

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

“Допустити до захисту”

Зав. кафедри БДМБ канд. техн. наук, проф.

_____ Настоящий В.А.

"____" _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему **“Дослідження балістики технологічного завантаження млинів
самоподрібнення з метою побудування оптимального профіля
футерівки робочої поверхні барабана.”**

Виконав: здобувач групи ГМ-22М-2
спеціальності 133 "Галузеве ашинобудування"
ОПП "Підйомно-транспортні, будівельні,
дорожні, меліоративні машини та обладнання"
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Баранцев Д.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник проф. Настоящий В.А.
(прізвище та ініціали)

Кропивницький

2024

Центральноукраїнський національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність 133 "Галузеве машинобудування",
Освітня програма "Підйомно-транспортні, будівельні,
дорожні, меліоративні машини та обладнання "

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

“ ____ ” _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

Баранцеву Дмитру Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Тема роботи “ Дослідження балістики технологічного завантаження млинів самоподрібнення з метою побудування оптимального профіля футерівки робочої поверхні барабана ”

Керівник роботи к.т.н. проф. Настоящий Владислав Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ____ ” _____ 2024 року № ____

2. Строк подання студентом проекту 30 травня 2024

3. Вихідні дані до проекту

Об'єкт дослідження – млин самоподрібнення ММС -70-23

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

1.Огляд наукової і патентної інформації. Обґрунтування напрямків удосконалення робочої поверхні млина.

2. Обґрунтування переваг та огляд конструкцій гумових футерівок млинів самоподрібнення

3.Дослідження моделей руху технологічного завантаження в млинах самоподрібнення.

4. Побудова профіля та визначення геометричних розмірів футерівки для базового млина

5. Конструктивний розрахунок млина з удосконаленою футерівкою.

6.Розробка заходів з охорони праці

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

1. Патентний огляд конструкцій гумових футерівок млинів самоподрібнення

2. Динамічна модель ударної взаємодії подрібнюючого тіла з гумовою футерувальною плитою

3. Визначення раціонального кута футерувальних плит

4. Побудова профіля футерівки

5.Креслення загального виду млина

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розрахунково-конструкторський	к.т.н. проф. Настоящий В.А.		
Охорона праці	к.т.н. доцент Лізунков О.В.		

7. Дата видачі завдання 11.03 2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

1	Призначення і галузі застосування	5.04.2024	
2	Огляд наукової і патентної інформації	8.04.2024	
3	Обґрунтування напрямів дослідження обладнання.	12.04.2024	
4	Розробка розрахункових схем	18.04. 2024	
5	Розрахунки, що підтверджують працездатність зносостійкої футеровки млина	24.04 2024	
6	Розробка складальних і робочих креслень млина, формутворювача, вузлів та деталей.	30.04.2024	
7	Розробка технологічного процесу виготовлення деталі	2.05.2024	
8	Розробка заходів з охорони праці	7.05.2024	
9	Оформлення альбому документів	14.05.2024	

Здобувач

_____ Баранцев Д.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту

_____ Настоящий В.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	3
1. Аналітичний розділ.....	6
1.1. Конструктивні рішення футеровок млинів самоподрібнення.....	15
1.2. Висновки по розділу.....	32
2. Дослідницький розділ	
2.1. Дослідження механіки молотильного середовища млина самоподрібнення.....	33
2.2. Обґрунтування геометричних розмірів гумових футерівок млинів самоподрібнення.....	45
2.3. Розробка форми і конфігурації робочої поверхні футерівки для млина самоподрібнення.....	58
3. Конструктивний розділ.....	70
3.1. Розробка конструкції гумової футерівки циліндричної частини барабану млина самоподрібнення.....	70
3.2. Розробка технологічного процесу та устаткування для виготовлення гумової футерівки.....	71
3.3. Розрахунок потужності, яка споживається млином самоподрібнення, що досліджується.....	75
3.4. Визначення продуктивності млина самоподрібнення, що досліджується.....	82
4. Охорона праці.....	85
Висновки.....	86
Література.....	87
Додатки.....	89

					ДМС 302 00 00 00 ПЗ		
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження балістики технологічного завантаження млинів самоподрібнювання Пояснювальна записка		
Розроб.	Баранцев						
Перев.	Настоящий						
Керівн.	Настоящий						
Н. контр.	Карпушин						
Затв.	Настоящий				ЦНТУ гр. ГМ-22М-2		

ВСТУП

На сучасному етапі, успішний прогрес у будівництві не можливий без широкого використання різноманітних мікродисперсних і порошкоподібних матеріалів, таких як цемент, глина, гіпс та інші.

Однією з найбільш основних операцій у технології підготовки мінеральної сировини для виробництва кераміки та цементу є подрібнення, яке здійснюється в основному за допомогою барабанних млинів.

Барабанні млини являються і на найближчі 20-25 років залишаться домінуючим обладнанням для подрібнення мінеральних матеріалів.

Перспективи вдосконалення барабанних млинів знаходяться в області створення агрегатів великої одиничної потужності.

Прагнення збільшити інтенсивність подрібнення і ефективність роботи млинів шляхом збільшення розмірів барабанів призвело до помітного зростання навантаження на робочу поверхню барабана млина і призвело до необхідності застосовувати в якості захисної футеровки робочих поверхонь барабанів млинів металеві бронеплити вагою до 500 кг. Це призвело до збільшення матеріаломісткості і енерговитрат обладнання, зростання рівня шуму, а також ускладнення процесу обслуговування через збільшені трудовитрати. [1-3].

Усі перераховані чинники роблять процеси подрібнення одними з найважчих, а даний вид устаткування є найенергоємнішою і найменш продуктивною ланкою в технологічному процесі виробництва будівельних матеріалів. Крім того, потрапляючи в промислові продукти керамічного і цементного виробництва, металеві частинки істотно знижують їх якість [3].

Оскільки тонке подрібнення потребує обробки великих обсягів матеріалів, що можуть становити сотні мільйонів тон, це призводить до того, що процес має велику економічну складову вдосконалення цього процесу та устаткування.

					ДМС 302 00 00 00 ПЗ		
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Баранцев				Дослідження балістики технологічного завантаження млинів самоподрібнювання Пояснювальна записка	Лит.	Лист.
Перев.	Настоящий						З
Керівн.	Настоящий					ЦНТУ гр. ГМ-22М-2	
Н. контр.	Карпушин						
Затв.	Настоящий						

В млинах самоподрібнення середовищем, що дробить, є крупні шматки подрібнюваного матеріалу: в процесі обертання барабана вони подрібнюються самі, і в той же час руйнують більш дрібні шматки.

Питома продуктивність млинів самоподрібнення вища, ніж у кульових, але витрата енергії на 30-40 % вище, вище також витрата футерівки.

Проблема зниження витрат енергії за рахунок зниження маси обертових частин сучасних млинів при збільшенні термінів роботи футерівки може бути вирішена шляхом застосування гумових футеровок робочих поверхонь.

Світовою практикою вже накопичений значний позитивний досвід їх використання, який є сумою складових [3-6]:

- редукція необхідності у запасних деталях зі збільшенням їх ресурсу;
- пониження витрат на заміну виснажених компонентів;
- збільшення інтервалів між ремонтами;
- використання енергоефективності внаслідок скорочення матеріаловитрат;
- зменшення кількості заліза в матеріалах після їх подрібнення;
- підвищення продуктивності млинів у виробництві готової продукції.

Останній показник дослідники [3-5] пов'язують з високими еластичними властивостями гуми, які сприяють інтенсифікації відносного переміщення кульового і технологічного завантаження.

Ширше застосування гумових футеровок вимагає створення конструктивних рішень прогресивніших і одночасно реальних для освоєння в умовах вітчизняного машинобудування.

Тривала практика проектування, розрахунку і експлуатаційних досліджень млинів показала, що прогресивна конструкція футеровок млинів самоподрібнення повинна враховувати механічні ефекти, що відбуваються при падінні технологічного завантаження в зоні контакту з футерівкою.

					ДМС 302 00 00 00 ПЗ	Лист.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата		4

Тому темою магістерської кваліфікаційної роботи являються дослідження балістики технологічного завантаження млинів самоподрібнювання з метою побудування оптимального профілю робочої поверхні барабана

Мета роботи – покращення ефективності барабанних млинів для самоподрібнення, що розробляються, шляхом обґрунтованого вибору оптимальних параметрів робочої поверхні на основі аналізу фізико-механічних явищ у зоні контакту між технологічним завантаженням та футерівкою.

Об'єкт дослідження – уточнення кінематики та динаміки взаємодії системи << робоча поверхня барабану млина самоподрібнення – внутрішнє технологічне завантаження >> в установленому режимі роботи.

Предмет дослідження – ефект силового впливу внутрішнього завантаження млинового механізму на робочу поверхню барабану під час самоподрібнення.

Методи дослідження – перевірка, систематизація та удосконалення відомих теоретичних методик для визначення впливу внутрішньомлинного завантаження на робочу поверхню барабана, проведення аналітичних досліджень за допомогою методів твердотільної механіки.

Результатом цієї роботи є розроблена гумова футерівка для млина самоподрібнення ММС-70-23.

					ДМС 302 00 00 00 ПЗ	Лист.
						5
Зм.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата		

1. Аналітичний розділ

1.1. Конструктивні рішення футеровок млинів самоподрібнення.

Досліджуючи робочі процеси млинів самоподрібнення, були виявлені раціональні параметри футеровок [1]. Згідно цих рекомендацій, висота ребер над плитами у млинах самоподрібнення діаметром 7...9 м складає 250...300 мм, а низьких – 100 мм, ширина ліфтерів 140...210 мм. З різних варіантів розміщення ліфтерів у закордонній практиці задовільні результати по строку служби досягалися при їх кількості, у два рази більше годинного значення внутрішнього діаметра млина, вираженого у футах (310 мм). Це відповідає у 6 разів більшій кількості ліфтерів, ніж діаметр млина, виражений у метрах [3].

Футерівочні елементи у вигляді високих ліфтерів та плит є типовим рішенням для облицювання внутрішньої поверхні барабанів млинів самоподрібнення. (рисунок 1.1). Інститутом "Механобрсермет" встановлено, що в млинах типу ММС найбільш інтенсивно зношуються футерівка і ліфтери циліндричної частини барабану зі сторони розвантажувальної решітки, крива зношування цих деталей близька до дуги еліпса, а точка максимального зношування знаходиться на відстані 0,3-0,4 довжини циліндричної частини подрібнюючої камери. Для цієї частини розроблена конструкція футерівки (рисунок 1.8), яку рекомендують виготовляти з врахуванням нерівномірностей зношування. Для ММС-105-50 розроблена футерівка з ліфтерами, у яких висота змінюється по криволінійному закону [6].

Як показав огляд патентної інформації, існують багато технічних рішень, направлених на удосконалення окремих елементів футерівки, запропоновуються нові види захисту барабану млина, а також футерівки, які мають підвищену надійність і зносостійкість під час роботи у гідроабразивному середовищі.

					ДМС 302 00 00 00 ПЗ	Лист.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата		6

Наприклад у авторському свідоцтві (а.с.) № 1369796 МКИ В 02 С 17/22 запропонована протизношувальна гумова футерівка (рисунок 1.9) внутрішньої поверхні барабанного млина, яка містить гумові пластини і бруси (ліфтери), прикріплені до барабану. Для підвищення зносостійкості футерувальний брусів і ефективності розмолу, кожен брус має з робочої сторони виступ криволінійного профілю висотою, рівною половині діаметру максимального подрібнюючого тіла, причому перекриття виступом плити складає 0,5-0,75 діаметру максимального куска, а з неробочої сторони - прямий зріз під кутом 30° до горизонту.

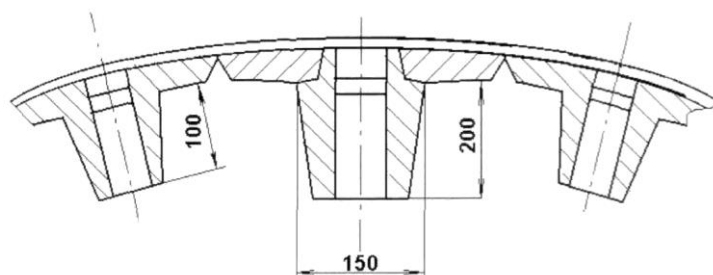


Рисунок 1.1 – Футерівка "Механобрчермет".

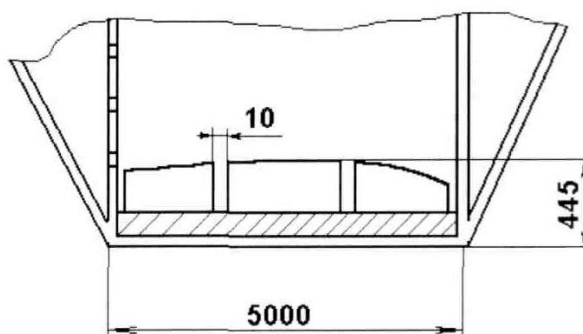


Рисунок 1.2 – Футерівка "Механобрчермет" для ММС-105-50.

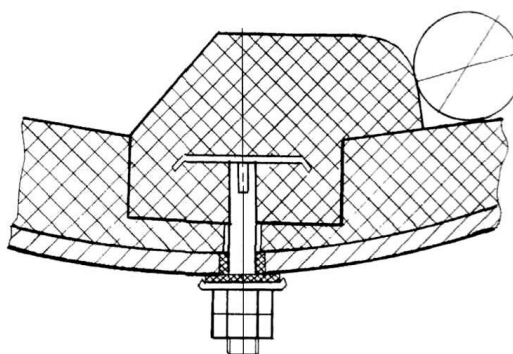


Рисунок 1.3 – Футерівка за а.с. №1369796.

Для забезпечення надійності кріплення плит, що впливає на зносостійкість футерівки у цілому, автори а.с. № 582831 запропонували протизношувальну футерівку барабанного млина, яка містить плити, переважно гумові, з прямокутними виступами. Кожен виступ на одній з бокових стінок забезпечений виступаючим елементом, який має циліндричну поверхню, а на іншій – пазом, який має форму відповідну виступаючому елементу, причому паз і виступ елементів кожного виступу розташовані взаємно-перпендикулярно друг до друга.

У а.с. № 1304872 пропонується футерівка (рисунок 1.3), яка складається з набору прилягаючих до барабану пружних плит і ліфтерів, з метою підвищення зносостійкості, робоча поверхня кожного ліфтера забезпечена елементами з твердого пластика, виступаючого над нею на 0.8...2,0 своєї товщини і розташованими на відстані один від одного, рівній 0,3...0,6 максимального розміру подрібнюючих тіл. Як бачимо, автори пропонують використовувати еластомери, наприклад пластик.

Шведська фірма "Скеллфія Гуммифабрікс А.Б." отримала патент №226503 на запропоновану нею футерівку. Протизношувальна робоча футерівка поверхонь, які піддаються інтенсивному зношуванню і стирання у абразивному середовищі, наприклад, грохотів, дробарок, млинів по патенту №182613, відрізняється тим, що з метою підвищення зносостійкості гумових смуг (ліфтерів) і надійного їх кріплення, гумові смуги виконані двошаровими, внутрішня частина з гуми твердістю 80-90° по Шору, зовнішня частина з гуми твердістю 50-70°, а внутрішні повздовжні Т-подібні пази виконані дугоподібною форми, кінцівки котрих направлені у сторону захищаємої поверхні (рисунок 1.4). Автори вважають, що використання більш твердої гуми забезпечить надійність кріплення ліфтера, а застосування менш твердої гуми на робочій поверхні дозволить зменшити процес зношування останньої. Внутрішній повздовжній Т-подібний паз має

трапецієподібну форму. На бічних поверхнях гумових смуг, виконані поздовжні пази, в котрі вставляються металеві пластини кріплення.

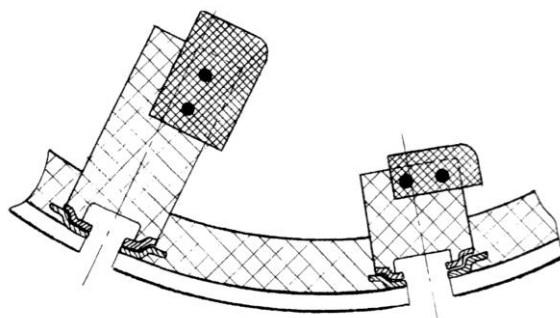


Рисунок 1.4– Футерівка за а.с. №1304872.

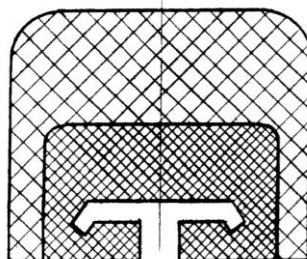


Рисунок 1.5 – Ліфтер за патентом №226503.

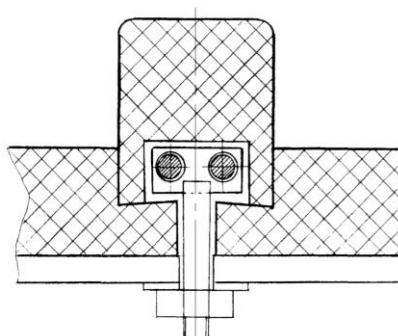


Рисунок 1.6 – Футерівка за а.с. №255759.

Ще один спосіб закріплення ліфтера запропонований а.с. № 255757. З метою більш надійного кріплення і підвищення міцності брусів, останні виконані з двома наскрізними повздовжніми отворами, переважно циліндричної форми (рисунок 1.7), для розміщення в них стержнів, і мають у своїй нижній частині порожнину для планок з двома отворами для надівання на стержні і закріплені до них шпильки з різьбою на вільних кінцях.

А.с № 1273159 для млинів без кульового подрібнення пропонує зносостійкий ліфтер, що містить робочу і неробочу частини (рисунок 1.7).

					ДМС 302 00 00 00 ПЗ	Лист. 24
Зм.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата		

Робоча частина ліфтера має вставки з зносостійкого матеріалу, що виконані трапецеїдального поперечного перерізу з кутом між боковими гранями і більшою основою $88-85^\circ$ і закріплені у середині ліфтера. Вставки займають 35-60 % робочої поверхні ліфтера і розташовані під кутом $40-60^\circ$ до його повздовжньої вісі.

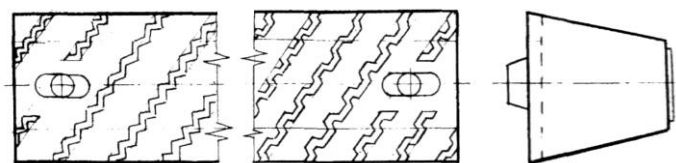


Рисунок 1.7 – Ліфтер за а.с. №1273159.

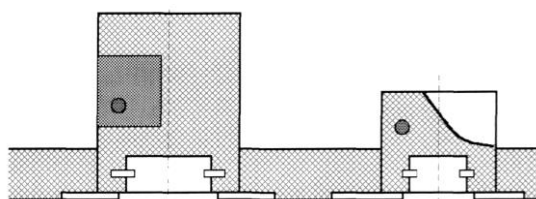


Рисунок 1.8 – Футерівка за а.с. №1346241.

Ще один тип футерівки представлений у а.с.№ 1346241 (рисунок 1.8).

Вона складається з набору різновисоких елементів з зносостійкого еластичного матеріалу, кожний з котрих маю порожнину, у середині котрої розташовані герметичні оболонки заповнені повітрям або рідиною, з ніпелем. З метою підвищення експлуатаційної надійності футерівки і ефективності її захисних властивостей при ударних навантаженнях, вона має поперечні вставки, виконані з пластику, наприклад прес-волокніта, причому вставки розташовані на стороні, протилежній робочій стороні футерівки, між заглибленнями, а герметичні оболонки проходять скрізь вставки у зоні максимального напруження.

1.4. Висновки по розділу.

Ця робота присвячена вибору, розрахунку та конструюванню гумових футерувальних елементів для барабана млина самоподрібнення ММС-70-23.

Ключовими аспектами є:

Здатність футерувальних елементів працювати в умовах підвищених ударних навантажень.

- Інтенсифікація переміщення технологічного завантаження.
- Технологічність у виготовленні.
- Простота конструктивного виконання.
- Надійність в експлуатації.

Ці характеристики футерувальних елементів сприяють підвищенню технологічних та техніко-економічних показників млинів та відповідають сучасним вимогам промисловості будівельних матеріалів.

Для вирішення цієї проблеми необхідно застосувати комплексний підхід, який передбачає: аналіз існуючих теоретичних методик, що дозволяють оцінити вплив внутрішньомлинового завантаження на робочу поверхню млина, узагальнення та класифікацію цих теоретичних підходів з метою систематизації наявних знань, уточнення та деталізацію вже відомих теоретичних методик для підвищення їх точності та достовірності, проведення аналітичних досліджень із застосуванням методів механіки твердого тіла для поглибленого вивчення закономірностей взаємодії внутрішньомлиного завантаження та робочої поверхні.

Основним результатом цього дослідження є розробка ефективної гумової футерівки, розроблена для млина самоподрібнення ММС-70-23.

2.Дослідницький розділ

2.1.Дослідження механіки молотного середовища млина самоподрібнення

Млину самоподрібнення властивий водоспадний режим роботи, при якому вся траєкторія руху подрібнювального матеріалу у будь-якому шарі поділяється на дві ділянки (рисунок 2.1): колова траєкторія, коли кусок матеріалу проходить по колу через точки A_1 - A_2 - A_3 - A_4 - A_5 , і криволінійна параболічна, яка утворюється під час падіння куска з точки A_5 у точку A_1 [1,2,3].

Положення кулі на коловій траєкторії визначається кутом відриву α , який утворюється радіусом барабана млина, який проходить через центр куска матеріалу, з вертикальним діаметром барабану.

Улюбій точці колової траєкторії радіуса R кусок знаходиться під дією сили тяжіння G (вага куска) і відцентрової сили C .

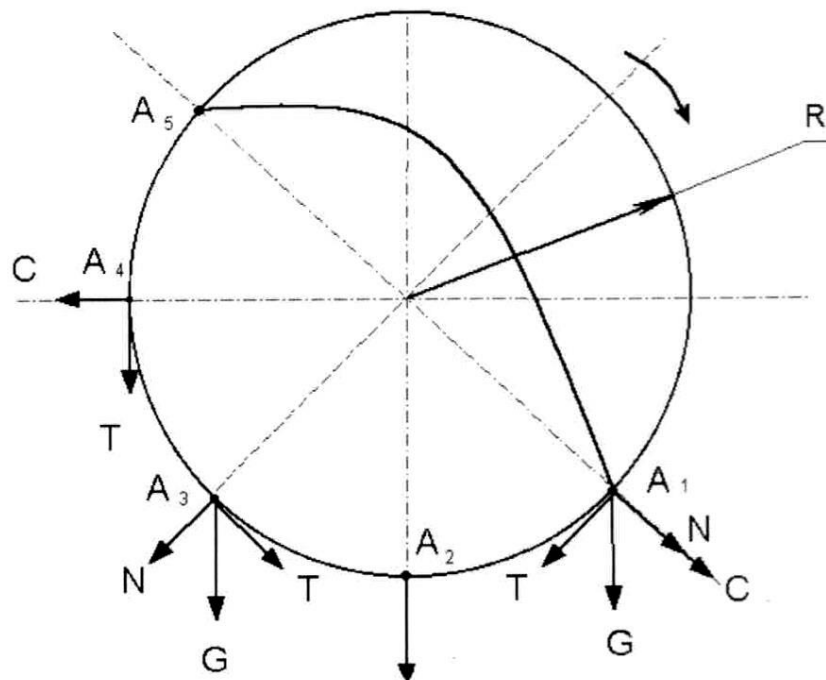


Рисунок 2.1 – Траєкторія руху куска при водоспадному режимі роботи млина самоподрібнення і сили, які діють на кусок матеріалу.

Силу тяжіння G можна розкласти на складові: радіальну $N = G \cdot \cos\alpha$ і тангенціальну $T = G \cdot \sin\alpha$.

При постійній кутовій швидкості обертання барабану відцентрова сила C зберігає постійну величину на усіх ділянках колової траєкторії і постійний напрямок від вісі млина до периферії.

Матеріал захоплюється у рух по коловій траєкторії силами тертя, які виникають між внутрішньою поверхнею барабану (футерівкою) і прилягаючим до неї зовнішнім шаром матеріалу, прагне обертатися як суцільне тіло разом з барабаном.

Величина сили тертя залежить від коефіцієнту тертя і нормального тиску на внутрішню поверхню барабану, який оказує радіальна складова сили тяжіння N і відцентрові сили C .

Тангенціальні складові сили тяжіння T прагнуть повернути навантаження від матеріалу проти напрямку обертання. Для того, щоб завантажений матеріал не ковзав по футерівці, момент сил тертя відносно осі млина повинен врівноважувати момент тангенціальної складової сил тяжіння відносно тієї ж осі. Найбільший тиск на поверхні барабану матеріал оказує у нижніх квадрантах, де радіальні сили N і C діють у одному напрямку. Тут і виникає найбільше тертя, яке утворює "підпор", який забезпечує обертання завантаженого матеріалу. У верхньому квадранті радіальні сили діють у протилежні сторони, що зменшує тиск, який створюється відцентровою силою C , зменшуючи тим самим і силу тертя.

Коефіцієнт тертя залежить від властивостей матеріалу, що піддається подрібненню, характеру поверхні барабану (футерівки) і щільності пульпи. При низькому коефіцієнті тертя і при малих швидкостях обертання, тиск матеріалу може бути не достатнім і відбудеться сковзання зовнішнього шару по поверхні барабану і одного шару матеріалу по іншому. При завантаженні млина на 40-50 % ковзання кусків значно зменшується.

					ДМС 302 00 00 00 ПЗ	Лист.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата		34

Щоб підняти завантажений матеріал на необхідну висоту, ліфтери, які встановлені на внутрішній поверхні барабану млина самоподрібнення, захвачують і підіймають його на більшу висоту, ніж це можливо у млині без ліфтерів або з дуже зношеними ліфтерами [2,3].

Під дією результуючої, гравітаційної та відцентрової сил, а також ліфтерів куски матеріалу підіймаються у гору до тих пір, поки сила тяжіння не почне переборювати відцентрову.

При досягненні деякої точки колової траєкторії, відбувається врівноваження сил, і кусок матеріалу відриваючись від поверхні барабану, з деякою початковою швидкістю, переходить на параболічну траєкторію, по якій відбувається падіння униз. Крупні куски падають раніше дрібних у зону подрібнення, через більш короткі проміжки часу. Більш дрібні куски підіймаються на більшу висоту і падають у водоспадній зоні [1,2].

Для того, щоб кусок матеріалу відірвався при куті α , повинна виконуватись умова $G \cdot \cos \alpha = C$, або $G \cdot \cos \alpha = (G \cdot \omega^2 \cdot R) / g$, і значення кута відриву визначиться:

$$\cos \alpha = \frac{\omega^2 \cdot R}{g}, \text{ або } \cos \alpha = \frac{\pi^2 \cdot n^2 \cdot R}{900 \cdot g} \quad (2.1)$$

де α - кут відриву подрібнюючих тіл, рівний куту між вертикальною віссю барабану і радіусом, проведеним через центр куска матеріалу, що відривається, град;

ω - кутова швидкість барабану, C^{-1} ;

n - частота обертання млина, об/хв.;

R - радіус даного шару подрібнюючих тіл, м. Для найнижчого шару визначаємо по виразу:

$$R = R_B - H_\phi - R_K, \quad (2.2)$$

де R_B - внутрішній радіус барабану млина, без футерівки, м;

H_ϕ - товщина футерівки, м;

R_K - радіус куска матеріалу, що розглядається, м.

Розрахуємо кут відриву куска матеріалу, що знаходиться у шарі, який контактує з футерівкою, для випадку, коли у млині самоподрібнення ММС-70-23 використовуються куски радіусом до 450 мм:

$$\cos\alpha = \frac{\pi^2 \cdot n^2 \cdot (R_B - H_\phi - R_K)}{900 \cdot g} = \frac{3,14^2 \cdot 13^2 \cdot (3,5 - 0,16 - 0,225)}{900 \cdot 9,81} = 0,588.$$

а звідси $\alpha = 53,95^\circ$.

Для визначення дійсної відносної швидкості обертання млина ψ , скористаємося формулою [2]:

$$\psi = \sqrt{\cos\alpha}, \quad (2.3)$$

підставляючи значення отримуємо:

$$\psi = \sqrt{\cos 53,95} = 0,767.$$

Подрібнююче тіло, після відриву від футерівки барабану або від зовнішнього, по відношенню до даного шару тіла, рухається по параболічній траєкторії з початковою швидкістю V , рівній її коловій швидкості обертання (рисунк 2.2) [1,2,8].

Початкова швидкість V визначається:

$$V = \sqrt{R \cdot g \cdot \cos\alpha} = \sqrt{3,115 \cdot 9,81 \cdot 0,588} = 4,24 \text{ м/с}, \quad (2.4)$$

В системі координат $X_0A Y_0$ поточні координати параболи будуть визначатися по формулам:

$$x = V \cdot t \cdot \cos\alpha, \quad (2.5)$$

$$y = V \cdot t \cdot \sin\alpha - \frac{gt^2}{2}, \quad (2.6)$$

де t – час від початку польоту тіла, с.

$$t = \frac{x}{V \cdot \cos\alpha}, \quad (2.7)$$

Підставляючи значення t з виразу (2.6) у рівняння (2.5), отримуємо рівняння параболи:

$$y = x \cdot \operatorname{tg} \alpha - \frac{x^2}{2R \cos^3 \alpha}, \quad (2.8)$$

Положення тіла у момент переходу з колової траєкторії на параболічну визначається рухом α . Положення точки падіння В тіла визначається координатами X_B і Y_B відносно координат $X_0 A Y_0$.

Так як точка В знаходиться на перетині параболи і кола, то для знаходження її координат X_B і Y_B необхідно разом вирішити рівняння параболи (3.8) і кола (3.9).

Рівняння кола з початком координат у центрі барабану точки О:

$$X^2 + Y^2 = R^2, \quad (2.9)$$

Рівняння кола у системі координат $X_0 A Y_0$:

$$(X - R \cdot \sin \alpha)^2 + (Y - R \cdot \cos \alpha)^2 = R^2, \quad (2.10)$$

Після перетворення рівняння (3.10) прийме вигляд:

$$X^2 + Y^2 - 2R \cdot X \cdot \sin \alpha + 2R \cdot Y \cdot \cos \alpha = 0, \quad (2.11)$$

Вирішуючи сумісно рівняння (2.9) і (2.11), визначаємо координати точки В:

$$X_B = 4R \cdot \sin \alpha \cdot \cos^2 \alpha, \quad (2.12)$$

$$Y_B = -4R \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha, \quad (2.13)$$

Координати найвищої точки параболи т. D можна визначити, прирівнюючи першу похідну рівняння (2.8) до нуля:

$$Y' = \operatorname{tg} \alpha - \frac{2X_D}{2R \cos^3 \alpha}, \quad (2.14)$$

З цього рівняння:

$$Y_D = R \cdot \sin \alpha \cdot \cos^2 \alpha, \quad (2.15)$$

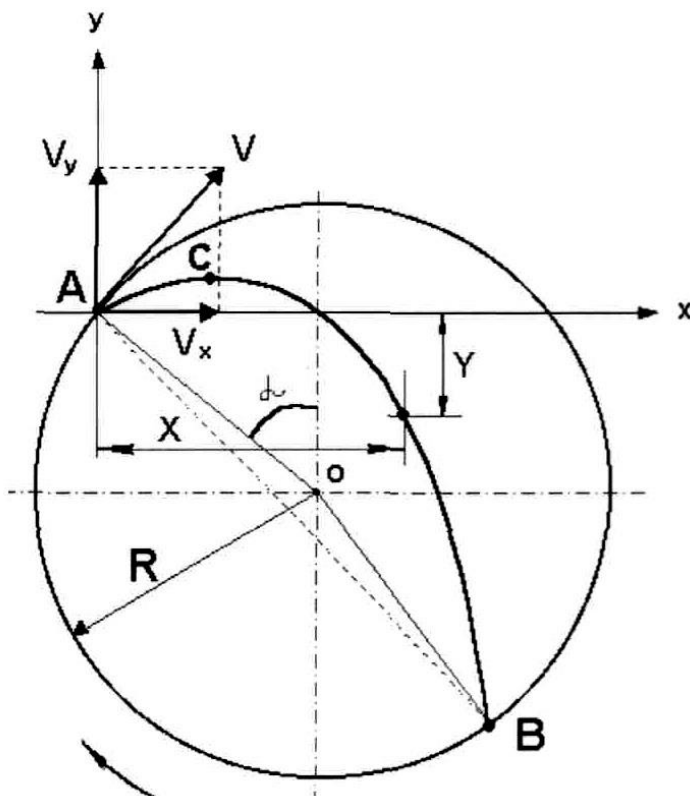


Рисунок 2.2 – Визначення траєкторії падіння подрібнюючого тіла.

Підставляючи значення X_D в рівняння (2.8) отримуємо:

$$Y_D = R \cdot \sin \alpha \cdot \cos^2 \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha - \frac{R^2 \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos^4 \alpha}{2R \cdot \cos^3 \alpha} = 0,5R \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha, \quad (2.16)$$

Для визначення будь-якої довільної точки параболи, необхідно сумісно вирішити рівняння (2.5) і (2.6), попередньо визначивши час падіння куска по виразу (2.7). Для знаходження координат: точки відриву, найвищої точки параболи, точки падіння куска і інших точок параболи, складено програму на мові Турбо Паскаль. По отриманим точкам побудована траєкторія падіння подрібнюючого куска.

Геометричне місце точок відриву кусків матеріалу, що знаходяться у різних концентричних шарах завантаження, починаючи з точки А, якій відповідає кут α , і закінчуючи точкою A_1 з кутом відриву α_1 , представляються кривою AA_1O (рисунок 2.3).

Для усіх точок цієї кривої буде дійсним рівняння (2.8), яке можна переписати у наступному вигляді:

$$\frac{R}{\cos \alpha} = \frac{900 \cdot g}{\pi^2 \cdot n^2}, \quad (2.16)$$

Для даного млина, який обертається з частотою n , права частина рівняння (2.16) є сталою величиною:

$$\frac{900 \cdot g}{\pi^2 \cdot n^2} = 2 \cdot \rho. \quad (2.17)$$

Вводячи параметр ρ у рівняння (3.17), отримуємо:

$$R = 2 \cdot \rho \cdot \cos \alpha. \quad (2.18)$$

Вираз (2.18) є рівнянням кола, віднесеним до полярної системи координат. Відповідно крива AA_1O є дуга додаткового кола радіуса ρ , що визначається по формулі (2.19). Центр цього кола F лежить на вісі Y на відстані p від центру поперечного перерізу барабану.

$$\rho = \frac{R}{2 \cdot \cos \alpha} = \frac{3,115}{2 \cdot \cos 53,95} = 2,646 \text{ м}. \quad (2.19)$$

Тупий кут FOB , утворений радіусом OB з вертикаллю FO називається кут падіння. Він може бути виражений через кут відриву куска матеріалу $\angle FOB = 3\alpha$, тобто кут падіння дорівнює потрійному куту відриву $\angle FOB = 3 \cdot 53,95 = 161,9^\circ$.

Центральний кут AOB (який складається з кутів AOF і FOB), що відповідає параболі AOB , носить назву кута польоту (рисунок 2.3). Він дорівнює сумі кутів AOF і FOB , тому повний кут польоту у чотири рази більше кута відриву і складає: $\angle AOB = 4 \cdot 53,95^\circ = 215,8^\circ$.

Для побудови епюри заповнення млина самоподрібнення необхідно визначити окрім зовнішнього кута відриву α , ще й кут відриву внутрішнього шару матеріалу α_1 .

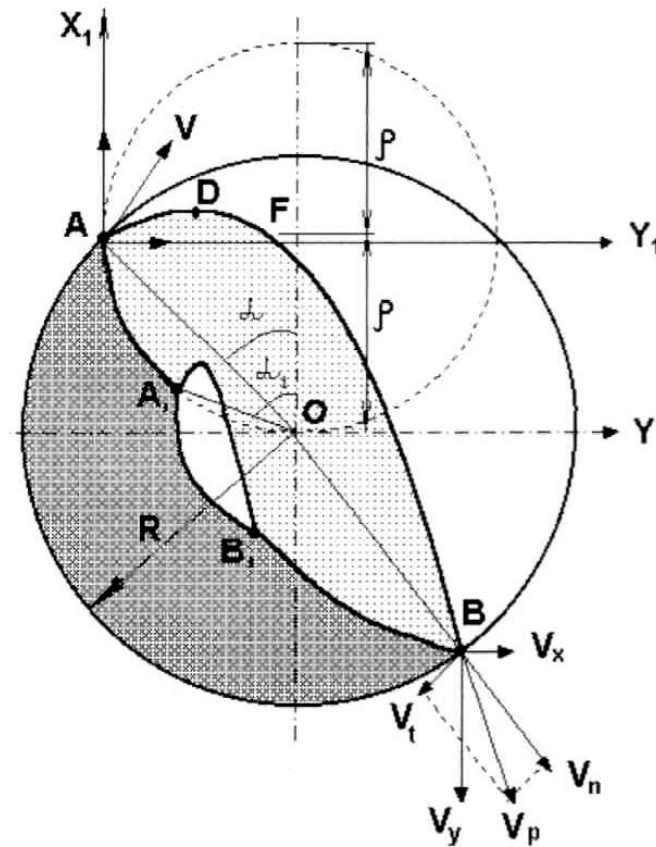


Рисунок 2.3. – Епюра заповнення млина подрібнюючими тілами.

Згідно [16], ці кути пов'язуються співвідношенням:

$$K = \frac{\cos \alpha_1}{\cos \alpha} = \frac{R_1}{R}, \quad (3.20)$$

де K – відносний радіус, який визначається по [17, таблиця 162] в залежності від значень відносної швидкості ψ і коефіцієнту заповнення φ . Для нашого випадку, коли $\psi = 76,7\%$ і $\varphi = 45\%$, використовуючи інтерполяцію, визначаємо значення відносного радіусу $K = 0,362$.

R – радіус внутрішнього шару подрібнюючих тіл у барабані, м.

Тоді значення внутрішнього кута відриву:

$$\cos \alpha_1 = K \cdot \cos \alpha = 0,362 \cdot 0,588 = 0,213,$$

звідси значення кута $\alpha_1 = 77^\circ$.

Аналогічним чином визначаємо значення радіусу внутрішнього шару:

$$R_1 = K \cdot R = 0,362 \cdot 3,115 = 1,128 \text{ м.}$$

По отриманим даним будуємо епюру заповнення млина самоподрібнення кусками матеріалу, позначаємо відповідні кути і точки.

З схем (рисунок 2.2 і 2.3) нас найбільш цікавить момент дотику падаючого куса матеріалу до футерівки внутрішньої поверхні барабану, тобто точка В. Розглянемо детальніше.

Швидкість V , з якою кусок сходить з колової траєкторії, розкладемо на складові (рисунок 2.3): $V \cdot \cos \alpha$ - горизонтальну і $V \cdot \sin \alpha$ - вертикальну.

Швидкість $V \cdot \cos \alpha$ - зберігає свою величину у всіх точках параболи і являє собою горизонтальну складову швидкості руху куса по параболі. Отже, горизонтальна складова V_x швидкості куса у точці В також дорівнює:

$$V_x = V \cdot \cos \alpha, \quad (2.21)$$

Вертикальна складова швидкості руху шару по параболі дорівнює:

$$V_y = V \cdot \sin \alpha - g \cdot t, \quad (2.22)$$

Для переходу куса по параболі з точки А у точку В необхідний час, який визначається по рівнянню (3.16). Підставивши дане рівняння у вираз (69), отримаємо величину вертикальної складової швидкості куса в точці В:

$$V_y = V \cdot \sin \alpha - \frac{4 \cdot R \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha}{V}, \quad (2.23)$$

або, враховуючи що $V^2 = R \cdot g \cdot \cos \alpha$, маємо:

$$V_y = V \cdot \sin \alpha - 4 \cdot V \cdot \sin \alpha = -3 \cdot V \cdot \sin \alpha, \quad (2.24)$$

Тоді швидкість V_p у точці В падіння куса дорівнює:

$$\begin{aligned} V_p &= \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{V^2 \cdot \cos^2 \alpha + 9 \cdot V^2 \cdot \sin^2 \alpha} = \\ &= V \cdot \sqrt{9 - 8 \cdot \cos^2 \alpha} = V \cdot \sqrt{1 + 8 \cdot \sin^2 \alpha} \end{aligned}, \quad (2.25)$$

При водоспадному режимі роботи млина самоподрібнення подрібнення матеріалу відбувається переважно за рахунок кінетичної енергії удару падаючих кусків. При падінні куска будь якого шару на внутрішню поверхню барабану млина, лінія удару співпадає з напрямком радіусу барабану ОВ, проведеного через точку дотику В (рисунок 2.3). Напрямок кінцевої швидкості куска у момент удару у загальному випадку складає кут з лінією удару і кусок виконує косий удар.

Розкладемо швидкість V_p на дві складові: V_n - радіальну, направлену по лінії удару і V_t - тангенціальну, що має напрямок перпендикулярний до лінії удару, по дотичній до колової траєкторії. Кут між напрямком радіальної складової V_n і горизонтальної V_x рівний: $3\alpha - \pi/2$.

Проектуючи складові швидкості V_p - горизонтальну V_x і вертикальну V_y на напрямок радіальної складової V_n отримуємо:

$$V_n = V_x \cdot \cos\left(3\alpha - \frac{\pi}{2}\right) + V_y \cdot \sin\left(3\alpha - \frac{\pi}{2}\right), \quad (2.26)$$

Замінюючи V_x по рівнянню (2.24) і V_y по рівнянню (2.26), отримуємо:

$$V_n = V \cdot \cos\alpha \cdot \sin 3\alpha - 3 \cdot V \cdot \sin\alpha \cdot \cos 3\alpha. \quad (2.27)$$

Так як:

$$\sin 3\alpha = 3 \cdot \sin\alpha - 4 \cdot \sin^3\alpha, \quad (2.28)$$

$$\cos 3\alpha = 4 \cdot \cos^3\alpha - 3 \cdot \cos\alpha, \quad (2.29)$$

то після відповідної підстановки, тригонометричних перетворень і скорочень отримаємо готову формулу, для визначення V_n - радіальної складової швидкості V_p :

$$V_n = 8 \cdot V \cdot \sin^3\alpha \cdot \cos\alpha. \quad (2.30)$$

Кут між напрямком горизонтальної складової V_x і тангенціальною V_t рівний 3α . Проектуючи складові швидкості V_p - горизонтальну V_x і вертикальну V_y на напрямок тангенціальної складової V_t , отримаємо:

$$V_t = V_x \cdot \cos 3\alpha + V_y \cdot \sin 3\alpha. \quad (2.31)$$

Після відповідних підстановок по рівнянням (2.25), (2.31), перетворень і скорочень отримаємо:

$$V_t = V + 4 \cdot V \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos 2\alpha, \quad (2.32)$$

Для визначення напрямку абсолютної швидкості V_p визначимо кут θ :

$$\cos \theta = \frac{V_t}{V_p} = \frac{V + 4 \cdot V \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos 2\alpha}{V \cdot \sqrt{1 + 8 \cdot \sin^2 \alpha}} = \frac{1 + 4 \cdot \sin^2 \alpha - 8 \cdot \sin^4 \alpha}{\sqrt{1 + 8 \cdot \sin^2 \alpha}}, \quad (2.33)$$

Подрібнення матеріалу ударом куска відбувається тільки за рахунок прямого удару, обумовленого швидкістю V_n , що діє по лінії удару, нормально до поверхні барабану млина. Швидкість V_t , діюча по дотичному напрямку, удару не виконує і сприяє тільки переміщенню куска вздовж колової траєкторії [2].

Отже для подальших розрахунків, необхідно визначити значення швидкості V_n , у точці контакту, швидкості V_p , і значення кута θ , по наведеним раніше формулам (2.25), (2.30) і (2.33):

$$V_p = 4,24 \cdot \sqrt{1 + 8 \cdot \sin^2 53,95^\circ} = 10,58 \text{ м/с},$$

$$V_n = 8 \cdot V \cdot \sin^3 53,95^\circ \cdot \cos 53,95^\circ = 10,54 \text{ м/с},$$

$$\cos \theta = \frac{1 + 4 \cdot \sin^2 53,95^\circ - 8 \cdot \sin^4 53,95^\circ}{\sqrt{1 + 8 \cdot \sin^2 53,95^\circ}} = \frac{0,196}{2,496} = 0,0786.$$

Звідкіля $\angle \theta = 85^\circ$.

Як бачимо з проведених розрахунків швидкості, яка сприяє перпендикулярному втисканню куска матеріалу, у точці В контакту з футерівкою циліндричної частини барабану складає 10,54 м/с.

Також для того щоб визначити усі точки траєкторії падіння куска була складена таблиця Microsoft Excel, що дозволяє визначити криву руху тіла не тільки для даного варіанту, а і для інших ітерацій у випадку зміни вихідних даних. Це дозволить скоротити час розрахунків і побачити залежність координат падіння матеріалу від вихідних даних і зробити обґрунтовані висновки.

2.2. Обґрунтування геометричних розмірів гумових футерівок млинів самоподрібнення.

Основною метою розрахунку гумових футерувальних елементів є визначення навантажень і деформацій, що виникають внаслідок їх взаємодії з подрібнюючими тілами всередині млина, а також вибір таких параметрів футерівки, які забезпечуватимуть її високу механічну міцність та надійність в експлуатації.

Геометричні розміри гумових елементів приймаються з умови взаємозамінності з металевими тобто загальна товщина гумової футерівки не повинна перевищувати 160 мм [3,4,6], а довжина і ширина мають розміри 765 мм і 420 мм відповідно.

Ми зробимо наступні припущення, щоб спростити процес взаємодії та побудувати фізичну модель: удар подрібнюючого тіла масою m_1 та радіусом R по поверхні футерівки будемо вважати прямим, що означає, що ми враховуємо лише вертикальну складову швидкості падіння кусків руди, а удар куска будемо вважати центральним. У моделі подрібнення матеріалу приймемо ще два загальноприйняті припущення. По-перше, замінимо різноманітні форми кусків матеріалу на кулі, для спрощення аналізу. По-друге, вважатимемо властивості каменистого матеріалу ізотропними.

Рисунок 2.4 демонструє динамічну модель взаємодії між подрібнюючим тілом та гумовою футерівкою.

Для дослідження явища удару пружних тіл складемо диференціальне рівняння, враховуючи лише сили взаємодії між тілами та знехтувавши дією усіх інших сил.

На рисунку 4.4 показані дві системи координат, до яких прив'язані куля і гумова плита.

Ми будемо вимірювати координати центрів ваги тіл Z_1 (для кулі) і Z_2 (для гумової плити) від стану, що відповідає моменту першого контакту. Також ми пов'яжемо початок відліку часу з цим моментом.

Вираз для визначення зближення центрів ваги тіл у процесі удару буде виглядати наступним чином:

$$Z = Z_1 - Z_2, \quad (2.34)$$

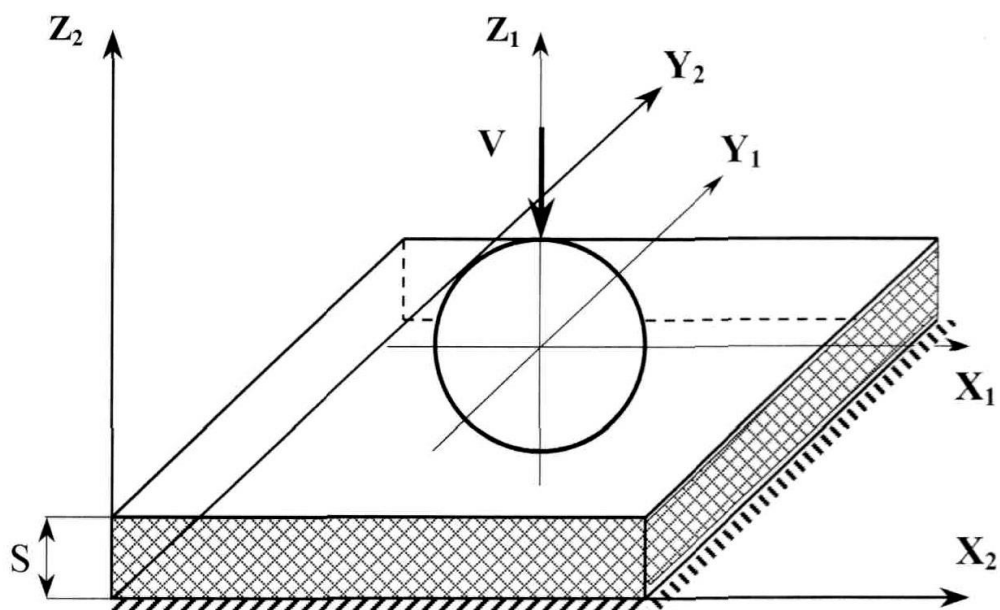


Рисунок 2.5 – описує динаміку ударної взаємодії між подрібнюючим тілом та гумовою футерувальною плитою.

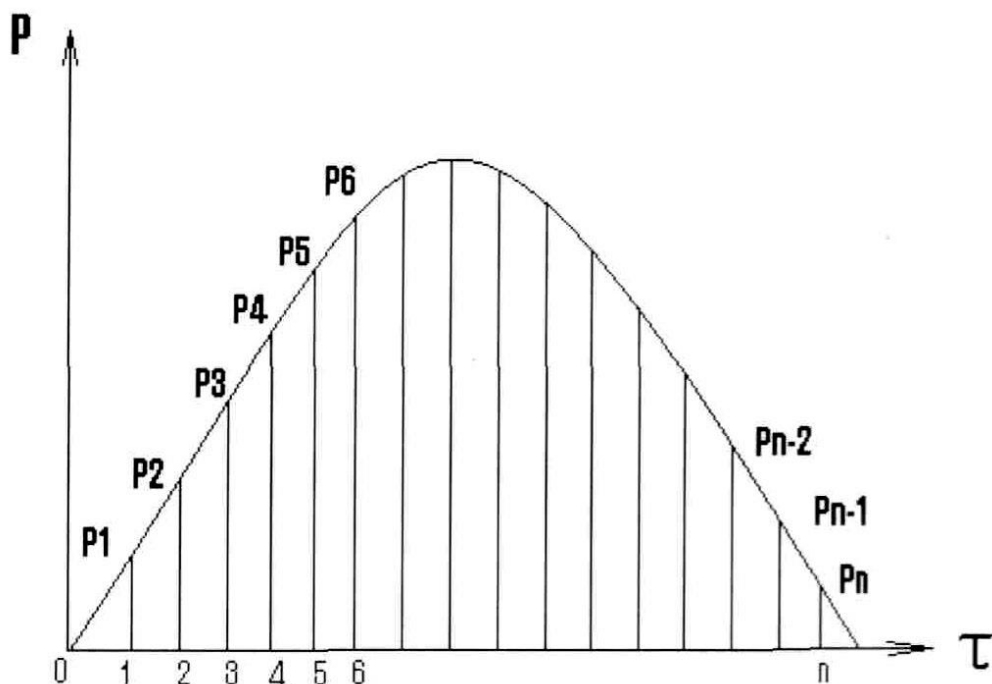


Рисунок 2.6 – Взаємозв'язок між контактною силою і часом удару.

Можна записати диференційні рівняння руху обох тіл вздовж загальної нормалі наступним чином:

- рівняння переміщення частинки матеріалу:

$$m_1 \frac{d^2 Z_1}{dt^2} = -P(t), \quad (2.35)$$

- рівняння ходу футерувальної плити:

$$m_2 \frac{d^2 Z_2}{dt^2} = -P(t), \quad (2.36)$$

де m_1 і m_2 – маса куска матеріалу і футерувальної плити відповідно;
 $P(t)$ – сила контактної взаємодії.

Шляхом двократного диференціювання рівняння (2.35) за часом, можна отримати вирази для прискорень Z_1 та Z_2 . Далі, підставивши ці вирази у саме рівняння (2.36), стає можливим виключення координат Z_1 і Z_2 з цього рівняння.

$$\frac{d^2 Z}{dt^2} = \frac{d^2 Z_1}{dt^2} - \frac{d^2 Z_2}{dt^2}, \quad (2.37)$$

$$\frac{d^2 Z_1}{dt^2} = \frac{Pt}{m_1}, \quad (2.38)$$

$$\frac{d^2 Z_2}{dt^2} = \frac{Pt}{m_2}, \quad (2.39)$$

Підставляючи вирази (2.36) і (2.37) у рівняння (2.38), отримуємо наступну формулу:

$$\frac{d^2 Z}{dt^2} = -\frac{P(t)}{m_1} - \frac{P(t)}{m_2}, \quad (2.40)$$

$$\frac{d^2 Z}{dt^2} = -\left(\frac{(P(t) \cdot m_2 + P(t) \cdot m_1)}{m_1 \cdot m_2} \right), \quad (2.41)$$

$$\frac{d^2 Z}{dt^2} = -P(t) \cdot \left(\frac{m_2 + m_1}{m_1 \cdot m_2} \right), \quad (2.42)$$

$$\text{Тут } \left(\frac{m_2 + m_1}{m_1 \cdot m_2} \right) = M \text{ – приведена маса системи.}$$

Враховуючи, що футерувальна плита міцно закріплена до поверхні барабана млина, при аналізі процесів взаємодії можна розглядати її як тіло з настільки великою масою, що нею можна знехтувати. Таким чином, при розгляді процесу удару, приведена маса тіл, що беруть участь у взаємодії, буде еквівалентною масі падаючого подрібнюючого тіла.

$$\lim M = \lim_{m_2 \rightarrow \infty} \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} = m_1, \quad (2.43)$$

За таких умов, вираз (13) може бути представлений в наступній формі:

$$\frac{d^2 Z}{dt^2} = -\frac{P(t)}{m_1}, \quad (2.44)$$

Оскільки ліва частина отриманого виразу відображає прискорення зближення центрів мас взаємодіючих тіл, то її можна представити

наступним чином:

$$\frac{d^2 Z}{dt^2} = \frac{dV}{dt}, \quad (2.45)$$

Тоді:

$$\frac{dV}{dt} = -\frac{P(t)}{m_1}, \quad (2.46)$$

Даний вираз (17) перепишемо у наступному вигляді:

$$m_1 \cdot dV = -P(t) \cdot dt, \quad (2.47)$$

Інтегруючи отримане рівняння та застосовуючи квадратуру правої частини від t_0 до t , ми отримуємо наступний результат:

$$m_1 \cdot V = -\int_{t_0}^t P(t) dt + C_1, \quad (2.48)$$

Вважаючи у цій умові $t=t_0$ і враховуючи початкові умови, $Z(t_0)=Z_0$ і $V(t_0)=V_0$, отримуємо:

$$C_1 = m_1 \cdot V_0, \quad (2.49)$$

і відповідно:

$$m_1 \cdot V = - \int_{t_0}^t P(t) dt + m_1 \cdot V_0, \quad (2.50)$$

$$m_1 \cdot V - m_1 \cdot V_0 = - \int_{t_0}^t P(t) dt, \quad (2.51)$$

$$-V_0 = - \frac{1}{m_1} \int_{t_0}^t P(t) dt, \quad (2.52)$$

Перепишемо вираз (2.52) у вигляді:

$$\frac{dZ}{dt} = V = V_0 - \frac{1}{m_1} \int_{t_0}^t P(t) dt, \quad (2.53)$$

і інтегруючи його в межах від t_0 до t , маємо:

$$Z = V_0 \cdot t - \frac{1}{m_1} \int_{t_0}^t \left[\int_{t_0}^t P(t) dt \right] dt + C_2, \quad (2.54)$$

Використовуючи початкові умови, ми можемо визначити значення C_2 .

$$C_2 = Z_0 - V_0 \cdot t_0, \quad (2.55)$$

Замінюючи знайдений вираз для прискорення зближення у рівнянні (2.54), можна розрахувати величину переміщення падаючого куска матеріалу з масою m_1 :

$$Z = Z_0 + V_0(t - t_0) - \frac{1}{m_1} \int_{t_0}^t \left[\int_{t_0}^t P(t) dt \right] dt, \quad (2.56)$$

Враховуючи, що нас більше цікавить переміщення куска саме від моменту початку його взаємодії з футерувальною плитою, можна прийняти $Z_0=0$ та $t_0=0$, що дозволяє спростити вихідний вираз:

$$Z = V_0 \cdot t - \frac{1}{m_1} \int_{t_0}^t dt_1 \left[\int_{t_0}^t P(t_1) dt \right] dt, \quad (2.57)$$

Змінна t_1 використовується для того, щоб розглядати час як параметр, який у процесі інтегрування набуває значень від 0 до t_1 . При цьому, $P(t_1)$ є величиною контактної сили, що діє в момент часу t_1 .

Окрім того, переміщення куска при його проникненні у шар гумового покриття складається з величини його втискання в гумову плиту $\varepsilon(t)$. Для розрахунку цієї величини втискання ми будемо використовувати формулу (2.58), що була висунута Герцом.

Для вирішення поставленої задачі ми будемо використовувати [13,14] як джерельну базу. При цьому, позначення певних значень, що застосовувались в цих роботах, замінюватимуться на позначення, прийняті в межах даного дослідження.

$$P(t) = k \cdot \varepsilon(t)^{\frac{3}{2}}, \quad (2.59)$$

У [13] представлено значення параметрів удару для характерних випадків пружної взаємодії двох тіл, що відповідають закономірності (2.59). В контексті цього дослідження, ми зосередимось на розгляді ситуації удару кулі радіусом R по масивній плоскій площині.

Тоді значення коефіцієнту k з [13] визначається з виразу:

$$k = \frac{4}{3} \pi \cdot \sqrt{R} \cdot \frac{1}{\delta_1 + \delta_2}, \quad (2.60)$$

де у даній формулі:

R – радіус кулі, м;

δ – додаткове подовження; коефіцієнти 1 і 2 - Відповідно, для ситуації удару кулі, що падає, по масивній плоскій площині, необхідні параметри розраховуються за допомогою наступних формул:

$$\delta_1 = \frac{1 - \mu_1^2}{\pi \cdot E_1}, \quad \delta_2 = \frac{1 - \mu_2^2}{\pi \cdot E_2}, \quad (2.61)$$

де μ_1 – коефіцієнт Пуассона, що відображає властивості матеріалу, з якого зроблена куля;

μ_2 – коефіцієнт Пуассона для матеріалу плити (футерівки);

E_1 – модуль пружності для матеріалу кулі, Па;

E_2 – модуль пружності для матеріалу плити (футерівки), Па;

Числове значення модуля пружності можна розрахувати за допомогою формули:

$$E = 2 \cdot G(1 + \mu), \quad (2.62)$$

тут G – модуль зсуву матеріалу, Па.

Оскільки ми хочемо розрахувати величину зсуву ділянки матеріалу, рівняння (2.59) буде зручніше представити в такому вигляді:

$$\varepsilon(t) = \left(\frac{P(t)}{k} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (2.63)$$

Альтернативно можна підставити формулу для коефіцієнту k у рівняння (2.63) і дістати вираз:

$$\varepsilon(t) = \left[\frac{P(t) \cdot 3 \cdot \left(\frac{1 - \mu_1^2}{\pi \cdot E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{\pi \cdot E_2} \right)}{4 \cdot \pi \cdot \sqrt{R}} \right]^{\frac{2}{3}}, \quad (2.64)$$

Беручи до уваги спільність лівих частин рівнянь (2.60) і (2.64), ми можемо поставити знак рівності між їхніми правими частинами.

Отже, формулу для обчислення переміщення центру мас фрагмента матеріалу можна записати в такому вигляді:

$$V_0 \cdot t - \frac{1}{m} \int_{t_0}^t dt_1 \int_{t_0}^t P(t_1) dt_1 = \left[\frac{3}{4\pi} \frac{P(t_1)}{\sqrt{R}} \cdot \left(\frac{1 - \mu_1^2}{\pi \cdot E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{\pi \cdot E_2} \right) \right]^{\frac{2}{3}}, \quad (2.65)$$

Розглянемо ліву частину рівняння (2.65), яка рішається методом численного інтегрування [5].

Для інтегрування розбиваємо період удару кулі по футерівці на $2S$ інтервалів з величиною τ .

Вважаємо, що у кожному інтервалі часу $(q-1)\tau < t < q\tau$ (рисунок 2.5) сила $P(t_1)$ змінюється по лінійному закону:

$$P(t_1) = P_q - (P_q - P_{q-1}) \cdot \left(q - \frac{t}{\tau} \right), \quad (2.66)$$

Відповідно: $P(0) = 0$; $P'(t) = \text{const}$; $P'(\tau) = P_1/\tau$; $P'(2\tau) = (P_2 - P_1)/\tau$;

$P'(q\tau) = (P_q - P_{q-1})/\tau$; $P''(t) = 0$.

Де $q\tau$ – зручно приймати як деяку малу частку основного періоду коливання плити.

Виконавши інтегрування по частинам в інтервалі $(q-1)\tau < t < q\tau$, при умові, що $P(t_1)$ змінюється по (2.66), отримаємо вираз для переміщення центра ваги падаючого куса при контакті з футерівкою у вигляді:

$$Z_m(q\tau) = V_0 q\tau - \frac{\tau^2}{m_1} \left[-\frac{P_1}{6} [(q-1)^3 - q^3] - \frac{P_2 - P_1}{6} [(q-2)^3 - (q-1)^3] - \frac{P_{q-2} - P_{q-1}}{6} [(q - (q-1))^3 - (q - (q-2))^3] - \frac{P_{q-1} - P_q}{6} \cdot (-1) \right], \quad (2.67)$$

Розрахунок проводимо наступним чином. Задаємося у перший момент удару значенням ε , (Наприклад: $\varepsilon = V_0 \cdot \tau$) по заданому переміщенню знаходимо значення контактної сили P_1 .

Потім крок за кроком визначаємо переміщення P_2, P_3 , по рівнянню (3.64), знаходимо $\varepsilon = Z_m(q\tau)$.

Розрахунок ведемо до такого значення $t = q\tau$ поки сила $P(q\tau)$ не перетвориться у нуль, тобто до моменту відділення падаючого куса від футерувальної плити. Розпишемо детальніше принцип розрахунку.

Для чисельного вирішення рівняння (2.67) складемо алгоритм розрахунку.

Для першого інтервалу часу.

Час контакту $t_1 = \tau$, зусилля $P_0 = 0$, глибина втискання куса у гумову плиту $\varepsilon = V_0 \tau$, при цьому контактне зусилля визначається за формулою (2.68):

$$P_1(t) = k \cdot \varepsilon^{\frac{3}{2}}, \quad (2.68)$$

Значення коефіцієнту k визначаємо по формулі (2.60).

Для другого інтервалу часу.

Занурення кулі визначиться:

$$\varepsilon_2 = V_0 \cdot 2\tau - \frac{\tau^2}{m_1} \left\{ -\frac{P_1 - P_0}{6} [(2-1)^3 - 2^3] \right\}, \quad (2.69)$$

Контактне зусилля:

$$P_2 = k \cdot \varepsilon_2^{\frac{3}{2}}, \quad (2.70)$$

Для третього інтервалу часу.

Занурення кулі:

$$\varepsilon_n = V_0 \cdot 3\tau - \frac{\tau^2}{m_1} \left\{ -\frac{P_1}{6} [(3-1)^3 - 3^3] - \frac{P_2 - P_1}{6} [(3-2)^3 - (3-1)^3] \right\}, \quad (2.71)$$

Контактне зусилля:

$$P_3 = k \cdot \varepsilon_3^{\frac{3}{2}}, \quad (2.72)$$

Для n -го інтервалу часу:

$$t_n = n \cdot t, \quad (2.73)$$

Занурення кулі у гумову плиту:

$$\varepsilon_n = V_0 \cdot n \cdot \tau - \frac{\tau^2}{m_1} \sum \left(-\frac{P_{(i)} - P_{(i-1)}}{6} [(n-i)^3 - (n-i+1)^3] \right), \quad (2.74)$$

Контактне зусилля:

$$P_n = k \cdot \varepsilon_n^{\frac{3}{2}}, \quad (2.75)$$

Розрахунок ведеться до відділення кулі від поверхні футерівки. Обчислення за викладеною теорією є вельми ресурсозатратними, до того ж для забезпечення достовірності результатів необхідно розділяти період коливального руху на значну кількість проміжків. У зв'язку з цим доцільно

використовувати можливості електронних обчислювальних пристроїв. Програма Microsoft Excel стане незамінним помічником для цієї задачі і допоможе виконати розрахунки для великої кількості інтервалів. Для виконання розрахунків були задані такі початкові умови.

У якості матеріалу футерівки прийнята гума марки 2529 з наступними фізико-механічними характеристиками [15] (таблиця 2): $G_p=2,1$ МПа; $\nu_p = 0,5$; $\rho=1500$ кг/м³. $G_m=16000$ МПа, $\nu_m = 0,2$, $\rho=2500$ кг/м³.

- Обставини перебігу процесу руйнування відповідають режимам функціонування млина самоподрібнювального типу ММС-70-23 в разі подачі на дроблення кусків матеріалу максимальних розмірів до 450 мм. $R = 0,225$ м.
- Аналіз механічних процесів у середовищі подрібнення показав, що швидкість зіткнення кусків матеріалу з футерівкою млина в момент їх падіння дорівнює $V_0 = 10,54$ м/с.

Мінімально необхідна товщина футерівки, здатна сприймати удари без пошкодження [8] $S_{\min}$ визначається [3,4]

$$S_{\min} = \frac{\varepsilon}{[\varepsilon]}, \quad (2.76)$$

де ε - максимальне занурення куска матеріалу у гуму, м

$[\varepsilon]$ - допустима відносна деформація стискання, яка не повинна перевищувати 0,3...0,35 [3, 8].

На рисунку 2.6 зображено графічний результат розв'язання виразу (2.65), яке описує взаємодію між фрагментом матеріалу та гумовою плитою. Після проведення обчислень за складеною програмою ми приходимо до висновку, що для того, щоб футерувальна плита зберігала цілісність під впливом заданих ударних навантажень, її товщина має перевищувати 0,124м. Беручи до уваги також товщину гуми, яка піддається гідроабразивному

зносу, загальна товщина гумової футерувальної плити складатиме 0,16 метра, що відповідає вказаному у джерелі [3] і відображає реальні умови.

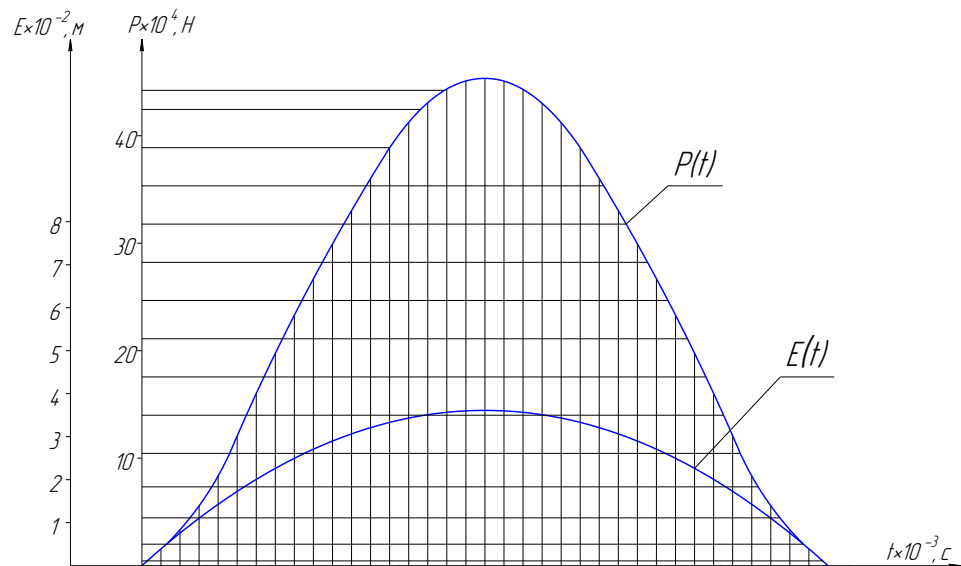


Рисунок 2.7.— Графічне представлення вирішення рівняння, що описує взаємодію між куском матеріалу та гумовою плитою.

Термін експлуатації розрахованої гумової плити можна визначити за використавши відповідну формулу. [3].

$$\theta = \frac{2 \cdot 10^9 \cdot S_{\text{зн}}}{60 \cdot \pi \cdot D_M \cdot n \cdot \delta}, \quad (2.77)$$

де $S_{\text{зн}}$ – запас гумової футерувальної плити на зношення; $S_{\text{зн}} = 0,0364$ м.

Обчислюючи вираз та використовуючи введені значення, ми знаходимо:

$$\theta = \frac{2 \cdot 10^9 \cdot 0,0364}{60 \cdot 3,14 \cdot 7 \cdot 13 \cdot 0,7} = 6058 \text{ годин}.$$



Рис. 2.9 – Графік залежності товщини плити від деформації

Також дивлячись на графік на рис. 2.10 можна зробити висновок що чим більший розмір вхідного матеріалу, що буде розмолочуватись, тим товща має бути футеровка, щоб витримати навантаження та запобігти пошкодженню корпусу млина. Млини, які працюють з високою швидкістю обертання або подрібнюють тверду руду, зазвичай потребують товщої футеровки. В свою чергу під час експлуатації необхідно вчасно замінювати футеровку, щоб запобігти поломкам та забезпечити оптимальну роботу млина.



Рис. 2.10 – Графік залежності товщини футеровки від маси куска матеріалу

З досвіду, металеві бронеплити можуть прослужити протягом 2000 годин. [6]. Тому застосування гумової футерівки у млині самоподрібнення призведе до зниження витрат на експлуатацію за рахунок зменшення потреби у частій заміні оснастки.

2.3. Розробка форми і конфігурації робочої поверхні футерівки для млина самоподрібнення.

У процесі розробки профілів робочих поверхонь футерівок, зазвичай віддають перевагу використанню експериментальних даних через

складність теоретичної оцінки впливу різноманітних факторів на рух подрібнюючого завантаження. Зазвичай при проектуванні футерівок за основу використовують експериментальні дані і встановлюють умови, що відповідають основним вимогам: максимальна стійкість до зношування та оптимальна траєкторія руху розмелюваних тіл, що забезпечують ефективну процедуру редукції матеріалу.

Бажання відповідати наведеним умовам призвело до створення значної кількості профілів футерівок для барабанних млинів. Більшість з цих профілів розроблені на основі аналізу експериментальних даних або шляхом модифікації вже існуючих конструкцій. Форма поверхні футерівки, яка проектується, повинна забезпечувати виходження подрібнюючих тіл з канавок і зміну їх напрямку руху. Оскільки складно змінювати частоту обертання млина, єдиним варіантом є внесення необхідних коригувань у траєкторію руху тіл, що дробляться шляхом створення індивідуального профілю робочій поверхні футерівки.

Д.К. Крюков наголосив [4], що знос футерівки значно збільшується, коли матеріал ковзає по робочій поверхні. Тому, для збільшення довговічності футерівки необхідно мінімізувати ковзання матеріалу по її робочій поверхні або впровадити переміщення матеріалу за допомогою менш зношувального способу, такого як кочення.

Так, дійсно, процес зношування футерівки значно зменшується за умови, коли матеріал скочує з робочих поверхонь плит і ліфтерів. Заміна тертя ковзання на тертя кочення під час руху матеріалу по робочих поверхнях плит і ліфтерів сприяє збільшенню їх терміну служби, оскільки інтенсивність стирання при коченні є меншою порівняно з ковзанням.

Отже, для забезпечення стійкості до зношування і тривалості експлуатації футерівки, необхідно розробити профіль робочої поверхні, який сприяв би відштовхуванню матеріалу при його руху вниз у точці відриву та запобігав ковзанню під час підйому.

Встановлення оптимального профілю футерівки прямо залежить від аналізу впливу навантаження на внутрішню частину барабану [3].

Розглянемо процес роботи млина самоподрібнення. При наявності водоспадного режиму роботи внутрішні межі сегменту завантаження складаються з трьох ділянок $AA_1 A_1B_1 B_1B$, поділимо епюру на три сектори (рисунк 2.11). За змінну приймемо кут ν , який будемо відраховувати з точки M від вертикального радіусу млина. Тоді сектор з номером k буде характеризуватися кутами ν_k і ν_{k-1} . У якості секторів, що будуть розглядатися, приймемо сектори I і II, на які припадає більша частина навантажень і на яких відбувається найбільше ковзання матеріалу. Кожен з цих секторів необхідно розбити на n_k мікро секторів. Причому чим більше буде число n_k , тим точніше буде результат.

Визначимо основні геометричні параметри секторів.

Сектор I ($k=1$). Інтервал зміни кута ν буде характеризуватися виразом:

$$\nu_2 \leq \nu \leq \nu_1. \quad (2.78)$$

Початкове і кінцеве значення кута визначимо:

$$\nu_1 = \frac{\pi}{2} - \alpha \quad \nu_2 = \frac{\pi}{2} - \alpha_1. \quad (2.79)$$

При діленні кута на мікро сектори, внутрішній кут мікро сектора визначиться:

$$\Delta_1 = \frac{\nu_1 - \nu_2}{n_k}, \quad (2.80)$$

Фіксоване значення змінної координати будемо визначати за допомогою кута:

$$N_1 = \nu_1 - 0,5\Delta_1 \quad N_j = N_{j-1} - \Delta_1 \quad j = \overline{2, n_k}, \quad (2.81)$$

Визначення зусиль F полягає на тому факті, що на кожну точку досліджуемого завантаження діє система сил, що збігається у точці M (рисунк 2.11), тоді:

$$F = \frac{\omega^2 \cdot \gamma}{300} \cdot \Delta_k (\rho_1^3 - \rho_2^3), \quad (2.82)$$

де γ – щільність завантаження (насипна), кг/м³;

ω – кутова швидкість обертання барабану, рад/с;

Δ_k – внутрішній кут мікро сектора, рад.

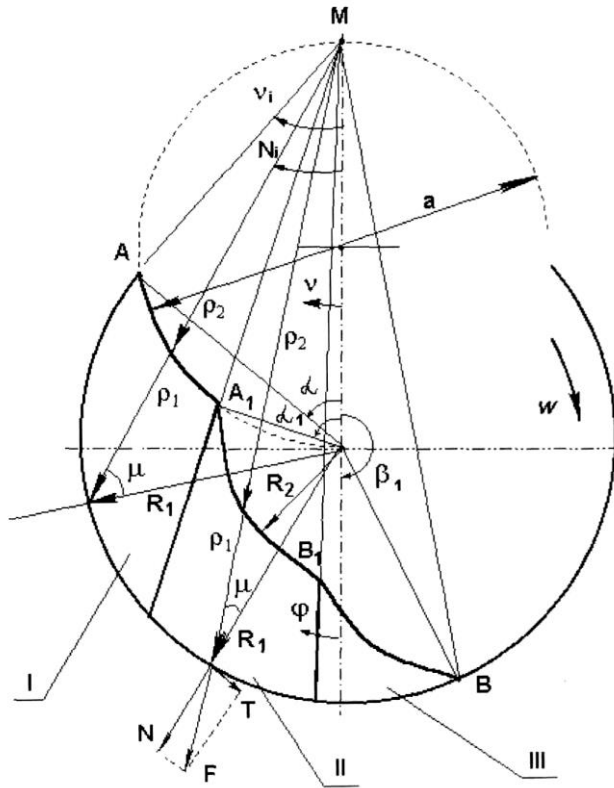


Рисунок 2.11 – Геометричні параметри сегмента завантаження у середині млина.

Основні геометричні параметри задачі, що розглядається, - радіус - вектори ρ_1 і ρ_2 знаходимо по рішенню трикутників (рисунок 2.7):

$$\rho_1 = R_1 \cdot \cos \mu + \alpha \cdot \cos N_i \quad \rho_2 = \alpha \cdot \cos N_i. \quad (3.83)$$

У точці прикладання силу F розкладемо на складові:

$$H = F \cdot \cos \mu \quad i \quad T = F \cdot \sin \mu, \quad (2.84)$$

де μ – кут розкладання зусиль, визначається з виразу:

$$\mu = \arcsin((\alpha \cdot \sin N_i) / R_i), \quad (2.85)$$

Таким чином, у n_k вибраних точках, що лежать на колі радіусу R_1 під кутами φ , будуть визначені нормальні H_i і тангенціальні T_i зусилля, що приходяться на одиницю довжини барабану.

Сектор II ($k=2$). Параметри для цього сектору визначаються по наведеним далі формулам:

$$\nu_3 \leq \nu \leq \nu_2, \quad (2.86)$$

$$\sin \nu_3 = -\frac{R_2 \cdot \sin \alpha_1}{\sqrt{R_2^2 + \alpha^2 - 2\alpha R_2 \cdot \cos 3\alpha_1}} \quad \Delta_2 = \frac{\nu_2 - \nu_3}{n_k}, \quad (2.87)$$

$$N_1 = \nu_2 - 0,5 \cdot \Delta_2 \quad N_j = N_{j-1} - \Delta_2 \quad j = \overline{2, n_k}, \quad (2.88)$$

$$\rho_1 = R_1 \cdot \cos \mu + \alpha \cdot \cos N_i \quad \rho_2 = \alpha \cdot \cos N_i + \sqrt{R_2^2 - \alpha^2 \sin^2 N_i}, \quad (2.89)$$

Аналогічно визначаються зусилля F_i і його складові H_i і T_i .

По знайденим зусиллям H_i і T_i для двох секторів, можна визначити коефіцієнт зчеплення між розмелювальним середовищем з матеріалом і футерівкою барабану млина:

$$k_r = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{\sum_{i=1}^n H_i}, \quad (2.90)$$

Коефіцієнт зчеплення, який зазначено, відповідає ефекту зчеплення у разі гладкої футерівки. Щоб уникнути ковзання сегменту завантаження відносно барабану, необхідно, щоб коефіцієнт зчеплення не перевищував 0,2 [5]. Для досягнення цього можна змінити розкладання сил F_i на нормальні і тангенціальні складові (збільшити N_i і, як наслідок, сил зчеплення) шляхом зміни орієнтації площини, яка сприймає зусилля. На рисунку показана потрібна зміна складових сил F_i , яка досягається шляхом обертання площини футерівки на певний кут α_ϕ .

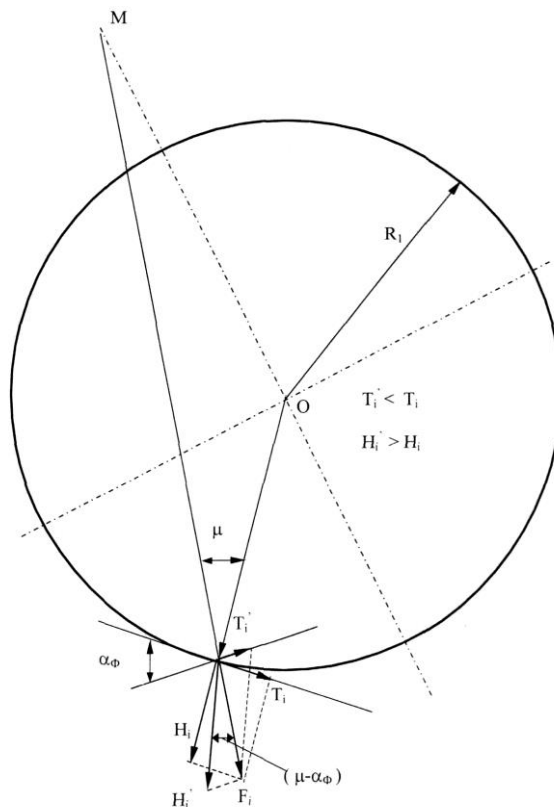


Рисунок 2.12 – Зміна компонентів сили, що впливає на внутрішню поверхню барабану.

Отже необхідно визначити кут футерівки α_ϕ , при якому коефіцієнт зчеплення прийме необхідне значення k_H . Для цього запишемо:

$$k_H = \frac{\sum_{i=1}^n T_i'}{\sum_{i=1}^n H_i'}, \quad (2.91)$$

З рисунку слідує:

$$H_i' = F_i \cdot \cos(\mu_i - \alpha_\phi), \quad T_i' = F_i \cdot \sin(\mu_i - \alpha_\phi), \quad (2.92)$$

Підставляючи останні вирази (3.91) у формулу (3.90), отримаємо:

$$k_H = \frac{\sum F_i \cdot \sin(\mu_i - \alpha_\phi)}{\sum F_i \cdot \cos(\mu_i - \alpha_\phi)} = \frac{\sum (T_i \cdot \cos \alpha_\phi - H_i \cdot \sin \alpha_\phi)}{\sum (H_i \cdot \cos \alpha_\phi - T_i \cdot \sin \alpha_\phi)} =$$

$$= \frac{\cos \alpha_\phi \left(\frac{\sum T_i}{\sum H_i} \right) - \sin \alpha_\phi}{\cos \alpha_\phi + \sin \alpha_\phi \left(\frac{\sum T_i}{\sum H_i} \right)} = \frac{k_\Gamma - \operatorname{tg} \alpha_\phi}{1 + k_\Gamma \cdot k_H} \quad (2.93)$$

Звідкіля:

$$\alpha_\phi = \operatorname{arctg} \frac{k_\Gamma - k_H}{1 + k_\Gamma \cdot k_H}, \quad (2.94)$$

Після встановлення оптимального кута нахилу футерівки (2.94), переходимо до створення контуру профілю. Це можна зробити графічним або аналітичним способом. Графічний метод передбачає наближену побудову лінії шляхом використання точок. Геометрична форма лінії визначається фізичним змістом вибору кута α_ϕ таким чином: в будь-якій точці цієї лінії кут між нею та перпендикуляром до радіуса, проведеного в цю точку, залишається постійною величиною, рівною куту α_ϕ . Наявність зазначеної властивості, за якою кут між лінією та перпендикуляром до радіуса в будь-якій точці залишається сталим, дозволяє зробити висновок, що шукана крива є логарифмічною спіраллю, яку можна описати певним рівнянням (2.94).

$$\rho = R_1 \cdot \exp(-\phi \operatorname{tg} \alpha_\phi), \quad (2.95)$$

Складемо по викладеній нижче методиці розрахунок на основі програми Microsoft Excel. За допомогою нього визначимо складові сили H_i і T_i , для обох секторів, їх сумарне значення, коефіцієнт зчеплення матеріалу з футерівкою k_Γ необхідний кут α_ϕ і необхідну кількість радіус-векторів ρ для побудови кривої профілю.

Розрахунок по складеній програмі ведемо для наступних значень.

Радіус помольної камери R_1 приймемо рівним 3,34 м. Кути відриву $\alpha = 53,95^\circ$, $\alpha_1 = 77^\circ$, кут падіння зовнішнього шару матеріалу $\beta = 161,9^\circ$.

					ДМС 302 00 00 00 ПЗ	Лист.
						64
Зм.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата		

Насипна щільність матеріалу складає $\gamma = 1400 \text{ кг/м}^3$. Кутова швидкість $\omega = 1,361 \text{ рад/с}$.

Значення величини $a = R_1 / \psi^2 = 3,34 / 0,767^2 = 5,677 \text{ м}$.

За результатами проведених розрахунків випливає, що для забезпечення необхідних умов кут нахилу профілю футерівки α_{ϕ} має становити $12,54^\circ$.

У програмі Microsoft Excel, був складений розрахунок для визначення профіля гумових футеровочних плит млинів самоподрібнення, що представлений на рис. 2.13, 2.14, 2.15, який дозволяє швидко і безболісно визначати профіль плит при зміні вихідних даних.

Розрахунок профіля гумових футеровочних плит млинів самоподрібнення																
Вихідні дані:	R1	3,34 м	Радіус внутрішньої камери барабану													
	R2	1,209 м	Радіус внутрішнього шару матеріалу													
	w	1,36135 рад/с	Кутова швидкість обертання млина													
	fi	1400,0 кг/м ³	Насипна щільність матеріалу													
	α (q)	53,95 град	Кут відриву зовнішнього шару													
	α	0,9416 рад														
	α_1	77 град	Кут відриву зовнішнього шару													
	α_1 (α_2)	1,3439 рад														
	nk	8	Кількість інтервалів у кожному секторі													
	a	5,667 м														
	Kn	0,2														
Розрахунки для першого сектора																
nu1	0,629191 рад	N[1]=	34,61 град	mu[1]=	74,51 град	ro1[1]=	5,556 м	ro2[1]=	4,664 м							
nu2	0,226893 рад	N[2]=	31,73 град	mu[2]=	63,16 град	ro1[2]=	6,328 м	ro2[2]=	4,820 м							
delt	0,050287 рад	N[3]=	28,85 град	mu[3]=	54,95 град	ro1[3]=	6,882 м	ro2[3]=	4,964 м							
N[1]	0,604048 рад	N[4]=	25,97 град	mu[4]=	47,98 град	ro1[4]=	7,331 м	ro2[4]=	5,095 м							
m[1]	0,963693 рад	N[5]=	23,08 град	mu[5]=	41,70 град	ro1[5]=	7,707 м	ro2[5]=	5,213 м							
S1	13,02597	N[6]=	20,20 град	mu[6]=	35,87 град	ro1[6]=	8,025 м	ro2[6]=	5,318 м							
S	3,609151	N[7]=	17,32 град	mu[7]=	30,34 град	ro1[7]=	8,292 м	ro2[7]=	5,410 м							
mu[1]	1,300503 рад	N[8]=	14,44 град	mu[8]=	25,03 град	ro1[8]=	8,514 м	ro2[8]=	5,488 м							
m[2]	0,89228 рад	F[1]=	30,463 Н/см	H[1]=	8,134 Н/см	T[1]=	29,356 Н/см									
S1	3,905883	F[2]=	61,503 Н/см	H[2]=	27,768 Н/см	T[2]=	54,878 Н/см									
S	1,976331	F[3]=	88,574 Н/см	H[3]=	50,872 Н/см	T[3]=	72,507 Н/см									
mu[2]	1,10237 рад	F[4]=	113,823 Н/см	H[4]=	76,197 Н/см	T[4]=	84,556 Н/см									
		F[5]=	137,469 Н/см	H[5]=	102,637 Н/см	T[5]=	91,452 Н/см									
m[3]	0,818611 рад	F[6]=	159,337 Н/см	H[6]=	129,118 Н/см	T[6]=	93,365 Н/см									
S1	2,031438	F[7]=	179,138 Н/см	H[7]=	154,599 Н/см	T[7]=	90,496 Н/см									
S	1,425285	F[8]=	196,553 Н/см	H[8]=	178,091 Н/см	T[8]=	83,165 Н/см									
mu[3]	0,958988 рад															
m[4]	0,742872 рад															

Рис. 2.13 – Загальний вигляд розрахунку (початок)

Розрахунки.xlsx - Excel

FileHomeInsertPage LayoutFormulasDataReviewViewHelpAcrobatTell me what you want to do

PasteCutCopyFormat PainterClipboard

Calibri11Font

Alignment

GeneralNumber

Conditional FormattingFormat as TableNormalCheck CellExpl

193

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
64																	
65																	
66		Розрахунки для другого сектора															
67		u	0,158594		N[1]=	12,75783	град	mu[1]=	22,00	град	ro1[1]=	8,624	м	ro2[1]=	5,527	м	
68		nu3	0,159266	рад	N[2]=	12,27349	град	mu[2]=	21,14	град	ro1[2]=	8,653	м	ro2[2]=	5,640	м	
69		nu3	9,125282	град	N[3]=	11,78915	град	mu[3]=	20,28	град	ro1[3]=	8,680	м	ro2[3]=	5,895	м	
70		delt	0,008453	рад	N[4]=	11,30481	град	mu[4]=	19,43	град	ro1[4]=	8,707	м	ro2[4]=	6,034	м	
71		N[1]	0,222666	рад	N[5]=	10,82047	град	mu[5]=	18,57	град	ro1[5]=	8,732	м	ro2[5]=	6,141	м	
72		m[1]	0,374685	рад	N[6]=	10,33613	град	mu[6]=	17,72	град	ro1[6]=	8,757	м	ro2[6]=	6,229	м	
73		S1	0,163317		N[7]=	9,851791	град	mu[7]=	16,88	град	ro1[7]=	8,780	м	ro2[7]=	6,306	м	
74		S	0,404125		N[8]=	9,367452	град	mu[8]=	16,03	град	ro1[8]=	8,802	м	ro2[8]=	6,373	м	
75		mu[1]	0,384057	рад													
76		D	-0,10444		F[1]=	34,544	Н/см	H[1]=	32,028	Н/см	T[1]=	12,943	Н/см				
77					F[2]=	34,248	Н/см	H[2]=	31,943	Н/см	T[2]=	12,353	Н/см				
78		m[2]	0,360683		F[3]=	32,837	Н/см	H[3]=	30,801	Н/см	T[3]=	11,383	Н/см				
79		S1	0,149547		F[4]=	32,195	Н/см	H[4]=	30,362	Н/см	T[4]=	10,708	Н/см				
80		S	0,386713		F[5]=	31,753	Н/см	H[5]=	30,099	Н/см	T[5]=	10,114	Н/см				
81		mu[2]	0,369		F[6]=	31,416	Н/см	H[6]=	29,925	Н/см	T[6]=	9,564	Н/см				
82		D	0,010424		F[7]=	31,147	Н/см	H[7]=	29,805	Н/см	T[7]=	9,042	Н/см				
83					F[8]=	30,924	Н/см	H[8]=	29,722	Н/см	T[8]=	8,540	Н/см				
84		m[3]	0,346655														
85		S1	0,136583														
86		S	0,369571					K3=	244,684		K4=	84,647		Kg=	0,345946		
87		mu[3]	0,354003														
88		D	0,121114														
89								Kn=	0,2								
90		m[4]	0,332603					Kg=	0,704068								
91		S1	0,124385					af=	0,416055								
92		S	0,352682					af=	12,54	град							
93		mu[4]	0,339062														
94		D	0,227597														
95																	
96		m[5]	0,318527														
97		S1	0,112915														
98		S	0,336029														
99		mu[5]	0,324175														
100		D	0,329843														
101																	

Розрахунок деформації і товщиниРозрахунок траєкторії падіння кРозрахунок профіляSheet2Sheet3Sheet4+

Рис. 2.14 – Загальний вигляд розрахунку (продовження)

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help Acrobat Tell me what you want to do												
Clipboard			Font			Alignment			Number			
I93												
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
121												
122		Розрахункові значення для побудови профіля										
123	5	fu=	0,087266		ro=	3,276						
124	11	fu=	0,191986		ro=	3,200						
125	17	fu=	0,296706		ro=	3,127						
126	23	fu=	0,401426		ro=	3,055						
127	29	fu=	0,506145		ro=	2,984						
128	35	fu=	0,610865		ro=	2,916						
129	41	fu=	0,715585		ro=	2,849						
130	47	fu=	0,820305		ro=	2,783						
131	53	fu=	0,925025		ro=	2,719						
132	59	fu=	1,029744		ro=	2,656						
133	65	fu=	1,134464		ro=	2,595						
134	71	fu=	1,239184		ro=	2,477						
135	77	fu=	1,343904		ro=	2,477						
136	83	fu=	1,448623		ro=	2,420						
137	89	fu=	1,553343		ro=	2,364						
138	95	fu=	1,658063		ro=	2,310						
139	101	fu=	1,762783		ro=	2,257						

Рис. 2.15 – Загальний вигляд розрахунку (закінчення)

Перейдемо до ситуації, коли шар матеріалу досягає точки, в якій він відділяється від поверхні, що характеризується кутом відриву α . Коли частинка матеріалу відривається від футерівки, на неї діють дві сили - відцентрова сила та проекція сили тяжіння. Ці сили урівноважують одна одну, що дозволяє частинці рухатися по параболічній траєкторії. За звичайних обставин, коли йдеться про стандартні футерівки, процес відриву частинок матеріалу передбачає, що спочатку такі фрагменти ковзають по поверхні футерувальних плит та ліфтерів, перш ніж відірватися і почати рухатися по параболічній траєкторії.

Щоб уникнути ковзання куска матеріалу і замість цього забезпечити його переміщення по поверхні, необхідно наявність сили, що створює кочуючий момент.

Як було зазначено раніше, основна маса завантаженого матеріалу складається з дрібних зерен приблизно сферичної форми з незначними радіусами заокруглення, тоді як більші за розміром зерна мають кубічну, пластинчасту або голчасту форму.[2].

Отже, для подальшого аналізу приймемо, що розглядається частка матеріалу у формі кубиків.

Уявімо кубик матеріалу, який розташований на похилій площині, яка нахилена під деяким кутом λ відносно горизонтальної поверхні. (рисунок 2.16). Літерою G позначено сумарну силу, що впливає на матеріал.

Стан досліджуваного тіла 1. Тіло залишатиметься у стабільному положенні при певному куті $\lambda < 45^\circ$. Коли сила змінює свій напрямок G_1' у напрямку збільшення кута, утворюється момент, який спрямований на перевертання куба навколо точки А. Тіло починає перекочуватися в положення, в якому момент втрачає свою силу.

Стан досліджуваного тіла 2. При подальшій зміні вектору сили відбуваються подібні рухи тіла кубоподібної форми, що узагальнено призводять до його переміщення по поверхні. Геометричне місце прямих, проведених через всі можливі положення тіла, утворює певну криву лінію. З цього випливає, що для того, щоб кубічне тіло ковзало по поверхні, воно має мати відповідний криволінійний профіль.

Таким чином можна підсумувати, що аналогічні процеси відбуваються у млині під час підняття матеріалу у точці відриву. З цього виходить, що раніше побудований криволінійний профіль дозволить матеріалу котитися по поверхні.

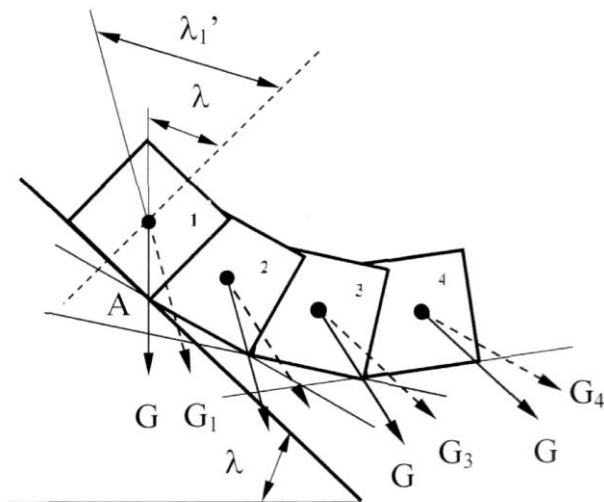


Рисунок 2.16 – Рух кубічного тіла, яке перекочується під впливом сил.

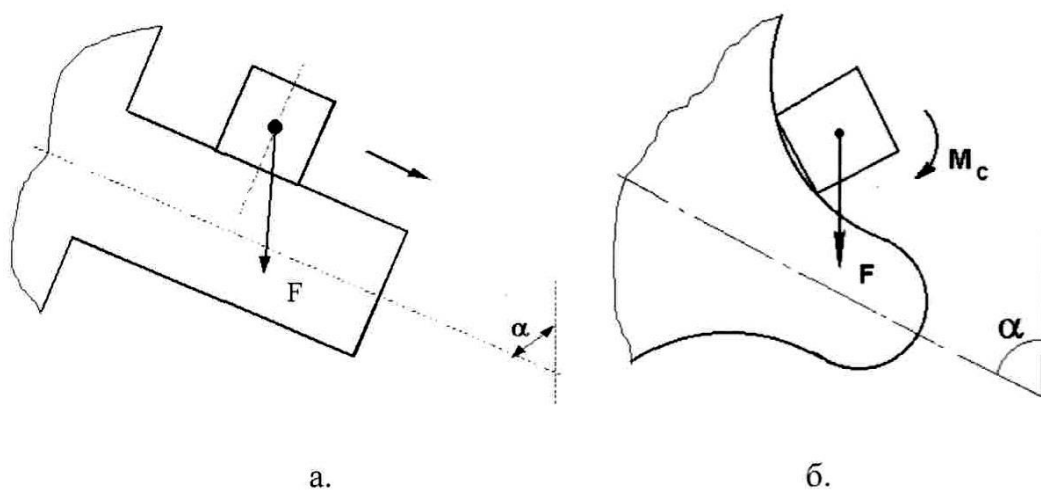


Рисунок 2.17 – Рух матеріалу по поверхні футерівки при зміні на параболічну траєкторію.

а) зсувом; б) скочуванням.

F – результуюча сила, що діє на тіло.

На рисунку 2.10 відображено рух тіла кубічної форми на звичайних футерівках з прямокутними ліфтерами порівняно з футерівкою, що має запропонований криволінійний профіль, за умови, що на тіло діють однакові сили, як за величиною, так і за курсом руху.

3. Конструктивний розділ.

3.1. Розробка конструкції гумової футерівки циліндричної частини барабану млина самоподрібнення

По результатам виконаної роботи, користуючись рекомендаціями [2,3,4,6], висувається наступна будова футерівки (рисунок 3.1). Цей варіант футерівки представляє собою тип "плита-ліфтер", виготовлений з особливо зносостійкої гумової суміші марки 2529, робоча поверхня якої має криволінійну, негладку форму профілю. Висота ліфтерів становить 260 мм, що еквівалентно висоті сталевих ліфтерів. Товщина ліфтерів відповідає рекомендаціям [3, 4, 6] і складає 140 мм, а товщина футерувальних плит, згідно з проведеними розрахунками, дорівнює 160 мм. Профіль виступаючої частини ліфтера має криволінійну форму з радіусом, який дорівнює половині товщини ліфтера у цьому місці, а саме 70 мм. Використовується криволінійний профіль для поверхні плити та бокових сторін ліфтера, який вже був побудований до цього. Для закріплення гумової футерівки на поверхні барабана використовуються кріпильні болти. Один кінець цих болтів з'єднаний із металевою притискною планкою, яка щільно притискає гумову футерівку до барабана. Ця планка монтується у Т-подібний жолобок, що передбачений всередині гумового ліфтера. Коли гайки кріпильних болтів затягуються, нижня частина ліфтера щільно притискає бокові виступи футерувальних плит до циліндричної поверхні барабана. Це забезпечує надійну фіксацію футерівки на барабані.

Згідно з рекомендаціями по встановленню футерівки на млинових барабанах, кількість ліфтерів, які використовуються, повинна у 6 разів перевищувати діаметр барабана, виражений у метрах. Це забезпечує оптимальне розташування і кріплення футерівки на робочій поверхні млина [3]. Для млина ММС-70-23 це означає 42 ліфтери. Таким чином, відстань між центрами ліфтерів складе 523 мм. Отже, для покриття усієї

					ДМС 302 00 00 00 ПЗ	Лист.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата		70

поверхні барабану млина, при розміщенні по три футерувальні плити вздовж його довжини, потрібно 126 плит і така сама кількість ліфтерів.

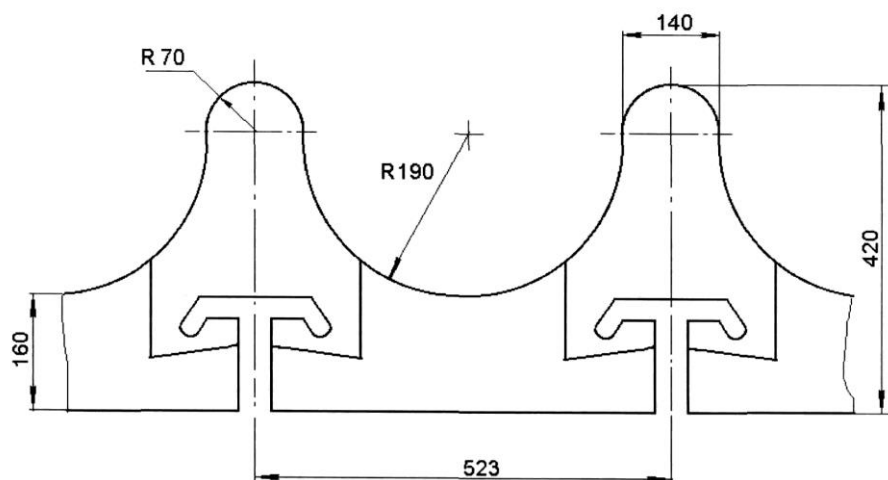


Рисунок 3.1 – Дизайн гумової футерівки для самоподрібнювального млина.

Використання робочої поверхні футерівки з криволінійним негладким профілем дозволяє досягти кількох переваг. Зокрема, це дозволяє підвищити надійність кріпильного пазу шляхом збільшення товщини матеріалу і пониження концентрації напружень у матеріалі. Крім того, криволінійний профіль робочої поверхні футерівки сприяє підвищенню її зносостійкості та збільшенню терміну експлуатації. Завдяки своїй формі така поверхня зменшує розшарування та нерівномірний розподіл матеріалу вздовж поперечного перерізу барабана. Це, в свою чергу, позитивно впливає на якість подрібнення матеріалу, забезпечуючи більш рівномірний та ефективний процес.

По запропонованій конструкції футерівки млина самоподрібнення складено патентний формуляр.

3.2. Розробка технологічного процесу та устаткування для виготовлення гумової футерівки.

Ефективність використання гумових футерівок значно залежить від якості гумових елементів, які отримуються під час виготовлення футерівок.

У теперішній час більша частина гумових виробів виготовляються (вулканізується) на пресах під тиском у формах у визначній послідовності [1]:

- виготовлення гумової суміші,
- заповнення нею форми,
- вулканізація,
- обробка готових виробів.

Футеровка є відповідальною деталлю, і для того, щоб забезпечити необхідну якість гумової суміші рекомендується використовувати, для більш рівномірного розподілення інгредієнтів, двох стадійний процес приготування гумової суміші. Суть якого полягає у наступному: усі інгредієнти вводяться на першому етапі, і перемішування відбувається при температурі 140°-160°C, тиску 0,4 - 0,6 мПа і високій частоті обертання роторів. На другій стадії вводяться сірка, прискорювачі і речовини, які запобігають старінню гуми. Гуми, виготовлені двох стадійним способом перемішування показують при абразивному зносі на 15-20% кращі фізико-механічні властивості і зносостійкість.

Підготовленою сумішшю заповнюють прес-форму шляхом формування або лиття під тиском. На робочі поверхні прес-форми попередньо наноситься речовина, яка запобігає приставанню гуми і полегшує витягування готового виробу. Футерувальні деталі, що виготовляються під час процесу формування, як правило мають низьку якість (неоднорідність по перерізу, розшарування, анізотропія), тому для виготовлення зносостійкої футерівки даний спосіб не підходить. Більш раціональним є метод виготовлення гумових футерівок литвом суміші, що розігріта до температури 80-100°C, у форми під тиском. Матеріал нагрівається електронагрівачем, а також під час тертя по вітках шнеку. Суміш під тиском черв'яка стискається і нагнітається через сопло у литвову форму. Після заповнення формовочної порожнини подача суміші не зупиняється, під

					ДБМС 7х2,3 00 00 00 ПЗ	Лист.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата		72

зростаючим тиском відбувається досилання додаткової порції гуми для ущільнення відливки. До переваг цього способу слід віднести відсутність процесу приготування заготовок для формування і пов'язані з ним трудові витрати, менші втрати суміші у порівнянні з процесом формування. Метод лиття виконується на спеціальних плунжерних і черв'ячних пресах під тиском, який досягає 120 мПа. Але останнім часом була висунута задача можливості використання для виготовлення гумової футерівки черв'ячних (шприц-машин) з тиском 30 мПа. Як показують лабораторні дослідження [1], зменшення тиску суміші від 120 до 30 мПа не здійснює суттєвого впливу на зносостійкість гумових зразків. Наприклад футерівки, що виготовлена з гуми марки 2529, при тиску 120 мПа зношення по масі складає 0,3132 г, а та футерівки, що виготовлена при тиску 30 мПа - зношення по масі 0,3205 г.

Гумова футерівка - це крупно габаритна деталь, тому при неправильно визначених часі і температурі вулканізації у них можливі пере вулканізація поверхневих шарів і недовулканізація серцевини. Цей дефект, пов'язаний з повільним прогріванням футерувальних деталей по перерізу, може погіршити фізико-механічні властивості поверхневих і серцевинних шарів футерівки, що значно погіршує експлуатаційні показники останньої.

Дослідами встановлено [1], що оптимальними параметрами вулканізації для гумових футерівок є час 60 хвилин і температура 143°C.

Добре впливає на якість гумових футерувальних деталей попередній нагрів гумової суміші до 70 -80°C, що є ще однією перевагою виготовлення гумових плит і ліфтерів литвом.

Після вулканізації готові деталі витягують з прес-форм і обрізають задирки і ливники.

Прес-форма для виготовлення гумової футерівки являє собою швидко розбірну металеву конструкцію. До прес-форм висувається наступні вимоги: геометрична форма, якість поверхні і розміри відлитих гумових футерівок повинні відповідати заданим параметрам на кресленні. Необхідно, щоб у

					ДМС 302 00 00 00 ПЗ	Лист.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата		73

отриманій деталі були оптимально збережені фізико-механічні властивості матеріалу з мінімальними остаточними напруженнями, а дефекти при литві відповідали технічним умовам поставки виготовлених деталей і вимогам до конструкції виробу.

По можливості вироби не повинні піддаватися додатковій обробці за винятком відділення ливника і зачищення його слідів (при необхідності). Аналіз експлуатації прес-форм показав, що якість отриманих виробів, після того як встановлені їх матеріал і конструкція, у основному визначаються конструкцією форми і її елементів. Останні впливають не тільки на розміри і геометричну форму виробу, але й характер заповнення і напрямку потоку суміші у формуючий порожнині, рівень остаточних напружень.

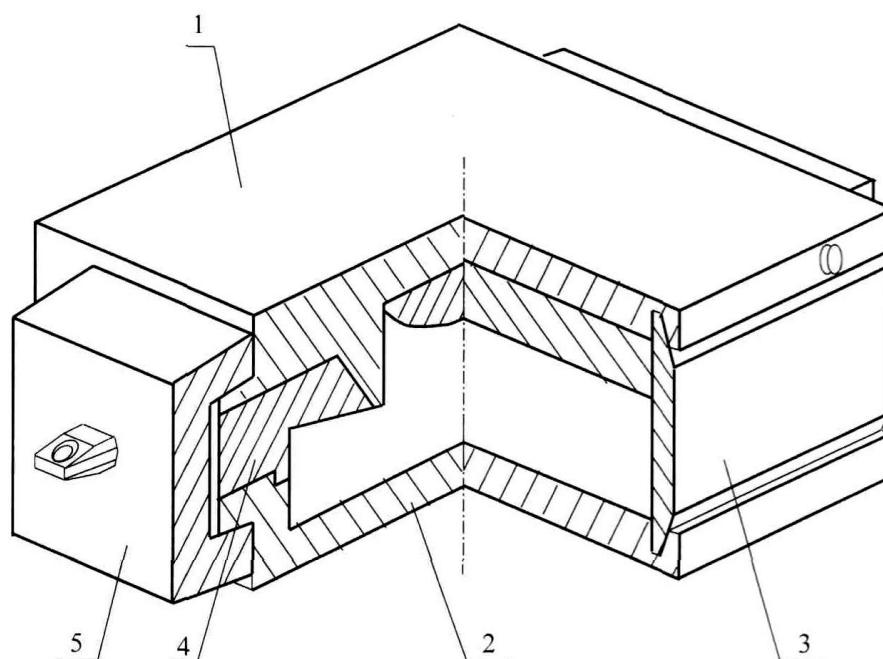


Рисунок 3.2 – Прес-форма для виготовлення гумових футерувальних плит.

1 – верхня кришка, 2 – нижня кришка, 3 – торцева плита, 4 – замкова плита, 5 – замок.

Під час роботи, прес-форма сприймає циклічні навантаження від дії температури і тиску, тому головна вимога це забезпечення стабільності розмірів, недопускання пожолобнення деталей прес-форми під дією навантажень.

Таким чином, проектування прес-форми є одним з головних завдань підготовки і впровадження у виробництво гумових футерівок.

Для виготовлення спроектованої зносостійкої футерівки (футерувальної плити) запропонована наступна конструкція прес-форми (рисунк 4.2). Прес-форма складається з шести основних вузлів: верхньої кришки, нижньої кришки і чотирьох торцевих стінок. Внутрішня порожнина прес-форми повністю повторює контури футерувальної плити. На верхній і нижній кришках по боках присутні по два трапецієподібні пази, у які встановлюються торцеві плити. Інші дві сторони, що мають замкові пристрої, кріпляться до кришок за допомогою виступів. На одній з торцевих плит розташоване сопло для подачі гумової суміші. Скріплюється прес-форма за допомогою двох замкових пристроїв, розташованих на протилежних краях прес-форми.

Запропонована конструкція прес-форми дозволяє складати і розбирати останню з витрачанням мінімальної кількості часу і задовольняє вимогам, наведеним нижче.

3.3.Розрахунок потужності, яка споживається млином самоподрібнення, що досліджується

Повна потужність N_e , яка використовується електричним двигуном з мережі, витрачається на приведення у рух подрібнюючих тіл (корисна потужність) і на перекриття ряду інших витрат (на подолання тертя у опорних цапгах барабану, на привідному механізмі і в самому електродвигуні) [3].

Отже повна потужність на вісі барабану N_6 млина, який працює у водоспадному режимі, є сумою наступних складових:

$$N_6 = N_B + N_T, \quad (3.1)$$

де N_B – потужність, яка витрачається на надання подрібнюючим тілам руху у водоспадному режимі, кВт;

					ДМС 302 00 00 00 ПЗ	Лист.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата		76

N_T – потужність, яка витрачається на подолання тертя у опорних цапфах барабану, кВт.

Витрати на привідному механізмі (зубчата передача, редуктор) враховується введенням механічного коефіцієнту корисної дії передач η (у середньому для барабанних млинів $\eta \approx 0,8$) [17]. Звідси потужність на валу електродвигуна:

$$N_0 = N_{\phi} / \eta, \quad (3.2)$$

Установочна (номінальна) потужність електродвигуна $N_{дв}$ необхідно назначати з деяким запасом у порівнянні з розрахунковою потужністю на валу:

$$N_{дв} = K_{уст} \cdot N_0, \quad (3.3)$$

де $K_{уст}$ – установочний коефіцієнт або коефіцієнт запасу (як правило його приймають рівним $K_{уст} = 1,1$) [17].

Тоді повна потужність, яка використовується електродвигуном з мережі N_e , залежить від електричного коефіцієнту корисної дії електродвигуна (для електродвигуна, марки СДС-19-56-48, який використовується на млині самоподрібнення ММС -70-23, $\eta_e = 0,91$):

$$N_e = N_0 / \eta_e, \quad (3.4)$$

Корисна витрата потужності N_B залежить від параметрів механічного режиму і визначається по формулі проф. Н.П. Неронова:

$$N_B = \frac{0,236}{1000} \cdot \frac{G_M}{\phi} \cdot \sqrt{D} \cdot S_0, \text{ кВт} \quad (3.5)$$

де G_M – сила тяжіння матеріалу, що завантажується у барабан, Н.

ϕ – коефіцієнт заповнення барабану подрібнюючими тілами.

Максимальне значення $\phi = 0,45$ [5].

D – діаметр барабану млина у світу, м.

S_0 – безрозмірний коефіцієнт корисної потужності, який залежить від параметрів механічного режиму ϕ і ψ .

					ДМС 302 00 00 00 ПЗ	Лист.
						77
Зм.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата		

Для млина ММС-70-23 сила тяжіння матеріалу визначається:

$$G_M = V_M \cdot \rho_M, \quad (3.6)$$

де ρ_M – насипна щільність матеріалу, проймається у межах 1300...1450 кг/м³;

V_M – об'єм, який завантажений матеріалом, м. Визначається з виразу:

$$V_M = V \cdot \varphi, \quad (3.7)$$

V – загальний об'єм барабану млина, м³.

Підставляючи вираз (3.6) у (3.7), визначаємо силу тяжіння матеріалу:

$$G_M = V \cdot \varphi \cdot \rho_M = 80 \cdot 0,45 \cdot 1400 = 50400 \text{ кг} = 504000 \text{ Н}.$$

Для визначення корисної потужності, необхідно розрахувати коефіцієнт корисної потужності S_0 , який входить у формулу (3.5). Для швидкохідного режиму (водоспадний) запропоновано декілька варіантів розрахунку, які ґрунтуються на різних гіпотезах про кількість енергії, яка витрачається на рух подрібнюючих тіл.

Зокрема Н.П. Неронов [2] вважає, що при розрахунку корисної потужності N_g необхідно враховувати тільки ту частину роботи, котра витрачається на підйом подрібнюючих тіл. У цьому випадку коефіцієнт потужності буде мати наступну залежність від параметрів φ , ψ і K :

$$S_0 = \psi^3 [3(1 - K^4) - 2\psi^4(1 - K^6)], \quad (3.8)$$

де ψ – відносна швидкість обертання барабану, долі одиниці;

K – відносний радіус, який визначається по [2, таблиця 162], для $\psi = 76,7\%$ і $\varphi = 0,45$, $K = 0,362$.

Але величина N_b , яка отримується після підставлення значення S_0 у формулу (3.5), близька до дослідних даних тільки при малій відносній швидкості ($\psi < 75\%$); при більшій вона дає занижені результати. Отже для нашого випадку вона не придатна.

В.А. Олевським [2] прийнято припущення, що корисна частина енергії, що витрачається на подрібнення матеріалу, визначається виключно

					ДМС 302 00 00 00 ПЗ	Лист.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата		78

радіальною (спрямованою до центру барабана) складовою швидкості подрібнюючих тіл у момент їх удару об матеріал. В той же час, енергія, пов'язана з обертальним рухом подрібнюючих тіл по дотичній до поверхні барабана, майже повністю повертається назад до барабана під час удару. Тобто, ця дотична складова практично не втрачається, і не потребує додаткового підживлення енергією від електродвигуна для свого відновлення після кожного циклу. Окрім цього, приймається до уваги (прийняттям числового значення 0,94) той факт, що в ударному циклі і в використанні енергії не приймають участі подрібнюючі тіла центральної ("мертвої") зони завантаження. При цих припущеннях коефіцієнт корисної потужності рівний:

$$S_0 = 0,94\psi^7 [16(1-K^6) - 36\psi^4(1-K^8) + 28,8\psi^8(1-K^{10}) - 8\psi^{12}(1-K^{12})], \quad (3.9)$$

Дана формула (3.9) дає добрий збіг з дослідними даними при умові, що ψ не перевищує 84 %, що нас влаштовує.

Для визначення потужності N_T яка витрачається на подолання тертя у опорних цапфах барабану, скористаємося формулою:

$$N_T = \frac{\sum_{i=1}^3 G_i \cdot f \cdot R_{ц} \cdot \omega}{1000}, \quad (3.10)$$

де $\sum_{i=1}^3 G_i$ – загальна вага усіх частин барабану, що обертаються, які

базуються на опорних цапфах, Н. Ця складова визначається:

$$\sum_{i=1}^3 G_i = G_B + G_M + G_\phi, \quad (3.11)$$

G_B – вага барабану млина, Н. Для млина ММС- 70 -23 $G_B = 75\text{т} = 750\,000\text{ Н}$.

G_M – вага матеріалу, що знаходиться у середині барабану, Н. $G_M = 504000\text{ Н}$.

					ДМС 302 00 00 00 ПЗ	Лист.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата		78

G_{ϕ} – вага футерівки, Н. Для футерівки (циліндричної і торцевої частини барабану млина) виготовленої з сталі 110Г13Л вага, згідно [3], складає 85000 кг. З цієї маси 58080 кг важить футерівка циліндричної частини і 29920 кг футерувальні елементи торцевих частин млина, причому вага однієї футерувальної плити складає 220 кг, а одного футерувального сектора торцевої частини 750 кг.

f – коефіцієнт тертя для підшипників ковзання. Згідно [1, таблиця 15.9], коефіцієнт тертя сталевого валу по підшипнику з бабітовою заливкою $f \approx 0,07 \dots 0,12$.

R_{ϕ} – радіус опорної цапфи барабану, м. Для млина ММС- 70 -23 $R_{\phi}=1,2$ м.

ω – кутова швидкість барабану млина, с^{-1} . Оскільки відома частота обертання млина, то кутова швидкість визначається з виразу:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,1415 \cdot 13}{30} = 1,361 \text{ с}^{-1}$$

По наведеній нижче теорії спробуємо визначити повну потужність N_e , яка використовується електричним двигуном млина з мережі, для двох випадків:

а) при використанні, для футерування млина ММС-70-23, традиційної металевої футерівки з сталі 110Г13Л;

б) і при використанні футерівки, виготовленої з гуми марки 2529, причому дана футерівка використана тільки для циліндричної частини млина, торцеві футерувальні елементи залишилися металевими.

Визначаємо корисну витрату потужності N_B для надання подрібнюючим тілам руху у водоспадному режимі, яка для обох випадків є однаковою величиною. Визначаємо безрозмірний коефіцієнт корисної потужності:

					ДМС 302 00 00 00 ПЗ	Лист.
						79
Зм.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$S_0 = 0,97 \cdot 0,767^7 \cdot \left[16 \cdot (1 - 0,362^6) - 36 \cdot 0,767^4 \cdot (1 - 0,362^8) + \right. \\ \left. + 28,8 \cdot 0,767^8 \cdot (1 - 0,363^{10}) - 8 \cdot 0,767^{12} \cdot (1 - 0,362) \right] = 1,0037.$$

Тоді:

$$N_B = \frac{0,236}{1000} \cdot \frac{504000}{0,45} \cdot \sqrt{7} \cdot 1,0037 = 701,9 \text{ кВт}.$$

Потужність, яка витрачається на подолання тертя у опорних цапфах:

а) Для сталеві футерівки:

$$N_T^{сталь} = \frac{(750000 + 504000 + 850000)}{1000} \cdot 0,1 \cdot 1,4 \cdot 1,361 = 400,9 \text{ кВт}.$$

б) Для гумові футерівки. Вага усієї футерівки барабану G_ϕ складається з ваги гумових футерувальних елементів циліндричної частини $G_{\phi,Г}$ і ваги торцевих металевих секторів $G_{\phi,С}$:

$$G_\phi = G_{\phi,Г} + G_{\phi,С}, \quad (3.12)$$

Вага гумові футерівки:

$$G_{\phi,Г} = (G_{Г,П} + G_{Г,Л}) \cdot k \cdot n, \quad (3.13)$$

де $G_{Г,П}$ – вага гумові плити, Н;

$G_{Г,Л}$ – вага гумового ліфтера, Н;

k – кількість футерувальних плит (або ліфтерів), у одному коловому ряді, шт.;

n – кількість колових рядів по довжині млина, шт.

Підставляємо значення і знаходимо вагу спроектованої гумові футерівки циліндричної частини барабану:

$$G_{\phi,Г} = (700 + 900) \cdot 42 \cdot 3 = 201600 \text{ Н}.$$

Вага усієї футерівки барабану складе:

$$G_\phi = 201600 + 299200 = 500800 \text{ Н}.$$

Тоді:

$$N_T^{гума} = \frac{(750000 + 504000 + 500800)}{1000} \cdot 0,1 \cdot 1,4 \cdot 1,361 = 334,4 \text{ кВт}.$$

					ДМС 302 00 00 00 ПЗ	Лист.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата		80

Визначаємо повну потужність на осі барабану N_B млина, який працює у водоспадному режимі.

Для млина самоподрібнення з сталевою футерівкою:

$$N_{б.с} = 701,9 + 400,9 = 1102,8 \text{ кВт}.$$

Для млина самоподрібнення з гумовою футерівкою:

$$N_{б.г} = 701,9 + 334,4 = 1036,3 \text{ кВт}.$$

Далі визначаємо потужність на валу електродвигуна для обох випадків:

- для млина з сталевою футерівкою:

$$N_{о.с} = N_{б.с} / \eta = 1102,8 / 0,8 = 1378,5 \text{ кВт},$$

- для млина самоподрібнення з гумовою футерівкою:

$$N_{о.г} = N_{б.г} / \eta = 1036,3 / 0,8 = 1295,37 \text{ кВт}.$$

Установочна (номінальна) потужність електродвигуна $N_{дв}$:

- для млина з сталевою футерівкою:

$$N_{дв.с} = 1,1 \cdot 1378,5 = 1516,35 \text{ кВт},$$

- для млина з гумовою футерівкою:

$$N_{дв.г} = 1,1 \cdot 1295,37 = 1424,9 \text{ кВт}.$$

Тоді повна потужність, яка використовується електродвигуном млина з мережі N_e , для обох випадків:

$$N_{e.с} = 1378,5 / 0,91 = 1514,8 \text{ кВт},$$

$$N_{e.г} = 1295,37 / 0,91 = 1423,48 \text{ кВт}.$$

Як бачимо, для обох випадків, повна потужність не перевищує потужність встановленого електродвигуна СДС-19-56-48 (1600 кВт).

Таким чином млин самоподрібнення ММС-70-23, при використанні гумової футерівки, потребує потужності на:

$$\Delta N = \frac{1514,8 - 1423,48}{1514,8} \cdot 100\% = 6\%,$$

менше, ніж при використанні сталевий футерівки.

					ДМС 302 00 00 00 ПЗ	Лист.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата		81

3.4. Визначення продуктивності млина самоподрібнення, що досліджується .

Як правило, продуктивність барабанних млинів розраховується по методу подоби, тобто виходячи з практичних даних їх роботи при режимах, близьких до оптимальних. При цьому враховують тільки різницю у подрібненості і крупності вихідного матеріалу, крупності продукту, що піддається помолу, розмірах і способі розвантаження млина [2].

Багато чинників визначають швидкість та ефективність самоподрібнювального млина.

Перший ряд утворений факторами, які залежать від подрібнюємого матеріалу: крупність вихідного матеріалу, крупність подрібненого продукту, здатності матеріалу до подрібнення.

Другий ряд чинників, що впливають на ефективність подрібнення, стосується безпосередньо характеристик самого млина - його конструктивних особливостей, габаритних розмірів та форми внутрішньої футерівки барабана.

Третій ряд факторів складається з експлуатаційних умов роботи, а саме, відкритий або закритий цикл, ефективність роботи апарату, де відбувається класифікація матеріалу, ступеню заповнення млина подрібнюючим середовищем, характеристикою крупності, форми, щільності, твердості подрібнюючих тіл, розрідженням пульпи у млині, числом оборотів млина.

Багато чисельні умови роботи млина можуть змінюватися у широких межах, тому визначення його продуктивності по теоретичним формулам неможливо [2].

Продуктивність млина можна визначити двома шляхами:

а) На основі результатів роботи промислового млина на матеріалі з аналогічними властивостями;

б) На основі результатів досліджень даного виду перероблюваного матеріалу у напів промислових млинах.

Для нашого випадку скористаємося першим способом.

Для млина самоподрібнення ММС-70-23, що розглядається з металевою футерівкою продуктивність змінюється у межах 95...260 т/г [17], в залежності від матеріалу, що перероблюється. По даним промислових досліджень [17, таблиця 184], при роботі цього млина у замкнутому циклі з спіральним класифікатором при подрібненні кварцитов, середня продуктивність складала 100...165 т/г по вихідному живленню 0-400 мм. Подрібнений продукт (злив) містив від 65...75 % класу -0,074 мм, питома продуктивність знаходилася у межах 0,8-0,9 т/(м -г).

Згідно проведеним дослідом [6] ,з використанням гумової футерівки і сталевोї у барабанних млинах, було встановлено, що при однаковій продуктивності у продукті розвантаження млина з гумовою футерівкою міститься на 5% більше розрахункового класу -0,074 мм, ніж у розвантаженні млина з сталевую футеровою [6, таблиця 9], а питома продуктивність у продукті цього ж класу, подрібненому млином з гумовою футерівкою, зросла на 0,2 т/(м³-г) і склала 1,1 т/(м³т).

Отже можна припустити, що при встановленні на млин ММС-70-23 замість металевої футерівки циліндричної частини гумової і при наявності тих самих параметрів, що й при роботі млина з сталевую футерівкою, підвищуються виробничі показники, а саме продуктивність зросла до 105...174 т/г, з підвищенням питомої продуктивності. Викладений нижче матеріал зведемо до таблиці 4.1.

					ДМС 302 00 00 00 ПЗ	Лист.
						83
Зм.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 4.1 – Показники продуктивності млина самоподрібнення ММС-70-23.

Тип футерівки	Середня продуктивність, т/г	Питома продуктивність, т/(м ³ ·г)
Сталева	100...165	0,8-0,9
Гумова	105...174	1,1

Підвищення продуктивності млина з використанням гумової футерівки, можна пояснити тим, що під час роботи млина, у наслідок еластичних властивостей гуми на матеріал, який знаходиться між подрібнюючими тілами, діють додаткові зусилля від пружної деформації гуми, що й призводить до покращення процесу помелу [6].

4. Охорона праці.

Заходи з охорони праці розроблені згідно чинних нормативних документів і наведені в додатку Д2.

					ДМС 302 00 00 00 ПЗ	Лист.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата		85

Висновки.

1. Магістерська робота направлена на покращення показників млинів самоподрібнення, шляхом застосування гумових футеровок конструкцій, побудованих з урахуванням балістики технологічного завантаження млинів самоподрібнювання.

2. Визначені контактні навантаження і деформації, які виникають в гумових футеровках млинів самоподрібнення при падінні технологічного молоткового середовища, обґрунтовані геометричні параметри гумових футеровок з умови забезпечення їх міцності. Математична модель процесу взаємодії молоткового середовища з гумовою футерівкою розроблена на основі теорій удару та враховує балістику технологічного завантаження, фізико-механічні властивості гуми, геометричні параметри та конструктивні особливості футеровки.

3. Теоретично обґрунтована та запропонована конструкція футерівки, в якій виступаюча частина ліфтера має криволінійний профіль радіуса, рівному половині товщини ліфтера у цьому місці.

4. Виконання робочої поверхні футерівки з криволінійним профілем дозволяє підвищити за рахунок збільшення товщини матеріалу і зменшення концентрацій напруги, підвищити зносостійкість і довговічність футерівки, зменшити сегрегацію матеріалу по поперечному перерізу барабану, і як наслідок підвищити якість помелу, розширює можливості більш широкого використання гуми в якості захисних покриттів робочих поверхонь барабанів млинів самоподрібнення.

5. Теоретично обґрунтована конструкція ферми була прийнята для подальшого проектування.

Таким чином мета роботи виконана.

					ДМС 302 00 00 00 ПЗ	Лист.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата		86

ЛІТЕРАТУРА

1. Захисні футерівки і покриття гірничо-збагачувального обладнання /А.А.Тарасенко, Е.Ф.Чижик, А.А. Взоров, В.А.Настоящий -М.: Недра. 1985г., 204 с.
2. Робочі поверхні і футерівки барабаних і вібраційних млинів / Франчук В.П., Настоящий В.А., Маркелов А.Е., Чижик Е.Ф.- Кременчуг-Комсомольск, 2008 , 382с.
3. Техніка и технологія збагачення руд. М.- Недра, 1975, 240 с.
4. Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В. Дріблення, подрібнення и просіювання корисних копалин. –М.: Недра, 1980. –415 с.
5. Барабанні млини: основи конструювання, розрахунків та експлуатації / Настоящий В.А., Франчук В.П., Солових Є.К. –Кіровоград , КНТУ , 2008. –175 с.
6. Сівко В.Й. Механічне устаткування підприємств будівельних виробів.Київ 1994, 357 с.
7. Проектування робочих поверхонь механічного устаткування для подрібнення, змільчення та сортування мінеральних матеріалів: навч.посібник/Г.Ю. Надольний, В.А. Настоящий, Є.Ф. Чижик.-К.:НМКВО. 1992г. ,128с.