

Товмач Наталя Миколаївна

Магістерська робота

**Дослідження та вибір раціональних параметрів захисних футерівок
і покриттів гірничозбагачувального обладнання**

Керівник роботи

проф., к.т.н. Горбачов Ю.Г.

ВСТУП

Перспективи подальшого розвитку вітчизняного гірничого виробництва нерозривно пов'язані з проблемою підвищення якісних та техніко-економічних параметрів механічного обладнання для підготовки, збагачення та переробці мінеральної сировини [1-5]. Різноманітність видів корисних копалин, фізико-механічних та фізико-хімічних властивостей перероблюваних матеріалів, багаточисельність існуючих способів отримання товарної продукції визначають дуже багатий спектр конструктивних виконань гірничозбагачувальних машин та устаткування, який, за відсутності єдиної системи класифікації збагачувальних машин, зручно розділити на наступні основні групи: для підготовчих, основних (власне збагачувальних) та допоміжних процесів переробки гірничої маси. Серед останнього найважливіше значення має гірничотранспортне обладнання, без якого практично неможливо здійснення будь-яких технологічних операцій [6].

Сучасне гірничозбагачувальне виробництво все більше набуває вигляду та ознак потокового, при якому за умови послідовного з'єднання елементів системи відмова тої чи іншої ланки технологічного ланцюга призводить до небажаної зупинки або усього потоку, або окремих його ділянок. У такому випадку надійність роботи машин та обладнання для забезпечення безперебійності функціонування технологічного ланцюга є надзвичайно важливою вимогою. Особливо це стосується механічного обладнання підготовчих процесів переробки мінеральної сировини (усереднення, дроблення, подрібнення та грохочення видобутої гірничої маси), яке відрізняється високими рівнями енергоємності та вартості, адже капітальні витрати на нього досягають 60%, а експлуатаційні – 70% від загальних витрат гірничозбагачувального підприємства. Це пояснюється високими значеннями міцності та абразивності більшості видів мінеральної сировини, екстремальними умовами експлуатації, агресивним впливом самої гірничої маси та водного середовища у мокрих процесах збагачення. Знову ж таки, у найбільшому ступені цим негативним впливам піддаються машини саме підготовчих процесів гірничозбагачувальних підприємств [1,7-11].

З огляду на вищесказане, важливість питання захисту та футерування дробильно-розмельного, сортувального та транспортного гірничозбагачувального обладнання з метою інтенсифікації процесів його експлуатації з одночасним підвищення надійності та довговічності не викликає жодних сумнівів. Тому тему представленої магістерської роботи можна вважати цілком актуальною.

Мета роботи – обґрунтування та вибір раціональних параметрів захисних футерівок і покриттів гірничозбагачувального обладнання.

Об’єкт дослідження – методи захисту робочих поверхонь гірничозбагачувальних машин від шкідливого впливу гірничої маси та несприятливих умов експлуатації.

Предмет дослідження – захисні покриття та футерівки дробильно-розмельного, сортувального та транспортного гірничозбагачувального обладнання.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТИПУ ОБЛАДНАННЯ

1.1 Класифікація видів ушкоджень деталей та робочих поверхонь механічного обладнання

Будь-яке механічне обладнання у процесі експлуатації (а у це поняття входять усі можливі стани життєвого циклу виробу – транспортування і монтажу, використання за призначенням, технічне обслуговування і ремонт, демонтаж і зберігання) піддається шкідливим впливам навколишнього середовища, оброблюваного матеріалу (наприклад, гірничої маси та продуктів її переробки), внутрішніх процесів, що відбуваються у самому виробі (тертя, нагрівання, охолодження, фізико-хімічних перетворень тощо) і внаслідок цього у тому чи іншому ступені зношується та ушкоджується.

Згідно з ДСТУ 2860-94, під ушкодженням розуміють порушення справного стану технічного об'єкту або його складових частин в результаті впливу зовнішніх причин, що перевищують встановлені нормативно-технічною документацією рівні для цього об'єкту [12].

Процес експлуатації гірничозбагачувального обладнання супроводжується неминучою взаємодією його деталей та робочих поверхонь з твердими частинками, рідкими та газоподібними потоками. Під час цього вони отримують різноманітні ушкодження, а саме: деформуються, зношуються, руйнуються, кородують тощо.

Можна запропонувати таку приблизну класифікацію ушкоджень деталей машин та їх робочих поверхонь [13]:

- *деформації та злами* – залишкові деформації, повзучість, в'язкий злам, крихкий злам, втомний злам;
- *зношення* – стирання металевих поверхонь, втомне викрашування, абразивне зношення, заїдання, газова ерозія, рідинна ерозія, кавітація;
- *корозія* – атмосферна корозія, корозія в електролітах, газова корозія, коро-

зійна втома, корозійне розтріскування, корозія під час тертя (фретінг-корозія).

Головною ознакою *деформації* є незворотне поступове змінення форми та розмірів деталі, яке рано чи пізно у більшості випадків призводить до відмови технічного об'єкту. Причинами деформації можуть бути напруження, величини яких не перевищують межу пружності і які виникають внаслідок структурних перетворень у виробу під час термообробки, охолодження, перерозподілу внутрішніх сил та напружень. Пластичні деформації, що поступово нарастають від циклу до циклу змінення температур та напружень, називаються прогресуючими, а змінні у часі, особливо при підвищених температурах – повзучістю. Для еластомірних матеріалів характерне поступова втрата пружних властивостей під дією шкідливих факторів навколишнього середовища, яка відбувається без зміни зовнішніх навантажень.

Злам – це явище остаточного руйнування деталі, яке відбувається або у разі виникнення недопустимих статичних чи динамічних навантажень, або в результаті тривалої дії змінних навантажень, що призводять до втомних руйнувань. В залежності від властивостей матеріалу та характеру навантаження розрізняють в'язкий, крихкий та втомний злами. Перший виникає під час перевантаження деталі та супроводжується значною макропластичною деформацією. Причинами крихкого зламу стають ударні навантаження, дефекти термічної обробки, низька якість матеріалу, підвищений вміст водню та фосфору у металах, наявність концентраторів напружень у деталях. Руйнування відбувається при незначній макропластичній деформації. Втомний злам викликається конструктивними та технологічними концентраторами напружень (надрізами металу, неметалевими виключеннями, мікротріщинами тощо), а також циклічними механічними та температурними напруженнями. Цьому типу зламу характерні зони поступового розвитку тріщин та прискорене (раптове, аварійне) руйнування металу, яке супроводжується порушення цілісності деталі.

Зношення – це процес поступового змінення (зменшення) розмірів деталі внаслідок відділення з поверхонь тертя її матеріалу та виникнення залишкових деформацій конструктивного елементу. Усі види зношення у машинах розділяються

на механічне, корозійно-механічне та зношення під час дії електричного струму. Механічне зношення відбувається в результаті зміни форм та розмірів тертьових поверхонь без суттєвих фізичних та хімічних змінень. Корозійно-механічне зношення спостерігається за умови одночасної дії корозії та механічних факторів. Нарешті, електроерозійне зношення має місце в результаті впливу розрядів при проходженні електричного струму.

Корозійні ушкодження металів виникають у процесі їх контакту з корозійними середовищами. У залежності від характеру останніх реакція корозії металу може бути атмосферною, газовою та електрохімічною.

Приведену загальну класифікацію ушкоджень деталей машин не можна вважати вичерпною, адже вона нездатна охопити усі їх види, що виникають під час експлуатації механічного та електромеханічного обладнання, особливо у разі одночасного впливу декількох шкідливих факторів.

Найбільш розповсюдженим видом ушкоджень є зношення, адже умови експлуатації гірничозбагачувального обладнання пов'язані з неминучим контактом його робочих поверхонь і деталей з абразивною гірничою масою, а також з агресивними середовищами, що використовуються під час здійснення операцій збагачення мінеральної сировини. Зокрема, процес зношення під впливом абразивних частинок оброблюваного матеріалу характеризується високим ступенем контактних напружень у поверхневих шарах деталей, які контактують з ним. На рис. 1.1 показані можливі схеми взаємодії абразивних частинок з поверхнями деталей механічного обладнання.

Наприклад, у залежності від питомої енергії удару та фізико-механічних властивостей поверхонь зношення втомне руйнування може відбуватися або у мікрооб'ємах поверхневого шару, або у значних об'ємах поверхні співударяння у вигляді викрашування (схема 1). Характер втомних процесів руйнування залежатиме від частоти циклів та питомої енергії удару. В інших випадках характер зношення буде визначатися співвідношенням твердості контактуючих тіл, можливістю переміщення абразиву між контактуючими поверхнями, властивостями середовища, в якому відбувається контакт тощо.

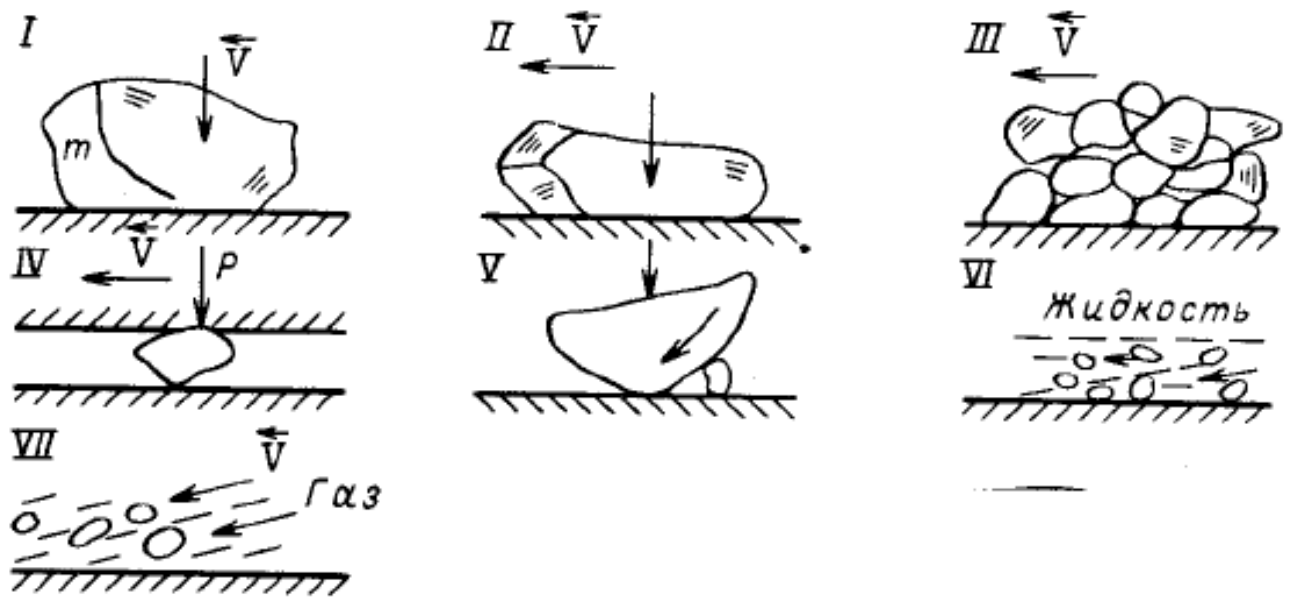


Рисунок 1.1 – Можливі схеми взаємодії абразивних частинок з поверхнями деталей механічного обладнання:

I – зношення поверхневого шару в результаті ударного впливу; *II* – зношення поверхневого шару під час тертя відносно монолітного абразиву або твердих частинок; *III* – зношення при переміщенні деталей в абразивній масі, тверді частинки якої слабо пов'язані між собою; *IV* – зношення під час тертя ковзання сполучених поверхонь та наявності між ними абразивних частинок; *V* – зношення при терті кочення та наявності абразивних частинок; *VI* – механічна дія твердих частинок в умовах розміщувальної дії рідкого середовища; *VII* – механічна дія твердих частинок, розміщувальна дія газу при його хімічній активності та високій температурі

У загальному випадку механізм абразивного зношення металів можна представити у вигляді підсумку поодиноких актів, що створюють в окремих мікрооб'ємах певний спектр напружень.

В усіх випадках абразивне зношення – це дія твердих частинок на деталі машин або на взаємно тертьові поверхні деталей. Ці частинки можуть проковзувати між деталями по поверхням тертя і викликати їх пластичне деформування та зміцнення мікрооб'ємів матеріалу або впроваджуватися у поверхню і, переміщуючись разом з деталлю, зрізати мікрооб'єми металу. З точки зору теорії зношення можна виділити три основні види порушення взаємодіючих ділянок поверхонь і точок контакту [14]:

- мікрорізання, під час якого відбувається видалення надтонкої стружки при одноразовому проходженні твердої частинки по поверхні сполученої деталі;

- пластичне відтиснення металу, при якому тверда частинка одноразово проходить по поверхні деталі і видавлює на ній канавку, не зрізаючи металу;

- пружне відтиснення металу. Під час впливу твердої частинки напруження, що виникають у матеріалі поверхневого шару, не перевищують межі пружності. Виступ не залишає сліду навіть після багатьох циклів впливу на поверхню деталі;

- захоплення та руйнування різноманітних плівок, що покривають тверду поверхню тертя;

- захоплення значних мікрооб'ємів матеріалу та його глибинне виривання.

Зношення полімерних матеріалів може бути абразивним, фрикційним або втомним процесом. Під час контакту полімерного матеріалу з абразивними частинками, що мають певні швидкості і маси, як правило, відбувається локальна деформація певного його об'єму.

Кавітаційні процеси, які у загальному випадку представляють собою внутрішньорідинний процес переходу локального об'єму рідини у пар, супроводжуються значними місцевими тисками і високою частотою ударів, що обумовлюють втомний та полідеформаційний процеси руйнування поверхневого шару.

Ерозійному зношенню піддаються деталі машин та робочі поверхні під час механічного впливу високошвидкісного потоку рідини, газу і пару, який складається з тертя суцільного потоку та його ударів по поверхні.

Характер протікання та інтенсивність корозійно-механічного зношення залежить від співвідношення механічного та хімічного впливу на матеріал. Продуктами зношення є оксиди, а його швидкість може бути вельми значною, хоча й без яскраво виражених слідів руйнування на поверхні. Особливим видом корозійно-механічного зношення є фретінг-корозія, тобто процес руйнування металу на поверхнях щільно контактуючих пар «метал-метал» або «метал-неметал» в результаті повторних тангенційних мікрозміщень. Ушкоджені фретінг-корозією поверхні посадкових місць різних вузлів гірничозбагачувального обладнання стають концентраторами напружень та знижують межу витривалості деталей.

В основі процесів корозії металів лежить явище окислення, яке відбувається у випадку контакту матеріалів з водними розчинами кислот, солей та лугів, а також з іншими рідинами, що проводять електричний струм. Якщо окислювач не є електролітом, то процес руйнуючого окислення металу відбувається як безпосередній обмін електронами між ним та окислювачем. Для корозійних ушкоджень характерні руйнування металу на поверхні окислення, перетворення його на оксиди чи гідрати оксидів та змінення зовнішнього вигляду поверхні. В якості критерію корозійної стійкості приймають швидкість корозії $v_{\text{кор}}$ (мм/год). У табл. 1.1 приведена п'ятибальна шкала корозійної стійкості матеріалів.

Таблиця 1.1 – Шкала корозійної стійкості матеріалів

Бал	$v_{\text{кор}}$, мм/год	Група стійкості
1	0,1	вельми стійкі
2	0,1-1,0	стійкі
3	1,1-3,0	зі зниженою стійкістю
4	3,1-10	малостійкі
5	10,1	нестійкі

1.2 Загальна характеристика захисних покриттів та футерівок гірничозбагачувального обладнання

Для захисту деталей та робочих поверхонь гірничозбагачувального обладнання, що піддається механічним, корозійно-механічним і корозійним ушкодженням, використовуються захисні покриття та футерівки.

Під захисним покриттям розуміють шар або декілька шарів матеріалу, штучно отриманих на поверхні деталі, яка потребує захисту.

На відміну від покриття футерівка представляє собою облицювання внутрішніх і зовнішніх поверхонь обладнання та окремих деталей, призначене для їх захисту від можливого ушкодження. Футерівка замінюється у міру її зношення, зав-

дяки чому продовжується термін служби основних елементів машини. У багатьох випадках доцільним з точки зору економічності є виготовлення цих елементів з дешевих і недефіцитних матеріалів, а для формування їх робочої зони – використання матеріалів з необхідними фізико-механічними та технологічними властивостями. Це відомий у техніці принцип взаємного доповнення якості. Він, крім того, дає можливість забезпечувати високі технологічні показники процесів за рахунок надання оптимальних конструктивних форм робочим зонам та поверхням та періодичного відновлення їх під час повторного футерування.

Для умов роботи гірничозбагачувального обладнання захисні покриття та футерівки розділяються за призначенням на зносостійкі та антикорозійні. Деякі з них можуть також виконувати ергономічні функції, наприклад зниження рівня шуму, гасіння вібрації устаткування тощо.

В якості захисних і футерувальних матеріалів використовуються метали, металеві сплави та наплавочні матеріали на їх основі, гума, поліуретан та інші полімери, а також силікатні покриття, композиційні матеріали та лакофарбові покриття. Щодо докладної класифікації цих матеріалів, то вона буде приведена нижче, під час розгляду конкретних видів гірничозбагачувального обладнання.

Деякі матеріали згідно зі своїми фізико-механічними та хімічними властивостями можуть застосовуватися і в якості зносостійких, і як антикорозійні, а також для захисних покриттів та футерівок.

Однією з головних та найважливіших властивостей захисних покриттів і футерівок є їх зносостійкість при абразивному зношенні, тобто спроможність чинити опір поверхневому руйнуванню в умовах взаємодії з твердим, рідким та газоподібним середовищем. Для вирішення питань підвищення зносостійкості матеріалів потрібно розв'язати матеріалознавчу задачу – створити або підібрати матеріали з такими фізико-механічними властивостями та структурно-фазовим станом, які при даному конкретному виді зношення забезпечуватимуть йому максимальний опір.

Зносостійкі металеві сплави, що використовуються для захисту гірничозбагачувального обладнання можуть бути розділені на три основні групи:

- для зношуваних деталей і робочих поверхонь з високими стискальними та ударними навантаженнями при незначному абразивному стиранні. До цієї групи відносяться зносостійкі аустенітні високомарганцевисті сталі, що здатні зміцнюватися при наклепі і широко використовуються під час виготовлення деталей і вузлів обладнання, яке працює у складних умовах комбінованого впливу стрируючих та ударних навантажень або значних питомих статичних тисках. Найрозповсюдженим представником таких матеріалів у вітчизняному машинобудуванні є високомарганцевиста сталь 110Г13Л;

- для зношуваних деталей і робочих поверхонь з високим абразивним стрируючим фактором при середніх стискальних або ударних навантаженнях. Це в основному мартенситні сталі, леговані хромом, марганцем, нікелем, молібденом та ванадієм. Опір зношенню у таких матеріалах залежить у першу чергу від структури як функції легуючого складу і термообробки, а не твердості. Разом із тим, швидкість зношення для них зростає із зменшенням твердості;

- для зношуваних деталей і робочих поверхонь з надзвичайно високим абразивним стиранням при незначних або помірних механічних навантаженнях. До цієї групи входять зносостійкі білі чавуни з вмістом вуглецю 2,5-3,6%. Завдяки наявності в них карбідної складової вони мають у 5-10 разів вищу зносостійкість у порівнянні з конструкційними сталями.

В якості наплавочних матеріалів можуть використовуватися такі групи:

- сталі – вуглецеві, марганцевисті, хромомарганцевисті, хромисті, високовуглецеві, хромонікелеві низьковуглецеві, високовольфрамові, молібденові;

- сплави на основі заліза – високохромисті чавуни, вольфрамові та молібденові чавуни, сплави з бором і хромом, сплави з кобальтом і молібденом або вольфрамом;

- сплави на основі нікелю і кобальту – ніхроми і німоніки, сплави з бором і хромом (колмоної), сплави з молібденом (хастеної), сплави кобальту з хромом і вольфрамом (стеліти);

- карбідні псевдосплави – з карбідом вольфраму, з карбідом хрому;

- сплави на основі міді – алюмінієві та олов'яно-фосфористі бронзи.

Марку наплавочного матеріалу вибирають виходячи з умов роботи деталей, що потребують зміцнення, та особливостей методу наплавлення. Матеріали першої, другої та четвертої груп з вищевказаних застосовуються в якості зміцнювальних.

Найбільш доступними є марганцевисті матеріали, адже сировиною для них служить доменний феромарганець. Їх (особливо із додаванням нікелю) можна рекомендувати для захисту від абразивного зношення щік, бандажів та конусів дробарок, зубів і днищ ковшів екскаваторів, деталей пластинчастих живильників, опорних котків та бігових доріжок гусениць тощо.

Широко використовується метод наплавлення порошковим дротом, який представляє собою металеву оболонку з низьковуглецевої стрічки товщиною 0,5-1,0 мм, наповнену порошковими сплавами.

Що стосується силікатних захисних та футерувальних матеріалів, то найбільше розповсюдження отримали різні види кам'яного литва, що має кристалічну будову і штучно виготовляється з таких гірничих порід, як діабазити і базальти. Вироби з кам'яного литва використовують для захисту від корозії та завчасного виходу з ладу обладнання, яке страждає від абразивного зношення.

В якості шихтових матеріалів у кам'яноливарному виробництві застосовують доменні шлаки та шлаки феромарганця. Литво з базальтів і шлаків – ефективний антикорозійний матеріал з високим опором агресивним кислотам, лугам та соляним розчинам. Завдяки цим властивостям кам'янолітні вироби успішно замінюють деталі зі свинцю та металевих сплавів з чорних металів, забезпечуючи економію великої кількості чавуну та сталі, у тому числі марганцевистої.

Хороші результати у справі захисту від зношення робочих поверхонь обладнання, що працює у найбільш несприятливих умовах гідроабразивного зношення демонструє такий матеріал, як монолітний полікристалічний карбід кремнію, зносостійкість якого у 60-80 разів вища, ніж у сталі.

Значна частина гірничозбагачувального обладнання одночасно потерпає від високих ударних навантажень та стираючого впливу. Металеві сплави не можуть сумістити два такі важливі показники фізико-механічних властивостей – твердість

і пластичність. Зате такі властивості мають еластомірні матеріали, у першу чергу гуми та поліуретани, використання яких представляється одним з найефективніших напрямків в області підвищення надійності та довговічності роботи механічного обладнання.

Усі еластоміри характеризуються значною здатністю до оборотних високо-еластичних деформацій, що проявляються у широкому інтервалі температур. Наприклад, гума представляє собою складну багатокомпонентну систему з каучуку та 10-15 додаткових інгредієнтів. Каучуки (натуральні та синтетичні) є основою гуми, яка набуває своїх цінних технічних властивостей (міцності, еластичності, зносостійкості, корозійної стійкості) у завершальному циклі виробництва – під час вулканізації.

У промисловості використовуються натуральні та численні види синтетичних каучуків (ізопренові, бутадієн-стирольні, бутадієнові, карбоксилатні, бутадієн-нитрильні, хлоропренові, силоксанові, уретанові, фтор- та тіокаучуки). Для надання гумі потрібних технологічних властивостей каучуки змішують з вулканізаційними речовинами, пластифікатори, наповнювачі для підвищення міцності, зносостійкості та опору хімічним впливам, а також спеціальні інгредієнти, що захищають її від старіння (окислення).

Виходячи з умов застосування гуми можна розділити на наступні групи:

- теплостійкі (паро- та вогнетривкі гуми, а також гуми для експлуатації в умовах тропічного клімату);
- морозостійкі;
- пористі;
- спеціальні (масло- та кислотостійкі, електропровідні, рентгенозахисні, зносостійкі);
- тверді (ебоніти).

За допомогою зносостійких гум для важко навантаженого обладнання, що працює з ударними та знакозмінними навантаженнями, можна отримати суттєве зниження рівня шуму і вібрацій опорних підстав машин. На рис. 1.2 показані по-

рівняльні залежності рівнів шуму від частоти під час роботи рудоподрібнювальних кульових барабанних млинів з металевою та гумовою футерівкою [13].

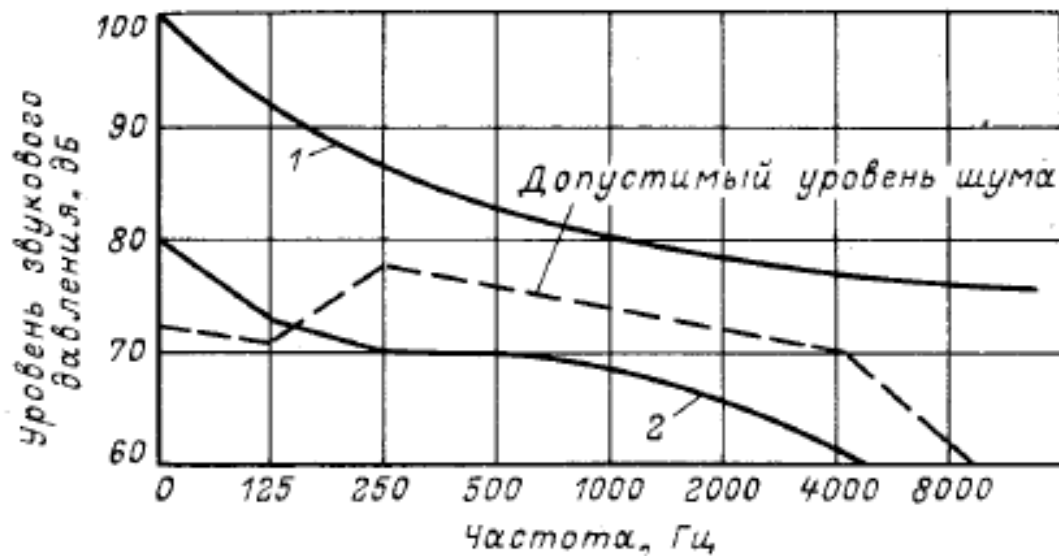


Рисунок 1.2 – Залежності рівня шуму від частоти під час роботи кульових барабанних млинів зі сталєвою (1) та гумовою (2) футерівкою

На рис. 1.3 показані залежності рекомендованої товщини δ гумової футерівки від висоти падіння H та маси шматків матеріалу, які враховують амортизаційні властивості гуми [13].

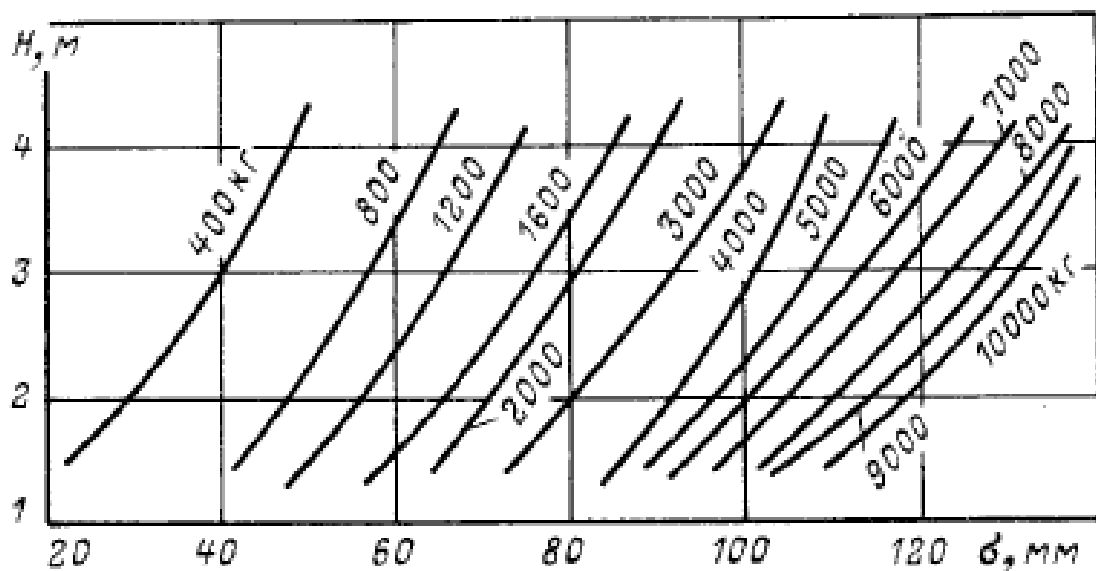


Рисунок 1.3 – Залежності рекомендованої товщини δ гумової футерівки від висоти падіння H та маси шматків матеріалу

На рис. 1.4 показані порівняльні залежності абразивного та втомного зносу сталевोї і гумової футерівки від кута падіння матеріалу, а на рис. 1.5 – залежності зносу сталі і гуми від міцності сировини, що переробляється у гірничозбагачувальній промисловості. Усі вони свідчать про значні переваги гумових футерівок.

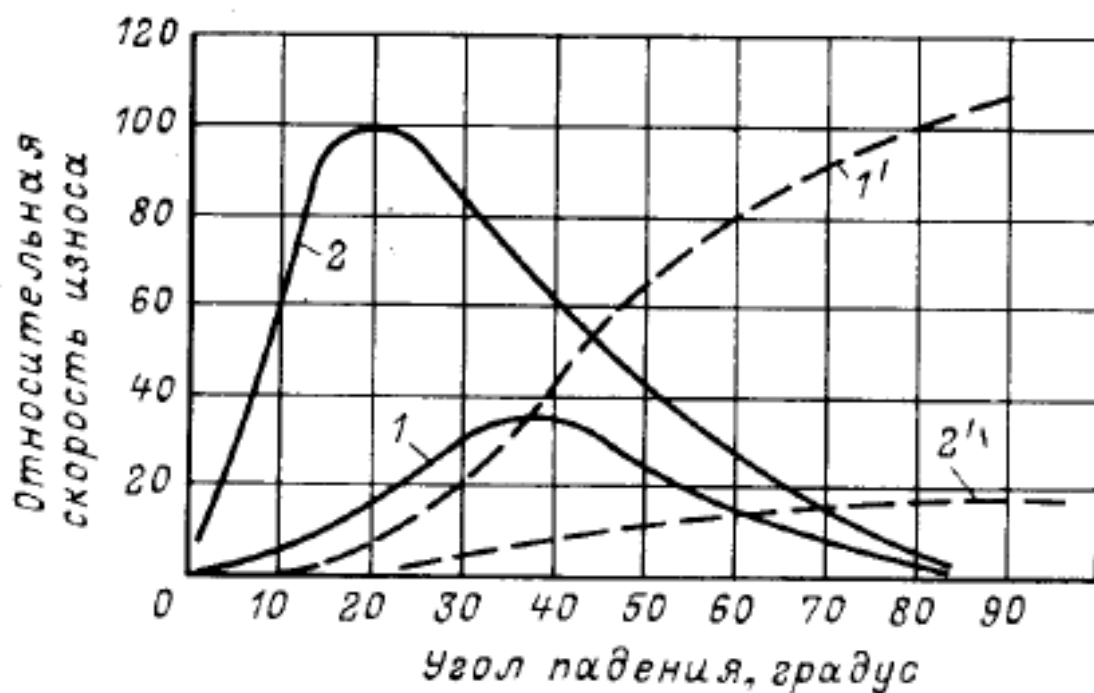


Рисунок 1.4 – Залежності абразивного (суцільні лінії) та втомного (пунктирні лінії) зносу сталевої (1, 1') і гумової (2, 2') футерівки від кута падіння матеріалу

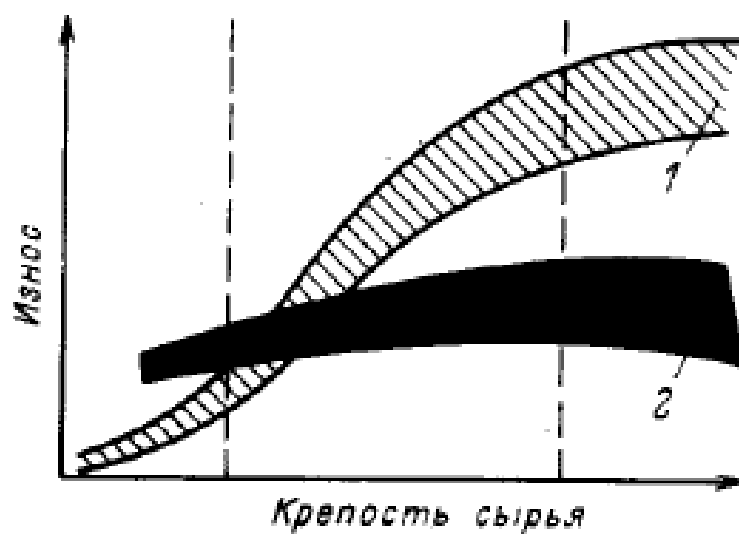


Рисунок 1.5 – Залежності зносу сталі (1) і гуми (2) від міцності перероблюваної сировини

Поліуретани близькі до гум за своїми фізико-механічними та технологічними властивостями. Найбільше розповсюдження мають ливарні поліуретани завдяки простоті технологічних процесів виготовлення з них деталей (методами вільного вакуумного або відцентрового литва) та невисокими вимогами до точності пресформ. Вони використовуються для виготовлення та покриття деталей піскових насосів, футерування трубопроводів, ємностей, резервуарів, роликів, скребків, для захисту від корозії металоконструкцій та фасадів промислових будівель.

Гуми та пластмаси (поліетилени, вініласти, поліізобутілені, фторопласти, склопластики) успішно використовуються в якості антикорозійних покриттів.

Нарешті, слід згадати різноманітні лакофарбові покриття, які виконують роль своєрідного бар'єру, що захищає матеріал конструкції від зовнішнього впливу. Це перхлорвінілові ґрунтовки та емалі, матеріали на епоксидній основі, гліфталеві, алкідно-стирольні та фенольно-формальдегідні смоли, пентафталеві та нітрогліфталеві лакофарбові матеріали, акрилові та поліуретанові покриття, масляні фарби.

Висновки:

- під час експлуатації механічного обладнання його робочі поверхні та деталі конструкції потерпають від різного роду зовнішніх і внутрішніх впливів, в результаті чого ушкоджуються у більшому чи меншому ступені. До можливих ушкоджень деталей машин відносяться деформація і злами, зношення та корозія. Найбільш розповсюдженим видом ушкоджень гірничозбагачувального обладнання є його абразивне зношення;

- різновиди, причини виникнення, характери протікання цих процесів та їх наслідки можуть бути вельми численними, мати різну інтенсивність та шкідливість і призводити до негативних результатів різної важкості. Загальної рисою усіх них є погіршення або повна втрата працездатності виробу та загального рівня його надійності і довговічності. З огляду на це, задача боротьби з цими негативними явищами з метою принаймні зменшення їх небажаних наслідків є завданням першорядної важливості;

- для захисту деталей та робочих поверхонь гірничозбагачувального обладнання, що піддається механічним, корозійно-механічним і корозійним ушкодженням, використовуються захисні покриття та футерівки. Для умов роботи гірничозбагачувального обладнання вони розділяються за призначенням на зносостійкі та антикорозійні. Деякі з них можуть також виконувати ергономічні функції, наприклад зниження рівня шуму, гасіння вібрації устаткування тощо. В якості захисних і футерувальних матеріалів використовуються метали, металеві сплави та наплавочні матеріали на їх основі, гума, поліуретан та інші полімери, а також силікатні покриття, композиційні матеріали та лакофарбові покриття.

1.3 Мета і задачі дослідження

Мета роботи – обґрунтування та вибір раціональних параметрів захисних футерівок і покриттів гірничозбагачувального обладнання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- вибрати методи теоретичних та експериментальних досліджень;
- провести дослідження та обґрунтування параметрів захисних футерівок і покриттів транспортного та транспортно-технологічного обладнання гірничо-збагачувальних виробництв;
- проаналізувати особливості захисту робочих поверхонь транспортних установок, що переміщують матеріал, нерухомий відносно вантажонесучого органу, у тому числі конвеєрних стрічок і кузовів автомобільного та залізничного транспорту;
- проаналізувати особливості захисту робочих поверхонь транспортних установок, що переміщують матеріал, який рухається відносно вантажонесучого органу, у тому числі перепускних жолобів, пульпопроводів, насосів, вібраційних живильників та грохотів-живильників, а також вібраційних грохотів;
- проаналізувати процеси експлуатаційного зношення футерівок дробильно-розмельного обладнання;
- розглянути особливості профілювання дробильного простору щокочів і

конусних дробарок;

- провести дослідження профілів, матеріалів та геометричних параметрів захисних футерівок млинів барабанного типу;

- розробити практичні рекомендації щодо підвищення зносостійкості футерівок та покрить гірничозбагачувального обладнання.

Об'єкт дослідження – методи захисту робочих поверхонь гірничозбагачувальних машин від шкідливого впливу гірничої маси та несприятливих умов експлуатації.

Предмет дослідження – захисні покриття та футерівки дробильно-розмельного, сортувального та транспортного гірничозбагачувального обладнання.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Під час проведення наукових досліджень використовуються різноманітні методи їх здійснення на етапах теоретичних розробок та експериментальної перевірки отриманих результатів. Це, насамперед, загальнонаукові методи, такі як аналіз і синтез, індукція і дедукція, абстрагування та конкретизація, моделювання тощо. Крім них, знаходять застосування спеціальні методи досліджень, притаманні тим чи іншим галузям науки.

У процесі виконання представленої магістерської роботи були задіяні різні методи наукових досліджень. Наприклад, аналітичний метод застосовувався для аналізу параметрів захисних футерівок і покриттів транспортного та транспортно-технологічного обладнання гірничо-збагачувальних виробництв, зокрема установок, що відрізняються характером взаємодії робочого органу з вантажем (з рухом матеріалу відносно вантажонесучого органу та без нього); аналізу процесів експлуатаційного зношення футерівок дробильно-розмельного обладнання тощо.

Для розрахунку параметрів гумової футерівки кузові гірничотransпортного обладнання (автосамоскидів, думпкарів, віброживильників) використовувався метод фізичного моделювання процесу взаємодії шматка матеріалу з вантажонесучим органом, у процесі якого в якості моделі шматка розглядалася матеріальна точка масою M з радіусом поверхні контакту R , удар шматка по робочій поверхні вважається прямим, а рух системи плоскопаралельним. Для уточнення значень частоти ω на кожному кроці розрахунку застосовувався метод послідовних наближень.

Для обчислення переміщень, швидкостей та прискорень вантажонесучого органу транспортного засобу і матеріалу на ньому як функції часу застосовувався метод поетапного чисельного інтегрування.

Для проектування футерівок кульових барабанних млинів використовувався метод теоретичної побудови безперервного профілю броньових плит, запропонований проф. Д.К. Крюковим. Метод переслідує мету зведення до мінімуму явища ковзання кульового завантаження відносно футерівки і полягає у розробці геоме-

трії криволінійної поверхні плит, що описується класичним рівнянням логарифмічної спіралі.

Для отримання та обробки результатів експериментальних досліджень застосовувалися методи тензометричних замірів параметрів обладнання, аналізу їх залежностей від властивостей вантажу та умов експлуатації машин, формулювання та обґрунтування практичних рекомендацій щодо підвищення зносостійкості захисних футерівок і покриттів.

З ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАХИСНИХ ФУТЕРІВОК І ПОКРИТЬ ТРАНСПОРТНОГО ТА ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ГІРНИЧОЗБАГАЧУВАЛЬНИХ ВИРОБНИЦТВ

3.1 Загальні зауваження

Сучасні гірничозбагачувальні підприємства надзвичайно насичені різноманітними транспортними установками, які поєднують підготовче, основне та допоміжне збагачувальне обладнання у технологічні ланцюги, якими рухається видобута в шахті або кар'єрі гірничі маси і поступово перетворюється на продукти збагачення (концентрат, агломерат, окатиші, хвости та промпродукти). Оскільки усі транспортні машини мають справу з абразивними, а на початку їх шляху від забою й крупношматковими матеріалами, робочі органи установок потерпають від зношення і потребують запровадження ефективних способів та засобів захисту від негативного впливу з боку транспортованих вантажів.

Інтенсивність процесу зношення робочих (вантажонесучих) органів транспортного обладнання залежить від характеру їх взаємодії з транспортованим матеріалом, у першу чергу від того, зі зміщенням відносно робочого органу чи без нього відбувається переміщення вантажу. Наприклад, вантаж під час транспортування залишається нерухомим відносно стрічок стрічкових та пластинчастих конвеєрів і живильників, відносно робочого органу дискового живильника, кузовів автосамоскидів та думпкарів. І, навпаки, матеріал рухається відносно робочих органів установок пневмо- і гідротранспорту, перепускних жолобів, скребкових та гвинтових конвеєрів, спіральних класифікаторів. До другої групи можна віднести також засоби вібраційного транспорту та вібраційні грохоти, відносно робочих органів яких матеріал рухається у режимі періодичного відриву від них.

У будь-яком випадку робочі органи транспортних та транспортно-технологічних машин (тобто таких, що одночасно з процесом транспортування матеріалу виконують операції його обробки – перемішування, класифікації, сушіння, охоло-

дження, нагрівання тощо) сприймають з боку матеріалу значні стираючі та ударні навантаження і зношуються. У зв'язку з цим виникає питання щодо підвищення термінів служби вантажонесучих органів, вирішувати яке шляхом збільшення їх запасу міцності не вигідно внаслідок неминучого зростання матеріалоемності, габаритів, потужності приводів і, у кінцевому рахунку, вартості.

З огляду на це, раціональним та доцільним способом запобігання деформаційних змінень і механічних ушкоджень конструктивних елементів вантажонесучих органів стає використання захисних футерівок.

3.2 Захист робочих поверхонь транспортних установок, що переміщують матеріал, нерухомий відносно вантажонесучого органу

3.2.1 Захисні покриття конвеєрних стрічок

Стрічки конвеєрів гірничозбагачувальних підприємств можуть працювати у надзвичайно важких умовах транспортування крупношматкових абразивних вантажів. Такими умовами характеризуються виробничі дільниці, де здійснюються технологічні процеси підготовки корисних копалин до операцій збагачення. Сировина на гірничозбагачувальну фабрику може поступати безпосередньо з видобувних забоїв шахт і кар'єрів і мати розміри шматків, наприклад у залізорудній промисловості, до 1000-1200 мм і навіть більше (до 1500 мм). Можна уявити собі ті динамічні навантаження, які змушені сприймати робочі органи таких установок під час завантаження і транспортування матеріалу. Але й після дроблення гірничої маси вона завдяки своїй абразивності продовжує інтенсивно зношувати стрічки конвеєрів.

В конструкціях стрічок стрічкових конвеєрів захисну функцію виконує гума у вигляді робочих і неробочих обкладинок каркасу стрічки. Вони зношуються за рахунок стирання та ударів матеріалом під час завантаження конвеєра, а також через тертя стрічки відносно підтримуючих роликів і очисних пристроїв та пробуксовки її на барабанах.

Під час визначення терміну служби конвеєрних стрічок основним фактором

є зношення, яке виражається у вигляді втрати маси або абсолютного зношення по товщині. Формули для розрахунку терміну служби робочої T_p та неробочої T_H обкладинок стрічки наступні:

$$T_p = \frac{BL^2\delta'\gamma_p}{23400n_c v(u_B^I + u_B^{II} + u_B^{III} + u_B^{IV})}; \quad (3.1)$$

$$T_H = \frac{BL^2\delta''\gamma_p}{23400n_c v(u_H^I + u_H^{IV})}, \quad (3.2)$$

де T_p і T_H – терміни служби стрічки за умовами зношення відповідно робочої та неробочої обкладинок, міс.; B – ширина стрічки, м; L – довжина стрічки, м; δ' і δ'' – максимальні за шириною зношення робочої та неробочої обкладинок, м; γ_p – об'ємна маса матеріалу обкладинок, кг/м³; n_c – час роботи конвеєра протягом доби, год.; v – швидкість руху стрічки, м/с; u_B^I і u_H^I – зношення верхньої та нижньої обкладинок стрічки під час руху по підтримуючих роликах за один пробіг стрічки по контуру конвеєра, м³; u_B^{II} – зношення верхньої обкладинки стрічки під час проходження очисного пристрою, м³; u_B^{III} – зношення верхньої обкладинки стрічки під час завантаження конвеєра матеріалом, м³; u_B^{IV} і u_H^{IV} – зношення верхньої та нижньої обкладинок стрічки під час огинання нею барабанів конвеєра, м³.

3.2.2 Футерівка кузовів автомобільного та залізничного транспорту

Розвиток відкритого способу розробки корисних копалин (а з точки зору абразивного зношення робочих органів транспортного обладнання у першу чергу рудних), який характеризується величезними масштабами видобутку, обумовлює все більше використання великовантажного автомобільного та залізничного транспорту. Підготовлена в результаті підриву скельного рудного масиву гірнична маса виймається зі штабелю та вантажиться за допомогою екскаваторів різних типів у кузови автосамоскидів та залізничних вагонів. Під час завантаження крупношматкової руди відбуваються процеси деформації та стирання кузовів транспортних судин, а при розвантаженні – їх інтенсивне стирання.

Наприклад, при завантаженні у самоскид вантажопідйомністю 105 т технічними вимогами допускається падіння шматків масою до 3 т з висоти не більше 3

м [13]. При більших шматках та більшій висоті падіння в конструктивних елементах кузовів виникають значні напруження, величина яких наближається до межі текучості металу.

Для футерівки гірничотранспортного обладнання використовують гумові елементи листового, плоского, вигнутого та ребристого типів. Листові та вигнуті використовують для захисту поверхонь, по яких відбувається ковзання матеріалу; ребристі (типу VP) – поверхонь, що сприймають лише ударні динамічні навантаження; потужні плоскі (типу PU) – поверхонь, що піддаються як ударним, так і стираючим навантаженням.

На рис. 3.1 показані схеми болтового кріплення плоского (а) та ребристого (б) профілів елементів гумової футерівки кузовів автосамоскидів. Т-подібні сталеві болти вставляються у спеціальні пази профілів.

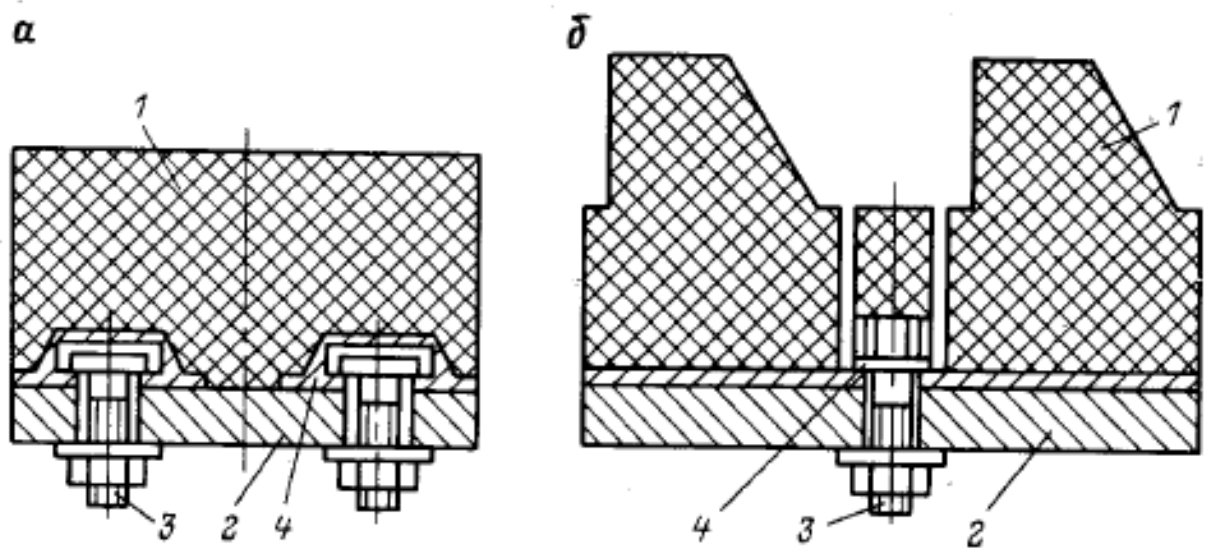


Рисунок 3.1 – Схеми болтового кріплення плоского (а) та ребристого (б) профілів елементів гумової футерівки кузовів автосамоскидів:

1 – футерівка; 2 – корпус кузова автосамоскида; 3 – кріпильний болт з гайкою і шайбою; 4 – паз для головки кріпильного болта

Інтенсивність зношення футерівки залежить від кута падіння на неї шматкового матеріалу. Під час завантаження гірничої маси екскаваторами кут атаки кузова автосамоскиду або думпкару складає 70-90°, що дозволяє максимально по-

вно використовувати амортизаційні властивості гуми. Оптимальним значенням кута атаки вважається кут 90° .

Під час розвантаження автосамоскиду (думпкару) кут між траєкторією падіння матеріалу та площиною його днища складає зазвичай 5° . При куті $3-5^\circ$ зносостійкість гуми висока, а при куті менше 3° – перевищує зносостійкість сталі.

Потрібна товщина стандартних елементів футерівки кузовів залежить від крупності шматків гірничої маси, висоти та кута їх падіння. Схема кріплення елементів гумової футерівки на кузові автосамоскида показана на рис. 3.2, а необхідна товщина елементів типу PU і VP приведена у табл. 3.1 (довжина елементів складає 1000 і 1500 мм, а ширина – 300, 450, 500 і 600 мм).

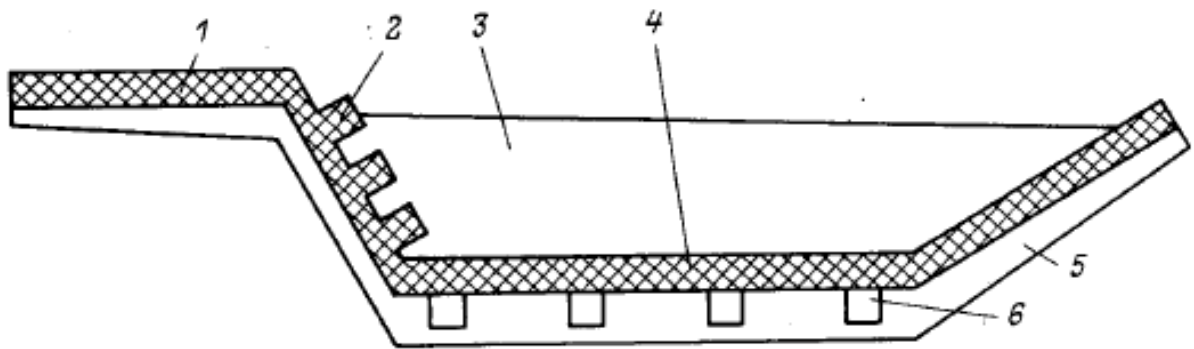


Рисунок 3.2 – Схема кріплення елементів гумової футерівки PU і VP на кузові автосамоскида:

1 – козирок (PU); 2 – передня стінка (VP); 3 – бічна стінка (PU);
4 – днище (PU); 5 - кузов; 6 – дерев'яні бруси-амортизатори

Таблиця 3.1 – Товщина елементів футерівки типу PU і VP

Тип футерівки	Товщина елементів футерівки (мм) основних частин кузова автосамоскида			
	Козирок	Передня стінка	Бічні стінки	Днище
PU	130	-	105	130
PU	105	-	80	105
PU	80	-	55	80
VP	-	130	-	-
VP	-	105	-	-
VP	-	80	-	-

У кінцевому результаті, захист кузова автосамоскида гумовими футерувальними плитами виключає можливість ушкодження конструктивних елементів кузова та шасі автомобіля при падінні шматків матеріалу об'ємом до 1 м^3 з висоти декількох метрів. Це дозволяє збільшити термін служби кузова автосамоскида не менше, ніж у 3 рази.

Коли виникають сумніви щодо витривалості гумової футерівки кузова, здійснюють розрахунок її параметрів. Для цього потрібно знати навантаження, що виникають при падінні крупношматкових вантажів на вантажонесучий орган. При складанні розрахункової схеми останнього приймають, що частота власних поперечних коливань кузов вище їх власних коливань на опорних пружних зв'язках як твердого тіла та частоти власних коливань шматка вантажу на гумовій футерівці днища (рис. 3.3).

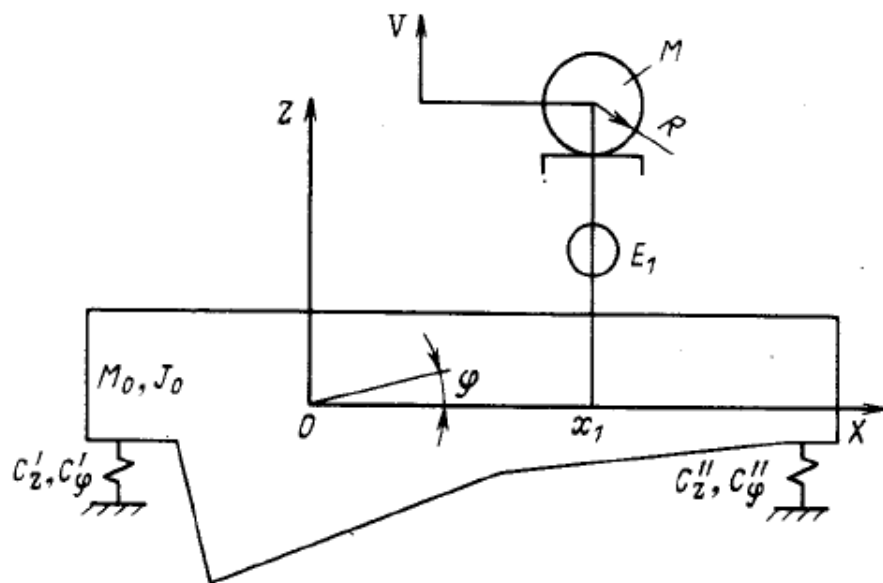


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема вантажонесучого органу автосамоскида або думпкара

Для побудови фізичної моделі процесу взаємодії шматка матеріалу з вантажонесучим органом приймаються наступні припущення: в якості моделі шматка розглядається матеріальна точка масою M з радіусом поверхні контакту R , удар шматка по робочій поверхні вважається прямим, а рух системи плоскопаралельним.

Залежність зусилля від величини деформації футерівки відповідає нелінійному пружноспадковому співвідношенню:

$$Q(t, h) = E_t f(h), \quad (3.3)$$

де E_t – інтегральний оператор, що відповідає модулю нормальної пружності футерівки.

У рамках детермінованого підходу еквівалентний радіус R шматка визначається із припущення, що шматок масою M має форму кулі.

Для спрощення рішення рівняння з інтегральним оператором прийнято апроксимувати його ядро експонентою $\alpha_0 \exp[-\beta_0(t - \tau)]$, що дозволяє з достатнім ступенем точності врахувати ефекти релаксації та демпфірування. Формули для розрахунку реологічних параметрів матимуть наступний вигляд:

$$\beta_0 = \frac{\omega A}{B}; \quad (3.4)$$

$$\alpha_0 = \omega \left(B + \frac{A^2}{B} \right); \quad (3.5)$$

де
$$A = \frac{\omega^{1+\alpha} \cos \delta + \beta}{D}; \quad (3.6)$$

$$B = \frac{\omega^{1+\alpha} \sin \delta}{D}; \quad (3.7)$$

$$D = \omega^{2(1+\alpha)} + 2\omega^{1+\alpha} \beta \cos \delta + \beta^2; \quad (3.8)$$

$$\delta = 0,5\pi(1 + \alpha). \quad (3.9)$$

У табл. 3.2 приведені реологічні параметри деяких типів гум.

Таблиця 3.2 – Реологічні параметри деяких типів гум

Тип (шифр) гуми	Реологічні параметри зносостійкості гум			
	α	β	γ	E , МПа
18 01	– 0,788	0,330	1,000	10,98
62 52	– 0,769	0,337	0,320	3,39
29 59	– 0,600	4,100	0,580	5,28

Значення частоти ω уточнюється на кожному кроці методу послідовних наближень, причому в якості нульового наближення приймається $\omega_0 = \frac{\pi}{\tau_0}$, де τ_0 – час сумісного руху шматка і вантажонесучого органу, що відповідає ідеальній пружності футерівки ($\alpha_0 = 0$).

При достатній товщині футерівки функція $f(h)$ підкоряється залежності Герца для випадку контакту сферичної поверхні з пружним напівпростором:

$$f(h) = \frac{2}{3(1-\mu^2)} (\sqrt{Rh})^{\frac{3}{2}}, \quad (3.10)$$

де $\mu = 0,5$ – коефіцієнт Пуассона для гуми; R – радіус сфери вдавлювання, мм; h – глибина вдавлювання, мм.

У цьому випадку з урахуванням описаної апроксимації математичний опис руху моделі взаємодії шматка матеріалу з вантажонесучим органом в абсолютних координатах останнього Z , φ і вантажу (див. рис. 3.3) представляє собою систему диференціальних рівнянь наступного вигляду:

$$M_0 \ddot{Z} + C_z Z = -\sigma M (\dot{V} + g); \quad (3.11)$$

$$I_0 \ddot{\varphi} + C_\varphi \varphi = -\sigma X_1 (\dot{V} + g); \quad (3.12)$$

$$\begin{aligned} \dot{V} = & -\beta_0 (\dot{V} + g) - \frac{K}{M} \sqrt{1 - Z - X_1 \varphi} \cdot \\ & \cdot \left[\frac{3}{2} (\dot{V} - \dot{Z} - X_1 \dot{\varphi}) + (\beta_0 - \alpha_0) (V - Z - X_1 \varphi) \right], \end{aligned} \quad (3.13)$$

де M_0 , I_0 – відповідно маса і центральний момент інерції вантажонесучого органу; M – маса шматка матеріалу; C_z і C_φ – приведені коефіцієнти відповідно вертикальної та поворотної жорсткості опорних пружних зв'язків; σ – перемикаюча функція, що дорівнює одиниці на етапах сумісного руху шматка і вантажонесучого органу та нулю на етапах польоту шматка.

У рівнянні (3.13):

$$K = 2E_0 \sqrt{\frac{R}{3}} (1 - \mu^2), \quad (3.14)$$

де E_0 – миттєвий модуль нормальної пружності (див. табл. 3.2).

Початкові умови: $t(0) = 0$; $\dot{Z}(0) = 0$; $\varphi(0) = 0$; $\dot{\varphi}(0) = 0$; $\ddot{V}(0) = g$; $\dot{V} = -\sqrt{2gH}$, де H – висота падіння вантажу; $\dot{V}(0) = g$ – прискорення вільного падіння.

Методом поетапного чисельного інтегрування рівнянь (3.11)-(3.14) можна обчислити переміщення, швидкості та прискорення вантажонесучого органу і матеріалу як функції часу. Потім за допустимою деформацією стискання гуми, яка дорівнює 0,3, та глибиною вдавлювання шматка визначають необхідну товщину гумового шару. Прийнята товщина футерівки повинна враховувати запас шару на зношення.

Після визначення зусиль взаємодії вантажонесучого органу з вантажем елементи конструкції перевіряють на міцність, причому крім зусилля взаємодії, розподіленого по зоні контакту, враховують інерційне навантаження наступної інтенсивності:

$$d_i = -d_m(\dot{Z} + x\dot{\varphi}), \quad (3.15)$$

де d_m – елемент маси днища.

3.3 Захист робочих поверхонь транспортних установок, що переміщують матеріал, який рухається відносно вантажонесучого органу

3.3.1 Футерівка перепускних жолобів

Технологічні процеси видобутку та переробки корисних копалин потребують організації численних перевантажувальних пунктів та стиках транспортного і технологічного обладнання гірничих та гірничозбагачувальних підприємств. Такі пункти перевантаження можуть мати перепади висоти від 2 до 6 м, а при завантаження у бункери – до 10-15 м при швидкості 1-14 м/с. Значне завантаження технологічних ліній у гірничозбагачувальній промисловості вимагає збільшення міжремонтних термінів експлуатації перепускних пристроїв, а це можливо досягти шляхом футерування лійок та жолобів зносостійкими матеріалами.

В якості таких матеріалів використовуються гума, кам'яне литво, мінералокераміка, зносостійкі чавуни і сталі.

Зносостійкість футерувального матеріалу у значному ступені залежить від його твердості. Найвищу зносостійкість при куті атаки $\alpha = 0$ мають металокерамічні плитки з корунду, карбіду кремнію та інших матеріалів з високою мікротвердістю.

На рис. 3.4 показана раціональна конструкція перепускного жолобу, що виконана з урахуванням фізико-механічних властивостей матеріалів. Днище перепускного пристрою на дільниці падіння матеріалу, у масі якого можуть бути крупні шматки, футерують зносостійкою гумою, а на дільниці поступального переміщення матеріалу – мінералокерамічною плиткою або іншим зносостійким матеріалом високої твердості. Для зниження динамічного впливу падаючого матеріалу металоконструкція жолобу підвішується або спирається на м'які пружні елементи (амортизатори).

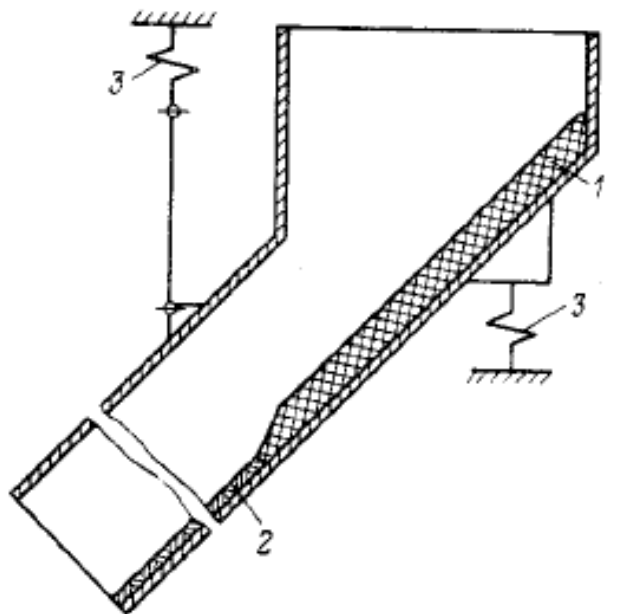


Рисунок 3.4 – Перепускний жолоб, футерований зносостійкими матеріалами:
1 – футерувальний шар зносостійкої гуми; 2 – мінералокерамічна плитка високої твердості; 3 – м'які пружні елементи (амортизатори)

Гідравлічне транспортування матеріалів здійснюється за допомогою жолобів, що у більшості випадків мають прямокутний перетин. Оскільки переміщення

пульпи відбувається безнапірним методом, то жолоби укладають з певним ухилом. Для руди він складає від 0,02 до 0,3-0,5 у залежності від розмірів частинок транспортованого матеріалу та густини пульпи. Рекомендовані орієнтовні ухили жолобів та лотків різного призначення приводяться у відповідній літературі, наприклад у [15].

Матеріали жолобів можуть бути різними. Використовуються сталеві та залізобетонні конструкції, устелені для захисту від зношення конвеєрною стрічкою, а також дерев'яні трикутного перетину з футерівкою з дощок товщиною 40 мм (рис. 3.5). Останній варіант жолобу має термін служби до 10 років.

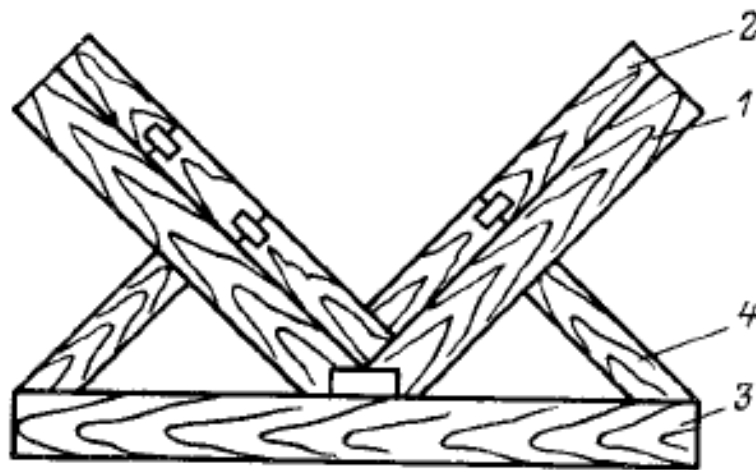


Рисунок 3.5 – Дерев'яний жолоб трикутного перетину:
1 – жолоб; 2 – футерівка з дощок товщиною 40 мм; 3 – лежак; 4 – підпорки

3.3.2 Захисні покриття пульпопроводів

В умовах гірничозбагачувальних підприємств багато матеріалів транспортується гідравлічним способом за допомогою пульпопроводів. Такий вид транспорту відрізняється високими економічними та технологічними показниками, а саме: має значний коефіцієнт використання (більше 90%), високу продуктивність, високий рівень надійності та довговічності, для його будови та експлуатації потрібні одноразові капітальні витрати і невеликий штат обслуговуючого персоналу.

Що стосується технологічних переваг пульпопроводів, то вони мають невеликий діаметр при значній пропускній спроможності, високу концентрацію твердих матеріалів у пульпі (50-70%) та невеликі швидкості потоків (1,2-2,1 м/с).

За економічними показниками цей вид транспорту вигідніший за автомобільний і залізничний. Але він потребує певних експлуатаційних витрат через необхідність боротьби з гідроабразивним зношенням пульпопроводів.

Використання тих чи інших зносостійких матеріалів у даному випадку має узгоджуватися з раціональним вибором кута атаки. Наприклад, для середньовуглецевих сталей та інших матеріалів, що аналогічно опираються сколюванню, максимальне зношення відбувається при куті атаки $\alpha_0 = 90^\circ$. Поступове зниження його до нуля зменшує інтенсивність зношення до мінімуму. Для пружних матеріалів (гуми, пластмаси) навпаки – найбільше зношення має місце при мінімальних кутах. У табл. 3.3 і 3.4 приведені залежності відносного зношення різних футерувальних матеріалів від їх твердості при кутах атаки частинок матеріалу відповідно $\alpha_0 = 90^\circ$ (лобовий удар) та $\alpha_0 = 0$ (ковзний удар).

Таблиця 3.3 – Залежність відносного зношення матеріалу від його твердості при $\alpha_0 = 90^\circ$

Матеріал	Параметри матеріалу при максимальному куті атаки $\alpha_0 = 90^\circ$ (лобовий удар)	
	Твердість, МПа	Відносне зношення, мкм/год.
Сталь маловуглецева (0,13% С)	1100	1,0
Сталь (0,6% С)	1950	0,8
Сталь (0,33% С)	1700	0,91
Сталь загартована	8000	1,37
Гума	700-740	0,27
Металокерамічний твердий сплав	18000	0,27
Сплави тверді литі	6110	1,38
Корунд (мінералокераміка)	17500	4-11
Базальт литий	7250	60-100
Скло	5000	180-190

Значний вплив на зношення труб мають такі властивості абразивних частинок, як твердість, структурна спаяність та густина.

Основним напрямком з підвищення зносостійкості труб слід вважати їх змі-

цнення шляхом наклепу, гартування або хіміко-термічної обробки. Можна використовувати двошарові труби з внутрішнім шаром з броньових або загартованих сталей з твердістю до 600 НВ та зовнішнім у вигляді труб або обмотки з м'якої сталі. Наприклад, внутрішній зносостійкий шар зі сплаву типу Х18 або хромистого чавуну 300Х12, який наноситься відцентровим способом, має у 5-6 разів більшу стійкість, ніж звичайна сталь.

Таблиця 3.4 – Залежність відносного зношення матеріалу від його твердості при $\alpha_0 = 0$

Матеріал	Параметри матеріалу при мінімальному куті атаки $\alpha_0 = 0$ (ковзний удар)	
	Твердість, МПа	Відносне зношення, мкм/год.
Корунд	17500	79
Сталь:		
загартована вуглецева (0,6% С)	8300	358
незагартована вуглецева (0,6% С)	2050	466
незагартована вуглецева (0,33% С)	1500	533
незагартована вуглецева (0,13% С)	1100	720
Базальт литий	7250	3460
Гума	700-740	3820-5060
Твердий бетон	-	5060
Чавун білий нелегований	6500	504

Хороші перспективи мають скляні труби, які відрізняються простотою виготовлення (витягуванням, видуванням, відливкою у форми, штамповкою), легкістю обробки, високою стійкістю до гідроабразивних та хімічно агресивних середовищ, низьким гідравлічним опором.

Знаходять використання трубопроводи, виготовлені з кам'яного литва, хоча вони мають достатньо високий коефіцієнт гідравлічного опору.

Ефективним методом захисту від гідроабразивного зношення є корундування внутрішніх поверхонь труб та робочих елементів насосів. Основою для захисного шару служить епоксидна смола, а наповнювачем – корунд і маршаліт.

Внутрішні поверхні труб можна вкривати шаром емалі, футерувати поліетиленом тощо.

Інтенсивність зношення пульпопроводів Δ (кг/м²·с) у значному ступені залежить від кута їх нахилу. Її величина при співударянні з твердими абразивними частинками становить:

$$\Delta = f\rho_{\text{т}}v_{\text{т}}^n S(1-S)d\sin 2\alpha, \quad (3.16)$$

де f – коефіцієнт пропорційності, що залежить від абразивності частинок, с²/м³; $\rho_{\text{т}}$ – густина твердих частинок, кг/м³; $v_{\text{т}}^n$ – швидкість співударяння частинок з поверхнею зношення ($n = 3$), м/с; S – об’ємна консистенція гідрозависі безпосередньо біля поверхні зношення; d – крупність твердих частинок, мм; α – кут співударяння твердих частинок з поверхнею зношення, град.

Для низхідного потоку пульпи маємо:

$$v_{\text{т.н}} = \sqrt{v_n^2 + w^2 + 2v_n w \sin \beta}; \quad (3.17)$$

$$\alpha_{\text{н}} = 0,5 \arcsin \left(\frac{2w \cos \beta \sqrt{v_n^2 + w^2 \sin^2 \beta - 2v_n w \sin \beta}}{v_n^2 + w^2 + 2v_n w \sin \beta} \right). \quad (3.18)$$

Для висхідного потоку пульпи:

$$v_{\text{т.в}} = \sqrt{v_n^2 + w^2 - 2v_n w \sin \beta}; \quad (3.19)$$

$$\alpha_{\text{в}} = 0,5 \arcsin \left(\frac{2w \cos \beta \sqrt{v_n^2 + w^2 \sin^2 \beta - 2v_n w \sin \beta}}{v_n^2 + w^2 - 2v_n w \sin \beta} \right). \quad (3.20)$$

У цих формулах: v_n – швидкість поступального руху частинки у напрямку потоку, обумовленого гідродинамічною взаємодією частинок з рідиною, м/с; w – швидкість переміщення частинки у напрямку дії ваги, м/с; β – кут нахилу труби відносно горизонту, град.

Об’ємна консистенція гідрозависі:

$$S = S_{\text{сер}} + (S_{\text{max}} - S_{\text{сер}}) \frac{v_{\text{кр}}}{v_{\text{сер}}} \cos \beta. \quad (3.21)$$

З виразу (3.21) можна знайти: $S_{\text{сер}}$ – усереднену консистенцію гідрозависі у нижній частині похилої труби; S_{max} – максимально можливу консистенцію; $v_{\text{кр}}$ – критичну швидкість транспортування гідрозависі, м/с.

3.3.3 Захисні покриття насосів

Для перекачування рідин з твердими включеннями (абразивних гідрозависів – піщаних, гравійних, піщано-гравійних, шлакових, зольних) використовуються різні конструкції насосів, у першу чергу ґрунтові та піскові. Такі гідрозависі можуть мати густину до 1300 кг/м³, кислотність РН до 8 і температуру до 70° С, а насоси для них – подачу від 27 до 10000 м³/год, напір від 10 до 80 м та потужність приводу від 10 до 3200 кВт при частоті обертання робочого колеса від 365 до 1450 об/хв.

Усі конструкції ґрунтових насосів мають двохкорпусну схему, яка дозволяє використовувати і легко замінювати закладні деталі з різних матеріалів, отримуючи потрібну комбінацію за запитом замовника. У табл. 3.5 і 3.6 приведені потреби у швидкозамінюваних деталях ґрунтових насосів та терміни служби їх валів і підшипників. Піскові насоси мають однокорпусне виконання зі зносостійкими проточними частинами з високохромистих сплавів ІЧХ28Н2 і Х30Н2 або з покриттям внутрішніх поверхонь корундом на бакелітовій основі.

Таблиця 3.6 – Терміни служби валів і підшипників ґрунтових насосів

	Терміни служби валів і підшипників ґрунтових насосів (год) при подачі насосів, м ³ /год			
	850	1500	2200	4500
Вал робочого колеса	7550	8400	10000	12000
Вкладиші підшипників ковзання	10000	10000	10000	10000
Радіальні роликові підшипники	3000	10000	45000	30000
Упорний шариковий підшипник	3000	4500	900	3300

3.3.4 Футерівка вібраційних живильників та грохотів-живильників

Вібраційні живильники та колосникові грохоти-живильники широко використовуються на перевантажувальних пунктах технологічних ліній гірничозбагачувальних підприємств. Усі вони змушені сприймати ударні навантаження від падаючого шматкового і крупношматкового матеріалу, що неминуче призводить до абразивного зношення робочих поверхонь вантажонесучих органів [16].

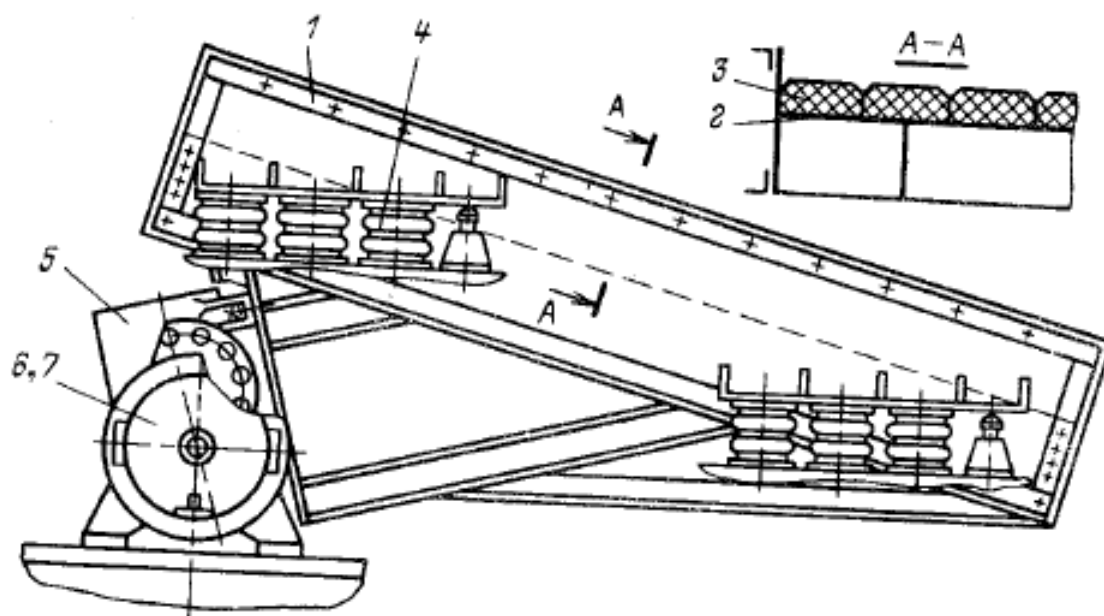
В якості футерувальних матеріалів для них використовують зносостійкі сталі та гуму. У вітчизняній практиці найбільш широке розповсюдження отримали саме гумову футерівку. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що із збільшенням товщини гумового шару напруження у робочому органі віброживильника у порівнянні з нефутерованою поверхнею зменшуються у 6-8 разів, час контакту шматка з футерованою поверхнею зростає у 3-4 рази, площа контакту збільшується у 7-9 разів, а навантаження на пружні опори машини зменшуються в 1,5-2 рази [13].

Сучасні конструкції віброживильників важкого типу розраховані на перевантаження крупношматкової гірничої маси з продуктивністю 1500-3000 т/год і більше. На рис. 3.6 показані схема вібраційного живильника, конструкція елементу його футерівки та схема захисту вантажонесучого органу машини від абразивного зношення.

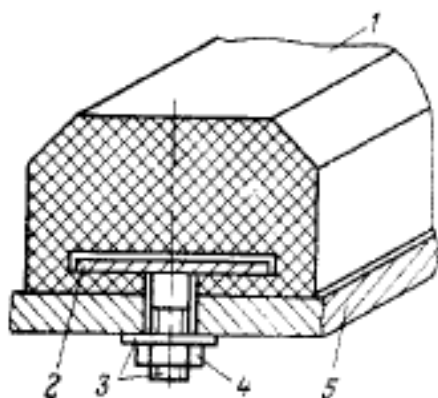
Віброживильник (рис. 3.6а) складається з коробу 1 вантажонесучого робочого органу, який спирається на несучі конструкції через пружні опори 4, та самобалансного вібратора 5, встановленого на підвібраторній балці, що сполучає боковини коробу. Вали вібратора обертаються від електродвигуна 6 через пружну муфту 7. Днище 2 робочого органу вкрито гумовою футерівкою 3. Елемент останньої показаний на рис. 3.6б. Він має вигляд гумового блоку 1 зі спеціальним поздовжнім пазом, в який вставлена кріпильна планка 2 зі шпилькою, шайбою 3 та гайкою 4 для закріплення на днищі віброживильника 5.

Ударний характер взаємодії футерівки і робочого органу живильника з крупними шматками гірничої маси позначається як на несучій здатності футерівки, так і на рівні напружень в елементах конструкції робочого органу віброживиль-

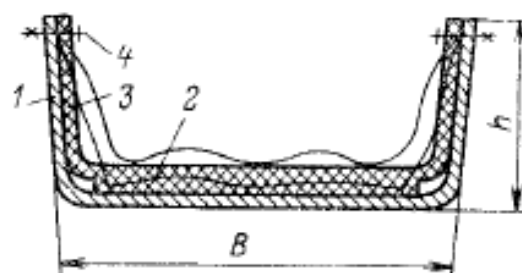
ника. Переміщення матеріалу значним шаром по вантажонесучому органу живильника викликає абразивне зношення не лише його днища, але й бортів. Тому футерівка покриває лоток 1, днище 2 та борти 3 робочого органу (рис. 3.6в). Кріпиться вона до живильника болтами 4 у верхній частині бортів лотка.



a



б



в

Рисунок 3.6 – Вібраційний живильник важкого типу:

a – принципова схема конструкції (1 – короб вантажонесучого робочого органу;

2 – днище робочого органу; 3 – гумова футерівка; 4 – пружні опори;

5 – вібратор; 6 – електродвигун; 7 – пружна муфта);

б – елемент футерівки віброживильника (1 – гумовий блок; 2 – кріпильна планка;

3 – шайба; 4 – гайка; 5 – днище робочого органу віброживильника);

в – схема футерівки робочого органу віброживильника

(1 – лоток; 2 – днище; 3 – борт; 4 – болти)

Окрім захисту робочого органу живильника від абразивного зношення футерівка внаслідок згинальних коливань під дією вертикальної складової змушеного зусилля віброприводу сприяє очищенню днища і бортів під час транспортування липких матеріалів.

Розміри лотка і футерівки мають знаходитися у наступному співвідношенні:

$$\frac{h_1}{h_2} \leq \frac{B}{h}, \quad (3.22)$$

де h_1 і h_2 – товщини футерівок відповідно днища і бортів лотка робочого органу; B – ширина днища; h – висота борта.

3.4 Підвищення зносостійкості просіювальних поверхонь грохотів

Сортування матеріалів за крупністю на просіювальних поверхнях грохотів є однією з найважливіших операцій, що здійснюються на підприємствах гірничо-збагачувальної галузі. На виробництві використовуються установки колосникового і барабанного типів, але найбільш вживаними є вібраційні конструкції інерційного типу, серед яких можна виділити два основних класи: з дебалансними віброприводами, що забезпечують еліптичні коливання робочого органу грохота (коробу з ситом чи ситами) та самобалансними вібраторами, які реалізують прямолінійні коливання, спрямовані під кутом до площини робочого органу. Під час коливних рухів сита (сит) матеріал, що знаходиться на ньому, струшується, підкидається, просувається уперед і одночасно просівається крізь отвори поверхні сита. Процес грохочення може вестися як сухим, так і мокрим способами. Технічні параметри деяких конструкцій таких вібраційних грохотів інерційного типу приведені у табл. 3.7.

Під час роботи грохотів їх просіювальні поверхні піддаються різним видам абразивного зношення, внаслідок чого термін служби цих елементів у 2-4 рази менше терміну служби таких швидкозношуваних вузлів, як, наприклад, броні дробильно-розмельного обладнання. З огляду на це, матеріали просіювальних повер-

хонь повинні мати високу абразивну зносостійкість та стійкість проти дії знакозмінних динамічних навантажень.

До основних видів просіювальних поверхонь відносяться:

- колосникові решітки;
- листові сита (решітки) зі сталевих листів, в яких проштамповані квадратні або просвердлені круглі отвори. Можуть бути також литі варіанти конструкцій;
- металеві сітки з рифленого дроту;
- щілинні (шпальтові) колосникоподібні сита з дроту трапецієподібного перетину;
- різного роду гумові сита.

Металеві просіювальні поверхні виготовляють з вуглецевих та легованих сталей, наприклад, марганцевистої 110Г13Л або нержавіючих сортів, таких як 08Х18Н16, 12Х18Н9Т, 12Х18Н10Т.

Сита, виконані зі зносостійких сортів гуми окрім високого опору абразивному зношенню здатні витримувати тривалі знакозмінні навантаження, сприймати значні зворотні деформації розтягання і стискання із збереженням міцності. Слід, проте, відмітити, що для гумових поверхонь при дотичних ударах зростає ймовірність механічних ушкоджень гострими крайками абразиву, тому на зносостійкість гумових просіювальних поверхонь у значному ступені впливає стан та якість поверхневого шару.

Дослідження, що проводяться із удосконалення просіювальних поверхонь грохотів, мають два основні взаємопов'язані напрямки. Це підвищення довговічності та покращання ефективності і питомої продуктивності процесу грохочення. Тобто, важливо, щоб заходи, спрямовані на підвищення терміну служби сит, не впливали негативно на технологічні показники грохочення.

З найбільш ефективних технічних рішень у світовій практиці щодо вирішення цього питання є різні варіанти поєднання металевих та гумових матеріалів у конструкціях просіювальних поверхонь. Наприклад, сталеві решета можуть покриватися гумою методом набризку з обох боків листа. На рис. 3.7 показане гумове сито, армоване металевими вкладишами.

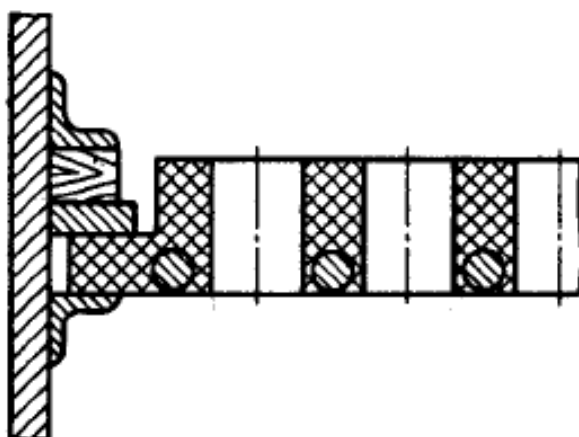


Рисунок 3.7 – Гумове сито, армоване металевими вкладишами

Свого часу у Швеції були проведені порівняльні випробування використання різних матеріалів просіювальних поверхонь у конструкціях вібраційних грохотів при грохоченні по класу 25 мм живильного матеріалу крупністю 0-150 мм. Результати випробувань приведені у табл. 3.8. З них видно, що найкращі результати показує чисто гумова просіювальна поверхня, яка забезпечує термін служби у 10-12 разів більший, ніж перфоровані сталеві листи. При цьому найкращі показники

Таблиця 3.8 – Результати порівняльних випробувань використання різних матеріалів просіювальних поверхонь

Просіювальна поверхня	Кількість переробленої руди до зношення сита, т	Відносні витрати, пов'язані зі зношенням сит, %
Перфорований сталевий лист ($\delta = 10$ мм)	50000	100
Сітка з фасонного прутка ($\delta = 25$ мм)	130000	51
Перфорований сталевий лист ($\delta = 5$ мм), футерований гумою ($\delta = 12$ мм)	600000	13
Гумова робоча поверхня ($\delta = 25$ мм)	900000	13

довговічності та ефективності грохочення отримані під час використання просіювальних поверхонь, набраних з карт «Еластик» з габаритними розмірами 500х200 мм, товщиною 25 мм і розміром квадратних отворів 25х25 мм (рис. 3.8).

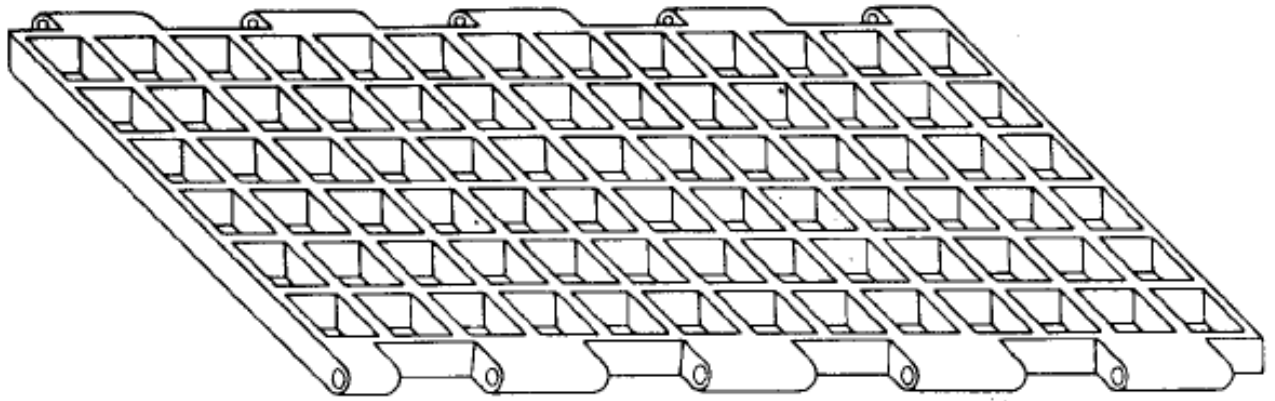


Рисунок 3.8 – Гумове сито «Еластик»

Живий перетин такого сита дорівнює 57%. Карти шарнірно поєднуються між собою металевими прутками діаметром 8 мм. Під час випробувань сита ефективність грохочення досягала 95% з практично повною відсутністю випадків його забивання «важкими зернами» клиноподібної форми, що пояснюється наявністю ефекту самоочищення завдяки пружним коливанням робочої поверхні сита. Недоліком такої конструкції слід визнати можливість її роботи з відносно легкими матеріалами типу вугілля. Для рудних гірничих порід значні питомі навантаження на шарнірні сполучення карт викликають провисання сита.

Не зважаючи на це, у цілому потрібно відзначити наступні безумовні переваги гумових сит вібраційних грохотів [13]:

- значне підвищення терміну служби просіювальних поверхонь та міжремонтного терміну експлуатації грохотів. У порівнянні з дротяними сітками з аналогічними розмірами отворів гумові сита демонструють у 15-20 разів більший термін служби, а у порівнянні з колосниковими решітками та перфорованими листами – у 2-5 разів;

- кращі технологічні показники процесу грохочення та більшу продуктивність дробильно-розмельного обладнання завдяки більшій ефективності грохочення

ня (80-90%), стабільності ситових характеристик продуктів грохочення та зниження частити забивання отворів сита «важкими зернами»;

- суттєве зниження рівня шуму.

На рис. 3.9 показані конструкція та спосіб закріплення на грохоті резонуючого стрічково-струнне сито розробки інституту УкрНДІвуглезбагачення та конструкторсько-технологічного бюро ІГМ (інституту геотехнічної механіки) АН УРСР [17,18]. Сито складається зі стаціонарних продовжних опор 1, в яких нарізані із заданим кроком пази (рис. 3.9а). Між опорами з натягом для запобігання провисання встановлені стрічки 2 з періодичними виступами 3, які формують отвори сита. Але внаслідок невеликої поперечної відстані між опорами (150 мм) сито має відносно низьку рухливість, а через це – низьку питому продуктивність (не більше 20 т/год·м²) та недостатнє самоочищення при переробці вологих та липких матеріалів.

Для усунення цих недоліків конструктивні параметри та натяг стрічок-струн повинні задаватися такими, щоб під час роботи грохота під технологічним навантаженням забезпечувалася близькість частот основного тону вільних власних коливань струн з частотою коливань, що реалізує вібропривод грохоту. Завдяки цьому на ситі виникають значні прискорення, що підвищують технологічні показники грохочення та сегрегацію матеріалу.

На рис. 3.9б показано спосіб закріплення каркасів 4 зі стрічками 5 стрічково-струнного сита на поперечних балках 1 грохоту ГСЛ-72 за допомогою скоб 2 з болтами, кріпильними планками 3 і гайками. Кожна стрічка розташовується у пазах двох поздовжніх гребінок, а уздовж боковин коробка карти притискається брусами і клинами.

Знаходять також використання просіювальні поверхні, виконані з інших еластомірних матеріалів, наприклад поліуретану.

Висновки:

- сучасні гірничозбагачувальні підприємства надзвичайно насичені різноманітними транспортними установками, які поєднують підготовче, основне та допо-

міжне збагачувальне обладнання у технологічні ланцюги. Усі транспортні машини мають справу з абразивними матеріалами, внаслідок чого їх робочі органи потерпають від зношення і потребують запровадження ефективних способів та засобів захисту від негативного впливу з боку транспортованих вантажів. Інтенсивність процесу зношення робочих (вантажонесучих) органів транспортного обладнання залежить від характеру їх взаємодії з транспортованим матеріалом, у першу чергу від того, зі зміщенням відносно робочого органу чи без нього відбувається переміщення вантажу. Раціональним та доцільним способом запобігання деформаційних змінень і механічних ушкоджень конструктивних елементів вантажонесучих органів стає використання захисних футерівок;

- у роботі розглянуто можливі типи захисних покриттів та особливості їх використання для стрічок стрічкових, пластинчастих конвеєрів і живильників, робочих органів дискових живильників, кузовів автосамоскидів та думпкарів, робочих органів установок пневмо- і гідротранспорту, перепускних жолобів, скребкових та гвинтових конвеєрів, спіральних класифікаторів, засобів вібраційного транспорту та вібраційних грохотів.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАХИСНИХ ФУТЕРІВОК І ПОКРИТЬ ДРОБИЛЬНО-РОЗМЕЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

4.1 Основні типи та умови експлуатації дробарок і млинів

Для крупного, середнього та дрібного дроблення, а також тонкого подрібнення мінеральної сировини використовують машини, принцип роботи яких заснований на механічному способі руйнування матеріалу. Це дробарки щоккових, конусних, валкових та ударних конструкцій, а також барабанні млини кульового, стрижневого та самоподрібнювального типу. Вибір типу дробильно-розмельного обладнання визначається необхідною продуктивністю, гранулометричним складом вихідного та кінцевого продуктів, міцністю мінеральної сировини тощо.

Принцип роботи щоккових дробарок полягає у роздавлюванні шматків гірничої маси з межею міцності при стисканні до 300 МПа під час періодичного зближення дробильних плит. З конструктивної точки зору розрізняють дробарки з простим (ЩДП) та складним (ЩДС) рухом щоки.

В конусних (граційних) дробарках руйнування мінеральної сировини шляхом роздавлювання відбувається у кільцевому просторі між зовнішнім (нерухомим) та внутрішнім (рухомим) усіченими конусами. Такі конструкції випускаються для крупного (ККД), середнього (КСД) та дрібного (КМД) дроблення.

Валкові конструкції дробарок працюють за методом роздавлювання захоплених шматків мінеральної сировини між паралельними валками, що обертаються назустріч один одному. Валки двох- або чотирьохвалкових дробарок можуть мати гладкі, рифлені або зубчасті зовнішні робочі поверхні.

Робота дробарок ударної дії заснована на принципі руйнування шматків гірничої маси ударним впливом робочих органів швидкообертового ротора. В якості останніх використовуються вільно підвішені на роторі молотки або жорстко закріплені на ньому била. Відкинуті робочими органами шматки додатково руйнуються відбійними плитами та колосниками всередині камери дроблення.

Дроблення мінеральної сировини – складний процес, що залежить від цілої низки факторів: міцності, абразивності та в'язкості перероблюваного матеріалу; форми, розмірів, густини, однорідності, вологості та взаємного розташування його частинок; наявності глинистих включень у ньому; характеру руху сировини у камері дроблення; зовнішніх умов процесу руйнування сировини. Із збільшенням міцності та абразивності матеріалів, що піддаються дробленню, термін служби деталей та вузлів дробарок знижується, хоча точних залежностей, що встановлювали б взаємозв'язок між ними, поки що немає. Проте орієнтовно зношення футерувальних матеріалів q (кг/т) дробильного обладнання можна визначити за формулою, запропонованою П.П. Липовим [10]:

$$q = 0,0065 \left(\frac{f}{10} \right)^5, \quad (4.1)$$

де f – коефіцієнт міцності матеріалу за шкалою проф. М.М. Протод'яконова.

Що стосується розмельного обладнання, то воно використовується для тонкого подрібнення гірничої маси після проходження нею трьох або чотирьох стадій дроблення. Крупність готового продукту при цьому від 5 до 0,074 мм. Руйнування матеріалу у млинах барабанного типу відбувається за рахунок перетирання або ударного впливу помольних тіл, в ролі яких виступають металеві кулі і стрижні, а також обкатані крупні шматки самої руди (рудна галя). Є конструкції млинів зовсім без помольних тіл, в яких руда руйнується шляхом взаємного перетирання її частинок (явище самоподрібнення).

Найбільш розповсюджені млини кульового типу з центральним розвантаженням готового продукту (МШЦ) та розвантаженням через решітку (МШР); стрижневого з центральним розвантаженням (МСЦ); рудногалькові мокрого (ММС) та сухого (МСС) подрібнення, а також з розвантажувальною решіткою та низьким порогом пульпи (МГР).

Найбільш відповідальним і вартісним (до 60% загальної вартості млина) та одночасно максимально ураженим з точки зору зношення вузлом млинів таких типів є барабан.

4.2 Дослідження процесу експлуатаційного зношення футерівок дробильного обладнання

Основними зношуваними частинами дробильного обладнання, які потребують захисту футерувальними елементами, є:

- робочі поверхні нерухомої та рухомої щік, а також бічні стінки дробильної камери щоккових дробарок;
- траверса, захисний ковпак, рухомий конус та нерухома чаша конусних дробарок крупного дроблення, а також розподільні тарілки дробарок середнього та дрібного дроблення;
- елементи ротора, відбійні плити та корпуси дробарок ударної дії.

Швидкість процесу зношення цих вузлів залежить від фізико-механічних властивостей перероблюваного матеріалу (здатності до дроблення, міцності, абразивності, крупності, вологості) та продуктивності обладнання. У табл. 4.1 приведені дані щодо абсолютних та питомих витрат високомарганцевистої сталі на футерівки дробильного обладнання по гірничозбагачувальним комбінатам Кривбасу [13].

Таблиця 4.1 – Витрати високомарганцевистої сталі на футерівки дробильного обладнання криворізьких ГЗК

Комбінат	Кількість переробленої руди, тис. т	Кількість витраченої футерувальної сталі, т	Коефіцієнт міцності руди за шкалою проф. М.М. Протод'яконова	Питома витрата сталі	
				на 1 т переробленого продукту, г/т	на 1 кВт·год електроенергії
ПівнГЗК	248195,0	7073,6	12-14	28,5	34,6
ЦГЗК	293160,0	13426,7	14-17	45,8	47,1
НКГЗК	136389,6	14342,9	16-18	862	73,1
ПівдГЗК	428729,6	37386,4	16-20	87,0	70,0
ІнГЗК	74960,0	67988,8	18-20	90,7	73,0

На рис. 4.1 для прикладу показані схеми зношення футерівок нерухомої чаші та дробильного конусу конусних дробарок дрібного дроблення КМД, а також графіки залежності величини зношення S по довжині утворюючої L футерівок (у різних її точках) дробарок КМД-2200 в умовах роботи різних гірничозбагачувальних комбінатів [13].

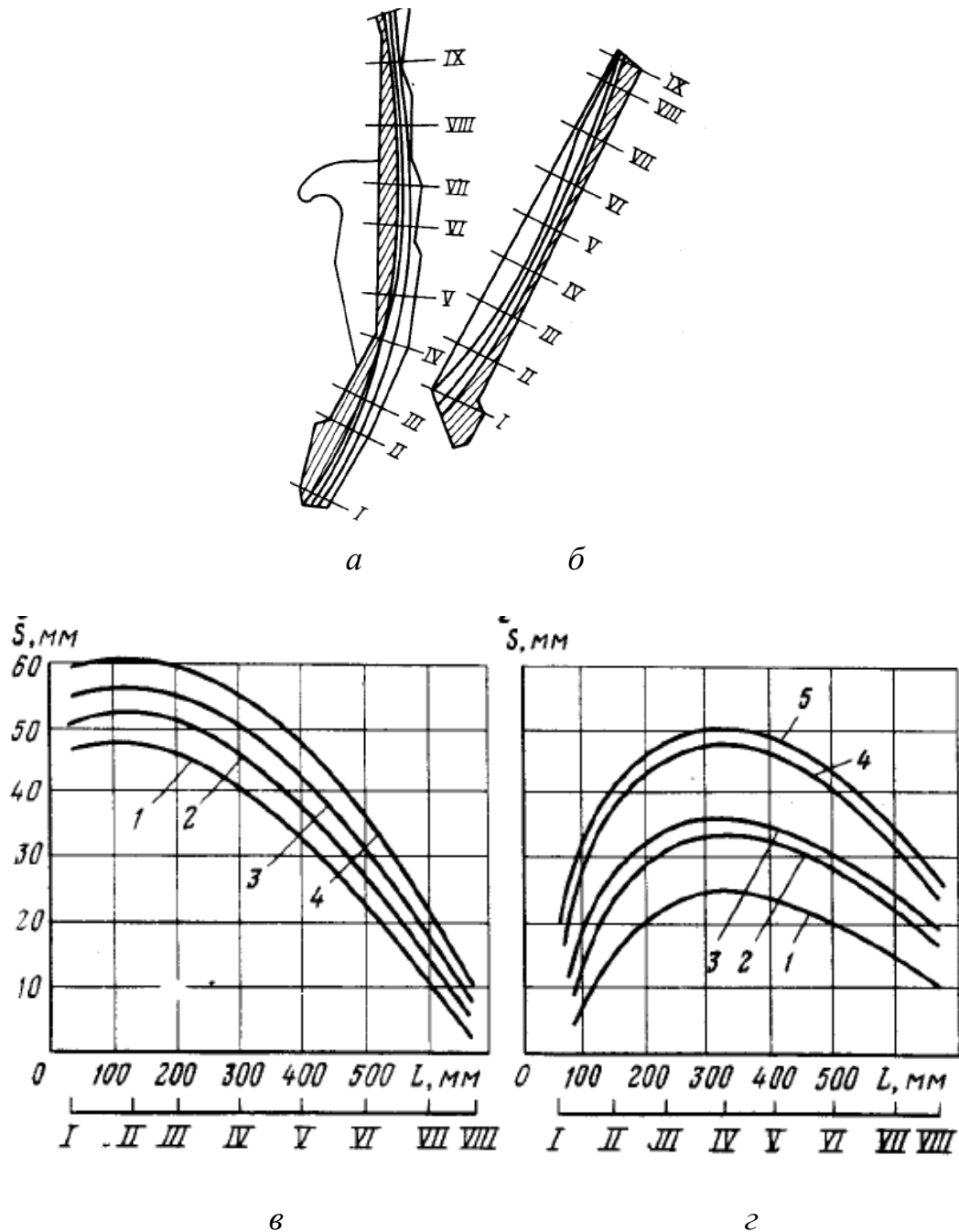


Рис. 4.1 – Параметри зношення футерівок дробарок типу КМД:
 а, б – схеми зношення футерівок відповідно нерухомої чаші та дробильного конусу;
 в, з – залежності величини зношення S по довжині утворюючої L футерівок дробарок КМД-2200 (1 – Оленегірський ГЗК; 2 – НКГЗК; 3 – Михайлівський ЗРК; 4 – ЦГЗК; 5 – Соколовсько-Сарбайський ГЗК)

Для щокрових дробарок питомі витрати футерівок у залежності від міцності руди приведені у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Питомі витрати футерівок щокрових дробарок у залежності від міцності руди

Коефіцієнт міцності руди за шкалою проф. М.М. Протод'яконова	Питомі витрати футерівок щокрових дробарок, г/т	
	за формулою (4.1)	фактичні
8	2,11	2,4
9	3,8	-
9,5	4,7	4,7-5,5
10	6,5	-
10,5	8,2	7,2-8,2
11	10,5	9,3
11,5	13	-
12	16	-
13	24	-
14	35	-
15	49	-
16	62	50
17	92	96

Надмірне зношення футерівок дробарок призводить до небажаного підвищення крупності готового продукту дроблення і порушення умов роботи наступних стадій дроблення матеріалу. Наприклад, номінальна ширина розвантажувальної щілини конструкцій конусних дробарок крупного дроблення ККД-1500/180 і ККД -1500/300 складає відповідно 180 і 300 мм, а допустиме зношення футерівок нижнього поясу цих установок – 40 і 60 мм. При максимальному зношенні футерівок з дробарок можуть виходити шматки розмірами 350-400 мм для першої моделі і 500-550 мм – для другої. При трьохстадійній схемі дроблення наявність навіть поодиноких шматків такої крупності може порушити подальший технологічний

процес дроблення, адже конусні дробарки у наступній стадії середнього дроблення здатні приймати матеріал крупністю не більше 350 мм.

Таким чином, збільшення розмірів розвантажувальної щілини внаслідок зношення футерівок знижує ступінь дроблення, при цьому кількість дрібних фракцій (менших або рівних за розміром номінальної розвантажувальної щілини) також зменшується. У табл. 4.3 приведені дані промислових випробувань, що характеризують вплив зношення футерівок на ступінь дроблення руд різної міцності у дробильних машинах.

Таблиця 4.3 – Вплив зношення футерівок на ступінь дроблення руд різної міцності у дробильних машинах

Руда	Коефіцієнт міцності руди за шкалою проф. М.М. Протод'яконова	Дробарка	Ступінь дроблення при стані футерівки		Відносне зниження ступеня дроблення при зношенні футерівок, %
			з обробленими поверхнями	зношеними	
Мідно-нікелева тверда	18-20	КМДТ-2200	3,96	3,42	13,5
			4,79	3,89	19,0
			6,30	4,60	27,0
Нефелінова середньої міцності	14-16	КМДТ-2200Т КМД-2200	3,57	3,31	7,3
			4,19	3,60	14,1
			6,08	4,97	18,3
Апатіто-нефелінова м'яка	8-10	КМДТ-2200	3,75	3,28	12,5
			4,00	3,08	23,0
			5,10	3,80	25,5

Отже, для отримання мінімальної крупності дробленої руди та збільшення у ній вмісту дрібних класів крупності конусні дробарки повинні працювати при мі-

німально допустимих розмірах ширини розвантажувальної щілини. При цьому у міру змінення профілю зони дроблення через нерівномірне зношення поверхонь по периметру і висоті повинна здійснюватися заміна футерівки.

4.3 Особливості профілювання дробильного простору щоккових і конусних дробарок

Терміни служби футерівок навіть при однаковій їх зносостійкості будуть залежати від багатьох факторів: фізико-механічних властивостей та гранулометричного складу перероблюваного матеріалу, конструкції робочих камер дробарок та їх поздовжнього і поперечного профілю, експлуатаційних параметрів установок (типорозміру, ширини розвантажувальної щілини, кінематики руху робочих поверхонь).

З огляду на це, під час профілювання робочих просторів дробарки її аж ніяк не можна розглядати як окрему машину, адже вона завжди посідає конкретне місце у технологічній схемі і пов'язана з попередніми та наступними дробильними машинами. Процес проектування має відбуватися у суворій узгодженості роботи усього технологічного ланцюга. Лише таким чином можна суттєво покращати технологічні показники процесу дроблення та зменшити зношення футерівок дробильних просторів.

На рис. 4.2 показаний характер зношення футерівок щоккових дробарок з різними кінематичними схемами. У дробарок зі складним рухом щоки більше зношується нижня частина футерівки нерухомої щоки та середня частина рухомої щоки. У дробарках з комбінованим рухом щоки швидше зношується нижня плита, причому досить рівномірно по висоті. Футерівки дробарок з двома рухомими щоками зношуються у меншому ступені і переважно у нижній частині камери дроблення.

Рухомі щоки дробарок зі складним рухом щоки відрізняються складними траєкторіями руху різних точок по висоті камери дроблення. У верхній частині ці траєкторії мають форму еліпса, близького до окружності, а в нижній частині – си-

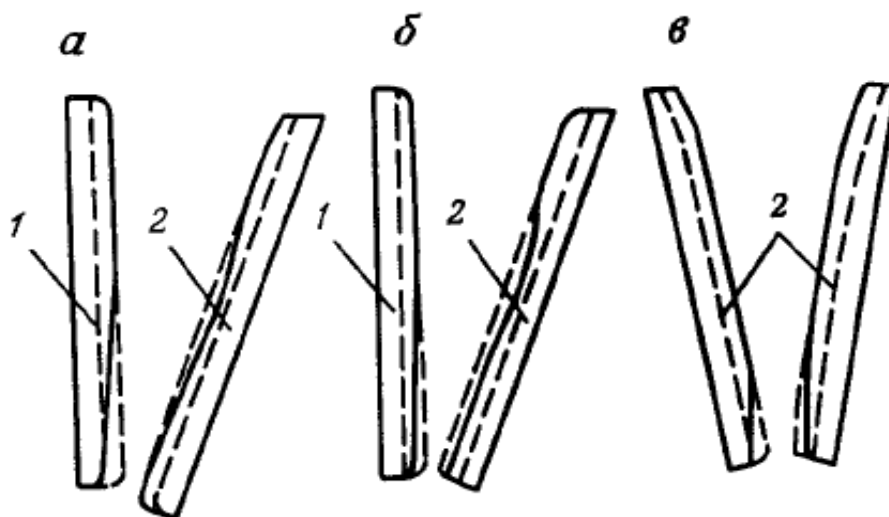


Рисунок 4.2 – Характер зношення футерівок щоккових дробарок зі складним (а) і комбінованим (б) рухом щоки; з двома рухомими щоками (в):
1 – нерухома щока; 2 – рухома щока

льно витягнутого. Тому шляхом змінення траєкторії руху рухомої щоки можна суттєво змінювати як величину, так і характер зношення дробильних плит.

Менше відносне переміщення дробильних плит мають дробарки з простим рухом щоки і практично не мають його дробарки з двома рухомими щоками. Характер зношення дробильних плит цих установок обумовлений лише дією навантаження.

Слід також взяти до уваги той факт, що площа пропускного отвору камери дроблення щоквої дробарки (власне як й інших конструкцій дробильного обладнання, наприклад конусного) зменшується від верхніх перетинів до нижніх. А оскільки через кожен з них проходить однакова кількість перероблюваного матеріалу, то інтенсивність зношення поступово зростає до нижньої частини камери дроблення.

В інституті ВНДІбуддормаш свого часу були проведені дослідження дробильних плит щоккових дробарок з простим рухом щоки з різними поздовжніми профілями та різними параметрами рифлень. Під час експериментів змінювали висоту рифлень H , хід рухомої щоки S та частоту обертання ексцентрикового валу n . Результати досліджень приведені на рис. 4.3 [13,20]. Вони свідчать, що при однаковій ширині розвантажувальної щілини із збільшенням висоти рифлень H неза-

лежно від інших параметрів продуктивність дробарки Q та коефіцієнт ефективності дроблення K , як правило, зменшуються; при цьому крупність дробленого продукту знижується на 15-25%. Тобто, робота рифлених плит у порівнянні з гладкими при еквівалентній ширині розвантажувальної щілини і однаковій максимальній крупності забезпечує більшу продуктивність. Таку перевагу плоских дробильних плит у порівнянні з рифленими видно на рис. 4.4 – мінімальне зношення відповідає нульовій висоті H , іншими словами – гладкій поверхні. Розрахунки показують, що гладкі плити можуть служити удвічі довше аналогічних за масою рифлених плит. Це можна пояснити зменшенням поверхні тертя у нижній частині камери дроблення, тобто кращими умовами проходження зруйнованого матеріалу крізь розвантажувальну щілину. З цієї ж причини під час роботи дробарки з мінімальною щілиною енергоємність процесу дроблення гладкими плитами набагато нижча, ніж рифленими.

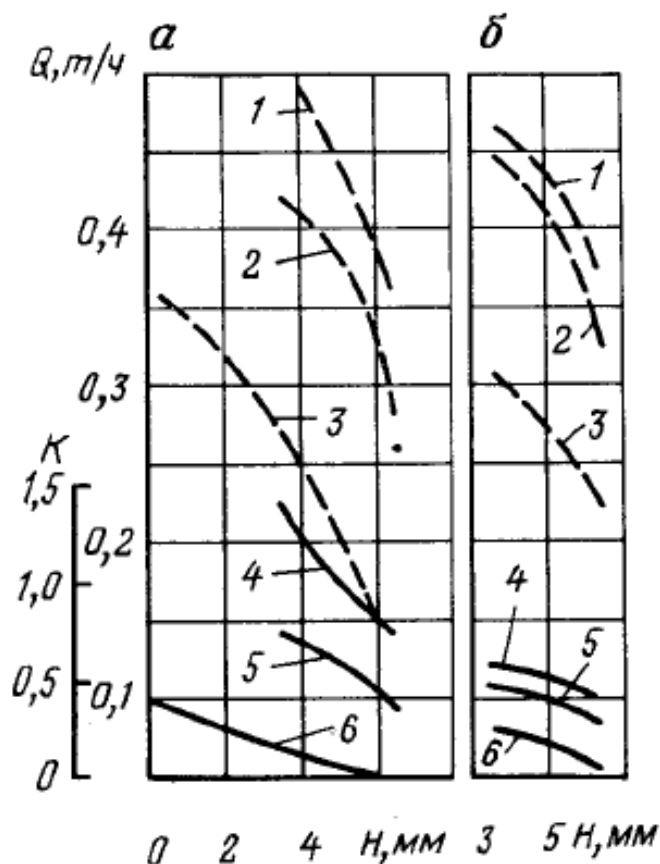


Рисунок 4.3 – Залежність продуктивності Q та коефіцієнту дроблення K щоккових дробарок від висоти рифлень дробильних плит H , яка дорівнює для кривих 1 і 4 – 7 мм, 2 і 5 – 5 мм; 3 і 6 – 3 мм:
 $a, б$ – частота обертання приводного валу дробарки відповідно 465 і 650 об/хв.

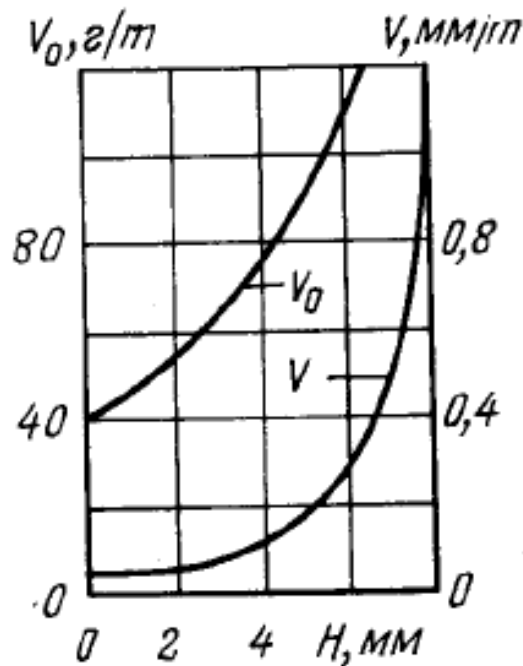


Рисунок 4.4 – Залежності інтенсивності лінійного V та масового V_0 зношення дробильних плит від висоти рифлення H

З іншого боку, рифлена поверхня забезпечує реалізацію деформацій згинання та зламу шматків руди між плитами, підвищує концентрацію напружень, що виникають у перероблюваному продукті, і дещо знижує величини зусиль дроблення (на 15% і більше) та енергоємності.

Таким чином, для щокочових дробарок профілі плит потрібно вибирати у кожному конкретному випадку з огляду на головний критерій оптимізації процесу подрібнення матеріалу.

Що стосується дробарок конусного типу, то у сучасних конструкціях таких установок для крупного дроблення використовують два види профілів: прямолінійний з постійним по висоті кутом захвату матеріалу та різного роду криволінійні зі змінним по висоті кутом захвату. Практичний досвід експлуатації дробарок показав, що у конструкціях з прямолінійним профілем нижня зона дробильного простору має меншу пропускну здатність і часто забувається перероблюваним матеріалом. Перевагою машин з криволінійним профілем є певне зміщення вгору зони з найменшою пропускну здатністю, туди, де знаходиться область більших об'ємів і де менше ймовірність забування дробильного простору [13].

Для конусних дробарок середнього та дрібного дроблення також існують значні можливості раціонального конструювання камер дроблення з метою суттєвого підвищення технологічних та експлуатаційних показників цих установок.

4.4 Дослідження профілів, матеріалів та геометричних параметрів захисних футерівок млинів барабанного типу

У млинах усіх типів, перерахованих вище, у п. 4.1, подрібнення частинок мінеральної сировини відбувається у процесі циклічного переміщення робочого навантаження (перероблюваного матеріалу та помольних тіл, якщо вони використовуються) – підйому його на певну висоту та зворотного сповзання, скочування або падіння, під час якого матеріал руйнується під дією ударів помольних тіл та тертя між шарами технологічного навантаження. Одночасно з цим і внутрішня поверхня барабану млина сприймає ці інтенсивні ударні та стираючі навантаження. З огляду на це, вона потребує захисту від дій зношення і руйнування. В якості захисних елементів використовуються змінні футерувальні елементи, які закривають циліндричну поверхню барабану, торцеві поверхні та цапфи млина.

Важливо розуміти, що окрім захисту внутрішньої поверхні від зношення профіль футерівки циліндричної частини барабану суттєво впливає на механіку подрібнювального середовища (куль, стрижнів, рудної галі), яке визначає ефективність та продуктивність млина [21]. Це має бути враховано при розробці профілю футерівки.

У процесі конструювання футерівок слід виходити з двох основних вимог:

- забезпечення режиму руху подрібнювального середовища;
- забезпечення максимальної зносостійкості захисних елементів.

Крім того, потрібно прагнути до максимальної уніфікації елементів футерівок для установок різних розмірів і типів з метою скорочення номенклатури запасних частин, спрощення операцій установки і заміни, підбору футерувальних деталей з однаковим за можливості терміном служби для одночасної їх заміни під час ремонтів.

Для млинів кульового типу футерівки циліндричної частини барабану можна класифікувати за геометричними ознаками поперечного перетину на три основні групи:

- броньові плити з кутом підйому робочих поверхонь більше 45° (наприклад, профілі «Норильськ-IV» та ребристий) (рис. 4.5а, б);
- броньові плити з кутом підйому робочих поверхонь менше 45° (наприклад, профілі хвильовий, горбатий, каскадний) (рис. 4.5в, г, д);
- самофутерувальні броньові плити з пазами на поверхні, в яких у процесі роботи заклинюються кулі і захищають її від зношення (наприклад, профілі комірковий, кульошиповий) (рис. 4.5е, ж).

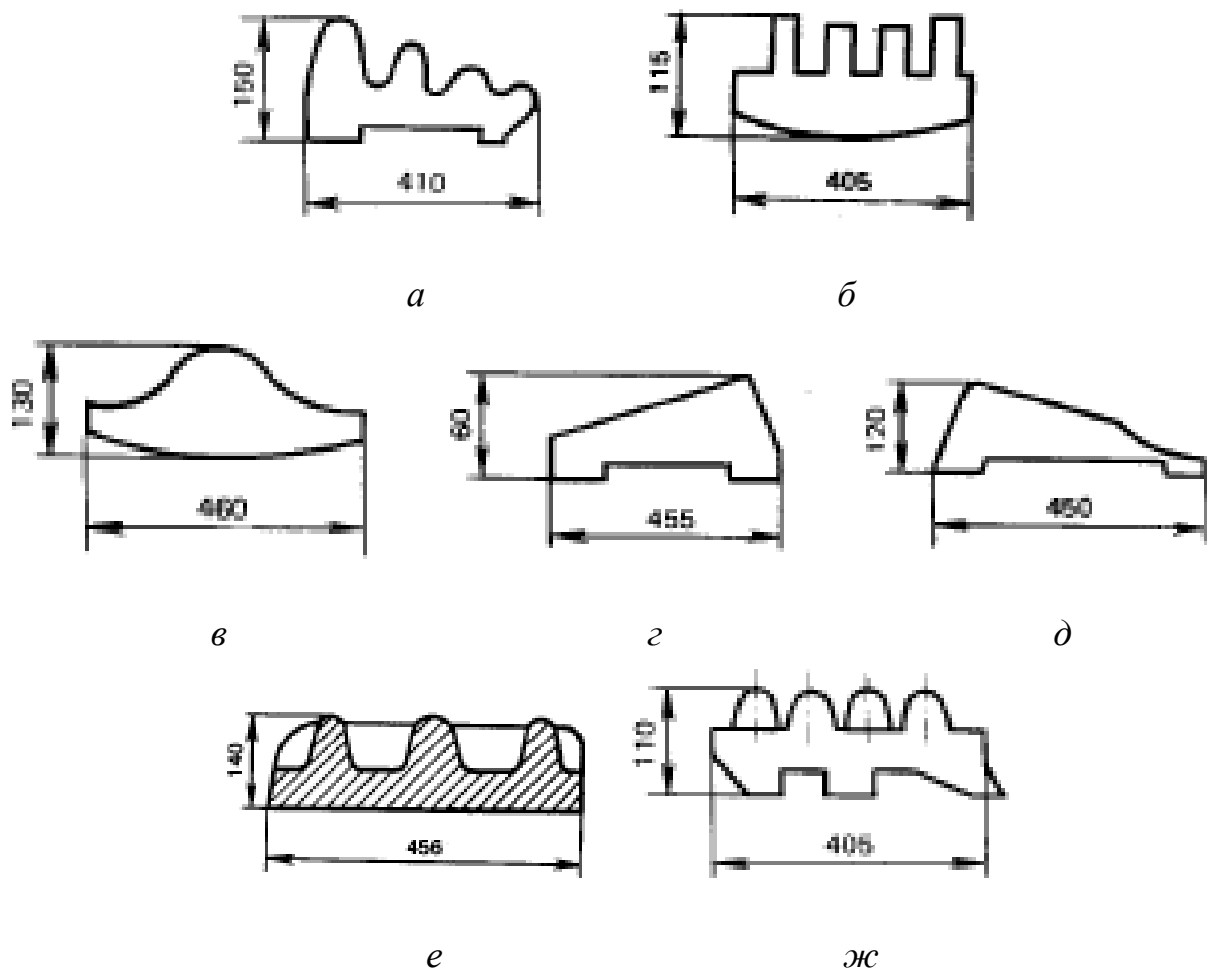


Рисунок 4.5 – Деякі профілі футерувальних плит циліндричної частини барабану кульових млинів:
а – «Норильськ-IV»; б – ребристий; в – хвильовий; г – горбатий;
д – каскадний; е – комірковий; ж – кульошиповий

Робота стрижневих млинів має свої специфічні особливості – подрібнення матеріалу в них відбувається в результаті ударів і тертя уздовж лінійних контактів дотичних паралельних стрижнів. З огляду на це, до їх футерівок ставляться певні вимоги [20]:

- профіль футерівок повинен забезпечувати рух стрижнів паралельно осі барабану, тому що у разі перекосу стрижні можуть згинатися і ламатися, що викликає зниження продуктивності та ефективності подрібнення;

- профіль футерівки має забезпечувати каскадний режим руху стрижнів з перекочуванням без підкидання, адже воно неминуче призводить до переплутування стрижнів;

- оскільки стрижні мають ухили у бік розвантаження барабану, обумовлені наявністю у завантажувальній частині млина крупного матеріалу, що поступає в установку, футерівка циліндричної частини барабану на розвантажувальному кінці зношується скоріше. Тому доцільніше виконувати футерівку з постійно зростаючою товщиною у напрямку розвантажувального кінця.

Перерахованим вимогам відповідають футерівки безперервного профілю, показані на рис. 4.6.

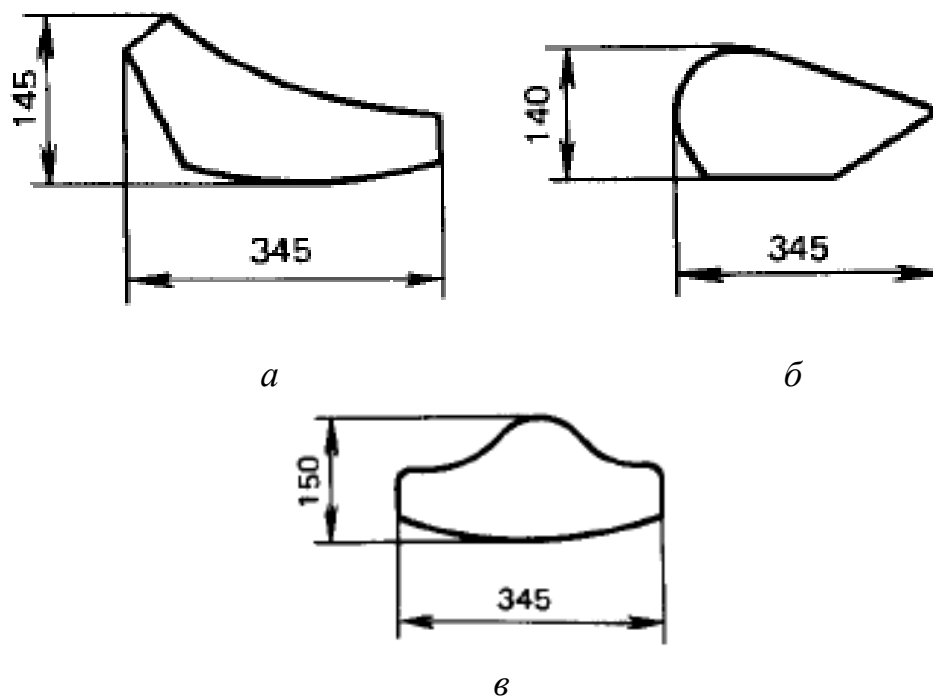


Рисунок 4.6 – Профілі футерівок стрижневих млинів:
a – клиновий; *б* – горбатий; *в* – хвильовий потовщений

Зносостійкість та механічна міцність футерівок барабанів млинів у значному ступені залежать від правильного вибору матеріалу, адже вони одночасно піддаються впливам ударних сил помольних тіл, сил високого тиску (частинки мінеральної сировини отримують кінетичну енергію від дробильного середовища і руйнують матеріал футерівок подряпинами його мікроуламків) та сил низького тиску (стирання футерувальних плит в момент гальмування і ковзання помольних тіл відносно їх поверхні). Для кульових млинів I і II стадій подрібнення, у яких маса куль дорівнює 7,2 кг, швидкість їх падіння досягає 8-10 м/с, а енергія в момент удару 300-350 Дж, при виборі матеріалу футерівок у першу чергу потрібно брати до уваги ударні навантаження. Для млинів III і IV стадій подрібнення, де діаметр куль складає 40-60 мм, визначальними навантаженнями є стираючі.

Процес зношення футерівок значно прискорює корозія, обумовлена хімічною та електрохімічною взаємодією матеріалу футерівки з пульпою, яка має кислотні або лужні властивості та температуру до $+120^{\circ}\text{C}$. Тому матеріал футерівок кульових і стрижневих млинів повинен мати високу ударну в'язкість (для млинів діаметром 4 м з кулями діаметром 125 мм міцність футерівки забезпечується при ударній в'язкості не менше 10^5 Дж/м²), абразивну стійкість, стійкість проти ударних навантажень та стабільність властивостей у процесі роботи.

Найбільше розповсюдження для виготовлення футерівок барабанних млинів отримала аустенітна високомарганцевиста сталь 110Г13Л, основною перевагою якої є можливість наклепу поверхневого шару при високих питомих тисках.

Крім неї використовують також різні сплави, білі чавуни, стандартний сталевий прокат. Наприклад, футерівки з білих чавунів мають зносостійкість в абразивному середовищі у 2-3 рази більшу у порівнянні зі сталлю 110Г13Л, але вони досить крихкі і розколюються кулями, особливо в районі розвантажувального кінця барабану, де не захищені шаром перероблюваного матеріалу.

Що стосується розмірів футерувальних плит циліндричної частини барабану млина, то їх ширина має дозволяти укладання цілого числа плит по розвертці внутрішньої поверхні барабану. У табл. 4.4 приведені рекомендовані числа плит з урахуванням їх уніфікації та взаємозамінності у залежності від діаметру барабану.

Таблиця 4.4 – Рекомендовані числа плит для укладання в барабані млина

Діаметр барабану, мм	1500	2100	2600	2700	3200	3600	4000	4500	5000	5500	6000
Ширина плит по хорді окружності, мм	471	471	471	453	456	471	448	469	461	465	471
Рекомендоване число укладених плит	10	14	18	18	22	24	28	30	34	38	40

Особлива увага приділяється товщині футерувальних плит, адже вона впливає на діаметр помольної камери барабану млина D_6 , від якого залежать об'єм і продуктивність установки [10]:

$$Q = K_{\text{под}} D_6^{2,5} L, \quad (4.2)$$

де $K_{\text{под}}$ – коефіцієнт подрібнювальної здатності матеріалу; L – внутрішня довжина барабану млина, мм.

Надмірна товщина футерувальних плит підвищує масу самої футерівки та барабану у цілому, а це викликає зростання втрат потужності у головних підшипниках і приводних механізмах млина. Дуже тонкі плити не мають достатньої механічної міцності і руйнуються при ударних навантаженнях. У табл. 4.5 приведені рекомендовані товщини плит у залежності від діаметру млина.

Таблиця 4.5 – Рекомендовані товщини плит у залежності від діаметру млина

Діаметр барабану без футерівки, мм	Товщина футерувальної плити по гребню (найбільша), мм
900	70
1200, 1500, 2100	100
2700, 3200, 3600	120
4000, 4500	140
5000, 5500, 6000	180

Проектування профілів футерівок кульових і стрижневих млинів виконується з огляду на обов'язкове виконання двох основних вимог до них:

- забезпечення максимальної зносостійкості;

- реалізація траєкторій руху дробильних тіл, найефективніших для здійснення інтенсивного процесу подрібнення матеріалу.

Перша вимога стосовно кульових конструкцій виконується за умов надійного захвату куль, мінімального шляху їх ковзання по плитах після падіння та відсутності ковзання на підйомній гілці. Цього можна досягти шляхом використання броньових плит з ребрами або виступами.

Для забезпечення другої вимоги потрібно реалізувати режим падіння куль широким віялом з довгим пробігом по п'яті і без закидання їх на протилежну стінку барабану. Це потребуватиме застосування плит з незначним підйомом робочих поверхонь.

Для виконання цих вимог були створені численні варіанти профілів, деякі з них були продемонстровані на рис. 4.5. Під час проектування використовувався метод теоретичної побудови безперервного профілю броньових плит, запропонований проф. Д.К. Крюковим. Метод переслідує мету зведення до мінімуму явища ковзання кульового завантаження відносно футерівки і полягає у розробці геометрії криволінійної поверхні плит, що описується рівнянням логарифмічної спіралі.

Тенденція подальшого збільшення розмірів подрібнювального обладнання (наприклад, створення кульових млинів діаметром 6000 мм або установок самоподрібнення діаметром 9000 мм) вимагає використання футерувальних плит товщиною 180-200 мм і масою до 500 кг. Такі елементи характеризуються значними витратами вартісних зносостійких матеріалів та часу на заміну футерівок з немінучими простоями обладнання та пов'язаними з ними виробничими втратами.

Для вирішення протиріччя між необхідністю підвищення термінів служби та зменшення маси футерівки можна вдаватися до виготовлення плит з матеріалів, що мають меншу густину, але високу зносостійкість, наприклад, зі зносостійких гум. І це абсолютно реально, адже зносостійкість деяких сортів гум вітчизняного виробництва у гідроабразивному середовищі у 2-3 рази вище зносостійкості сталі 110Г13Л [13,22].

Використання гумових футерівок можливо лише за умови наявності надійних способів кріплення їх до внутрішньої поверхні барабану млина. Такі способи

були свого часу запропоновані спеціалістами шведських фірм «Скега» і «Трелеборг». Обидва вони застосовують в якості кріпильних елементів гумові бруси (ліфтери) (рис. 4.7).

У першому (фірми «Скега») притискна скоба 3 вставляється у Т-подібну прорізь суцільногумового ліфтера 1, який за допомогою болта 4 притискає футерувальну плиту 2 по усій її довжині до барабану млина (рис. 4.7а).

Для кріплення за системою фірми «Трелеборг» використовується металева планка 3, яка прикріплюється до суцільногумових ліфтерів 2 клейовим способом у процесі вулканізації та притискним болтом 4 притягується до футерувальних плит 1 і барабану (рис. 4.7б). Другий спосіб має менше використання через більш складну технологію виготовлення.

На рис. 4.8 показані можливі варіанти профілів поверхонь гумових футерівок плит-ліфтер: внахлестку, що забезпечує високе зчеплення з кульовим навантаженням (рис. 4.8а); хвиловий, що відрізняється високою продуктивністю по мелу (рис. 4.8б); комбінований з гнучких та жорстких ліфтерів (рис. 4.8в); гладкий для кульових млинів з великою частотою обертання барабану.

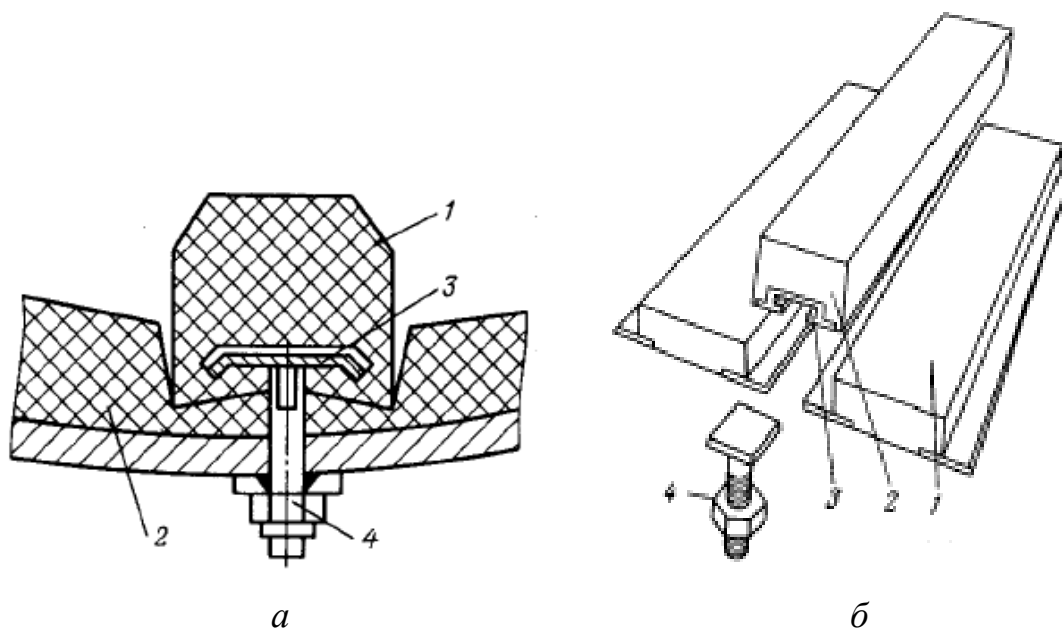


Рисунок 4.7 – Системи кріплення гумових футерівок до барабану млина:
а – фірми «Скега» (1 – суцільногумовий ліфтер; 2 – футерувальна плита;
3 – притискна скоба; 4 – кріпильний болт);
б – фірми «Трелеборг» (1 – футерувальна плита; 2 – суцільногумовий ліфтер;
3 – металева планка; 4 – кріпильний болт)

На рис 4.9 приведені конструкції ліфтерів для гумових футерівок: квадратного (рис. 4.9а); скошенного (рис. 4.9б); сегрегуючого (рис. 4.9в); асиметричного (рис. 4.9г).

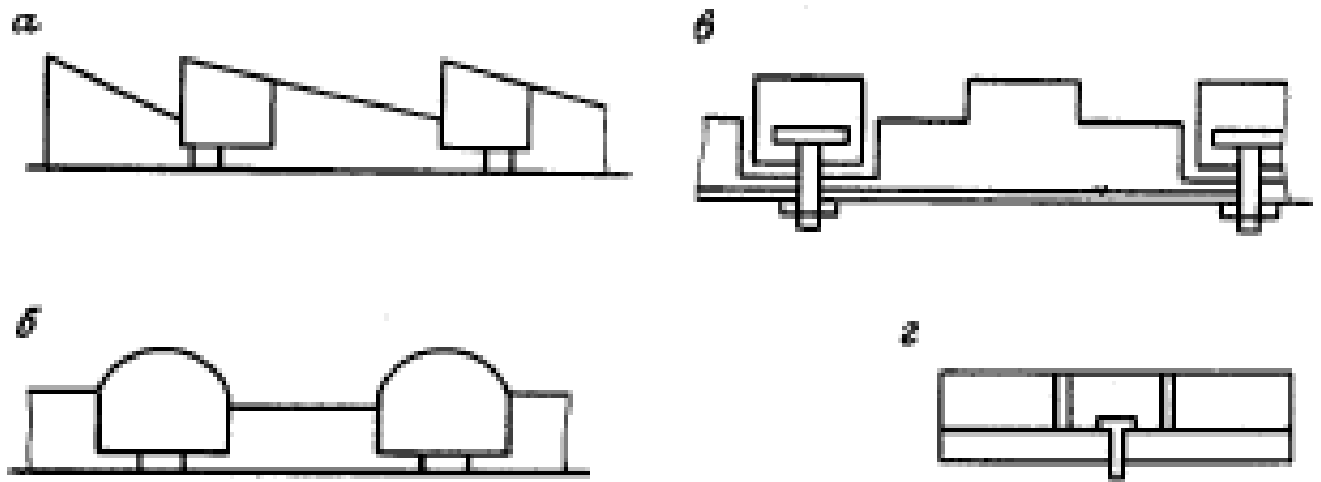


Рисунок 4.8 – Профілі гумових футерівок типу плита-ліфтер:
а – внахлестку; б – хвилювий; в – комбінований з гнучких та жорстких ліфтерів; г – гладкий

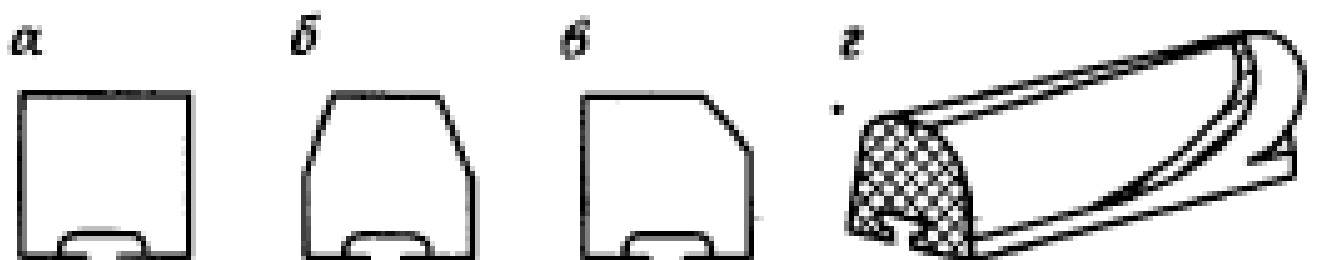


Рисунок 4.9 – Конструкції ліфтерів для гумових футерівок:
1 – квадратний; 2 – скошений; 3 – сегрегуючий; 4 – асиметричний

Виступаючі над загальним рівнем футерівки профілі ліфтерів призводять до їх підвищеного зношення, тому для одного комплекту футерувальних плит потрібні два-три комплекти ліфтерів. Для усунення цього недоліку та зменшення кількості деталей у футерувальному комплекті була запропонована конструкція одноелементної гумової футерівки, в якій кріпильні металеві елементи розташовані безпосередньо у гумових плитах (рис. 4.10). Це захищає їх від руйнування практично до моменту повного зношення шару гуми на плиті. Крім того, за даними лабо-

раторних випробувань, під час роботи млина з такою футерівкою відсутні закидання куль на протилежний бік барабану, тобто немає виходу частини куль з процесу подрібнення. Остання обставина дає можливість підвищити продуктивність млина з одноелементною гумовою футерівкою на 8% у порівнянні з використанням футерівок типу плита-ліфтер [23].

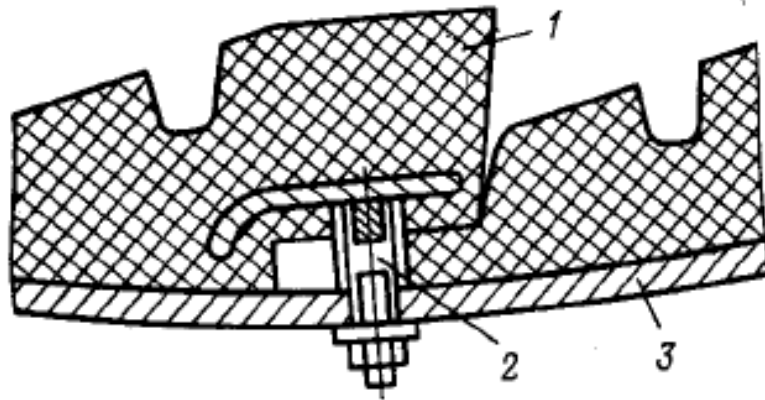


Рисунок 4.10 – Одноелементна гумова футерівка:
1 – гумова плита; 2 – кріпильні елементи; 3 – барабан

Висновки:

- для дроблення та тонкого подрібнення мінеральної сировини у гірничо-збагачувальній промисловості використовуються дробарки щоккових, конусних, валкових та ударних конструкцій, а також барабанні млини кульового, стрижневого та самоподрібнювального типу. Процеси механічного руйнування мінеральної сировини залежать від багатьох факторів: фізико-механічних властивостей перероблюваного матеріалу; характеру руху сировини у камерах дроблення; зовнішніх умов. Із збільшенням міцності та абразивності матеріалів, що піддаються дробленню та подрібненню, термін служби деталей та вузлів обладнання знижується;
- дослідження процесу експлуатаційного зношення футерівок дробильного обладнання щоккового та конусного типів показують, що воно призводить до небажаного підвищення крупності готового продукту і порушення умов роботи наступних стадій дроблення матеріалу. Для отримання мінімальної крупності дробле-

ної руди та збільшення у ній вмісту дрібних класів дробарки повинні працювати при мінімально допустимих розмірах ширини розвантажувальної щілини. При цьому у міру змінення профілю зони дроблення через нерівномірне зношення поверхонь по периметру і висоті повинна здійснюватися заміна футерівки;

- проведений аналіз особливостей профілювання дробильних просторів щоккових і конусних дробарок свідчить: будь-яку дробарку потрібно розглядати як машину, що посідає конкретне місце у технологічній схемі і пов'язана з попередніми та наступними дробильними установками. Процес проектування має відбуватися у суворій узгодженості роботи усього технологічного ланцюга, а профілі плит потрібно вибирати у кожному конкретному випадку з огляду на головний критерій оптимізації процесу подрібнення матеріалу. Лише таким чином можна суттєво покращати технологічні показники процесу дроблення та зменшити зношення футерівок дробильних просторів;

- що стосується подрібнювального обладнання барабанного типу, то під час конструювання футерівок млинів слід виходити з двох основних вимог: забезпечення потрібного режиму руху подрібнювального середовища та максимальної зносостійкості захисних елементів установок. Крім того, потрібно прагнути до максимальної уніфікації елементів футерівок для установок різних розмірів і типів з метою скорочення номенклатури запасних частин, спрощення операцій установки і заміни, підбору футерувальних деталей з однаковим за можливості терміном служби для одночасної їх заміни під час ремонтів;

- в результаті проведених досліджень в роботі запропоновані практичні рекомендації щодо вибору конструкцій, матеріалів та геометричних параметрів захисних футерівок дробильно-розмельного механічного обладнання, що дають можливість підвищення термінів його служби з одночасним забезпеченням високої ефективності руйнування мінеральної сировини.

ВИСНОВКИ

Дослідження, проведені під час виконання представленої магістерської роботи, дозволили сформулювати наступні висновки та практичні рекомендації:

- під час експлуатації механічного обладнання його робочі поверхні та деталі конструкції потерпають від різного роду зовнішніх і внутрішніх впливів, в результаті чого ушкоджуються у більшому чи меншому ступені. До можливих ушкоджень деталей машин відносяться деформація і злами, зношення та корозія. Найбільш розповсюдженим видом ушкоджень гірничозбагачувального обладнання є його абразивне зношення;

- різновиди, причини виникнення, характери протікання цих процесів та їх наслідки можуть бути вельми численними, мати різну інтенсивність та шкідливість і призводити до негативних результатів різної важкості. Загальної рисою усіх них є погіршення або повна втрата працездатності виробу та загального рівня його надійності і довговічності. З огляду на це, задача боротьби з цими негативними явищами з метою принаймні зменшення їх небажаних наслідків є завданням першорядної важливості;

- для захисту деталей та робочих поверхонь гірничозбагачувального обладнання, що піддається механічним, корозійно-механічним і корозійним ушкодженням, використовуються захисні покриття та футерівки. Для умов роботи гірничозбагачувального обладнання вони розділяються за призначенням на зносостійкі та антикорозійні. Деякі з них можуть також виконувати ергономічні функції, наприклад зниження рівня шуму, гасіння вібрації устаткування тощо. В якості захисних і футерувальних матеріалів використовуються метали, металеві сплави та наплавочні матеріали на їх основі, гума, поліуретан та інші полімери, а також силікатні покриття, композиційні матеріали та лакофарбові покриття;

- сучасні гірничозбагачувальні підприємства надзвичайно насичені різноманітними транспортними установками, які поєднують підготовче, основне та допоміжне збагачувальне обладнання у технологічні ланцюги. Усі транспортні машини мають справу з абразивними матеріалами, внаслідок чого їх робочі органи по-

терпають від зношення і потребують запровадження ефективних способів та засобів захисту від негативного впливу з боку транспортованих вантажів. Інтенсивність процесу зношення робочих (вантажонесучих) органів транспортного обладнання залежить від характеру їх взаємодії з транспортованим матеріалом, у першу чергу від того, зі зміщенням відносно робочого органу чи без нього відбувається переміщення вантажу. Раціональним та доцільним способом запобігання деформаційних змінень і механічних ушкоджень конструктивних елементів вантажонесучих органів стає використання захисних футерівок;

- у роботі розглянуто можливі типи захисних покриттів та особливості їх використання для стрічок стрічкових, пластинчастих конвеєрів і живильників, робочих органів дискових живильників, кузовів автосамоскидів та думпкарів, робочих органів установок пневмо- і гідротранспорту, перепускних жолобів, скребкових та гвинтових конвеєрів, спіральних класифікаторів, засобів вібраційного транспорту та вібраційних грохотів;

- для дроблення та тонкого подрібнення мінеральної сировини у гірничо-збагачувальній промисловості використовуються дробарки щоккових, конусних, валкових та ударних конструкцій, а також барабанні млини кульового, стрижневого та самоподрібнювального типу. Процеси механічного руйнування мінеральної сировини залежать від багатьох факторів: фізико-механічних властивостей перероблюваного матеріалу; характеру руху сировини у камерах дроблення; зовнішніх умов. Із збільшенням міцності та абразивності матеріалів, що піддаються дробленню та подрібненню, термін служби деталей та вузлів обладнання знижується;

- дослідження процесу експлуатаційного зношення футерівок дробильного обладнання щоккового та конусного типів показують, що воно призводить до небажаного підвищення крупності готового продукту і порушення умов роботи наступних стадій дроблення матеріалу. Для отримання мінімальної крупності дробленої руди та збільшення у ній вмісту дрібних класів дробарки повинні працювати при мінімально допустимих розмірах ширини розвантажувальної щілини. При цьому у міру змінення профілю зони дроблення через нерівномірне зношення поверхонь по периметру і висоті повинна здійснюватися заміна футерівки;

- проведений аналіз особливостей профілювання дробильних просторів щокочових і конусних дробарок свідчить: будь-яку дробарку потрібно розглядати як машину, що посідає конкретне місце у технологічній схемі і пов'язана з попередніми та наступними дробильними установками. Процес проектування має відбуватися у суворій узгодженості роботи усього технологічного ланцюга, а профілі плит потрібно вибирати у кожному конкретному випадку з огляду на головний критерій оптимізації процесу подрібнення матеріалу. Лише таким чином можна суттєво покращати технологічні показники процесу дроблення та зменшити зношення футерівок дробильних просторів;

- що стосується подрібнювального обладнання барабанного типу, то під час конструювання футерівок млинів слід виходити з двох основних вимог: забезпечення потрібного режиму руху подрібнювального середовища та максимальної зносостійкості захисних елементів установок. Крім того, потрібно прагнути до максимальної уніфікації елементів футерівок для установок різних розмірів і типів з метою скорочення номенклатури запасних частин, спрощення операцій установки і заміни, підбору футерувальних деталей з однаковим за можливості терміном служби для одночасної їх заміни під час ремонтів;

- в результаті проведених досліджень в роботі запропоновані практичні рекомендації щодо вибору конструкцій, матеріалів та геометричних параметрів захисних футерівок дробильно-розмельного механічного обладнання, що дають можливість підвищення термінів його служби з одночасним забезпеченням високої ефективності руйнування мінеральної сировини.

Таблиця 3.5 – Необхідна кількість швидкозношуваних деталей ґрунтових насосів

Найменування деталей	Потреба у швидкозношуваних деталях ґрунтових насосів (шт.) для переміщення 1 млн. м³ ґрунту											
	піщаного та глинистого із вмістом гравію до 10%				піщано-гравійного із вмістом гравію від 10 до 40%				гравелистого із вмістом гравію більше 40%			
	при подачі насосів, м³/год											
	850	1500	2200	4500	850	1500	2200	4500	850	1500	2200	4500
Корпус (або броньовкладиш)	12	5	4	1,5	20	7	6	2,5	40	14	12	9
Колесо робоче	20	7	6	3	28	10	8	6	60	22	20	13
Захисний диск всмоктувального боку	22	8	7	3	30	11	9	4	40	20	18	10
Захисний диск напірного боку	16	6	4	2	20	8	6	3	30	12	11	6
Кришка всмоктувального боку	7	5	3	2	16	8	4	4	20	16	10	8
Кришка напірного боку	4	2	1	0,5	8	4	2	1	10	8	6	2
Кільце:												
установочне	18	7	7	3	24	11	9	6	32	20	18	14
ущільнювальне	18	7	7	3	24	11	9	6	32	20	28	14
сальникове	3	1,8	1,6	0,9	5	3	2,4	1,4	8	6	3	2,7

Таблиця 3.7 – Технічні характеристики вібраційних грохотів інерційного типу

Параметри сит	Типи інерційних грохотів								
	дебалансні					самобалансні			
	ГІЛ-42	ГІЛ-43	ГІЛ-32	ГІЛ-52	ГІТ-51	ГСЛ-42	ГСЛ-62	ГСЛ-72	ГСТ-61
Число ярусів сит	2	3	2	2	1	2	2	2	1
Габаритні розміри, мм:									
ширина	1500	1500	1250	1750	1750	1500	2000	2500	2000
довжина	3750	3750	2500	4500	3500	5000	5000	6000	5000
Площа, м ²	5,6	5,6	3,1	7,9	6,125	7,5	10,0	15,0	10,0
Амплітуда коливань, мм	3; 3,5	2,5; 3	2,5	2,5; 3	4,6	4,85	4,35	4,25	5,6
Частота коливань, рад/с	94,2; 104,7	94,2; 104,7	120,5	94,2	62,8; 75,4	85,8	85,8	85,8	70,3

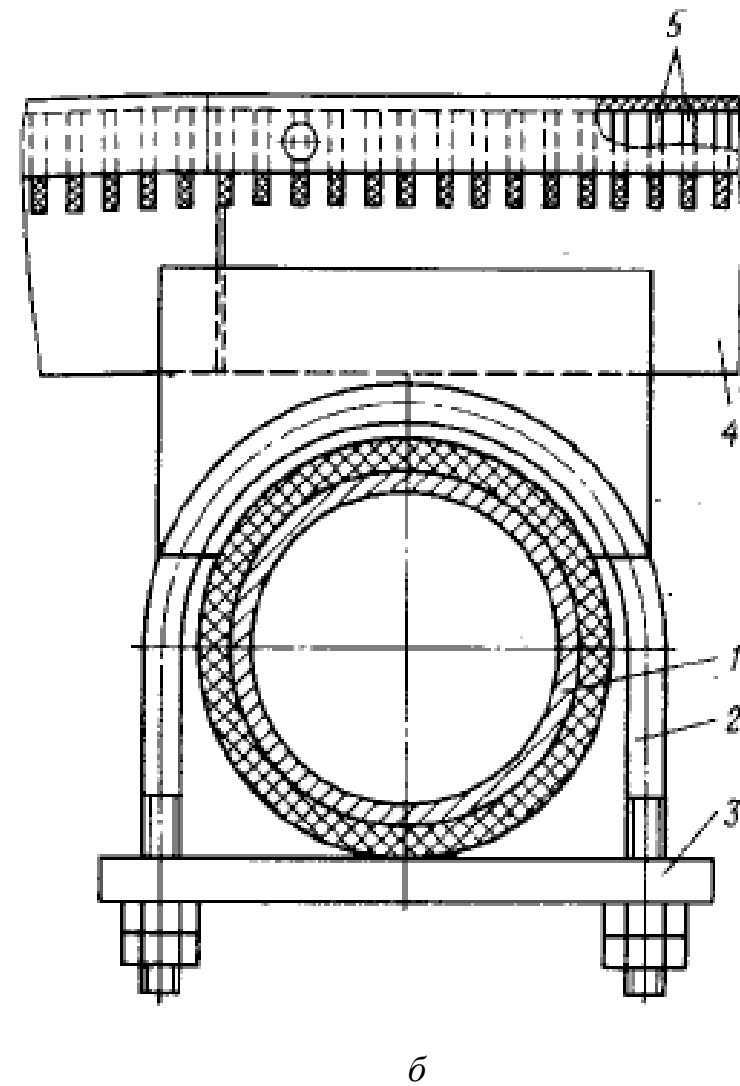
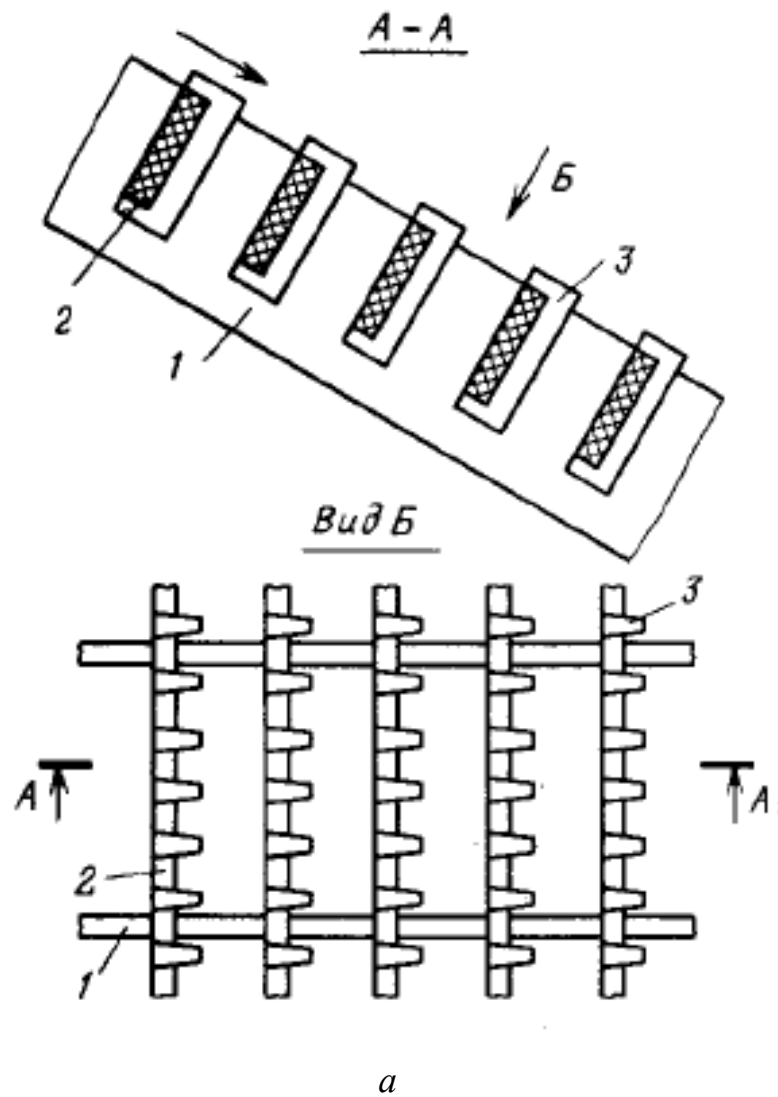


Рисунок 3.9 – Резонуюче стрічково-струнне сито:

а – конструкція сита (1 – стаціонарні поздовжні опори; 2 – стрічки; 3 – періодичні виступи);
б – спосіб закріплення сита на грохоті (1 – поперечна балка грохоту; 2 – скоба; 3 – планка; 4 – каркас; 5 – стрічка)