ 00, стропи. |
| 2 | Промити їх в мийній машині при робочій температурі розчину | Мийна машина ОМ-4267 або інша |
| 3 | Перевірити якість миття після проходження його через мийну машину | |
| Технічні умови | | |
| | На поверхні елементів барабану забруднення не допускаються; якщо воно є - направити на повторне миття | |
| 4 | Обдути елементи барабану стислим повітрям до повного видалення вологи | Пістолет 199-ГАРО або ін. |
| 5 | Контроль ВТК. Перевірити якість миття вузла і направити його до ділянки розбирання | |
| Миття деталей | | |
| 6 | Розкласти деталі в сітчасті кошики, піраміди і начепити на підвісний конвеєр мийної машина, великі деталі | Сітчасті кошики, піраміди, ловців, стропи, мийна машина ОМ-4267, електрична таль ТЗ 05 |
| 7 | Промити деталі в мийній машині при робочій температурі розчину | Мийна машина ОМ-4267 |
| 8 | Зняти деталі з конвеєра і обдути стислим повітрям до повного видалення вологи | Таль електрична ТЗ 00, стропи |
| Миття кріпильних виробів | | |
| 9 | Завантажити кріпильні вироби у ванну, включити установку і промити їх впродовж 10 -15 хв | Сітчасті кошики, установка для миття ОМ-6068, таль електрична Те06, стропи |
| 10 | Вивантажити кріпильні вироби і обдути стислим повітрям до повного виділення вологи | Пістолет 199-1АРО |
| 11 | Контроль БТК. Перевірити якість миття і направити вироби на ділянку дефектації | |

З метою запобігання змішуванню деталей різних категорій застосовують систему маркування, як правило, за допомогою фарб різного кольору: придатні — зеленим або жовтим, ремонтопридатні — синім або білим, непридатні — червоним [13, 22, 23, 26].

***Методи контролю та виявлення дефектів.*** Відповідальні деталі підлягають ретельному контролю, включаючи перевірку на наявність прихованих дефектів (тріщин, раковин, включень тощо), а також оцінку геометричних параметрів і форми робочих поверхонь. Для цього застосовують універсальні вимірювальні засоби (штангенінструмент, мікрометри, нутроміри) та спеціальні

калібри, шаблони і контрольні пристосування. Викривлення деталей визначають на контрольних плитах або в центрах із застосуванням індикаторів годинникового типу [13, 22, 23, 26].

Для виявлення дефектів використовують як прості, так і високоточні методи неруйнівного контролю:

***Капілярний (кольоровий) метод.*** Один із найпростіших і доступних способів, який базується на проникненні індикаторної рідини у поверхневі дефекти. Після видалення надлишку рідини та нанесення проявника дефекти візуалізуються у вигляді контрастного рисунка. Метод ефективний для виявлення тріщин шириною від 20–30 мкм у деталях з різних матеріалів [13, 22, 23, 26].

***Люмінесцентний метод.*** Ґрунтується на використанні флуоресцентних рідин, які світяться під дією ультрафіолетового випромінювання. Після обробки деталі спеціальним складом і нанесення проявника дефекти проявляються у вигляді яскравих світних зон. Метод дозволяє виявляти більш дрібні поверхневі дефекти (понад 10 мкм) [13, 22, 23, 26].

***Магнітопорошковий метод.*** Застосовується для деталей із феромагнітних матеріалів. Після намагнічування деталі магнітний порошок концентрується у зонах порушення суцільності матеріалу, чітко окреслюючи межі дефектів. Метод характеризується високою чутливістю і дозволяє виявляти тріщини шириною до кількох мікрометрів [13, 22, 23, 26].

***Ультразвуковий контроль.*** Базується на здатності ультразвукових хвиль поширюватися в матеріалі та відбиватися від меж розділу середовищ, зокрема від дефектів. Залежно від способу реєстрації сигналу розрізняють метод просвічування та імпульсний метод. Останній є найбільш поширеним і дозволяє виявляти внутрішні дефекти (тріщини, порожнини, включення) на значній глибині, що може досягати кількох метрів [13, 22, 23, 26].

Дефектація є ключовим етапом ремонтного процесу, що забезпечує обґрунтоване прийняття рішень щодо подальшої долі деталей. Використання сучасних методів контролю дозволяє своєчасно виявляти як поверхневі, так і внутрішні дефекти, що підвищує надійність і безпечність експлуатації

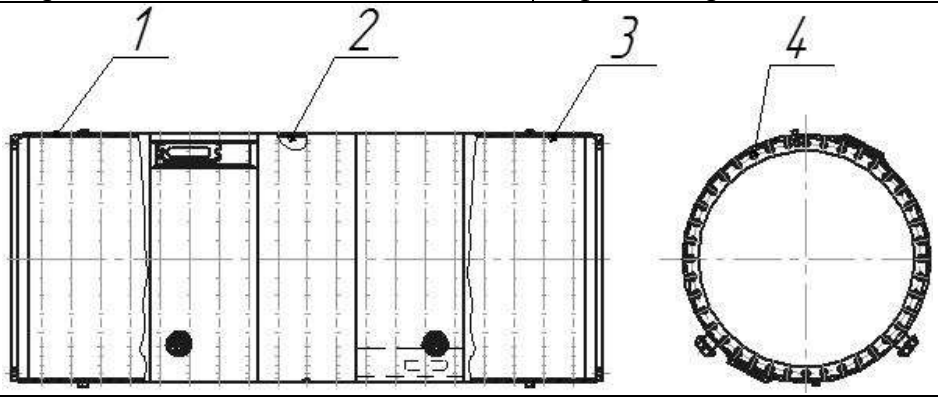
відремонтованих машин.Опис технологічного процесу дефектації барабану млина наведено в таблиці 5.3.

Складаємо дефектну карту на барабан млина (табл. 5.4).

Таблиця 5.3 - Технологічний процес дефектації деталей машин [13, 22, 23, 26]

| п/п | Операції, переходи і технічні умови | Устаткування, пристрої і інструмент |
|---|---|---|
| 1 | Покласти барабан на майданчик для дефектації | Таль електрична, стропи, стіл |
| 2 | Зовнішнім оглядом виявити такі дефекти: видимі тріщини, як, скручування, спрацювання поверхонь. | Лупа, крейда, банка з гасом ганчірки |
| 3 | Підготувати барабан для визначення захованих дефектів. Обшліфувати наждачним папером риски і подряпини | Наждачний папір, ганчір'я |
| 5 | Перевірити місця кріплення на спрацювання | Мікрометр, штангенциркуль |
| 6 | Перевірити розміри отворів кріплення | Мікрометр, штангенциркуль |
| 7 | На принципах контролю маркірувати деталь відповідно до групи спрацювання | банка з фарбою |
| 8 | Заповнити відомість дефектів | |
| 9 | Доставити придатний барабан до відділення комплектації, барабан який підлягає ремонту, на ділянку ремонту, бракований барабан на склад металобрухту | Таль електрична, стропи, ящиків тара |

Таблиця 5.5 - Дефектна карта

| КНУ, кафедра гірничих машин і обладнання | | Дефектна карта |
|---|---|---|
|  | | |
| № поз | Найменування дефекту | Спосіб ремонту |
| 1. | Спрацювання зовнішньої оболонки барабану | Відновлення ручним наплавленням під шаром флюсу |
| 2. | Спрацювання зовнішньої поверхні барабану | Відновлення ручним наплавленням під шаром флюсу |
| 3. | Деформація і тріщини барабану | Маркувати як брак |
| 4. | Спрацювання отворів | Відновлення електродуговим наплавленням під шаром флюсу |

## 5.5. Комплектування деталей барабану млина

Під комплектом розуміють сукупність із двох і більше виробів, які не з’єднані між собою на підприємстві-виробнику складальними операціями та мають спільне експлуатаційне призначення допоміжного характеру. Прикладами можуть бути набір запасних частин або комплект різального інструменту для виконавчого органу [13, 22, 23, 26].

За ознакою наявності складових елементів вироби поділяють на неспецифіковані, які не містять складових частин, та специфіковані, що включають дві і більше компонентні позиції. До неспецифікованих відносять деталі, тоді як до специфікованих належать складальні одиниці, комплекси та комплекти [13, 22, 23, 26].

Окремо виділяють куповані вироби, продукцію кооперацийного постачання та комплектувальні елементи. Куповані вироби не виготовляються на самому підприємстві, а надходять у готовому вигляді від зовнішніх постачальників. Вироби кооперацийного постачання — це складові частини, що виготовляються сторонніми підприємствами за конструкторською документацією розроблюваного виробу і входять до його комплекту. До купованих, як правило, належать уніфіковані елементи загального машинобудівного застосування: підшипники кочення, тягові ланцюги, стандартизовані кріпильні елементи тощо [13, 22, 23, 26].

Комплектувальні вироби — це продукція підприємства-постачальника, яка використовується як складові частини виробів, що випускаються іншим виробником [13, 22, 23, 26].

Під час проєктування конструкцій і організації виготовлення гірничих машин доцільно забезпечувати перевагу типових рішень у номенклатурі деталей та складальних одиниць.

Порядок виконання операцій комплектування на складальній дільниці перед початком складання наведено у таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 - Технологічний процес комплектування складання

| п/п | Операції, переходи і технічні умови | Устаткування, пристрої і інструмент |
|---|---|---|
| Підготовка | | |
| 1 | Оглянути деталі, які поступили до комплектації відділення | |
| Технічні умови | | |
| | До комплектації відділення необхідно щоб приходили тільки ті деталі, які мають білий і синій колір маркірування, деталі і складові частини, які пройшли ремонт і мають клеймо БТК ремонтного заводу | |
| 2 | Провести прогін різьблення і зачистку | Гайкорізи ручні, плашки задирка в деталях круглі, напилки, шабери |
| 3 | Внести деталі, які поступили в журнал обліку руху деталей і складових частин | Журнал |
| 4 | Розкласти деталі на стелажі і в корзини | |
| Технічні умови | | |
| | Деталі укладати згідно з номерами, вказаними у відділеннях стелажів; великі деталі розміщувати в нижніх відділеннях стелажів | |
| Комплектування | | |
| 5 | Відібрати деталі за номенклатурою і кількістю відповідно до комплектації відомістю для кожної складальної одиниці, покласти їх в комплектації корзини | Корзини комплектації |
| Технічні умови | | |
| | Відібрані деталі повинні мати в з'єднанні зазор або натяг згідно таблиць з'єднань | 1 |
| 6 | Відправити підібрані комплекти до ділянки складання | Візок комплектації |
| 7 | Відзначити в журналі обліку руху деталей і складених частин про відправлені комплекти | |

### 5.7. Збирання барабану млина

Збиранням називають сукупність технологічних операцій, спрямованих на отримання готової машини з окремих деталей. Процес здійснюється поетапно: спочатку формуються підвузли, далі — вузли, після чого виконується загальне збирання машини. Частка складальних робіт є значною і становить близько 20–40 % загальної трудомісткості ремонту. Якість виконання збирання безпосередньо визначає працездатність, надійність і довговічність відремонтованого обладнання. Вибір організаційної форми збирання залежить від програми ремонтного виробництва, конструктивних особливостей машини та трудомісткості робіт [13, 22, 23, 26].

В умовах одиничного та дрібносерійного виробництва всі операції збирання, як правило, виконує одна висококваліфікована бригада на одному робочому місці. Така організація характеризується значною тривалістю процесу, проте забезпечує високу універсальність і застосовується переважно у невеликих ремонтних майстернях.

У серійному виробництві збирання здійснюється за принципом спеціалізації: окремі вузли та агрегати виготовляються різними бригадами паралельно, після чого надходять на загальне складання. Такий підхід дозволяє суттєво скоротити тривалість процесу та знизити собівартість складальних робіт.

Для забезпечення раціональної послідовності виконання операцій розробляють технологічні схеми збирання, які створюються окремо для машини в цілому та для кожного її вузла чи підвузла.

Значну частку з’єднань (приблизно 25–30 %) становлять різьбові з’єднання. При їх складанні необхідно дотримуватися таких вимог:

- забезпечення співвісності різьбових елементів (болтів, шпильок, гвинтів і отворів);
- досягнення необхідної щільності посадки;
- недопущення перекосів торців гайок або головок болтів;
- дотримання встановленої послідовності та рівномірності затягування.

Затягування різьбових з’єднань виконують із застосуванням інструменту відповідного типу та розміру, а величина крутного моменту визначається технічною документацією.

Посадки з натягом реалізуються трьома основними способами:

- нагріванням деталі з отвором;
- охолодженням вала (охоплюваної деталі);
- механічним запресуванням.

Нагрівання застосовують переважно для великогабаритних деталей (бандажі, зубчасті вінці, кільця). Підвищення температури викликає розширення отвору, що дозволяє виконати з’єднання без значних зусиль. Температура нагріву

зазвичай обмежується 450–500 °С, щоб уникнути зміни фізико-механічних властивостей матеріалу.

У випадку, коли нагрівання є недоцільним, використовують охолодження деталі, яку встановлюють. Для цього застосовують рідкий азот, повітря або сухий лід, що забезпечує значне зменшення розмірів деталі.

Запресування виконують за допомогою пресів або ударного інструменту. Ударний спосіб застосовується при невеликих натягах, тоді як для значних натягів використовують гідравлічні або механічні преси.

Перед установленням підшипники ретельно очищують (у гасі або спеціальних розчинах), висушують і змащують. Монтаж здійснюють за допомогою пресів або спеціальних пристроїв. При цьому зусилля повинно передаватися лише на те кільце підшипника, яке встановлюється з натягом.

Для полегшення монтажу підшипники часто нагрівають у маслі до температури 80–100 °С. Після встановлення обов’язково перевіряють легкість обертання — воно повинно бути плавним, без заїдань і стороннього шуму.

Установку зубчастих коліс здійснюють за допомогою пресів або ударного інструменту з використанням м’яких прокладок. Для забезпечення нормальної роботи передач необхідно витримувати задані бокові та радіальні зазори між зубами, що гарантує належне змащення, компенсацію похибок виготовлення та температурних деформацій.

Раціональна організація процесу збирання, дотримання технологічних вимог до виконання з’єднань і правильний вибір методів монтажу є визначальними факторами забезпечення високої якості ремонту машин. Саме на етапі збирання формується остаточний рівень надійності, довговічності та ефективності роботи обладнання. [13, 22, 23, 26].

# РОЗДІЛ 6. ВІДНОВЛЕННЯ БАРАБАНУ МЛИНА

## 6.1. Базовий спосіб відновлення барабану млина

Основним способом відновлення робочої поверхні барабана млина вважається ручне наплавлення під шаром флюсу [13, 22, 23, 26].

Суть процесу наплавлення під флюсом належить до електродугових технологій відновлення і полягає в тому, що зона електричної дуги та розплавлений металевий ванний шар ізолюються від контакту з атмосферним повітрям насипним гранульованим флюсом. До електрода (сталевого дроту або стрічки) і деталі подається електрична напруга, в результаті чого між ними формується дуговий розряд. Подача дроту в зону горіння дуги здійснюється безперервно за допомогою роликового механізму, а зверху робочої зони наплавлення насипається шар флюсу товщиною приблизно 30–50 мм. Під дією тепла дуги частина флюсу плавиться і утворює захисну газошлакову оболонку, яка ізолює розплавлений метал від кисню й азоту повітря, зменшує розбризкування та сприяє стабільному формуванню наплавленого шару [26].

Під час виконання наплавлення барабан млина перебуває в обертанні, а наплавлювальна головка переміщується вздовж осі деталі, що забезпечує нанесення металу по гвинтовій траєкторії. Для запобігання стіканню розплавленого металу при обробці циліндричних поверхонь електрод зміщують відносно осі обертання деталі на певну величину у напрямку, протилежному обертанню заготовки [13, 22, 23, 26].

У практиці ремонту гірничого обладнання метод наплавлення під флюсом широко використовують для відновлення великогабаритних деталей зі значним зношенням (понад 60 мм), таких як валові елементи, барабани млинів, шківи та інші вузли. До основних переваг способу належать висока продуктивність за рахунок застосування великих щільностей струму; якісне формування наплавленого металу завдяки ефективному захисту зони дуги; можливість нанесення шару значної товщини; зменшення втрат електродного матеріалу й енергії; покращення фізико-механічних властивостей через легування; а також покращені умови праці зварювальника [13, 22, 23, 26].

Водночас технологія має і певні обмеження. Значне тепловкладення може викликати структурні зміни та зниження властивостей основного металу. Відновлення деталей малого діаметра (менше 60 мм) ускладнюється через ризик стікання розплаву та недостатню стабільність формування шва. Застосування спеціальних флюсів і зварювальних матеріалів підвищує загальну вартість ремонту. Також існують складнощі при наплавленні внутрішніх циліндричних поверхонь діаметром 120–150 мм [13, 22, 23, 26].

### 6.2. Запропонований спосіб відновлення барабану млина

Враховуючи недоліки базового способу відновлення, запропоновано виконувати відновлення барабана млина із застосуванням розточувально-наплавлювальних комплексів, призначених для обробки та відновлення отворів і вузлів без демонтажу великогабаритних елементів [13, 22, 23, 26]. Відновлення здійснюється шляхом наплавлення в середовищі інертного газу (аргону), що забезпечує підвищену якість захисту зони дуги та стабільність процесу.

Розточувально-наплавлювальні комплекси типу WS13, WS22 та інші дозволяють виконувати розточування і наплавлення отворів діаметром від 2200 до 5700 мм. Застосування таких систем дає можливість проводити ремонт великогабаритних деталей без транспортування до стаціонарних верстатів, безпосередньо на місці експлуатації.

Зазначене обладнання (рис. 6.1) забезпечує виконання таких технологічних операцій [13, 22, 23, 26]:

- відновлення отворів шляхом розточування та подальшого наплавлення (включаючи отвори на стрілах екскаваторів, проушинах ковшів, шарнірних з’єднаннях бульдозерів тощо), у тому числі глухих;
- одночасне співвісне розточування декількох рознесених отворів на відстані до 25 м;
- відновлення посадочних місць під підшипники;
- торцювання бобишок і приливів;

- проточування канавок під стопорні кільця;
- свердління та нарізання різьби;
- ремонт посадочних місць підшипників редукторів, цапф та подібних елементів;
- відновлення ліжок колінчастих і розподільних валів;
- ремонт блоків циліндрів двигунів.

Розточувально-наплавлювальні комплекси можуть бути ефективно використані у різних галузях промисловості, зокрема [13, 22, 23, 26]:

- ремонті будівельної, землерийної, сільськогосподарської та комунальної техніки;
- ремонті підйомно-транспортного обладнання (крани, тельфери тощо);
- обслуговуванні залізничного транспорту та обладнання метрополітенів;
- суднобудуванні та судноремонтній практиці;
- ремонті гірничодобувного та гірничо-збагачувального обладнання;
- обслуговуванні нафтогазовидобувної техніки;
- ремонті аеродромної техніки;
- відновленні прокатних станів і конвеєрних систем;
- ремонті гідротехнічних споруд.

Завдяки компактності, мобільності та системі жорсткого кріплення безпосередньо на дефектному вузлі, обладнання дозволяє виконувати ремонтні роботи у будь-якому просторовому положенні та на значній висоті.

***Технологія виконання робіт.*** Технологічний процес передбачає часткове розбирання лише дефектного вузла з метою забезпечення доступу до зони відновлення [13, 22, 23, 26]. Далі виконується встановлення та закріплення центрувального комплекту, який залежно від конструкції деталі монтується з одного або двох боків отвору, або на торцях декількох співвісних отворів.

Центрувальний комплект забезпечує точне позиціонування борштанги та можливість її регулювання по всій довжині оброблюваної поверхні. Центрування виконується за допомогою вимірювального інструменту відносно найменш зношеної ділянки або базових поверхонь [13, 22, 23, 26].

Після встановлення на борштангу монтуються супорти, які регулюються за положенням і довжиною опорних елементів та фіксуються зварюванням. Центрувальний комплект після налаштування демонтується.

На наступному етапі виконується розточування отвору до усунення еліпсності або до відновлення номінального діаметра. Розточувальний агрегат жорстко закріплюється на супорті, що виключає вплив власної маси на точність обробки [13, 22, 23, 26].

Для виконання наплавлення борштанга замінюється наплавлювальним валом, який підключається до зварювального напівавтомата через спеціальний перехідний кабель. Як захисне середовище застосовується газова суміш аргону (80%) та вуглекислого газу (20%), яка може подаватися як у готовому вигляді, так і змішуватись безпосередньо з балонів через змішувач.

Сутність процесу наплавлення в середовищі захисних газів полягає в горінні електричної дуги між електродом і деталлю в потоці газу, який витісняє повітря із зони плавлення та запобігає окисненню металу.

Як захисні середовища застосовують аргон, гелій, азот, вуглекислий газ і водяну пару. При цьому аргон і гелій забезпечують найвищу якість наплавленого шару, однак через високу вартість використовуються переважно для відповідальних деталей.

У ремонтній практиці гірничого обладнання найпоширенішим є наплавлення у вуглекислому газі, яке характеризується стабільністю дуги при малих струмах та відносною економічністю процесу. Однак можливе утворення оксидів і вигорання легуючих елементів, тому застосовуються леговані зварювальні дроти, що містять розкислювачі (марганець, кремній, титан тощо) [13, 22, 23, 26].

Наплавлення виконується з використанням напівавтоматів або автоматичних установок, постійним струмом зворотної полярності. Діаметр дроту зазвичай становить 0,8–2,5 мм, а параметри режиму підбираються залежно від матеріалу і геометрії деталі. Витрата захисного газу становить приблизно 80–100 л/год.

Зазначений спосіб широко застосовується для відновлення складних деталей гірничих машин, зокрема валів, редукторних елементів, корпусних деталей і зубчастих передач, а також отворів малого діаметра з великою глибиною [13, 22, 23, 26].

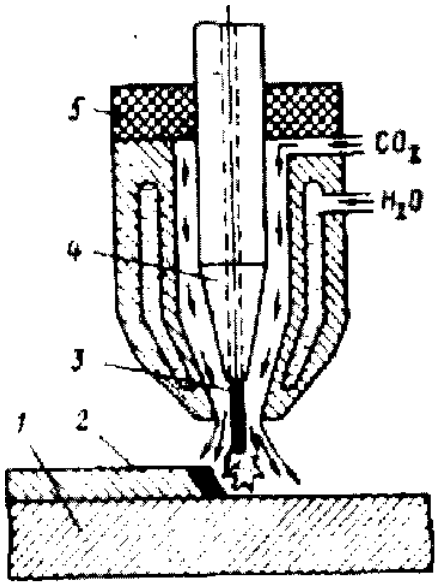



Рис. 6.1 - Схема пальника для наплавлення в середовищі вуглекислого газу [13, 22, 23, 26]: 1 — деталь, що наплавляється; 2 — наплавлений шар; 3 — електродне середовище захисних газів; 4 — мундштук; 5 — пальник;

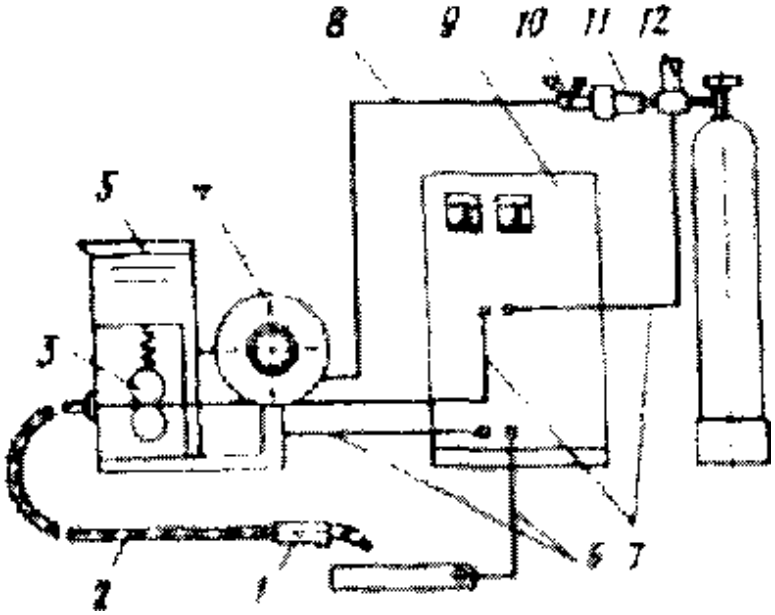



Рис. 6.2 - Схема шлангового напівавтомату для зварки і наплавлення в середовищі інертних газів [13, 22, 23, 26]: 1 — пальник; 2 — шланг; 3 — механізм подачі електродного дроту; 4 — діжка з дротом; 5 — шафа управління; 6 — дроти зварювального ланцюга; 7 — дроти ланцюга управління;, 8 — шланг подачі газ;, 9

— джерело живлення; 10 — редуктор-витратомір;, 11 — осушувач; 12 — підігрівач.

Наплавлення необхідної кількості шарів металу виконується в автоматичному режимі за допомогою зварювального напівавтомата, при цьому технологічна установка забезпечує синхронне обертання деталі та поздовжнє переміщення наплавлювальної головки. Твердість отриманого наплавленого шару становить 20–35 HRC і залежить від режиму наплавлення (сили струму) та складу захисної газової суміші (рис. 6.2) [13, 22, 23, 26].

Після завершення процесу наплавлення встановлюється борштанга та виконується чорнове розточування відновленого отвору. На цьому етапі здійснюється попереднє формування геометрії поверхні з видаленням припуску наплавленого металу та усуненням основних відхилень форми.

Після чорнової обробки проводиться вимірювання поточного діаметра отвору з використанням вимірювального інструменту. На основі отриманих даних за допомогою цифрового індикатора виконується точне налаштування різального інструмента на номінальний розмір відновлюваної поверхні [13, 22, 23, 26].

Завершальним етапом є контрольний вимір діаметра отвору для підтвердження відповідності технічним вимогам, демонтаж технологічного обладнання та очищення поверхні деталі від залишків зварювальних і наплавлювальних матеріалів.

## 6.3. Розрахунок припусків на технологічні операції відновлення

Розрахунок межопераційних розмірів проводимо для зовнішньої поверхні цапфи. Розрахунок проводимо з використанням пакету MathCAD.

**Розрахунок межопераційних розмірів**

***Вихідні дані***

- з'єднання з зазором
- деталь типу отвір

| | |
|---|---|
| - номінальний діаметр відновлюваної поверхні, мм | $d_н := 4100$ |
| - верхнє відхилення діаметру, мм | $es := 2.00$ |
| - нижнє відхилення діаметру, мм | $ei := 0.00$ |
| - число одиниць допуску на ремонт | $\alpha_p := 5$ |
| - шорсткість зношеної поверхні, мм | $R_{z.з.} := 0.030$ |
| - дефектний шар зношеної поверхні, мм | $T_з := 0.45$ |
| - шорсткість поверхні після чорнової обробки відновленої деталі, мм | $R_{z.ч.о.} := 0.15$ |
| - дефектний шар після чорнової обробки відновленої деталі, мм | $T_{ч.о.} := 0.25$ |
| - вид відновлювальних робіт | наплавлення |
| - шорсткість поверхні відновлюваної деталі, мм | $R_{z.в} := 0.5$ |
| - дефектний шар відновлюваної деталі, мм | $T_в := 0.3$ |

1. Граничні розміри деталі, яка підлягає ремонту, мм

$$d_з := \left(d_н + ei\right) + \alpha_p \cdot es = 4.11 \times 10^3$$

2. Припуски та розміри деталі після попередньої механічної обробки перед відновленням, мм

$$Z2_1 := 2\left(R_{z.з.} + T_з\right) = 0.96$$

$$d_{ппо} := d_з - Z2_1 = 4.109 \times 10^3$$

3. Припуски на чистову механічну обробку відновлюваної деталі та її розміри після чорнової обробки, мм

$$Z2_2 := 2\left(R_{z.ч.о.} + T_{ч.о.}\right) = 0.8$$

$$d_{ч.о.} := d_н - Z2_2 = 4.099 \times 10^3$$

4. Припуски на чорнову механічну обробку відновленої деталі та її розміри після відновлення, мм

$$Z2_3 := 2\left(R_{z.в} + T_в\right) = 1.6$$

$$d_в := d_{ч.о.} - Z2_3 = 4.098 \times 10^3$$

5. Товщина нарощуваного шару при відновленні деталі, мм

$$h := \frac{d_{ппо} - d_в}{2} = 5.72$$

## 6.4. Розрахунок процесу відновлення внутрішньої поверхні барабану

Розрахунок процесу відновлення внутрішньої поверхні барабану проводимо з використанням пакету MathCAD.

**Відновлення деталей наплавлення у середовищі інертних газів**

***Вихідні дані***

| | |
|---|---|
| - довжина поверхні, що наплавляється | L := 9900 мм |
| - діаметр циліндричної частини або ширина пласкої частини детали, що наплавляється | D := 4100 мм |
| - товщина шару металу, що наплавляється | h := 5.72 мм |
| - щільність наплавленого металу | γ := 7.85 г/см^3 |
| - коефіцієнт наплавки | $\alpha_н$ := 10 г/А год |
| - коефіцієнт переходу металу електродного дроту в наплавлений метал | k := 0.75 |
| - коефіцієнт, що враховує тривалість допоміжних операцій | $k_{до}$ := 1.25 |

***Розрахунок***

1. Вибір марки дроту залежить від марки матеріалу деталі, що наплавляється, необхідної твердості і зносостійкості покриття та ін.

Наплавлення деталей з вуглецевих і низьколегованих сталей ведуть з використанням електродного дроту Св - ГСч, СВ - 08Г2С, С -12ГС, СВ-18ХГСА, С-30ХГСА, Са-10Х13, Св-2Х13.

Для наплавлення низьколегованих сталей застосовують порошкові дроти ПП-18РТ, ПГХ,283т, ПП-Р9Т.

Приймаємо дріт С8-08Г2С, широко використовувану при наплавленні у середовищі інертних газів

2. Діаметр електродного дроту приймається у залежності від діаметра деталі, але не більше за 2,5 мм

$$dдр := 0.77 - 0.011 \cdot D + 0.00041 \cdot D^2 = 6.848 \times 10^3 \quad мм$$

Приймаємо $d_{др} := 2.5$ мм

3. Сила струму наплавки

$$I := 110 \cdot d_{др} + 10 \cdot d_{др}^{\,2} = 337.5 \quad A$$

4. Напруження дуги

$$U := 15 + 0.043 \cdot I = 29.512 \quad B$$

5. Крок наплавки

$$S := 1.11 + 1.17 \cdot d_{др} + 0.81 \cdot d_{др}^{\,2} = 9.098 \text{ мм}$$

Приймаємо $S := 9$ мм

6. Швидкість подачі електродного дроту у зону дуги

$$\upsilon_{др} := \frac{4 \cdot \alpha_н \cdot I}{\pi \cdot d_{др}^{\,2} \cdot \gamma} = 87.586 \quad м/год$$

7. Швидкість переміщення дуги відносно поверхні деталі, що наплавляється

$$\upsilon_п := \frac{\pi \cdot d_{др}^{\,2} \cdot \upsilon_{др} \cdot k}{4 \cdot h \cdot S} = 6.264 \quad м/год$$

8. Довжина проволоки, що потрібна для наплавлення

$$L_{др} := \frac{4 \cdot h \cdot (D - h) \cdot L}{d_{др}^{\,2} \cdot k} = 1.978 \times 10^8 \quad мм$$

9. Виліт електродного дроту з мундштука

$$l_в := 7 \cdot d_{др} = 17.5 \quad мм$$

10. Вага наплавлено металу

$$G := \pi \cdot D \cdot L \cdot h \cdot \gamma \cdot 10^{-3} = 5.726 \times 10^6 \quad г$$

11. Витрата електродного дроту з урахуванням втрат на чад і розбризкування

$$G_{вт} := \frac{G}{k} = 7.634 \times 10^6 \quad г$$

12. Основний час наплавлення

$$T_o := \frac{60 \cdot G}{I \cdot \alpha_н} = 1.018 \times 10^5 \quad хв$$

13. Штучно-калькуляційний час наплавлення

$$T_{шк} := T_o \cdot k_{до} = 1.272 \times 10^5 \quad \text{хв}$$

# РОЗДІЛ 7. ОРГАНІЗАЦІЯ РЕМОНТІВ

## 7.1. Річний график ремонтов

### Річний графік ремонтів

***Вихідні дані***

- кількість робочих днів на рік $n_{д.} := 250$
- кількість робочих днів на добу $n_{зм} := 2$
- кількість годин у зміні $t_{зм} := 8$ год
- кількість годин від останнього кап. ремонту або с початку експлуатації на початок року, що планується $A_{ok} := 2500$ год
- тип та періодичність ремонтів
  $T_1 := 600$ год
  $T_2 := 1800$ год
  $T_3 := 3600$ год
  $T_k := 10800$ год
- коефіцієнт використання машини $k_в := 0.67$

***Розрахунок***

1. Плановий об'єм роботи машини на рік, год

$$A_n := n_{д.} \cdot n_{зм} \cdot t_{зм} \cdot k_в = 2.68 \times 10^3$$

2. Кількість капітльних ремонтів

$$N_k := \text{trunc}\left(\frac{A_{ok} + A_n}{T_k}\right) = 0$$

3. Кількість поточних ремонтів №3

$$A_{oT3} := \text{if}\left(A_{ok} < T_3, A_{ok}, A_{ok} - T_3 \cdot \text{trunc}\left(\frac{A_{ok}}{T_3}\right)\right) = 2.5 \times 10^3$$

$$N_{T3} := \text{trunc}\left(\frac{A_{oT3} + A_n}{T_3}\right) - N_k = 1$$

4. Кількість поточних ремонтів №2

$$A_{oT2} := \text{if}\left(A_{ok} < T_2, A_{ok}, A_{ok} - T_2 \cdot \text{trunc}\left(\frac{A_{ok}}{T_2}\right)\right) = 700$$

$$N_{T2} := \text{trunc}\left(\frac{A_{oT2} + A_n}{T_2}\right) - N_k - N_{T3} = 0$$

5. Кількість поточних ремонтів №1

$$A_{oT1} := \text{if}\left(A_{ok} < T_1, T_1, A_{ok} - T_1 \cdot \text{trunc}\left(\frac{A_{ok}}{T_1}\right)\right) = 100$$

$$N_{T1} := \text{trunc}\left(\frac{A_{oT1} + A_n}{T_1}\right) - N_k - N_{T3} - N_{T2} = 3$$

Таблиця 7.3 - Строки проведення ремонтів млина [26]

| Назва машини | Міся ці | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | с | л | б | к | т | ч | л | с | в | ж | л | г |
| Млин шаровий | | Т1 | | Т3 | | Т1 | Т1 | | Т2 | | Т1 | |

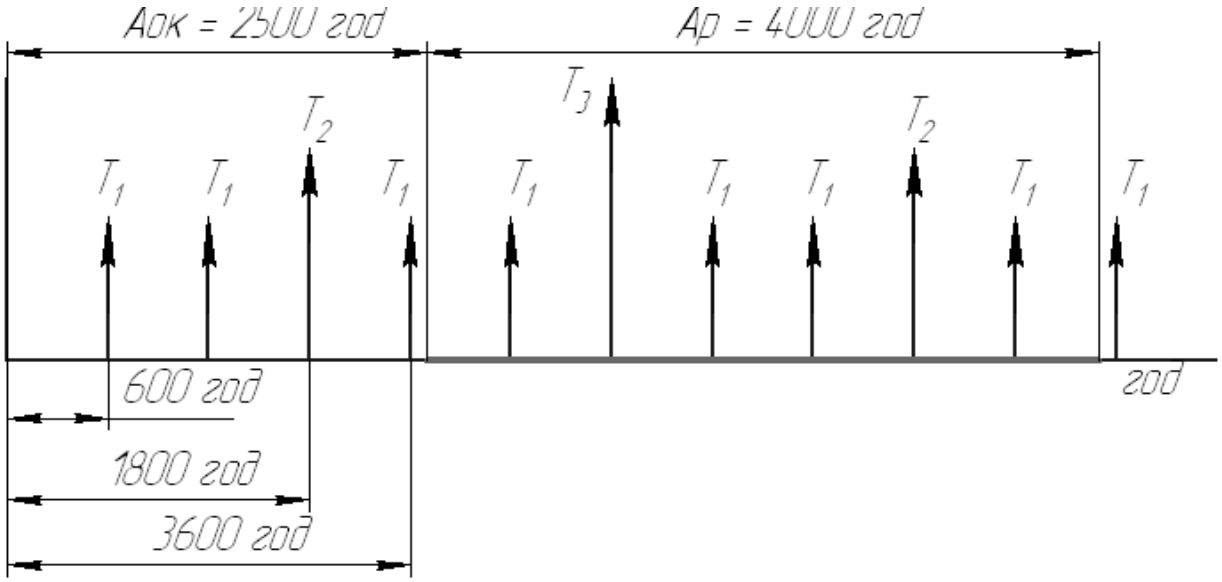



Рис. 7.1 - Річний графік ремонтів млина

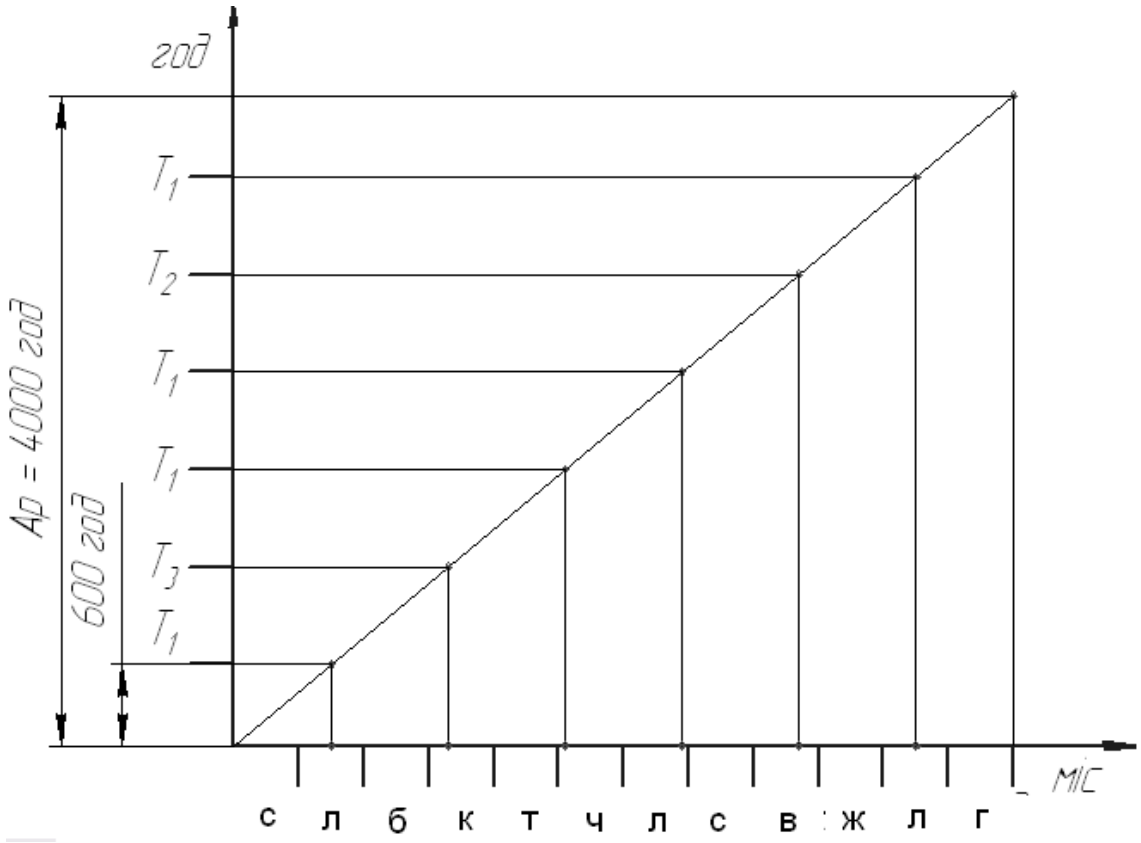



Рис. 7.2 - Графік строків ремонтів млина.

## 7.2. Розрахунок ремонтних майстерень

***Вихідні дані***

- кількість типів машин $N := 1$
- кількість однотипних машин $m := 50$
- кількість змін на добу $n_{зм} := 2$
- кількість годин у зміні, год $t_{зм} := 7$
- кількість потокових ремонтів на рік $n_1 := 12$

  $n_2 := 3$

  $n_3 := 2$
- кількість капітальних ремонтів на рік $T_k := 1.5$
- трудомісткість ремонтів $t_1 := 60$

  $t_2 := 105$

  $t_3 := 158$

  $t_k := 1250$

| | |
|---|---|
| - коефіцієнт, який враховує ремонт неврахованого обладання та інші незаплановані втрати | $\alpha := 1.5$ |
| - кількість вихідних двнів на рік | $B := 104$ |
| - кількість святкових днів на рік | $C := 8$ |
| - кількість відпускних днів | $BP := 24$ |
| - коефіцієнт, який враховує простої обладання | $K_{to} := 0.95$ |
| - коефіцієнт верстатних робіт | $\beta_B := 0.3$ |
| - коефіцієнт використання верстата | $K_{BB} := 0.7$ |
| - коефіцієнт зварювально-наплавочних робіт | $\beta_3 := 0.075$ |
| - коефіцієнт розподілу електродугового зварювання | $C_{31} := 0.55$ |
| - коефіцієнт використання електродугового зварювання | $K_{31} := 0.85$ |
| - коефіцієнт розподілу газового зварювання | $C_{32} := 0.3$ |
| - коефіцієнт використання газового зварювання | $K_{32} := 0.85$ |
| - коефіцієнт механізованого наплавлення | $C_{33} := 0.2$ |
| - коефіцієнт механізованого наплавлення | $K_{33} := 0.6$ |
| - коефіцієнт, який враховує вимушені витрати часу через хвороби тв інші поважні причини | $K_{PN} := 0.975$ |

***Розрахунок***

1. Повний обсяг трудових витрат ремонтних майстерень підприємства на рік

$$T := \alpha \cdot \frac{m}{T_k} \cdot \left(n_1 \cdot t_1 + n_2 \cdot t_2 + n_3 \cdot t_3 + t_k\right) = 1.3 \times 10^5$$

2. Річний фонд робочого часу устаткування, год

$$\Phi_o := t_{зм} \cdot \left(365 - B - C\right) \cdot n_{зм} \cdot K_{to} = 3.365 \times 10^3$$

3. Загальна кількість металорізальних верстатів:

$$N_B := \operatorname{trunc}\left(\frac{\beta_B \cdot T}{\Phi_o \cdot K_{BB}}\right) = 16$$

4. Верстати за типами можна розподілити наступним чином:

- токарні $N_{TB} := \text{trunc}\left(0.4 \cdot N_B\right) = 6$
- свердлильні $N_{CB} := \text{trunc}\left(0.15 \cdot N_B\right) = 2$
- точильно-обдиральні $N_{TOB} := \text{trunc}\left(0.1 \cdot N_B\right) = 1$
- інші $N_{IN} := N_B - N_{TB} - N_{CB} - N_{TOB} = 7$

5. Орієнтовна кількість постів для різних типів зварювання:

- електродугове зварювання $N_{B1} := \text{trunc}\left(\frac{\beta_3 \cdot T \cdot C_{31}}{\Phi_o \cdot K_{31}}\right) = 1$
- газове зварювання $N_{B2} := \text{trunc}\left(\frac{\beta_3 \cdot T \cdot C_{32}}{\Phi_o \cdot K_{32}}\right) = 1$
- механізоване наплавлення $N_{B3} := \text{trunc}\left(\frac{\beta_3 \cdot T \cdot C_{33}}{\Phi_o \cdot K_{33}}\right) = 0$

6. Річний фонд робочого часу одного працівника, год:

$$\Phi_P := t_{зм} \cdot \left(365 - B - C - BP\right) \cdot n_{зм} \cdot K_{to} = 3.046 \times 10^3$$

7. Загальна кількість виробничих робітників ремонтного підприємства, чол:

$$N_{BP} := \text{trunc}\left(\frac{T}{\Phi_P \cdot K_{PN}}\right) = 43$$

8. Необхідна кількість робітників різних професій, чол.:

- верстатники:

$$N_{BEP} := \text{trunc}\left(K_{BB} \cdot N_B \cdot n_{зм}\right) = 22$$

- електрогазозварників:

$$N_{3B} := \text{trunc}\left[\left(K_{31} \cdot N_{B1} + K_{32} \cdot N_{B2} + K_{33} \cdot N_{B3}\right) \cdot n_{зм}\right] = 3$$

- ковалів та пресувальників:

$$N_{KP} := \text{trunc}\left(0.08 \cdot N_{BP}\right) = 3$$

- робітники контрольного огляду та ін.

$$N_{KO} := \text{trunc}\left(0.07 \cdot N_{BP}\right) = 3$$

- слюсарі та електрослюсарі:

$$N_{CL} := N_{BP} - \left(N_{BEP} + N_{3B} + N_{KP} + N_{KO}\right) = 12$$

9. Загальний штат ремонтного підприємства з урахуванням підсобних працівників та ІТР

$$N_3 := \text{trunc}\left(1.18 \cdot N_{BP}\right) = 50$$

## 7.3. Розрахунок потрібної кількості запасних частин

***Вихідні дані***

- кількість однотипних машин, які перебувають в експлуатації — $N_m := 20$
- кількість одноіменних деталей або складальних одиниць — $n_{од} := 1$
- строк служби деталі до першої заміни, міс — $t_д := 15$
- тривалість часу від одного до іншого надходження запасних частин на гірничо- збагачувальне підприємство. міс — $t_{p1} := 1$; $t_{p2} := 3$; $t_{p3} := 6$; $t_{p4} := 12$
- коефіцієнт, який враховує рівномірність постачання запасних частин на гірничо- збагачувальне підприємство — $K_{p1} := 1.1$; $K_{p2} := 1.3$; $K_{p3} := 1.5$; $K_{p4} := 2$
- коефіцієнт, який враховує кількість однотипних машин — $K_N := 0.72$
- коефіцієнт, який враховує наявність у машини однойменних деталей — $K_{OD} := 1$

***Розрахунок***

Кількість запасних частин при надходженні:

- 1 раз на місяць

$$N_{ЗН1} := \text{trunc}\left(\frac{N_m \cdot n_{од} \cdot t_{p1} \cdot K_N \cdot K_{OD} \cdot K_{p1}}{t_д}\right) = 1$$

- 3 раз на місяць

$$N_{ЗН2} := \text{trunc}\left(\frac{N_m \cdot n_{од} \cdot t_{p2} \cdot K_N \cdot K_{OD} \cdot K_{p2}}{t_д}\right) = 3$$

- 6 раз на місяць

$$N_{ЗН3} := \text{trunc}\left(\frac{N_m \cdot n_{од} \cdot t_{p3} \cdot K_N \cdot K_{OD} \cdot K_{p3}}{t_д}\right) = 8$$

- 12 раз на місяць

$$N_{ЗН4} := \text{trunc}\left(\frac{N_m \cdot n_{од} \cdot t_{p4} \cdot K_N \cdot K_{OD} \cdot K_{p4}}{t_д}\right) = 23$$

**Висновки до частини II**

1. Розроблено технологічну схему ремонту барабана млина, яка включає основні етапи: розбирання, очищення та миття деталей, дефектацію, комплектування і складання. Визначено раціональну послідовність виконання операцій, що забезпечує скорочення тривалості ремонтного циклу та підвищення якості відновлення обладнання.
2. У процесі аналізу встановлено, що основними дефектами барабана млина є зношування внутрішньої поверхні, деформації, тріщини та порушення геометричних розмірів посадочних місць. Це зумовлено впливом абразивного середовища, ударних навантажень та тривалого терміну експлуатації.
3. Розглянуто базовий спосіб відновлення барабана, який передбачає ручне наплавлення під шаром флюсу. Встановлено, що цей метод має суттєві недоліки, зокрема значний тепловий вплив на метал, можливість зміни його структури, низьку продуктивність та складність виконання робіт у польових умовах.
4. З урахуванням недоліків базового методу запропоновано удосконалену технологію ремонту, що передбачає використання розточувально-наплавлювальних комплексів для відновлення отворів і посадочних поверхонь безпосередньо на місці експлуатації. Відновлення здійснюється методом наплавлення в середовищі інертних газів (аргон), що забезпечує високу якість наплавленого шару.
5. Встановлено, що застосування комплексів типу WS13, WS22 дозволяє виконувати широкий спектр ремонтних операцій, зокрема:

- розточування і наплавлення отворів великого діаметра (до 5700 мм);
- відновлення посадочних місць під підшипники;
- обробку торцевих поверхонь;
- виконання свердлильних і різьбонарізних робіт;
- відновлення відповідальних вузлів гірничого та промислового обладнання.

6. Перевагою запропонованого методу є можливість виконання ремонтних робіт без демонтажу великогабаритного обладнання, що значно зменшує витрати часу та ресурсів. Крім того, компактність і мобільність розточувально-наплавлювальних комплексів дозволяють проводити роботи у важкодоступних місцях, на будь-якій висоті та під різними кутами.
7. Виконано розрахунки припусків на механічну обробку та параметрів процесу відновлення внутрішньої поверхні барабана, що підтверджують технологічну доцільність застосування запропонованого способу.
8. Розроблено організацію ремонтних робіт, включаючи складання річного графіка ремонтів, розрахунок ремонтних майстерень та визначення необхідної кількості запасних частин. Це дозволяє оптимізувати використання ремонтних ресурсів, зменшити простої обладнання та підвищити ефективність його експлуатації.
9. Запропонована технологія ремонту барабана млина МШЦ 3200×4500 забезпечує підвищення якості відновлення, скорочення термінів виконання ремонтних робіт, зменшення витрат та збільшення ресурсу роботи обладнання. Отримані результати можуть бути використані для удосконалення систем технічного обслуговування та ремонту на підприємствах гірничо-збагачувальної промисловості.

# ВИСНОВКИ

1. У результаті дослідження встановлено, що барабанні млини є основним видом обладнання для тонкого подрібнення мінеральної сировини. Вони забезпечують необхідну ступінь подрібнення матеріалу за рахунок взаємодії подрібнювальних тіл із оброблюваною сировиною. Розглянуто принцип дії, область застосування та класифікацію барабанних млинів, що дозволило визначити місце млина МШЦ 3200×4500 серед інших типів подрібнювального обладнання.
2. Проведено аналіз конструкції млина МШЦ 3200×4500, в якому детально розглянуто будову основних вузлів: барабана, футерування, завантажувальних і розвантажувальних пристроїв, приводу та допоміжних систем. Встановлено, що конструкція млина є достатньо надійною та відповідає вимогам технологічного процесу, проте окремі елементи піддаються значному зношуванню в процесі експлуатації.
3. Особливу увагу приділено барабану млина як одному з найбільш відповідальних елементів конструкції. Встановлено, що він працює в умовах значних динамічних навантажень, впливу ударних сил і абразивного середовища, що обумовлює необхідність регулярного технічного обслуговування та ремонту.
4. У процесі дослідження визначено основні режими роботи млина, які впливають на ефективність подрібнення. Встановлено, що оптимальні режими роботи забезпечують максимальну продуктивність при мінімальних енерговитратах і зношуванні елементів конструкції.
5. Виконано інженерні розрахунки основних параметрів млина, зокрема продуктивності, потужності приводу, кутової швидкості обертання барабана, частоти обертання та маси подрібнювальних тіл. Отримані результати підтверджують відповідність конструкції млина заданим умовам експлуатації.
6. Проведено розрахунки на міцність корпусу млина, а також перевірено надійність болтових з’єднань і муфт. Результати розрахунків показали, що

конструкція має достатній запас міцності, однак потребує контролю технічного стану в процесі експлуатації.

7. Розглянуто питання транспортування, монтажу, використання за призначенням та технічного обслуговування млина. Встановлено, що правильна організація цих процесів є важливим фактором забезпечення довговічності та безперебійної роботи обладнання.
8. Проведений аналіз конструкції млина МШЦ 3200×4500 дозволив виявити його основні технічні характеристики, визначити умови роботи та експлуатаційні особливості, а також встановити найбільш навантажені та схильні до зношування елементи. Отримані результати є основою для подальшої розробки ефективної технології ремонту барабана млина, що розглядається у другій частині роботи.
9. Розроблено технологічну схему ремонту барабана млина, яка включає основні етапи: розбирання, очищення та миття деталей, дефектацію, комплектування і складання. Визначено раціональну послідовність виконання операцій, що забезпечує скорочення тривалості ремонтного циклу та підвищення якості відновлення обладнання.
10. У процесі аналізу встановлено, що основними дефектами барабана млина є зношування внутрішньої поверхні, деформації, тріщини та порушення геометричних розмірів посадочних місць. Це зумовлено впливом абразивного середовища, ударних навантажень та тривалого терміну експлуатації.
11. Розглянуто базовий спосіб відновлення барабана, який передбачає ручне наплавлення під шаром флюсу. Встановлено, що цей метод має суттєві недоліки, зокрема значний тепловий вплив на метал, можливість зміни його структури, низьку продуктивність та складність виконання робіт у польових умовах.
12. З урахуванням недоліків базового методу запропоновано удосконалену технологію ремонту, що передбачає використання розточувально-наплавлювальних комплексів для відновлення отворів і посадочних поверхонь безпосередньо на місці експлуатації. Відновлення здійснюється

методом наплавлення в середовищі інертних газів (аргон), що забезпечує високу якість наплавленого шару.

13. Встановлено, що застосування комплексів типу WS13, WS22 дозволяє виконувати широкий спектр ремонтних операцій, зокрема:

- розточування і наплавлення отворів великого діаметра (до 5700 мм);
- відновлення посадочних місць під підшипники;
- обробку торцевих поверхонь;
- виконання свердлильних і різьбонарізних робіт;
- відновлення відповідальних вузлів гірничого та промислового обладнання.

14. Перевагою запропонованого методу є можливість виконання ремонтних робіт без демонтажу великогабаритного обладнання, що значно зменшує витрати часу та ресурсів. Крім того, компактність і мобільність розточувально-наплавлювальних комплексів дозволяють проводити роботи у важкодоступних місцях, на будь-якій висоті та під різними кутами.

15. Виконано розрахунки припусків на механічну обробку та параметрів процесу відновлення внутрішньої поверхні барабана, що підтверджують технологічну доцільність застосування запропонованого способу.

16. Розроблено організацію ремонтних робіт, включаючи складання річного графіка ремонтів, розрахунок ремонтних майстерень та визначення необхідної кількості запасних частин. Це дозволяє оптимізувати використання ремонтних ресурсів, зменшити простої обладнання та підвищити ефективність його експлуатації.

17. Запропонована технологія ремонту барабана млина МШЦ 3200×4500 забезпечує підвищення якості відновлення, скорочення термінів виконання ремонтних робіт, зменшення витрат та збільшення ресурсу роботи обладнання. Отримані результати можуть бути використані для удосконалення систем технічного обслуговування та ремонту на підприємствах гірничо-збагачувальної промисловості.