

ВСТУП

Дроблення гірської маси є одним з базових технологічних процесів, що відбуваються на гірничо-збагачувальних фабриках під час її збагачення, яке застосовується для роз'єднання зростків рудних (корисних) та нерудних мінералів, що містяться у вихідному матеріалі; доведення вихідного матеріалу до необхідної крупності чи гранулометричного складу. Межа крупності дроблення визначається розміром вкрапленості рудних та нерудних мінералів. Ця крупність встановлюється дослідним шляхом для кожного типу корисної копалини при дослідженні її на збагачуваність.

При збагаченні твердих та абразивних матеріалів переважно використовують конусні дробарки, причому дроблення ведеться у декілька стадій задля збільшення ефективності процесу. Конусні дробарки широко використовуються в рудній промисловості для дроблення руди та підготовки сировини для збагачення.

Серед трьох стадій дроблення, а саме першої крупного дроблення, другої середнього дроблення та третьої дрібного, остання стадія є завершальною та такою, що визначає якість усієї технологічної операції дроблення.

Дробарки дрібного дроблення за конструкцією та принципом дії дуже схожі на дробарки середнього дроблення, та відрізняються тільки довжиною зони дроблення та розміром вихідної щілини.

Під час робочого процесу у конусній дробарці дрібного дроблення окремі шматки матеріалу, розміри яких більші за розміри розвантажувальної щілини, роздавляються під впливом перервного, поступово наростаючого тиску у кільцеподібному просторі між двома конусами, вставленими один в одного. Коли поверхні, що дроблять, зближуються, матеріал дробиться, а коли розходяться, подрібнений матеріал розвантажується та провалюється вниз.

В загальні конусні дробарки мають низку важливих переваг перед іншими видами дробарок, а саме можуть працювати «під завалом», без живильника, мають порівняно високу продуктивність (до 3000 т/год), менш чутливі до перевантажень.

Враховуючи вище сказане, конусні дробарки зокрема і дробарки дрібного дроблення розповсюджені для дроблення саме міцних абразивних матеріалів, та , відповідно, часто є об'єктом різноманітних удосконалень, що мають на меті покращення якості дроблення, зниження енергоємності процесу, зниження зношення частин дробарки тощо.

Отже дослідження процесу дроблення у конусних дробарках дрібного дроблення та визначення раціональних параметрів процесу дроблення є **актуальним науково-технічним завданням.**

Метою роботи є покращення режиму роботи дробарок дрібного дроблення за рахунок обґрунтування експлуатаційних параметрів.

Об'єкт досліджень – процесу дроблення у дробарках дрібного дроблення.

Предмет дослідження – параметри дробарок дрібного дроблення.

Наукові положення, що виноситься на захист:

- розроблено і науково обґрунтовано пропозиції щодо кінематичної схеми адаптивного зубчастого варіатора, який автоматично підлаштовує передавальне відношення під зовнішнє навантаження за рахунок застосування двох планетарних редукторів, перший з яких роз'єднує силовий потік, а другий поєднує цей потік.

1. АНАЛІЗ КОНУСНИХ ДРОБАРОК ДРІБНОГО ДРОБЛЕННЯ

1.1. Аналіз області застосування та конструкції дробарок дрібного дроблення

Конусні дробарки застосовують для дроблення порід із міцністю $\sigma_{\text{ст}}$ до 300 МПа з високим ступенем абразивності. У таких дробарках матеріал роздавлюється в камері дроблення робочим конусом, що робить просторове хитання всередині нерухомого конуса [5-8, 15-18].

Конусні дробарки дрібного дроблення, що найбільш широко застосовуються при збагачення рудних корисних копалин мають ряд переваг, які визначають їх широке поширення, а саме безперервність робочого процесу, високу врівноваженість рухомих частин, можливість запуску під завалом, високий ступінь подрібнення матеріалу, надійність у роботі [5-8, 15-18].

Найбільший розмір шматка, що завантажується в дробарки дрібного дроблення відповідно 8...170 мм при розмірі розвантажувального отвору 5...20 мм [5-8, 15-18].

У конусних дробарках процес дроблення відбувається у просторі (камері дроблення), що утворюється поверхнями зовнішнього нерухомого та внутрішнього рухомого усічених конусів [5-8, 15-18].

Особливість дробарок мілкового дроблення порівняно з дробарками для крупного дроблення - розтягнутий донизу профіль камери дроблення, що утворюється рухомим конусом і розширеним донизу нерухомим конусом. Це дозволяє збільшити протяжність «паралельної зони», необхідної для отримання рівномірного по крупності продукту з мінімальною кількістю надлишкових зерен. У дробарках для дрібного дроблення ця зона відрізняється більшою довжиною порівняно з дробарками для середнього дроблення. Матеріали подрібнюються в результаті дії стискаючих, стираючих та згинальних навантажень, причому останні досягають значної величини завдяки круговій поверхні камери дроблення. Такі особливості конструкції сприяють тому, що подрібнюваний матеріал довше затримується в дробарці, в результаті чого шматки матеріалу зацімлюються між

рифленнями конусів не менше 4-5 разів, у тому числі не менше одного разу в «паралельній зоні», забезпечуючи більш високу якість дроблення [5-8, 15-18].

Конусні дробарки для дрібного дроблення (КМД) виготовляються у трьох виконаннях: Гр – для грубого дроблення; Т - для тонкого дроблення; СТ - для надтонкого дроблення. Розрізняють дробарки КМД з механічним та гідравлічним регулюванням розвантажувального отвору [5-8, 15-18].

Таблиця 1.1 - Характеристики конусних дробарок мілкого дроблення [8]

Показник	КМД- 1200Гр	КМД-1200Т	КМД- 1750Гр	КМД-1750Т	КМД- 2200Гр	КМД-2200Т	КМД- 22000Т	КМД-2500	КМД- 3000Т	КМД-2200А	КМД-2200Б
Діаметр основи дроблячого конуса, м	1,2	1,2	1,75	1,75	2,2	2,2	2,2	2,5	3,0	2,2	2,2
Ширина завантажувального отвору, м	0,1	0,05	0,13	0,08	0,14	0,1	0,085	0,14	0,12	0,1	0,1
Ширина розвантажувальної щілини, $\cdot 10^{-3}$ м	5..15	3..12	9..20	5..15	10..20	5..15	7..15	7..20	6..20	5..15	5..15
Найбільший розмір шматків у живленні, м	0,08	0,04	0,1	0,07	0,11	0,085	0,075	0,11	0,1	0,185	0,05
Частота обертання конуса, хв-1	260	260	260	260	242	242	205-308	200	185	269	269
Продуктивність, мз/год	45	27	95-130	85-110	220-260	160-220	120-150	95-250	300*	190*	190*
Маса дробарки без електрообладнання, т	23,4	23,4	47,5	47,6	90,5	87,3	87,5	145	212	93,5	96,0

Для отримання більш однорідного крупності подрібненого продукту конусні дробарки для дрібного дроблення мають подовжену паралельну зону l зі зменшеною шириною s (рис 1.1). Час руху зерна руди в паралельній зоні має бути не менше часу одного обороту конуса, що дробить. За виконання цієї умови кожне зерно буде затиснуте в паралельній зоні не менше одного разу [5-8, 15-18].

На швидкість переміщення матеріалу по хитної поверхні дробного конуса впливає частота обертання конуса, амплітуда хитання конуса, коефіцієнт тертя матеріалу про поверхню дробу конуса і нерухомої чаші, конфігурація паралельної зони та ін. Кут відхилення осі конуса від осі дробарки (кут прецесії) становить від 15 до 25° [5-8, 15-18].

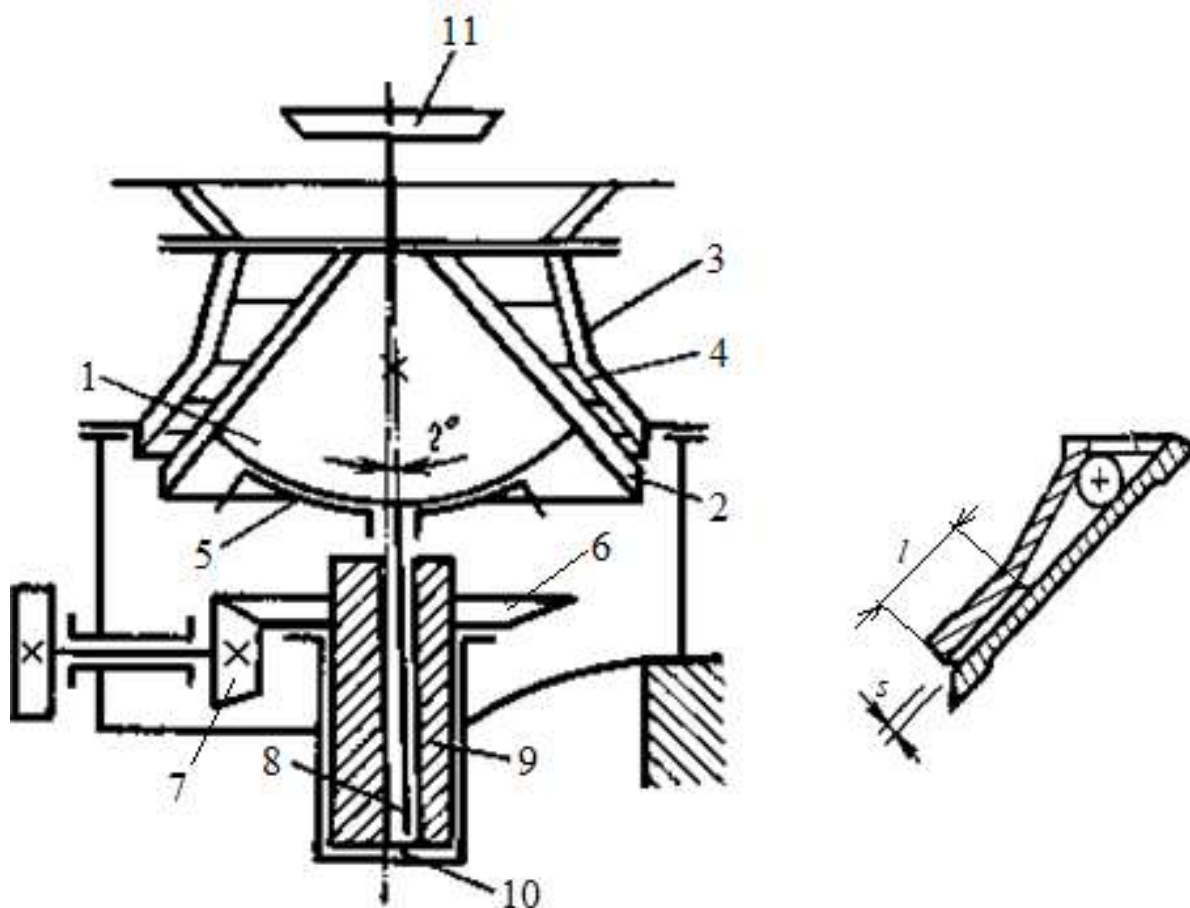


Рис. 1.1 – Схема конусної дробарки дрібного дроблення [5-8, 15-18]: 1 – конус рухомий; 2 – футерування конусу рухомого; 3 – конус нерухомий; 4 – футерування конусу нерухомого; 5 – підшипник сферичний; 6 – колесо зубчасте конічне; 7 – вал приводний з конічною шестернею; 8 – вал конуса; 9 – стакан ексцентриковий; 10 – підп’ятник; 11 - таріль розподільча

У кожен момент одна з утворюючих конуса, що дробить, виявляється найбільш наближеною до внутрішньої поверхні нерухомого конуса, а протилежна утворююча - найбільш віддаленої. Таким чином, у будь-який момент поверхні дроблять конусів, зближуючись, роблять дроблення матеріалу, а в зоні видалення

цих поверхонь раніше роздроблений матеріал під дією власної маси розвантажується через кільцеподібну випускную щілину [5-8, 15-18].

Процес дроблення в конусних дробарках відбувається безперервно при послідовному переміщенні зони дроблення по колу конусів, що сприяє більш рівномірному навантаженню механізму та двигуна дробарки. Розмір найбільших шматків, які можуть бути завантажені в дробарку, визначається радіальною шириною отвору завантаження. Характеристика крупності дроблення та продуктивність дробарки залежать від радіальної ширини розвантажувального отвору [5-8, 15-18].

Конусні дробарки для дрібного дроблення значно відрізняються від дробарок для великого дроблення насамперед контуром профілю робочого простору. Рухомий конус 1 (рис 1.1) має кут при вершині $80...100^\circ$ «пологий конус». Нерухомий конус 3 (рис 1.1) розширюється донизу, утворюючи з рухомим «паралельну зону», при русі по якій матеріал піддається неодноразовому стиску і дроблення до розміру, рівного вихідної щілини. Тому крупність продукту дроблення визначається шириною закритої щілини розвантажувальної. Камери дроблення цих дробарок приймають менші за розміром шматки і видають дрібніший продукт. У таких дробарках інакше виконана опора конуса, що дробить. Вал 8 (рис. 1.1), на якому насаджений конус, що дробить, виконаний консольним, що не має верхньої опори. У дробарок для дрібного дроблення опора конуса, що дробить, розташована в центрі його гойдання і виконана у вигляді сферичного підшипника 5 великого радіусу, що сприймає як масу конуса і валу, так і зусилля дроблення. Нижній кінець валу вставлений ексцентрикову втулку 9, розміщену в стакані, що представляє одне ціле зі станиною дробарки. Ексцентрикова втулка отримує обертання від електродвигуна через горизонтальний вал та конічну передачу. Матеріал надходить на диск-живильник 11 і рівномірно розподіляється по всьому отвору завантаження [5-8, 15-18].

Дробарки для дрібного дроблення більш швидкохідні. Кількість хитань конуса, що дробить, за хвилину — 215...350 [5-8, 15-18].

У якості прикладу конструкції дробарки дрібного дроблення розглянемо

дробарку КМД-3000Т (рис. 1.2), яка призначена для дрібного дроблення руди. Вона складається з приводного валу 1, станини 2, ексцентрикової склянки 3, опорної чаші 4, конуса, що дробить 5, амортизаторів 6, регулюючого кільця 7, нерухомого конуса 8, кожуха 9, завантажувального пристрою 10 і механізму повороту 11 нерухомого конуса [5-8, 15-18].

У конусних дробарках КМД-3000 удосконалено конструкцію ексцентрикового вузла, механізовано операцію регулювання ширини вихідної щілини, посилено станину, збільшено частоту обертання дробучого конуса. На вимогу замовника дробарки постачають з одним з двох профілів футерівок дробильного простору. Нові модернізовані дробарки КМДТ мають збільшену частоту обертання [5-8, 15-18].

У конусних дробарках КМД-2200СТ-1, КМД-2200СТ-2 та КМД-3000Т кут прецесії становить 1,6; 1,6 і 1,5 °, а частота обертання конуса збільшена [5-8, 15-18].

Мінімальна крупність продукту дроблення, яку можна отримати під час роботи дробарок КМД у відкритому циклі, становить 20-25 мм. Для отримання дрібнішого продукту під час роботи КМД необхідно застосовувати замкнуті цикли дроблення. При цьому продуктивність дробарок знижується через обмежену ефективність грохочення та повернення на дроблення частини готового по крупності матеріалу, проте в результаті надходження в харчування млинів дрібнішого матеріалу продуктивність їх збільшується [5-8, 15-18].

Модернізована дробарка КМДТ-2200А дозволяє отримувати продукт крупністю дрібніше 20-22 мм, а дробарка КМД-2200СТ - дрібніше 18 мм (при суттєвому зниженні її продуктивності) [5-8, 15-18].

Організація рівномірного завантаження дробарок КМД дозволяє досягти істотного підвищення продуктивності до 30%, зниження середньозваженої крупності матеріалу на 12-15%, зменшення питомої витрати електроенергії до 20% і зниження витрати футерування до 20% [5-8, 15-18].

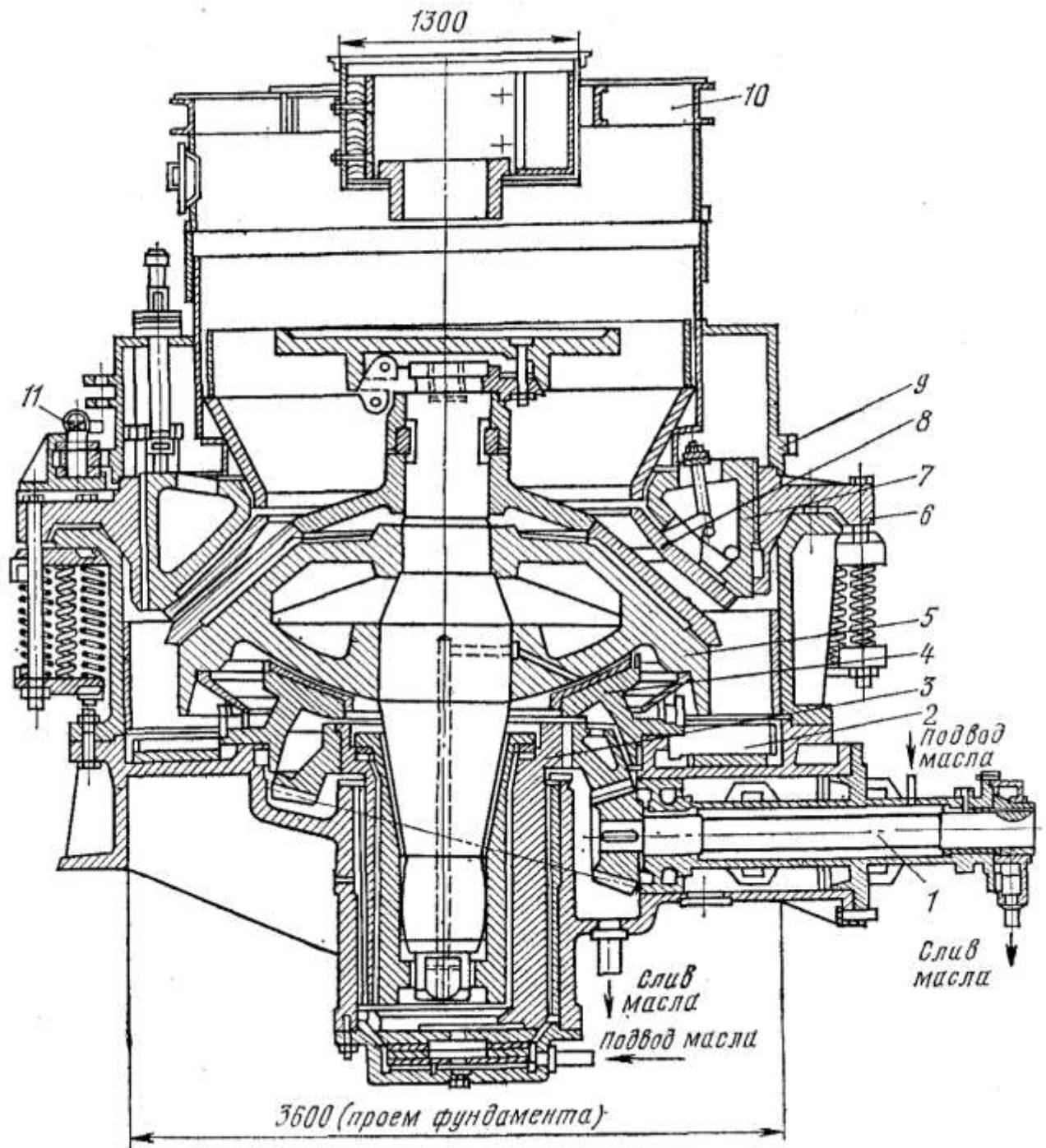


Рис 1.2 – Дробарка м'якого дроблення КМД-3000Т [5-8, 15-18]: 1 – вал приводний; 2 – станина; 3 – стакан ексцентриковий; 4 – чаша опорна; 5 – конус рухомий; 6 – амортизатори; 7 – кільце регулююче; 8 – конус нерухомий; 9 – кожух; 10 – пристрій завантажувальний; 11 – механізм повороту

1.2. Аналіз методик розрахунку процесу дроблення у дробарках дрібного дроблення.

Відомі методики розрахунку конусних дробарок мілкового дроблення, як і середнього, наведені у [4-15, 17-19], дозволяють визначити наступні параметри:

- необхідний кут захвату матеріалу між конусами на основі кута тертя матеріалу, що дробиться, та матеріалу конусів;
- частоту обертання валу в залежності від довжини паралельної зони між конусами та швидкості просування шматків у цій зоні;
- хід качання конуса на основі емпіричних даних;
- продуктивність;
- необхідну потужність приводного електродвигуна;
- зусилля, що виникають у елементах дробарки.

Дещо інший підхід до визначення параметрів дроблення та, відповідно, до параметрів самої дробарки наведено у роботі [4], у якій конусна дробарка розглядається з точки зору автоматизації як об'єкт автоматизованого керування гранулометричним складом продуктів дроблення. Як стверджують автори, у цьому випадку керуючими впливами у такій системі автоматичного управління гранулометричним складом продуктів дроблення є [4]:

- величина розвантажувальної щілини дробарки ;
- швидкість обертання конуса, що дробить.

Автори зазначають, що зменшення швидкості обертання конуса веде до зниження продуктивності, а підвищення – дещо збільшує вихід фракції 5–20 мм із одночасним підвищенням виходу відходів (фракція 0–5 мм). З іншого боку, у разі зростає показник ступеня лещадности руди. Співвідношення фракцій подрібненого продукту змінюється через збільшення розвантажувальної щілини, спричиненого абразивним зношуванням конусів. Однак це компенсується зміною швидкості хитання рухомого конуса. Збільшення виходу товарних фракцій руди можна забезпечити рахунок зміни величини розвантажувального отвору дробарки, який за

ефективністю керування є ефективнішим, ніж зміна швидкості обертання конуса [4].

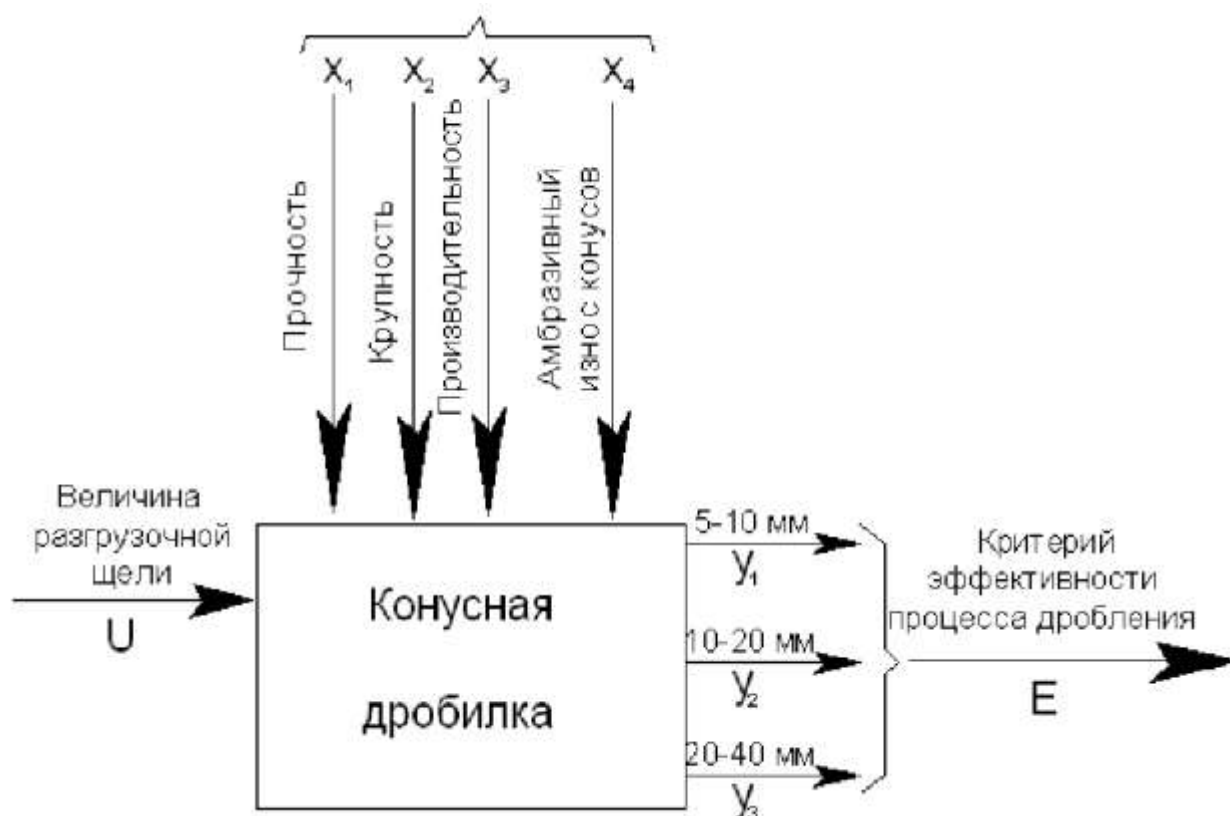


Рис 1.3. – Схема конусної дробарки, як об'єкта автоматичного керування гранулометричним складом продуктів дроблення [4].

Як зазначають автори, різні товарні фракції подрібненого щебеню мають різні оптові ціни: дрібні фракції щебеню 5–10 мм і 10–20 мм мають вищу ціну, оскільки мають підвищений попит. Тому для технологічних ліній, що виробляють фракціонований щебінь, необхідно визначити критерій ефективності процесу дроблення, що враховує вплив зміни гранулометричного складу подрібненого матеріалу на його вартість [4].

Для підготовки рудного концентрату навпаки більшу цінність являють саме найдрібніші фракції, збільшення вмісту яких у розвантажуваному продукті у подальшому може знизити енергоємність подрібнення у млинах [4].

Тому запропонований питомий дохід E , як критерій ефективності процесу дроблення, що враховує відносний вихід різних товарних фракцій щебеню різної вартості, для рудозбагачувального підприємства повинен відрізнятися.

Далі у своїй роботі автори наводять розрахунок статичних та динамічних характеристик конусної дробарки, які характеризують взіємозв'язок вхідних та вихідних параметрів.

Окремо слід виділити роботу [9,10] у якій автор ретельно і усебічно опрацював теорію моделювання процесу руйнування гірської маси у робочій зоні дробарки КМД. Досліджено частоту качано дроблячого конуса, розміри приймальної зони камери дроблення, розглянуто рух матеріалу робочою зоною дробарки, пропускну здатність камери дроблення, довжини камери та зони дроблення. Додатково розроблено гранулометричну модель робочого процесу КМД.

У роботах [5, 7, 12] наведено загальну інформацію про конусні дробарки, конструкція, класифікація, розрахунок.

У роботі [11] наведені загальні міркування про математичні моделі роботи конусних дробарок.

У роботі [13] наведено загальні та короткі відомості про сили, що діють у дробарках

Книги [15, 17] містять загальні відомості і загальний розрахунок конусних дробарок

У джерелах [16, 18] міститься інформація щодо загальних відомостей про конструкції конусних дробарок

1.3. Аналіз методик моделювання процесів руйнування гірських порід при дробленні

Згідно [20] для комп'ютерного моделювання процесу руйнування гірської маси у конусній дробарці мілкого дроблення найбільш доречним буде використання методу дискретних елементів (DEM) з можливістю руйнування часточок.

У статті [21] наведено використання пакету Altair EDEM для моделювання роботи конусної дробарки. Причому використовуючі цей програмний пакет було

оптимізовано форму конусів таким чином, щоб продуктивність збільшилась на 25%.

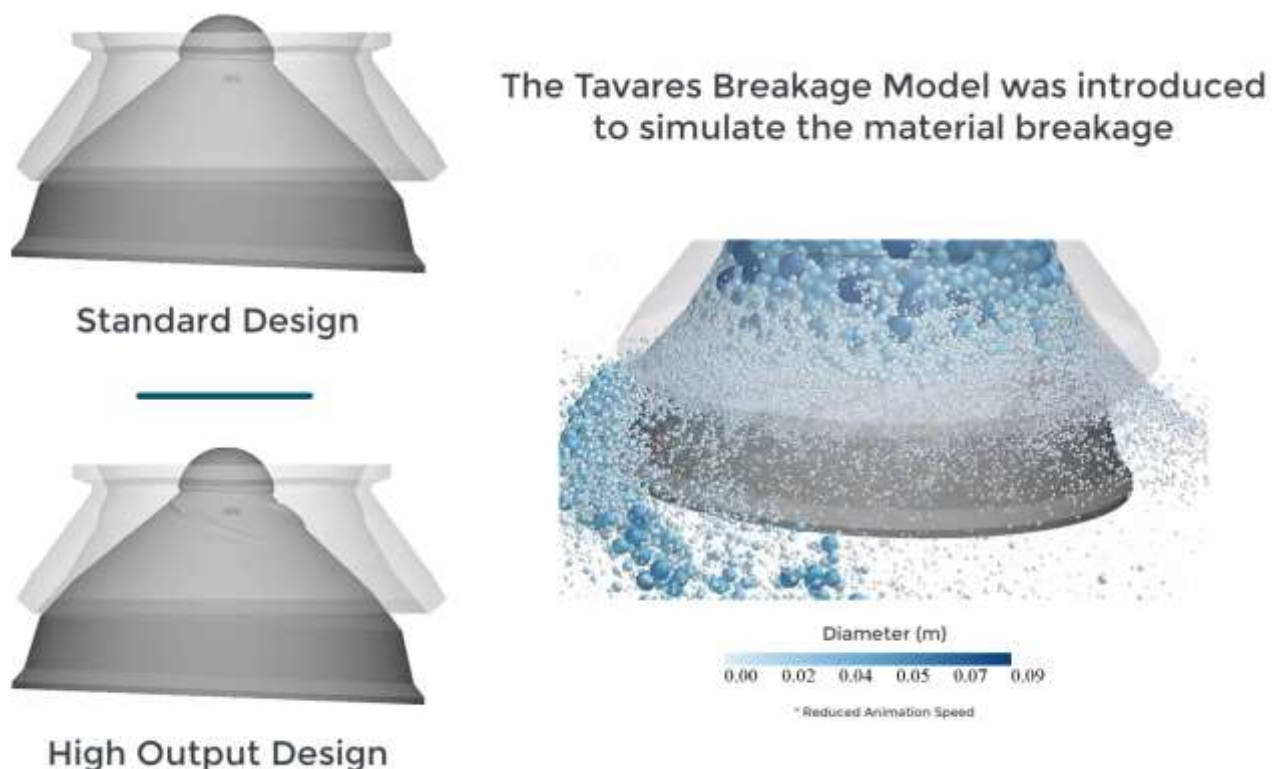


Рис 1.4 - Результат роботи пакету Altair EDEM [21]

Інший програмний пакет Rocky DEM від фірми ESSS, який також реалізує метод DEM [22], який дозволяє незалежно від форми частинок змодельовувати руйнування часточок породи. Всі моделі можуть зберігати масу і об'єм вихідних часток. Миттєва фрагментація Моделі Ab-T10 і Tavares дозволяють відобразити крихке руйнування твердих матеріалів, утворюючи осколки довільної форми з меншими фрагментами, які утворюються ближче до точки удару.

Rocky DEM працює як з алгоритмом поділу руйнування, так і з функцією ймовірності енергії руйнування, яка сама базується на добре відомій у галузі моделі (JKMRC Ab-T10). У цій моделі руйнування використовуються опуклі багатогранники довільної форми та можуть зберігатися як маса, так і об'єм під час процесу руйнування. Крім того, він розглядає кожну частинку як єдину сутність, яку можна миттєво розбити на фрагменти на основі визначених значень сили руйнування та/або енергії [22].

Модель поломки Тавареса є розширенням оригінальної моделі поломки Ab-T10 Rocky DEM. Він був підтверджений за допомогою тестування на одній частинці, і результати були задокументовані в багатьох рецензованих публікаціях за останні 20 років [22].

Ця модель зосереджена на руйнуванні через низькоенергетичне напруження, що допомагає моделювати багато операцій агрегату при обробці та транспортуванні твердих частинок, де частинки часто піддаються складній серії подій навантаження [22].

Модель руйнування Тавареса описує прогресивне зростання тріщиноподібного пошкодження, яке в кінцевому підсумку призводить до руйнування частинки під напругою, значно нижчою, ніж ті, необхідні для руйнування в першій події [22].

Унікальна дискретна модель руйнування Rocky DEM — це модель високої точності, яка враховує місце зіткнення на поверхні частинки разом із внутрішніми напругами, що виникають унаслідок цього, фіксуючи залежне від форми руйнування та поширення тріщини [22].

На відміну від більшості кодів DEM, які використовують комбінацію сфер, з'єднаних одна з одною, для наближення форми частинки, Роккі використовує тетраедри, що дозволяє представити будь-яку форму частинки, зберігаючи об'єм і масу. Таким чином, він може імітувати руйнування частинок будь-якої форми та співвідношення сторін: волокон, оболонок і частинок спеціальної форми [22].

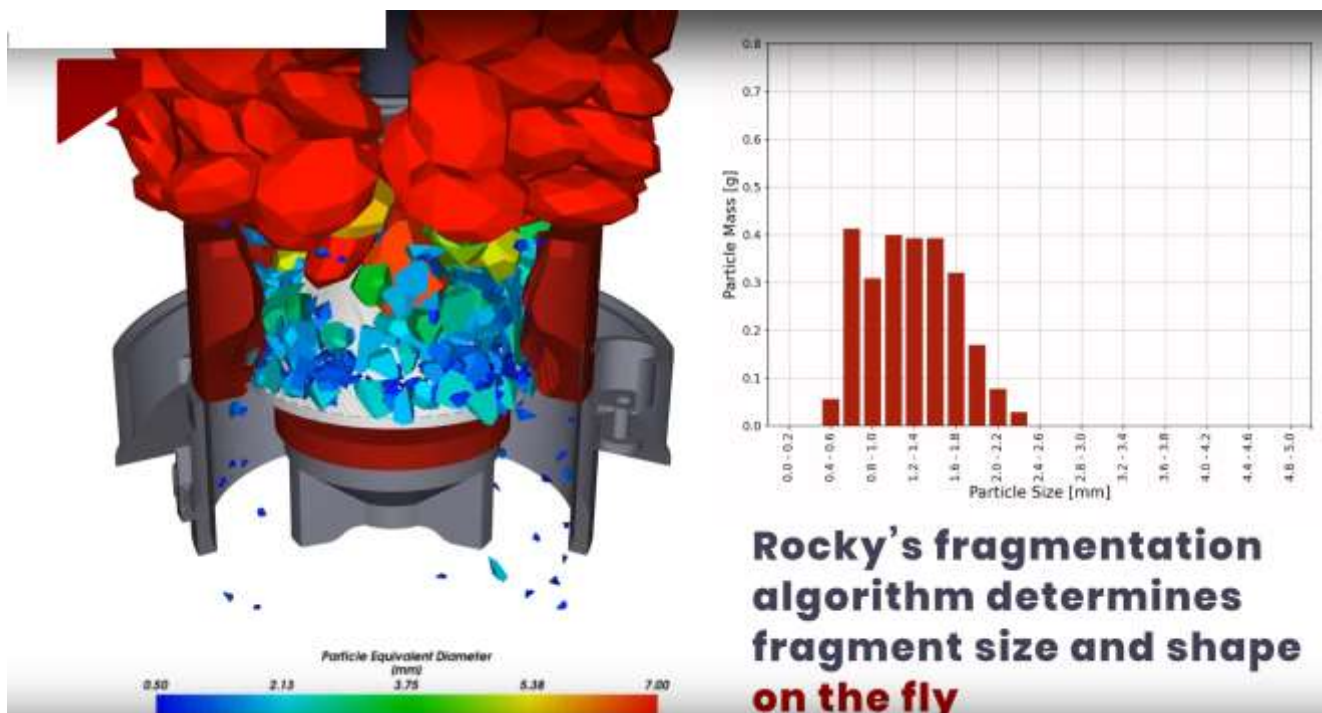


Рис 1.5 - Приклад роботи пакету Rocky DEM [22]

1.4. Мета, об'єкт, предмет, завдання та методи дослідження

Метою роботи є покращення режиму роботи дробарок дрібного дроблення за рахунок обґрунтування експлуатаційних параметрів.

Об'єкт досліджень – процесу дроблення у дробарках дрібного дроблення.

Предмет дослідження – параметри дробарок дрібного дроблення.

Завдання дослідження

1. Аналіз відомої методики розрахунку основних параметрів конусних дробарок дрібного дроблення;
2. Розробка математичної моделі конусних дробарок дрібного дроблення;
3. Визначення шляхів удосконалення дробарки;
4. Дослідження удосконаленої конструкції конусних дробарок дрібного дроблення.

Методи досліджень, що використовуються у роботі, включають патентний аналіз; методи аналітичного моделювання; методи комп'ютерного моделювання.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ КОНУСНИХ ДРОБАРОК ДРІБНОГО ДРОБЛЕННЯ

2.1. Загальна методика досліджень

Задля досягнення поставленої мети покращення режиму роботи покращення режиму роботи дробарок дрібного дроблення за рахунок обґрунтування експлуатаційних параметрів планується проведення наступних досліджень.

Задля розробки математичної моделі на першому етапі проводиться аналіз відомої методики розрахунку основних параметрів конусних дробарок дрібного дроблення задля визначення актуальності основних залежностей.

На базі результатів проведеного аналізу методики розрахунку будується математична модель конусних дробарок дрібного дроблення.

Далі визначаються можливі шляхи удосконалення дробарки, проводиться патентний аналіз.

Наприкінці задля розробки рекомендацій обраний варіант удосконалення конструкції конусних дробарок дрібного дроблення досліджується.

2.1. Аналіз методики розрахунку параметрів конусної дробарки дрібного дроблення

Вхідна порода характеризується типовим гранулометричним складом, наведеним на рис 2.1.

Типорозмір КПД характеризується шириною завантажувального отвору B та розвантажувального b . Розміри B і b вимірюються вздовж радіусу між крайніми точками футерування відповідно у верхній та нижній частинах конусів при їх максимальному видаленні.

Згідно з ГОСТ 6937-81 залежно від діаметра рухомого конуса D , випускають п'ять типорозмірів. 1200, 1750, 2200, 2500, 3000. Максимальний розмір шматка 38 ... 100 мм і при ширині вихідного отвору 3 ... 15 мм [3].

Довжина паралельної зони дроблення [4-15, 17-19]

$$l = 0,08 D \quad (2.1)$$

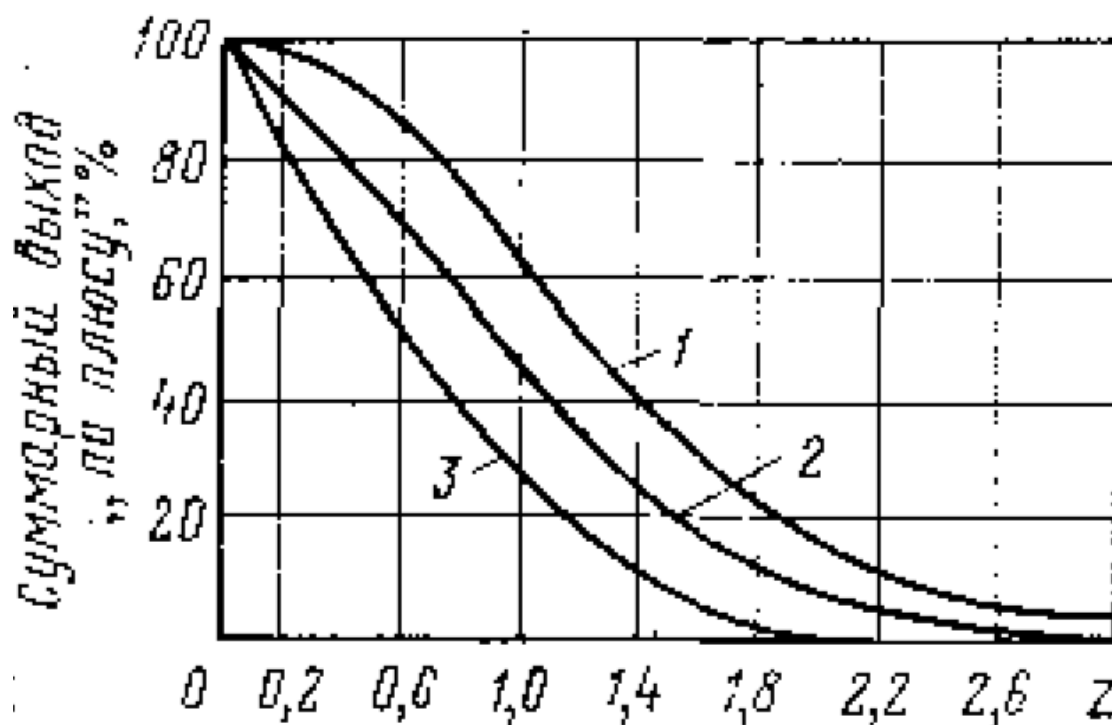


Рис 2.1 – Типові характеристики крупності продуктів дроблення у дробарках типу КМД [17]: 1 – міцні руди; 2 – руди середньої міцності; 3 – м'які руди

Кут захоплення конусних дробарок. Кут захоплення α конусних дробарок дрібного дроблення - це кут між утворюючою поверхнею дроблячого конуса і зовнішньою конічною чашею у верхній частині робочого простору у момент найбільшого їх зближення (рис. 2.2 а) [4-15, 17-19].

За умовами рівноваги шматка дробленого матеріалу, затиснутого в робочому просторі конусної дробарки дрібного дроблення, кут захоплення α має бути менше подвійного кута тертя ϕ [4-15, 17-19]

$$\alpha \leq 2\phi \quad (2.1)$$

Кут захоплення у дробарках типу КМД, що випускаються серійно, складає у середньому 18° [4-15, 17-19].

Число обертів конуса. Кількість обертів ексцентрикового стакану з рухомим конусом визначається довжиною паралельної зони та швидкості просування шматка у цій зоні. Призначенням цієї зони, що визначається довжиною l та шириною s , є отримання подрібненого продукту з максимальним шматком розміром, що не перевищує ширини зони b . Це може відбутися у тому випадку,

якщо час проходження шматками дробленого матеріалу паралельною зоною буде не менше часу одного обороту ексцентрикового стакану з конусом. При цьому кожен шматок дробленої породи принаймні один раз буде затиснутий в паралельній зоні (рис. 2.1 б) [4-15, 17-19].

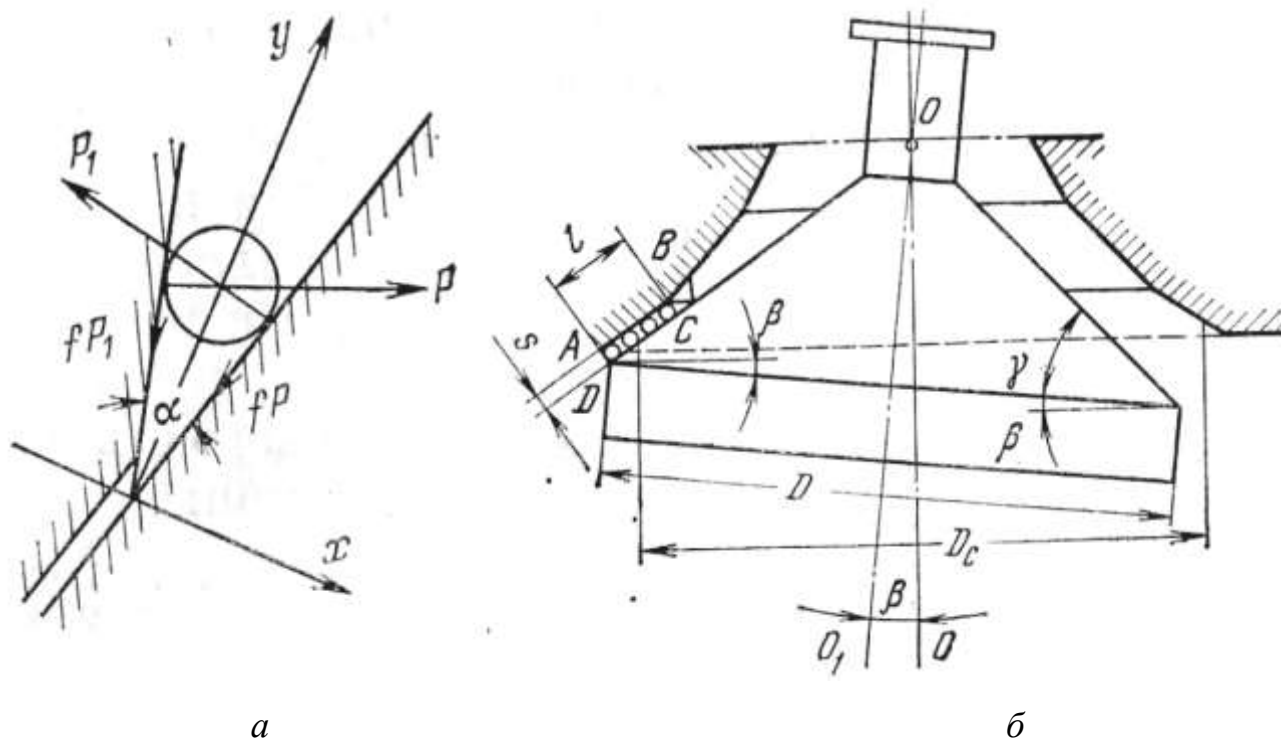


Рис 2.2 – Параметри дробарки КМД [4-15, 17-19]

Рух матеріалу в робочій зоні дробарки, який можна розглядати як вібраційне переміщення матеріалу між поверхнями нерухомого та рухомого конусів, який, у свою чергу, здійснює маятникові (гармонічні) коливання від ексцентрика. Швидкість переміщення поверхні рухомого конуса залежить від частоти обертів ексцентрика, його подвійного ексцентриситету, коефіцієнта тертя, конфігурації нерухомого конуса, що обмежує рух шматка породи в процесі дроблення [4-15, 17-19].

Число обертів ексцентрикового стакану з рухомим конусом, об/с [4-15, 17-19]

$$n = 7.83 \cdot \sqrt{\frac{\sin(\alpha) - f \cdot \cos(\alpha)}{D}} \quad (2.2)$$

де кут нахилу утворюючої дроблячого конуса $\alpha = 39-40^\circ$; коефіцієнт тертя матеріалу о поверхню конусів $f = 0,35$;

Якщо прийняти кут нахилу утворюючої дроблячого конуса $\alpha = 39^{\circ}..40^{\circ}$, а коефіцієнт тертя матеріалу о поверхню конусів $f = 0,35$, то формула (2.2) матиме вид [4-15, 17-19]

$$n = \frac{4.698...4.79}{\sqrt{D}} \quad (2.3)$$

Проаналізуємо отриману формулу та порівняємо значення частоти обертання, розраховані за нею, зі значеннями частоти обертання реальних дробарок (табл. 1.1).

Результати порівняння наведені на графіку (рис 2.3).

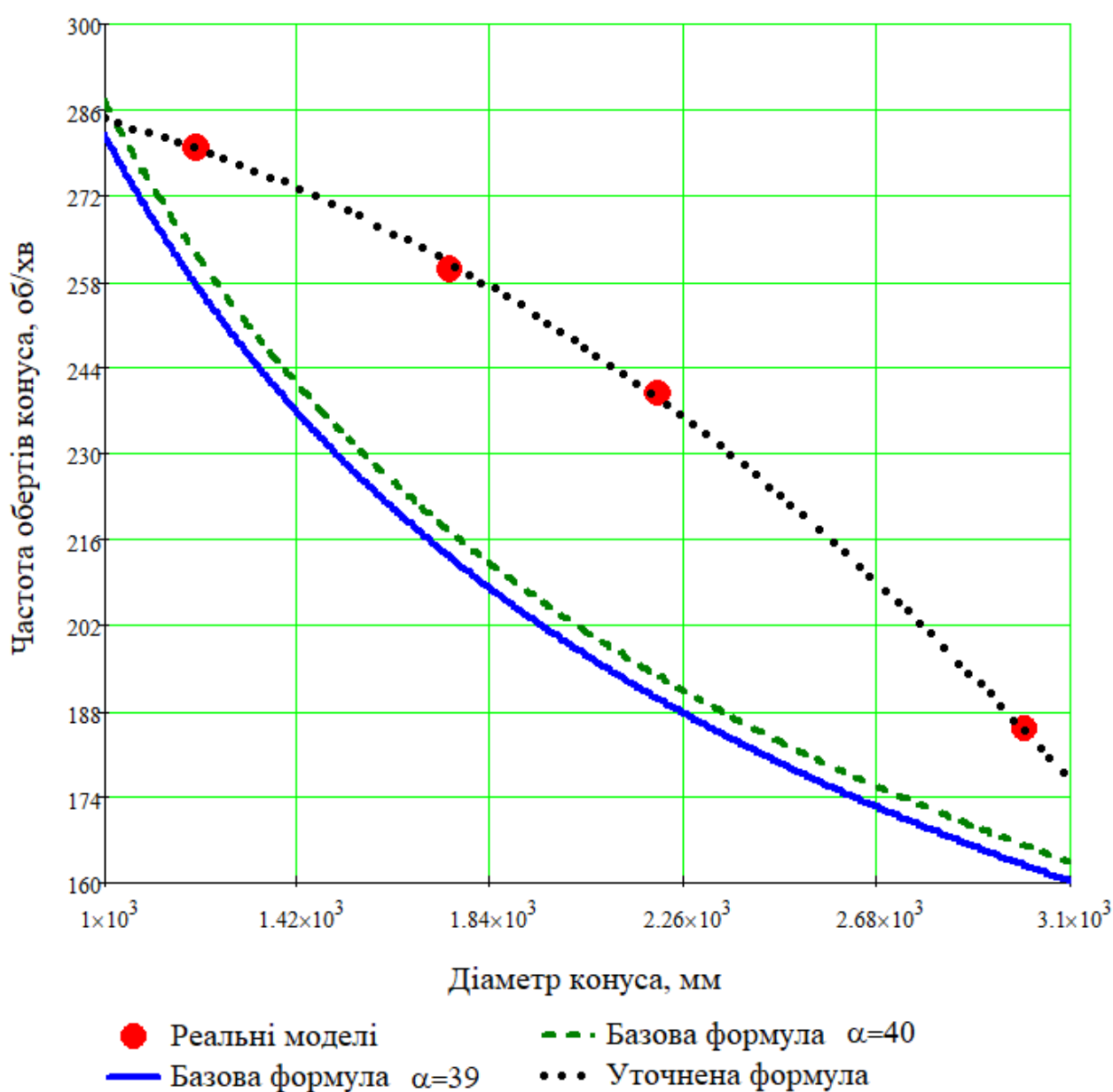


Рис 2.3 – Залежність частоти обертання конуса від його діаметра.

Як видно з графіку, формула та реальні значення не співпадають за

характером зміни показників, отже утонемо формулу. Як базову приймемо ступеневу залежність та за допомогою ПКА MathCAD визначимо коефіцієнти регресії:

$$\text{nd} := \begin{pmatrix} 1200 & 280 \\ 1750 & 260 \\ 2200 & 240 \\ 3000 & 185 \end{pmatrix} \quad \text{g} := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\text{pwrfit}(\text{nd}^{(0)}, \text{nd}^{(1)}, \text{g}) = \begin{pmatrix} -2.082 \times 10^{-6} \\ 2.22 \\ 293.864 \end{pmatrix}$$

$$\text{nn}(\text{D}) := -2.082 \times 10^{-6} \cdot \text{D}^{2.22} + 293.864$$

Уточнена формула визначення частоти обертання конуса

$$n = 293.864 - 2.082 \cdot 10^{-6} \cdot \text{D}^{2.22} \quad (2.4)$$

Як видно з графіка (рис 2.3), уточнена формула краще співпадає з характеристиками відомих дробарок.

Хід конуса. Кут відхилення осі конуса від осі дробарки (кут прецесії) у дробарках типу КМД становить до $2^\circ 30'$. Так, для дробарки з конусом діаметром 2200 мм ексцентриситет на рівні щілини розвантаження становитиме 47,5 мм, а хід – 95 мм. Великий перебіг конуса визначає велике закрупнення дробленого продукту. Відношення розміру максимального шматка в продукті дроблення до розміру випускної щілини у фазі зближення конусів для дробарок типу КМД становить - до 3-4 [4-15, 17-19].

Продуктивність. Площа горизонтальних перерізів робочої зони конусних дробарок дрібного дроблення на різних рівнях по висоті різна, неодинакова також і швидкість просування матеріалу. Тому пропускна спроможність різних перерізів неоднакова, в профілях робочої зони, що не забиваються, вона збільшується з пониженням рівня перерізу [4-15, 17-19].

Продуктивність дробарки визначається горизонтальним перерізом, що має об'ємну найменшу пропускну спроможність. Такий критичний переріз зазвичай виявляється на рівні входу матеріалу в паралельну зону. Але в дробарках дрібного

дроблення цей переріз близький до рівня завантаження, особливо якщо профіль спеціально так запроектований. Слід також враховувати різне розпушування матеріалу в робочій зоні у міру пониження рівня перетинів, в профілях, що не забиваються, коефіцієнт розпушування безперервно збільшується до розвантажувального рівня [4-15, 17-19].

Отже, максимальна продуктивність дробарки визначається твором об'ємної пропускної спроможності критичного перерізу і насипної щільності дробленого матеріалу. Якщо критичний переріз знаходиться на рівні входу в паралельну зону, то продуктивність повинна залежати від площі цього перерізу і, отже, від ширини випускної шпари [4-15, 17-19].

Спрощена залежність об'ємної теоретичної продуктивності, м³/год [4-15, 17-19]

$$Q_m = k_0 \cdot n \cdot d \cdot D^2 \quad (2.5)$$

Автори [13] пропонуують схожу формулу з деякими відмінностями, м³/с

$$Q_m = k_p \cdot n \cdot s \cdot l \cdot D \quad (2.6)$$

де $k_p=0.7..0.8$ – коефіцієнт розрихлення

Таблиця 2.1 - Поправочні коефіцієнти на умови дроблення [4-15, 17-19]

Поправочний коефіцієнт	Міцність руди за шкалою проф. Протод'яконова							
	Не міцна, 5-10		Средня, 10-15		Міцна, 15-18		Особливо міцна, 18-20	
Поправка на міцність руди, k_t	1,2		1,0		0,95		0,9	
Вологість руди, %	4-5	6	7	8	9	10	11	
Поправка на вологість (грудкуюча дрібна фракція), $k_{вл}$	1,0	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,65	
Вміст у живленні класів, що крупніші половини приймального отвору, %	5		20		40		60	80
Поправка на крупність, $k_{кр}$	1,10		1,05		1,0		0,95	0,89

Порівняємо результати розрахунків за цими формулами з результатами реальних дробарок (табл.1.1).

З графіка наведеного на рис 2.4. випливає що обидві формули достатньо точно описують залежність продуктивності від параметрів дробарки, тому уточнення не потребують.

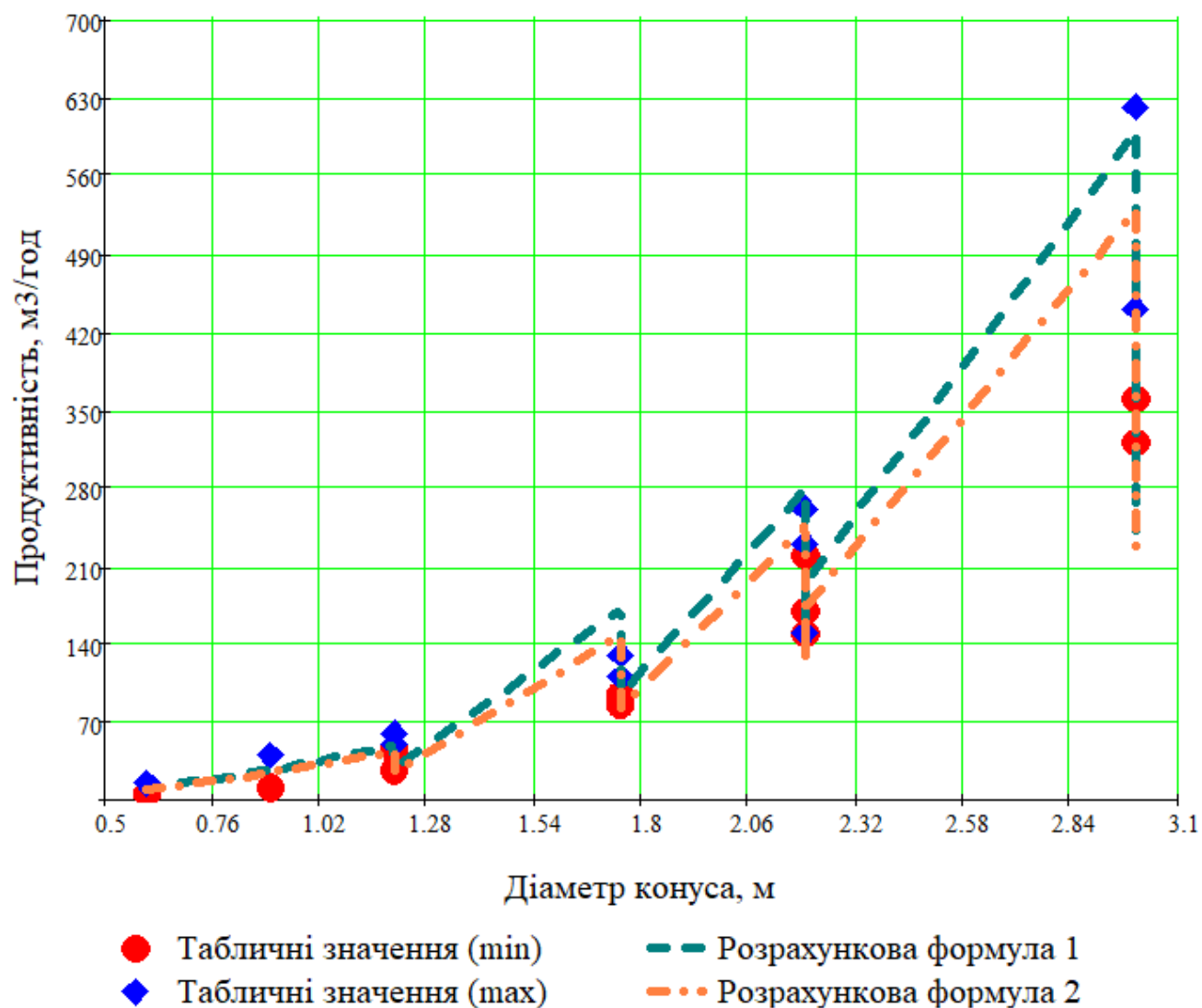


Рис. 2.4 – Залежність продуктивності дробарки від діаметра конуса.

Задля спрощення подальших розрахунків визначимо пряму залежність продуктивності дробарки від діаметра конуса.

$$\begin{aligned}
 & i := 0..10 \\
 & Q_m := \begin{pmatrix} D & n & l & s & Q1 & Q2 \\ 0.6 & 290 & 0.3 & 4 & 5 & 15 \\ 0.9 & 286 & 0.45 & 5 & 12 & 40 \\ 1.2 & 280 & 0.6 & 5 & 45 & 60 \\ 1.2 & 280 & 0.6 & 3 & 27 & 50 \\ 1.75 & 260 & 0.85 & 9 & 95 & 130 \\ 1.75 & 260 & 0.85 & 5 & 85 & 110 \\ 2.2 & 240 & 1.1 & 10 & 220 & 260 \\ 2.2 & 240 & 1.1 & 5 & 170 & 230 \\ 2.2 & 240 & 1.1 & 7 & 150 & 150 \\ 3 & 185 & 1.5 & 15 & 360 & 620 \\ 3 & 185 & 1.5 & 6 & 320 & 440 \end{pmatrix} \\
 & g := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \\
 & \text{pwrfit}(Q_m^{(0)}, Q_m^{(5)}, g) = \begin{pmatrix} 16.704 \\ 3.106 \\ 22.442 \end{pmatrix} \\
 & pp(D) := 16.704 \cdot D^{3.106} + 22.442
 \end{aligned}$$

Отже, отримано наближену залежність продуктивності дробарки від діаметра конуса (рис 2.5)

$$Q = 16,704 \cdot D^{3.106} + 22,442 \quad (2.7)$$

Потрібна потужність електродвигуна. Для дробарок типу КМД потужність двигунів приблизно прямо пропорційна продуктивності. Середня споживана потужність складає від 50 до 75 % потужності електродвигуна.

Дробарки вибираються по ширині завантажувального отвору і по продуктивності при заданій ширині вихідної щілини [4-15, 17-19]

$$N_{ог} \approx 0.21 \cdot n \cdot D^2 \quad (2.8)$$

Зусилля, що виникають при дробленні. У конусних дробарках дрібного дроблення зусилля дроблення, що виникають при роботі дробарки, спрямовані головним чином на припідняття верхньої частини машини. Проте верхню частину машини утримують замикаючі пружини. Якщо відбувається перевантаження дробарки, зусилля від попереднього затягування пружини виявляється недостатнім для утримання верхньої частини дробарки у контакті із станиною, завдяки чому верхня частина дещо підводиться над станиною, викликаючи додаткове стискування пружин.

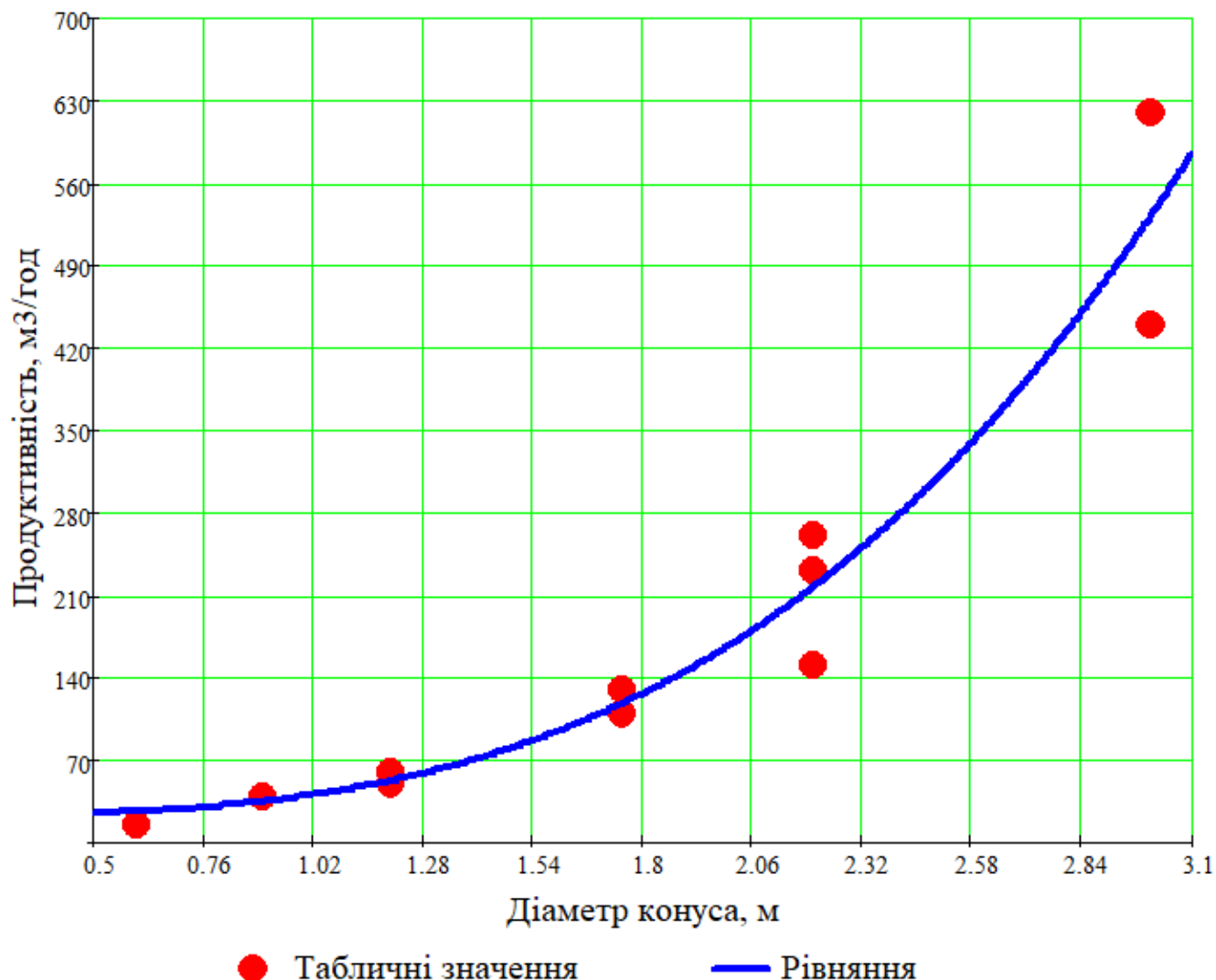


Рис. 2.5 – Залежність продуктивності дробарки від діаметра конуса.

Таким чином, якщо буде відоме зусилля затягування кожної пружини і їх кількість, можна визначити найбільше робоче зусилля дроблення. Для визначення цих зусиль розглянемо рівновагу верхньої частини дробарки під дією зовнішніх сил (рис. 3.7) [4-15, 17-19]

Рівняння моментів відносно точки *A* буде [4-15, 17-19]

$$QL_Q + QfL_F - R(G_e + Pi) = 0, \quad (2.9)$$

де Q - зусилля дроблення, Н; G_v - вага верхньої частини дробарки, Н; P - попередня сила затягування однієї замикаючої пружини, Н; f - коефіцієнт тертя матеріалу о метал; R - відстань від точки *A* до осі дробарки, м; L_Q - плече зусилля дроблення

відносно точки А повороту верхньої частини, м; L_p - плече сили тертя, м; i - число пружин.

Тоді [4-15, 17-19]

$$Q = \frac{R(G_s + Pi)}{L_Q + L_F f} \quad (2.10)$$

У разі попадання в дробарку металевих предметів, пружини будуть додатково деформуватися. Причому пружини деформуватимуться неоднаково, оскільки верхня частина дробарки, підводячись, обертається навколо однієї з точок своєї опорної поверхні [4-15, 17-19].

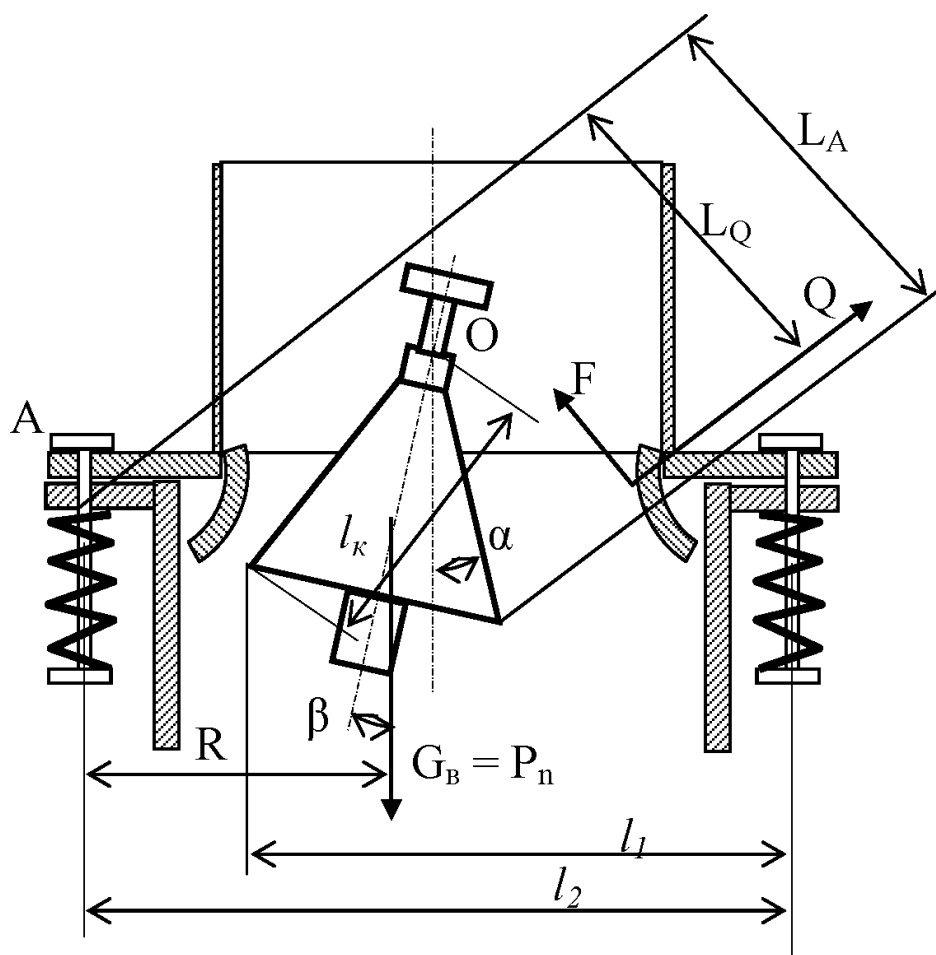


Рис. 2.6. - Рівновага верхньої частини дробарки під дією зовнішніх сил [4-15, 17-19].

Величина додаткових прогинів і відповідно зусилля пружин прямо пропорційні відстаням від цих пружин до точки обертання. Найбільший підйом

верхньої частини дробарки матиме місце при попаданні металевго предмета у кінці зони паралельності. Цей підйом буде рівний [4-15, 17-19]

$$h = 2l_k \sin \beta \cos \alpha \frac{l_2}{l_1}, \quad (2.11)$$

де l_k - відстань від центру сфери О до початку паралельної зони.

Замикаючі пружини розміщуються пакетами, зазвичай по 5 штук у кожному пакеті. Якщо допустити, що в одному пакеті пружини отримують однакову деформацію, то величина моменту, протидіюча підняттю верхньої частини дробарки при додатковому стискуванні пружин, буде рівна [4-15, 17-19]

$$M = \frac{3}{4} ichR + iRP + G_e R, \quad (2.12)$$

де c - жорсткість пружини.

При цьому сила, діюча на конус, що дробить, буде рівна [4-15, 17-19]

$$Q_{\max} = \frac{M}{L_Q + L_F f}. \quad (2.13)$$

Отримані зусилля можуть служити початковими даними для розрахунку на міцність основних деталей дробарки.

2.2. Математична модель розрахунку параметрів конусної дробарки дрібного дроблення

Вхідні дані

- Розмір максимального шматка у живленні, $d_{\max}$, мм;
- Розмір максимального шматка у розвантаження s , мм;
- Продуктивність Q , м³/год.

Розрахунок

Орієнтовний діаметр конуса за заданою продуктивністю, м

$$D = 1,779 \cdot D^{0.174} + 2,337 \quad (2.14)$$

Довжина паралельної зони дроблення, м

$$l = 0,08 D \quad (2.15)$$

Кут нахилу рухомого конуса

$$\gamma = 0,87266 \text{ рад} = 50^\circ$$

Розмір завантажувальної щілини у відкритому стані, м

$$B = 1,176 \cdot d_{\max} \quad (2.16)$$

Розмір завантажувальної щілини у закритому стані, м

$$B' = 0.4 \cdot B \quad (2.17)$$

Частота обертання конуса, об/хв

$$n = 293.864 - 2.082 \cdot 10^{-6} \cdot D^{2.22} \quad (2.18)$$

де D - мм

Потрібна потужність електродвигуна, кВт

$$N_{ог} = 0,21 \cdot n \cdot D^2 \quad (2.19)$$

Зусилля дроблення, Н

$$Q = \frac{R \cdot (G_6 + P \cdot i)}{L_Q + L_F \cdot f} \quad (2.20)$$

де G_6 - вага верхньої частини дробарки, Н; P – попередня сила затягування однієї замикаючої пружини, Н; f - коефіцієнт тертя матеріалу о метал; R - відстань від точки А до осі дробарки, м; L_Q - плечо зусилля дроблення відносно точки А повороту верхньої частини, м; L_F - плечо сили тертя, м; i - число пружин.

Найбільший підйом верхньої частини дробарки матиме місце при попаданні металевго предмета у кінці зони паралельності, м

$$h = 2l_k \cdot \sin(\gamma) \cdot \cos(\alpha) \cdot \frac{l_2}{l_1} \quad (2.21)$$

де l_k - відстань від центру сфери О до початку паралельної зони.

Величина моменту, протидіюча підняттю верхньої частини дробарки при додатковому стискуванні пружин, Нм

$$M = \frac{3}{4} \cdot i \cdot c \cdot h \cdot R + i \cdot R \cdot P + G_6 \cdot R \quad (2.22)$$

де c - жорсткість пружини.

Сила, діюча на конус, що дробить, Н

$$Q_{\max} = \frac{M}{L_Q + L_F \cdot f} \quad (2.23)$$

2.3. Патентний аналіз

Виходячи з розробленої математичної моделі, покращення процесу дроблення та збільшення продуктивності в основному залежить від параметрів профілю футерування, проведемо патентний аналіз з метою визначення шляхів покращення процесу дроблення у дробарках типу КМД.

Метою винаходу [1] є підвищення ефективності дроблення шляхом збільшення контактної поверхні матеріалу та дробарки в зоні калібрування.

Вказана мета досягається тим, що в конусній дробарці дрібного дроблення, що містить камеру дроблення, утворену робочими поверхнями нерухомого конуса і рухомого конуса, що має в зоні калібрування 50 дробить простору кільцевий виступ з наскрізними пазами, спрямованими вздовж утворюють поверхні конуса і готового продукту, рухомий конус забезпечений бандажом, що охоплює кільцевий виступ, що утворює з пазами закриті канали.

При цьому канали можуть бути виконані за одне ціле з кільцевим виступом.

Конусна дробарка включає робочу камеру 1, утворену конічними поверхнями зовнішнього конуса 2 і внутрішнього рухомого конуса 3. Дрібний простір камери функціонально розділено на зони: приймальну 4, дроблення 5 і калібрування 6. Кільцевий виступ 7 виконаний на поверхні всередину конуса 3. Кільцевий виступ 7 має закриті канали 8, що розширюються, спрямовані вздовж утворюють поверхні конуса. Канали можуть бути утворені шляхом сполучення з кільцевим виступом бандажу 9 виступом. Дробарка має також приймальний отвір 10 і розвантажувальну щілину 11.

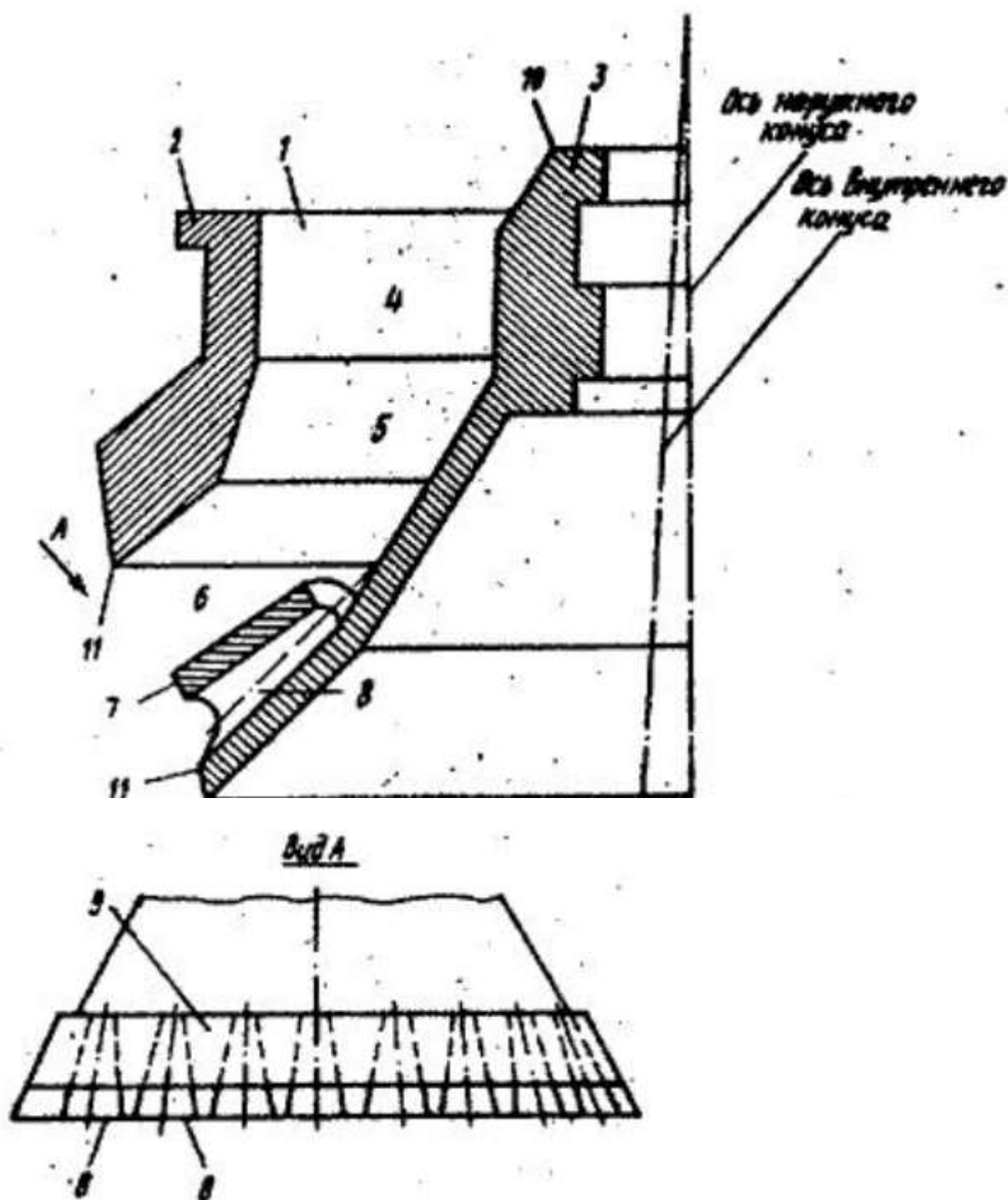
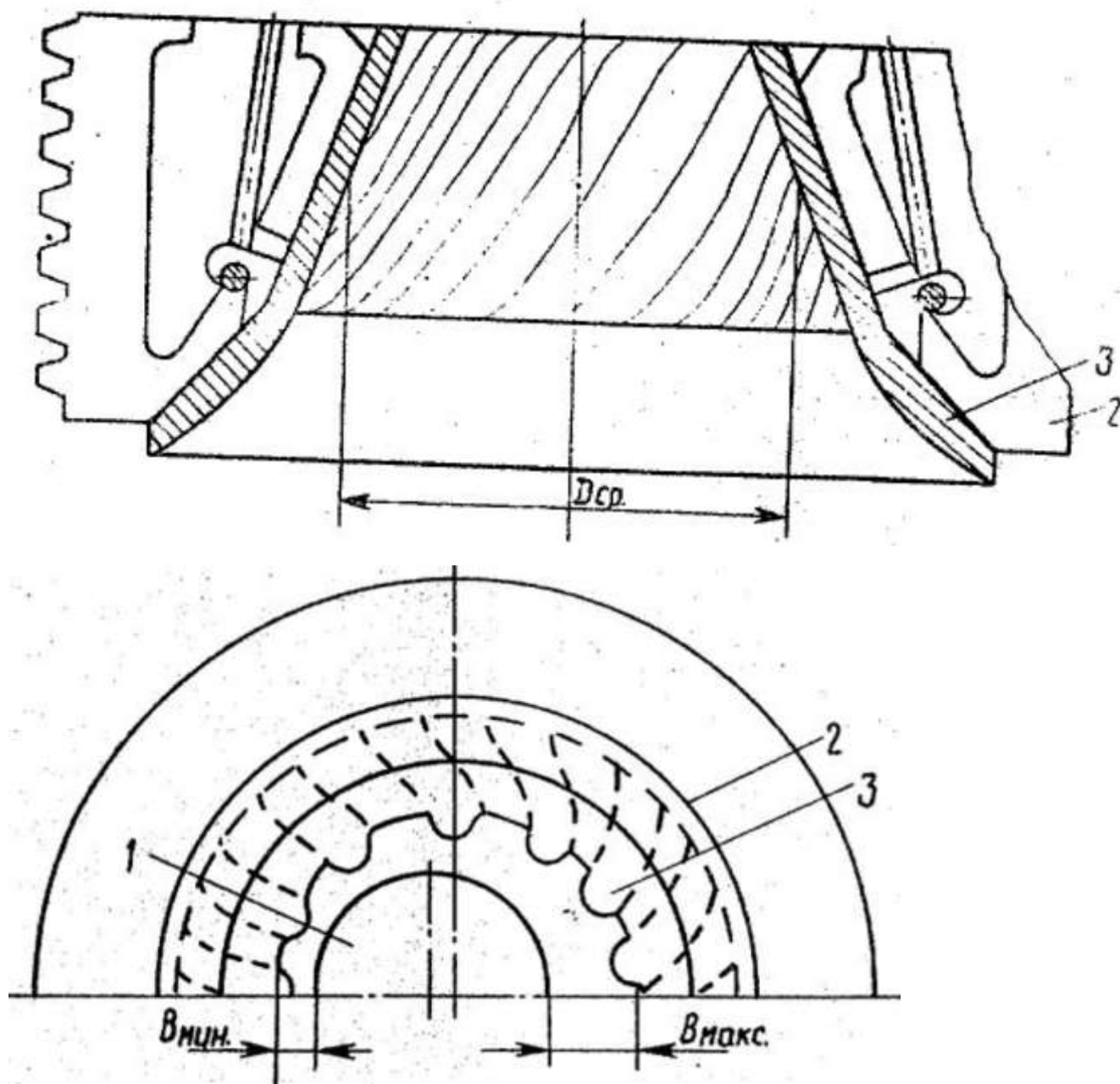


Рис 3.7 – До патенту [1]

При роботі дробарки вихідний матеріал завантажується через приймальний отвір 10 в камеру 1, де затримується кільцевим виступом 7. При зближенні конусів 2 і 3 матеріал ущільнюється і дробиться. Дроблений матеріал, проходячи через зону калібрування 6, розвантажується через розвантажувальну щілину 11 і закриті канали 8, що розширюються, виконані наприклад, всередині кільцевого виступу 7, як показано

Поверхня зони калібрування, що дорівнює площі пазів, у відомій дробарці практично виключена з процесу дроблення. Винахід дозволяє зберегти високу ефективність розвантаження і підвищити ступінь дроблення матеріалу, так як більша кількість матеріалу контактує з дробаркою.

Метою винаходу [2] є інтенсифікація процесу дроблення.



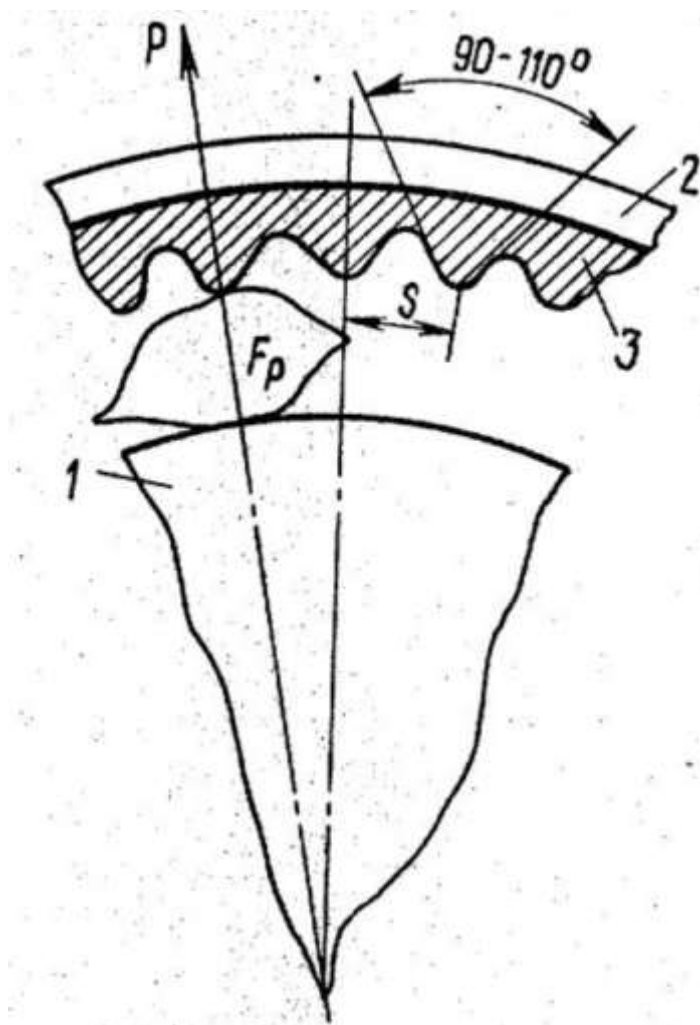


Рис 2.8 – До патенту [2]

Конусна дробарка включає рухомий конус 1, нерухомий конус 2 з ребристою футеровкою 3. причому внутрішня поверхня футерування виконана з ребрами трикутного перерізу з кутом при вершині $90-110^\circ$, розташованими гвинтоподібно по ходу руху матеріалу з кроком

$$S=(1-0.75)B, \quad (2.24)$$

де B - середня ширина приймальної пащі дробарки.

Ребра виконані трикутними до створення концентрації . напруги. Зниження кута при вершині нижче 90° буде причиною швидкого фарбування кромки і руйнування їх. Підвищення більше 110° призведе до їх швидкого притуплення в процесі експлуатації та зниження ефекту концентрації напруг. Утворючі ребер у вертикальній площині. виконана гвинтоподібною для того, щоб напрямок повороту

її збігався з напрямком гірацій рухомого конуса, що сприятиме швидкій евакуації матеріалу з верхньої зони дроблення.

Крок ребер прийнятий з умови рівномірного заповнення однорозмірними шматками робочої зони дробарки. Якщо число точок контакту шматок-ребро

$$z = \frac{\pi \cdot D_{cp}}{S}, \text{ то } S = \frac{\pi \cdot D}{Z} \quad (2.25)$$

де D_{cp} - середній діаметр футерування нс рухомого конуса в завантажувальній зоні; Z - число ребер на його поверхні; S - крок ребер, мм.

Для забезпечення умови, що кожному шматку відповідає, як мінімум одна точка прикладення зосередженого навантаження $S \approx \alpha_{cp}$, тому для умови виникнення більше, ніж однієї площини розколу доцільно $S = (1-0.75)d_{cp}$.

Середній розмір шматка в живленні може бути прийнятий рівним напівсумі середніх розмірів ширини приймальної пащі дробарки

$$d_{cp} = \frac{B_{max} + B_{min}}{2} = \beta \quad (2.26)$$

Звідси $S = (1-0.75)B$.

Завдяки такій конфігурації профілю робочої зони дроблення ймовірність виникнення розтягуючих напруг у шматках дробної породи максимальна 1 (ребра), а ймовірність підпресування і гальмування матеріалу (гладка поверхня рухомого конуса і гвинтоподібне управління ребер нерухомого конуса) мінімальна.

Дробарка працює наступним чином.

При зближенні рухомого конуса 1 нерухомим конусом 2 шматок відчуває зусилля P , що створює на невеликій площі контакту з кромкою ребра футерування 3 напруга розриву τ_p з утворенням можливої площі розколу F_p . Навіть якщо величина ходу конуса виявилася недостатньою для розриву (розколу) по площині F_p , то утворені тріщини будуть реалізовані в наступному циклі навантаження. Зниження величини $S < 0,75B$ буде призводити до зростання точок контакту місцевих приповерхневих руйнувань, зниження ймовірності розколу по F_p .

Збільшення $S > B$ може призвести до таких умов навантаження, що точок концентрації напруги не буде створено.

Застосування технічного рішення дозволить інтенсифікувати дроблення у верхній зоні, домогтися вирівнювання загального зусилля подрібнення по висоті нерухомого конуса, знизити на 10-15% питому витрату на дроблення. Скорочується зношування футерування нерухомого конуса, оскільки відновлення верхньої її частини досягається при ремонтах наваркою кромek.

Патент [14] відноситься до каменедробильного обладнання. Зокрема, даний винахід відноситься до конусної дробарки, що включає багатосекційне футерування чаші, яка розділена вздовж щонайменше двох вертикальних стиків.

Камнедробильні системи, подібні до тих, що називають конусними дробарками, зазвичай дроблять гірські породи, камінь або інші матеріали в робочому зазорі між нерухомим елементом і рухомим елементом. Наприклад, конусна камнедробілка складається з головки в зборі, що включає дробильну головку, яка обертається навколо вертикальної осі в нерухомій чаші, опосередковано з'єднаної з основним корпусом камнедробілки. Дробильну головку збирають навколо ексцентрика, який обертається навколо нерухомого валу, щоб передавати гіраційний рух дроблення, що дробить гірську породу, камінь або інший матеріал в робочому зазорі між дробильною головкою і чашею. Ексцентрик може приводитися в дію різними силовими приводами, такими як зв'язане з ним зубчасте колесо, що рухається шестернею і передавальним валом у зборі, і деякою кількістю джерел механічної енергії, таких як електричні двигуни або двигуни внутрішнього згоряння.

Зовнішня частина конусної дробильної головки покрита захисним або водостійким кожухом, який зчепляється з матеріалом, що піддається дробленню, таким як гірська порода, камінь, руда, мінерал або інші субстанції. Чаша, яка опосередковано механічно прикріплена до основного корпусу, виконана з футеруванням чаші. Футерування чаші та чаша нерухомі і знаходяться на деякій відстані від дробильної головки. Футерування чаші забезпечує протилежну поверхню щодо кожуха для дроблення матеріалу. Матеріал дробиться в робочому проміжку між кожухом та футеруванням чаші.

Гіраційний рух дробильної головки щодо нерухомої чаші дробить гірську породу, камінь чи інший матеріал усередині робочого зазору. У загальному випадку гірську породу, камінь або інший матеріал подають на завантажувальну плиту, яка направляє матеріал до робочого зазору, в якому подрібнюється матеріал по мірі просування по робочому зазору. Матеріал, що піддається дробленню, виходить з нижньої частини камери дроблення. Розмір робочого зазору визначає максимальний розмір матеріалу, що піддається подрібненню, який виходить з робочого зазору.

У міру збільшення розмірів конусних дробарок витрати на транспортування стають проблемою при транспортуванні як конусної дробарки, так і запасних частин із заводу-виробника до місця розробки гірської породи, що піддається дробленню. Зокрема витрати на транспортування сильно зростають завдяки додатковим витратам на відвантаження навалом, якщо деталі не поміщаються в корабельні контейнери стандартного розміру. Крім того, витрати на дорожнє транспортування зростають у зв'язку з отриманням необхідних дозволів, необхідних для транспортування негабаритних вантажів. Витрати на транспортування особливо істотні для компонентів, що піддаються зносу, що являють собою споживані вироби і замінюються по досягненні максимального зносу. Витрати на транспортування можуть зробити витрати, пов'язані з великими конусними дробарками, непомірно високими через поточні експлуатаційні витрати.

Даний винахід відноситься до багатосекційного футерування чаші для використання в устаткуванні для дроблення гірської породи, такому як конусна дробарка. Багатосекційне футерування чаші включає, щонайменше, пару секцій, з'єднаних по парі вертикальних стиків, і їх можна збирати і розбирати для транспортування.

Футерування чаші по справжньому винаходу включає першу секцію футеровки чаші і другу секцію футеровки чаші, які з'єднані між собою по парі вертикальних стиків. Перша і друга секції футерування чаші являють собою елементи у відповідь, кожен з яких включає внутрішню поверхню і зовнішню

поверхню. Внутрішня поверхня об'єднаних секцій футерування чаші утворює контактну поверхню, що використовується при операції дроблення.

Кожна з першої та другої секції футерування чаші включає перший вертикальний кінець і другий вертикальний кінець, розташовані на протилежних сторонах кожної з секцій футерування чаші. Коли перша та друга секції футерування чаші сполучаються у зібраному стані, перший кінець першої секції чаші взаємодіє з другим кінцем другої секції футерування чаші. Аналогічно цьому, другий кінець першої секції чашки футеровки взаємодіє з першим кінцем другої секції футерування чаші в зібраному стані.

Коли перша та друга секція футерування чаші знаходяться в зібраному стані, щонайменше пара верхніх кріпильних засобів розташовані таким чином, щоб утримувати першу і другу секції футерування чаші в зібраному стані. Крім пари верхніх кріпильних засобів, також можна використовувати пару нижніх кріпильних засобів для утримання першої та другої секцій футерування чаші в зібраному стані. В якості альтернативи можна використовувати інші типи пристроїв, такі як затискачі, щоб утримувати секції футерування чаші в зібраному стані. Як тільки об'єднане футерування чаші встановлюють конусну дробарку, кріпильні елементи або затискачі можна видалити, і футерування чаші утримується в зібраному стані іншими елементами, такими як чаша і клин.

В іншому варіанті здійснення винаходу, кожен з першого та другого кінців містить ділянку шліцевого елемента. Шлицевий елемент дозволяє першій та другій секції взаємодіяти один з одним, щоб обмежити відносне переміщення між першою та другою секціями у зібраному стані. В одному з варіантів здійснення винаходу перший кінець кожної з секцій футерування чаші містить перше безліч шлицевих пазів, у той час як другий кінець включає безліч виступаючих осьових шлиців. Коли першу та другу секції футерування чаші поєднують у зібраному стані, безліч осьових шлиців на другому кінці сполучається і взаємодіє з шлицевими пазами, виконаними на першому кінці, щоб обмежити осьове переміщення першої та другої секцій футерування чаші в зібраному стані.

На додаток до осьових шліць кожна з першої та другої секцій футеровки чаші містять шліцевий паз, виконаний у першому кріпильному виступі, і радіальний шліць, виконаний на другому кріпильному виступі. Коли першу та другу секції футерування чаші поєднують у зібраному стані, шліцевий паз приймає радіальний шліць, що сприяє обмеженню радіального переміщення між секціями футерування чаші у зібраному стані.

Коли першу і другу секції футерування чаші поєднують у зібраному стані, перший кінець містить ділянку, яка злегка поглиблена щодо другого кінця, утворюючи внутрішній зносостійкий рельєфний ділянку. Внутрішня рельєфна ділянка дозволяє компенсувати марганцевий нарост під час використання футерування чаші. Крім того, внутрішній рельєф дозволяє відстежувати знос футерування чаші.

Футерування чаші за цим винаходом можна використовувати разом з конусною дробаркою або іншим типом обладнання, що використовується для дроблення гірської породи. Під час первинного виготовлення секції футерування чаші розташовують поблизу один одного в зібраному стані, і нижню конічну поверхню чашки футерування механічно обробляють до отримання бажаних допусків. Як тільки нижня конічна поверхня футерування чаші та будь-яка інша необхідна поверхня механічно оброблені, футерування чаші поділяють на дві секції футерування чаші для транспортування.

Після транспортування на місце розробки гірської породи, що піддається дробленню, першу і другу секції футеровки повторно збирають і встановлюють на дробильне обладнання. Таким чином, футерування чаші може бути розібрано на безліч частин для транспортування, а потім повторно зібрано перед встановленням конусну дробарку.

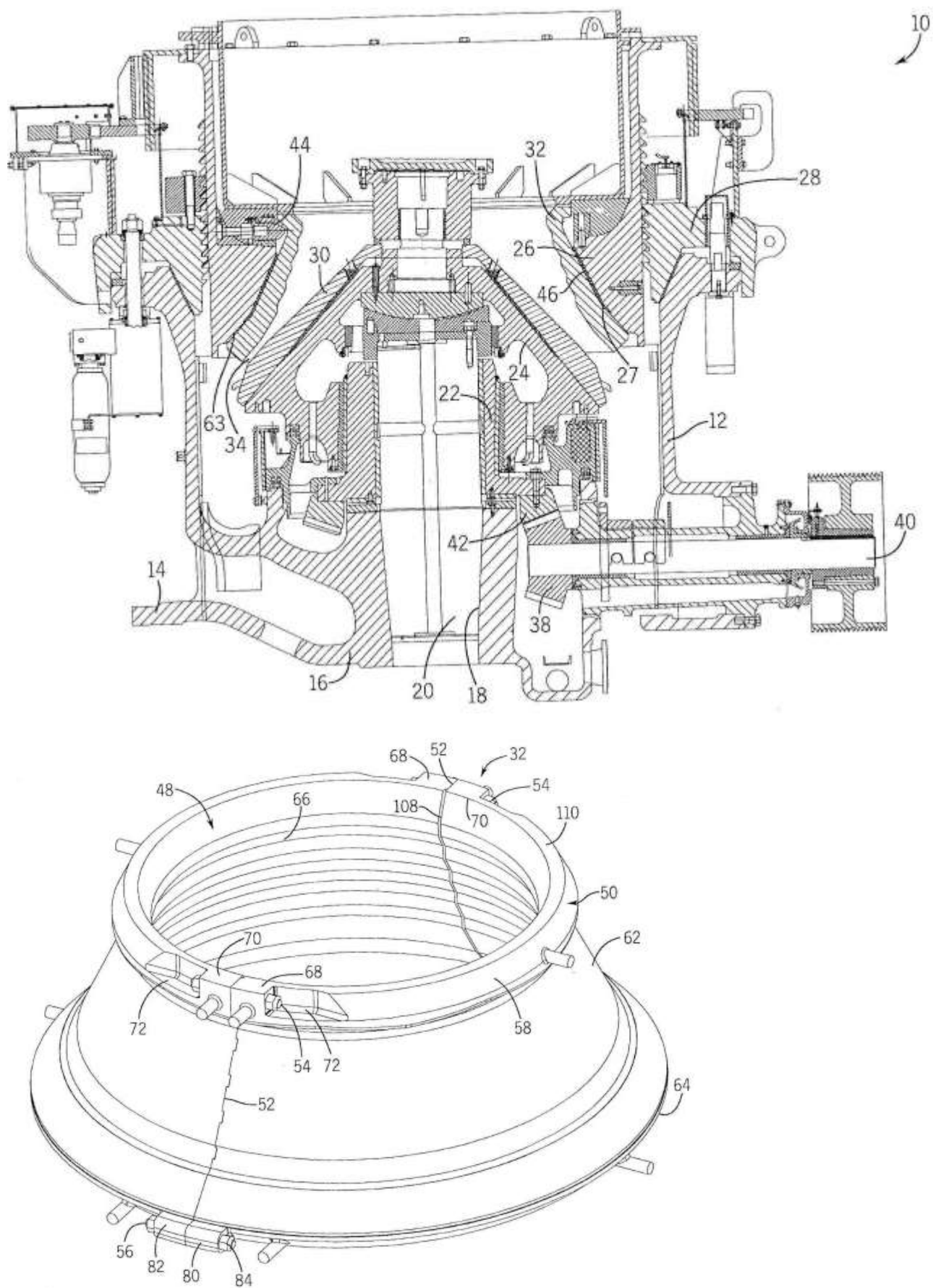


Рис 2.9 – До патенту [14]

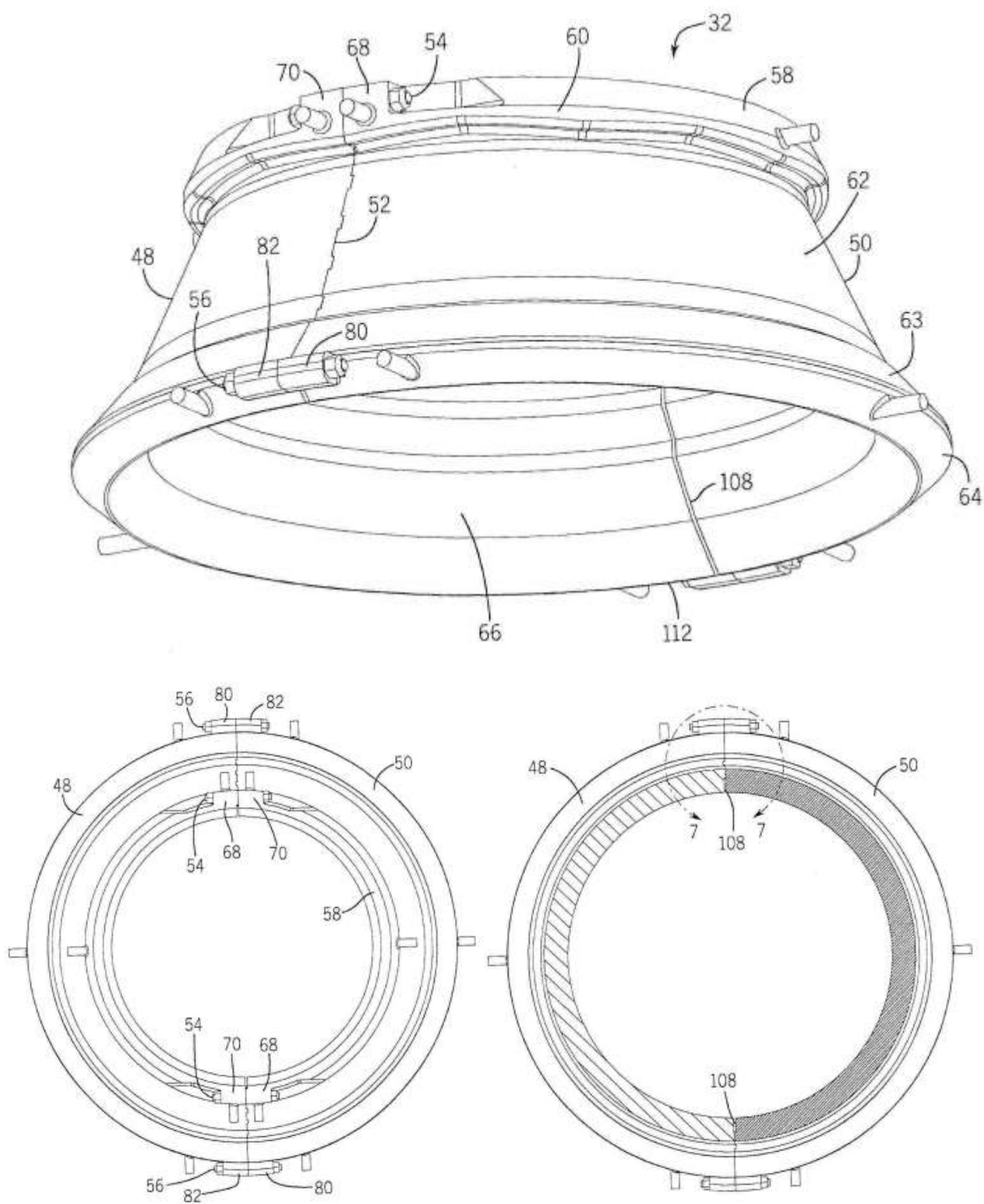


Рис 2.10 – До патенту [14]

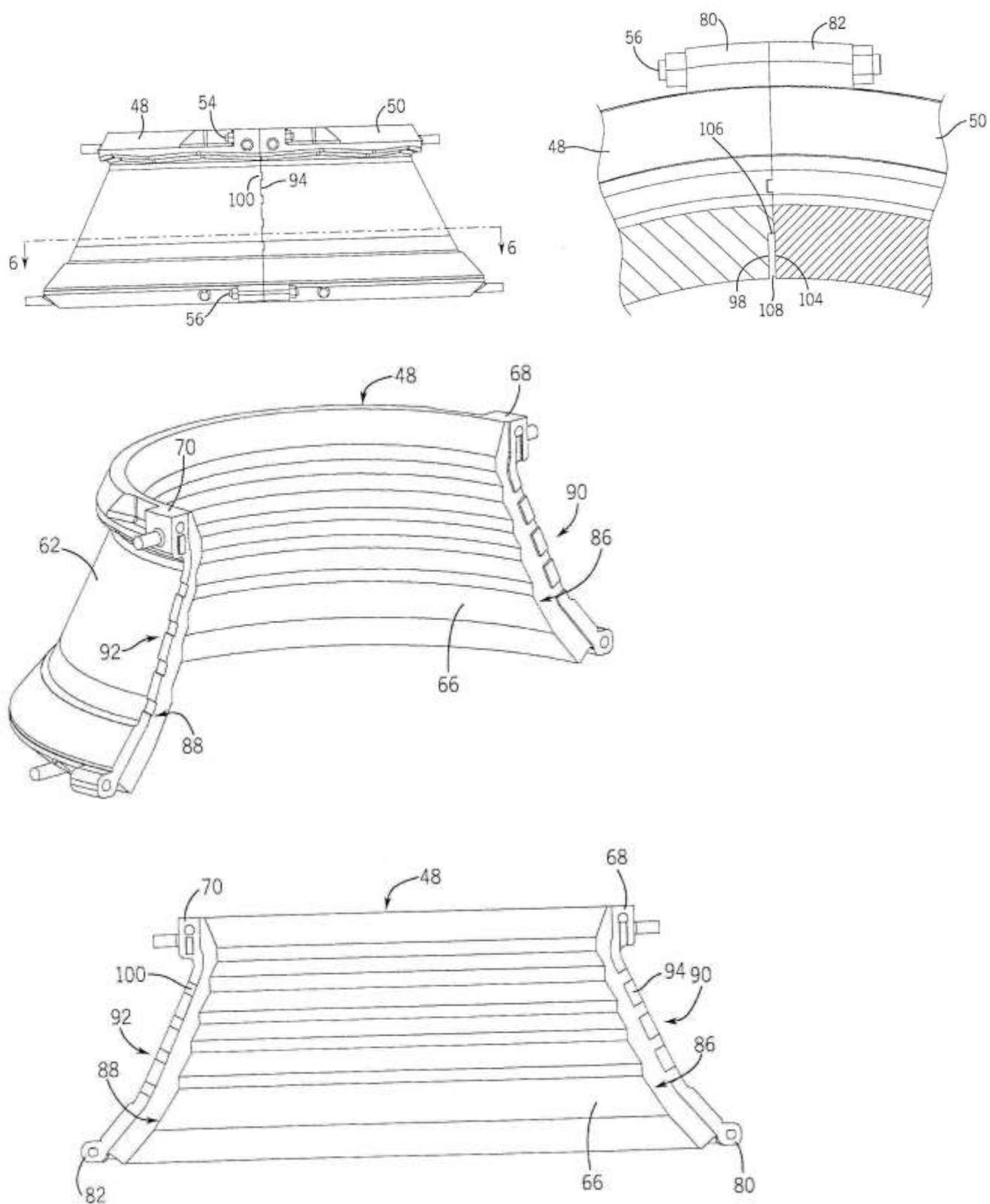


Рис 2.11 – До патенту [14]

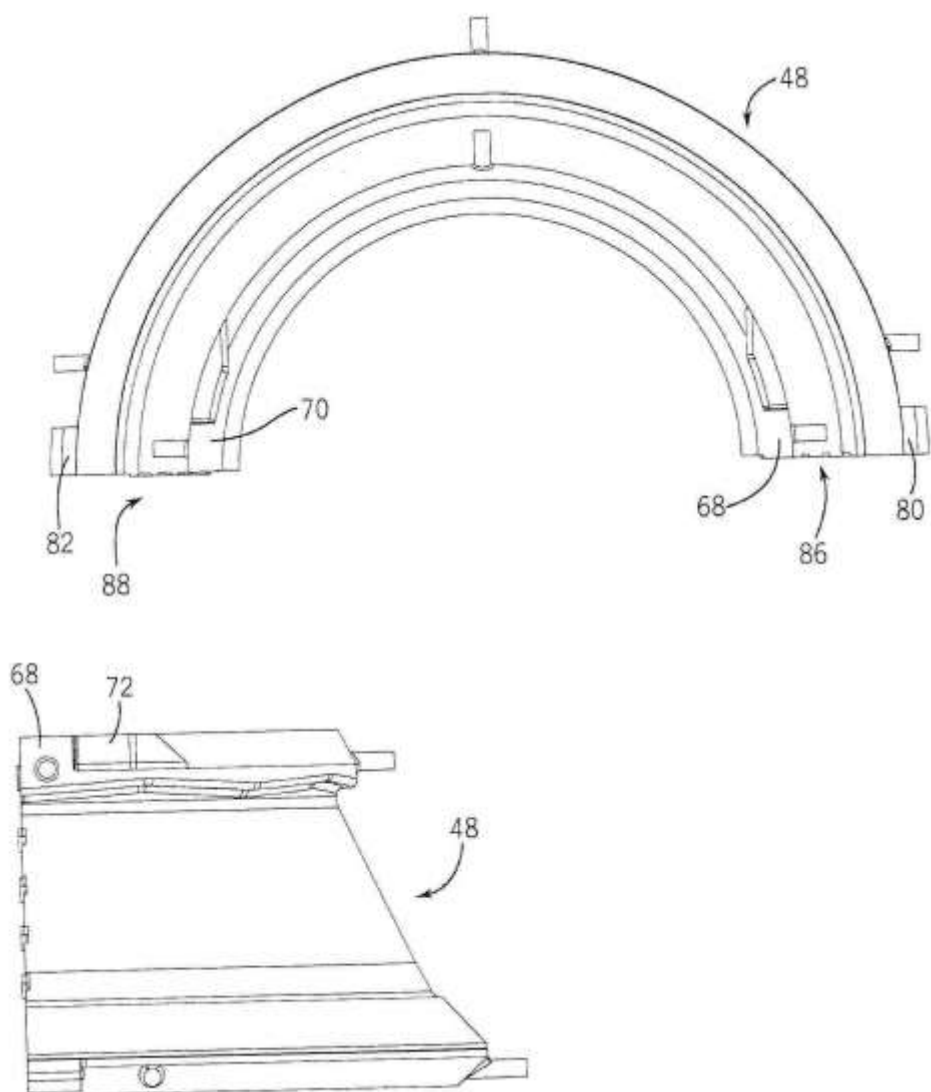


Рис 2.12 – До патенту [14]

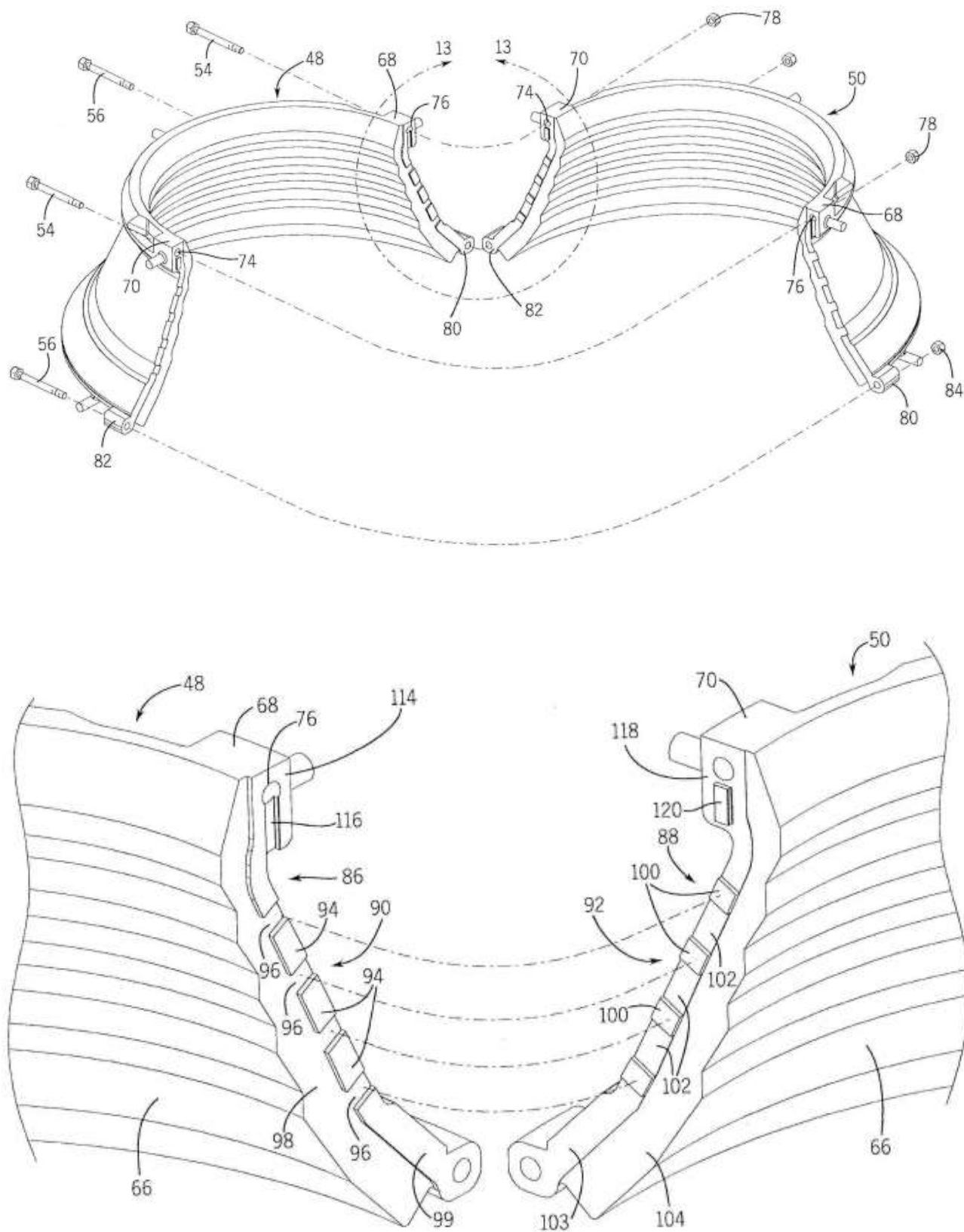


Рис 2.13 – До патенту [14]

Рис 2.9 - ілюструє вигляд у розрізі конусної дробарки 10, яка використовується для дроблення матеріалу, такого як гірські породи, камінь, руда, мінерали та інші матеріали. Конусна дробарка 10 включає основний корпус 12 з основою 14. Конусна дробарка 10 може бути камнедробилкой будь-якого розміру або включати в себе будь-який тип дробильної головки. Основа 14 спирається на фундамент типу платформи, який може включати бетонну опору (не показана на кресленні), блок фундаменту, платформу або інший опорний елемент. Центральна втулка 16 основного корпусу 12 включає в себе розширюється по напрямку вгору вертикальний отвір, або конічний отвір, 18. Отвір 18 призначений для розміщення головного валу 20. Головний вал 20 утримується нерухомо в отворі 18 відносно центральної маточини 16.

Основний вал 20 спирається на ексцентрик 22, який оточує основний вал 20 і зчеплений з головкою 24 зборі. Ексцентрик 22 обертається навколо нерухомого головного валу 20, змушуючи тим самим головку 24 у зборі здійснювати гіраційний рух всередині конусної дробарки 10. Гіраційний рух головки 24 у зборі всередині чаші 26, яка опосередковано прикріплена до регульовального кільця 28, гірські породи, камінь, руду, мінерали або інші матеріали між кожухом 30 і футеровкою 32, конструкція яких відповідає справжньому винаходу. Обертальний рух головки 24 у зборі ламає породу в робочому зазорі 34, і сила тяжкості змушує додатковий матеріал переміщатися до робочого зазору 34. Футеровка чаші 32 утримується відносно чаші 26 клином 44, а кожух 30 прикріплений до головки. Головка 24 у зборі притискає кожух 30 до футеровки 32 чаші, створюючи всередині робочого зазору 34 силу, породу, що дробить.

Як видно на рис. 2.9, коли конусна дробарка 10 працює, провідний вал 40 обертає ексцентрик 22 за допомогою взаємодії між шестернею 38 і зубчастим колесом 42. Так як зовнішній діаметр ексцентрика 22 зміщений щодо внутрішнього діаметра, обертання ексцентрика 22 створює гіраційне переміщення головки в зборі. переміщення головки 24 у зборі змінює розмір робочого зазору 34, що дозволяє матеріалу, що підлягає подрібненню, потрапляти в робочий зазор. Подальше обертання ексцентрика 22 створює дробить зусилля всередині робочого

зазору 34 для зменшення розміру частинок, які дробить конусна дробарка 10. Конусна дробарка 10 може являти собою одну з різних типів конусних дробарок, що поставляються різними виробниками, такими як Metso Minerals. Як приклад, конусна дробарка 10 може бути каменедробілкою із серії MP®, такий як MP®1000, що постачається компанією Metso Minerals. Однак при роботі в рамках обсягу цього винаходу можна використовувати різні типи каменедробілок.

Як показано на рис 2.10, опора для футерування 32 чаші щодо чаші 26 забезпечена за допомогою клина 44. Клин 44 розташований між чашею 26 і футеруванням чаші 32, щоб утримувати футерування чаші в представленому положенні. Підкладка 46 розташована між ділянкою зовнішньої поверхні футерування 32 чаші та контактної поверхні чаші 26.

Під час роботи конусної дробарки 10 матеріал дробиться за допомогою обертального переміщення головки 24 у зборі в робочому зазорі 34, утвореному між зовнішньою поверхнею кожуха 30 і футеруванням 32 чаші. І футеровка 32 чаші, і кожух 30 являють собою обладнання, що замінюється, таке, що в міру зносу конусну дробарку можна ремонтувати.

На рис 2.9 і 2.10 проілюстрований вертикально роз'ємне футерування 32 чаші у відповідності з цим винаходом. Футерування 32 чаші включає в себе першу секцію футерування 48 і другу секцію 50 футерування чаші, які з'єднані, утворюючи футерування 32 чаші повністю. У представлених варіантах здійснення першу і другу секції 48, 50 футерування чаші являють собою ідентичні компоненти, які сполучаються, утворюючи футерування 32 чаші. Однак розглядається також варіант, в якому перша і друга секції 48, 50 чашки футеровки можуть бути не ідентичними компонентами, які сполучаються, утворюючи футеровку 32 чаші повністю.

Коли перша та друга секції 48, 50 футерування чаші з'єднані, пара вертикальних стиків 52 виконані між першою та другою секціями футерування чаші. Перша і друга секції 48, 50 футерування можуть бути приєднані одна до іншої за допомогою пари верхніх з'єднувачів 54 і пари нижніх з'єднувачів 56. Хоча в проілюстрованому варіанті здійснення показані верхній і нижній з'єднувачі 54, 56,

слід розуміти, що при роботі в рамках обсягу цього винаходу можна використовувати інші типи з'єднувачів, такі як затискачі. Використання затискачів або з'єднувачів дозволяє утримувати дві секції 48, 50 чашки футеровки в зібраному стані і механічно обробляти всю футеровку 32 чаші перед відвантаженням і наступною установкою. До коли перша і друга секції 48,50 футеровки з'єднані в зібраному стані, показано на рис. 3.4 і 3.5, футерування 32 чаші функціонує як єдина конструкція, навіть якщо футерування 32 чаші виконана з двох окремих секцій, що з'єднуються. Шляхом поділу футерування 32 чаші на безліч секцій кожен з секцій 48, 50 можна вантажити у стандартний вантажний контейнер, який зменшує витрати на транспортування футерування 32 чаші.

Футеровка 32 чаші включає верхній фланець 58, який взаємодіє з клином 44, показаним на рис. 3.3, щоб утримувати футерування 32 чаші в потрібному положенні щодо стаціонарної чаші 26. Верхній фланець 58 включає похилий гвинтовий елемент 60, який взаємодіє з клином 44, щоб утримувати футерування чаші на місці відносно нерухомої чаші.

Футерування 32 чаші утворює зовнішню поверхню 62, яка продовжується між верхнім фланцем 58 і нижнім обідком 64. Ділянка зовнішньої поверхні 62 приймає підкладку 46, коли встановлений в нерухомій чаші 26, як показано на рис. 3.3. Зовнішня поверхня 62 додатково включає контактний конус 63, який піддається прецизійній механічній обробці на обох секціях 48, 50 футеровки чаші. Контактний конус 63 взаємодіє з інструментальним конусом 27, виконаним як частина чаші 26, як показано на фіг. 1. Як показано на фіг. 1, підкладка 46 триває тільки вздовж ділянки зовнішньої поверхні футеровки 32 і припиняється до початку ділянки контакту між контактним конусом 63 і інструментальним конусом 27. Контактний конус 63, виконаний на футеровці 32 чаші, таким чином, взаємодіє з конусом 27 чаші на металевому контакті.

Якщо футерування 32 чаші встановлена, як показано на рис. 3.3, клини 44 утримують футерування 32 чаші на місці, підтягуючи футерування 32 чаші вгору, за допомогою металевого контакту з конусом 27, виконаним на чаші 26.

Під час роботи конусної дробарки дроблячі зусилля, що діють на футеровку 32 чаші, прикладають обертальне зусилля до футеровки 32 чаші відносно нерухомої чаші 26. піднімаються похилим гвинтовим елементам 60, показаним на рис. 3.5 Взаємодія між похилими гвинтовими елементами 60 і клинами 44 піддає секції 48, 50 футерування осьового розтягування. Похилі гвинтові елементи 60 штовхають футеровку 32 чаші вгору, що підвищує контактне зусилля між контактним конусом 63, виконаним на футеровці 32 чаші, і конусом 27, виконаним на чаші 26. Форма контактного конуса 63 і конуса 27 внаслідок чого дві секції 48, 50 футерування чаші наводяться в контакт один з одним з периферійним стисненням, додатково змушуючи дві половини діяти як одну.

Футерування 32 чаші включає в себе внутрішню поверхню 66, яка контактує з матеріалом, що піддається подрібненню, і, таким чином, піддається зносу під час тривалого використання конусної дробарки. Так як зовнішня поверхня 62 і внутрішня поверхня 66 утворена парою секцій у відповідь 48, 50, як проілюстровано на кресленнях.

Кожна з секцій футерування чаші включає перший верхній кріпильний виступ 68 і другий верхній кріпильний виступ 70, які виконані на протилежних сторонах секції футерування чаші. Так як перша і друга секції 48, 50 чаші являють собою ідентичні компоненти у представленому варіанті здійснення, перший верхній кріпильний виступ 68 першої секції футерування чаші 48 сполучається з другим верхнім кріпильним виступом 70' другої секції 50 футерівки чаші виступ 70 сполучається з першим верхнім кріпильним виступом 68 з протилежного боку секцій у відповідь футеровки чаші. Кожен з першого та другого верхніх кріпильних виступів 68, 70 розташовані суміжно поглибленому ділянці 72, виконаному у верхньому фланці 58. Поглиблені ділянки 72 забезпечують доступ до верхніх з'єднувачів 54.

Зокрема, кожен з верхніх з'єднувачів 54 триває через оглядовий отвір 74 у другому верхньому кріпильному виступі 70 і у відповідному оглядовому отворі 76 у першому верхньому кріпильному виступі 68. На протилежному кінці з'єднувача 54 розміщується гайка 78 для надійного на рис. 3.5.

На додаток до обговорюваних верхніх виступів кожна з першої та другої секцій 48, 50 футеровки чаші містить перший нижній кріпильний виступ 80 і другий нижній кріпильний виступ 82. Перший і другий нижні кріпильні виступи 80, 82 приймають один з нижніх з'єднувачів 5. вставляють у вирівняні перший і другий кріпильні виступи першої та другої секцій 48, 50 футерування чаші, на нижньому з'єднувачі 56 встановлюють гайку 84 для додаткового скріплення першої та другої секцій 48, 50 футерування чаші в єдину конструкцію, показану на рис. 3.4.

Хоча на кресленнях показані верхній і нижній з'єднувачі, мається на увазі, що після установки 32 футеровки чаші з'єднувачі можуть бути видалені. Як описано вище, клин 44 діє спрямованим вгору зусиллям на футеровку 32 чаші, змушуючи при цьому контактний конус 63 зачіплятися з інструментальним конусом 27. Зусилля, створюване таким контактом, стискає футерування 32 чаші, усуваючи тим самим необхідність кріпильних елементів. Однак елементи кріплення, або який-небудь інший тип з'єднувача, потрібні для утримування футеровки 32 чаші в зібраному стані під час обробки і перед встановленням.

Як зазначено вище в проілюстрованому варіанті здійснення, друга секція 50 футерування чаші (не показана) ідентична першій секції 48 футерування чаші, і, таким чином, деталі другої секції 50 футерування чаші відповідають описаним нижче. У варіанті здійснення, показаному на рис. 3.11, перша секція 48 футерування чаші утворює половину комбінованої футерування чаші. Однак слід розуміти, що в проілюстрованому варіанті здійснення кожна з секцій футерування чаші має той самий зовнішній вигляд, і вони поєднуються, утворюючи футерування чаші повністю.

Секція 48 футерування чаші утворює перший кінець 86 і другий кінець 88, кожен з яких утворює перехід між внутрішньою поверхнею 66 і зовнішньою поверхнею 62. Перший і другий кінці 86, 88 взаємодіють з відповідними кінцями на другій секції 50 футерування чаші, коли зібраному стані, як показано на рис. 3.5. Так як перша і друга секції 48, 50 чашки футеровки ідентичні, перший і другий кінці 86, 88 призначені для взаємодії один з одним. Перший кінець 86 включає

перший ділянку 90 шліцевого елемента, в той час як другий кінець 88 включає в себе другий ділянку 92 того ж шліцевого елемента.

Перша ділянка 90 шліцевого елемента включає безліч виступів 94, які розділені між собою шліцевими пазами 96. Ширина виступів 94 менше, ніж загальна ширина першого кінці 86 - таким чином, що по суті плоска поглиблена поверхня 98 виконана між безліччю виступів 94 і внутрішньою поверхнею 66. Поверхня 98 по суті виконана врівень з шліцевими пазами 96 - таким чином, що кожен з виступів 94 виступає відносно поверхні 98.

Перший кінець 86 включає нижню контактну поверхню 99, тобто знаходиться в тій же площині, що і найзовнішня поверхня множини виступів 94, а також контактна поверхня 114 першого верхнього кріпильного виступу 68. Загальна площа, яка триває через нижню контактну поверхню 99, нижню контактну поверхню 114 та поверхні множини виступів 94, утворює поверхню взаємодії для першого кінця 86.

Другий кінець 88 включає другий ділянку 92 осьового шліцевого елемента. Друга ділянка осьового шліцевого елемента включає в себе безліч осьових шліців 100, які рознесені на відстань один від одного відкритими. коли першу і другу секцію 48, 50 сполучають, як показано на фіг. 5, взаємодія між осьовими шліцями 100 та шліцевими пазами 96 обмежує осьове переміщення першої та другої секцій 48, 50 футерування чаші.

Другий кінець 88 включає в себе нижню контактну поверхню 103, яка знаходиться в тій самій загальній площині, що і відкриті пази 102 і верхня контактна поверхня 118. Коли перша і друга секції 48, футеровки 50 чаші сполучені, нижня контактна поверхня 99 першого кінця 86 контактує і взаємодіє з нижньою контактною поверхнею 103 на другому кінці 88. Аналогічним чином, верхня контактна поверхня 114 на першому кінці 86 знаходиться у фізичному контакті з верхньою контактною поверхнею 118 на другому кінці 88. У той же час поверхні множини виступів 94 контактують з внутрішніми поверхнями відкритих пазів 102. У представленому варіанті здійснення кожен з осьових шліців 100 виступає щодо відкритих пазів 102 на висоту, яка менша, ніж глибина шліцевих

пазів 96, виконаних на першому кінці 86. Таким чином, кожен з осьових шліців 100 не стосується поверхні 98 усередині шліцевого паза 96.

Поглиблена поверхня 104 виконана на другому кінці 88. Поверхня 104 злегка поглиблена щодо площини, яка утворює нижню контактну поверхню 103 і кожен з відкритих пазів 102. Таким чином, коли пару секцій футерування чаші поєднують у зібраному стані, зазор, створюваний між 104 та поверхнею 98.

Внутрішній рельєф 108, який виконаний між поглибленою поверхнею 104, виконаною на другому кінці, і поверхнею 98, виконаною на першому кінці протилежної секції футерування чаші. Внутрішній рельєф 108 триває від верхнього кінця 110 до нижнього кінця 112 футерування чаші, як найкраще проілюстровано на рис. 3.5 і 3.6. Внутрішній рельєф 108 виконаний вздовж внутрішньої поверхні 66 обох вертикальних стиків 52, виконаних між першою і другою секцією у відповідь 48, 50 футеровки чаші.

Перша та друга секції 48, 50 контактують один з одним менше ніж по зовнішній половині товщини футерування чаші. Дана ознака обмежує контакт задньої частини футерування чаші, що не зношується, і створює внутрішній рельєф 108, який діє як рельєф, що протидіє утворенню марганцевого наросту на поверхні. Внутрішній рельєф 108 дозволяє відстежувати утворення марганцевого наросту в місці взаємодії між першою та другою секціями 48, 50 футерування чаші.

Перший верхній кріпильний виступ 68 включає верхню контактну поверхню 114. Контактна поверхня 114 знаходиться в тій же площині, що і зовнішня поверхня, утворена кожним з виступів 94. Перший верхній кріпильний виступ 68 включає в себе поглиблений шліцевий паз 116, продовжує отвором 76. Шліцевий паз 116 поглиблений щодо контактної поверхні 114, як ясно проілюстровано на кресленнях.

Протилежна сторона кожної з секцій футерування чаші включає другий верхній кріпильний виступ 70, який також утворює верхню контактну поверхню 118. Верхня контактна поверхня 118 знаходиться в тій же площині, що і поверхня, яка утворює відкриті пази 102, як проілюстровано на кресленнях. Другий верхній кріпильний виступ 70 включає радіальний шліц 120, який, виступає щодо

контактної поверхні 118. Радіальний шліц 120 має розмір, що дозволяє встановити його всередині шліцевого паза 116, коли перший і другий кінці 86, 88 примикають один до одного. При з'єднанні контактна поверхня 118 взаємодіє з контактною поверхнею 114, і радіальний шліц 120 розміщується всередині шліцевого паза 116. Взаємодія між радіальним шліцом 120 і шліцевим пазом 116 у кожному з двох вертикальних стиків допомагає обмежити радіальне переміщення між мішками. Як показано на фіг. 1, верхній кінець футеровки 32 чаші триває над чашею 26 і, таким чином, не спирається на чашу 26. Взаємодія між радіальним шліцом 120 і шліцевим пазом 116 сприяє обмеженню величини радіального переміщення між секціями футеровки² даному верхньому положенні.

Коли перша та друга секції футерування чаші зібрані, як показано на рис. 3.5 взаємодія між осьовим шліцом 120 і шліцевим пазом 116 перешкоджає радіальному переміщенню між двома секціями 48, 50 футерування чаші. У той же час взаємодія між осьовими шліцами 100 та шліцевими пазами 96 обмежує відносно осьове переміщення внутрішніх секцій. Два типи шліцевих систем обмежують зусилля зсуву, що діють на пару верхніх з'єднувачів 54 і пару нижніх з'єднувачів 56.

Під час первинного виготовлення футерування 32 чаші по справжньому винаходу кожна з секцій 48, 50 футерування чаші відливають окремо. Як описано раніше, перша та друга секції 48, 50 можуть мати ідентичний зовнішній вигляд і, таким чином, можуть бути виготовлені за допомогою однакових ливарних форм. В якості альтернативи дві секції 48, 50 футерування чаші можуть бути виготовлені як окремі компоненти, які включають відповідні елементи, які дозволяють з'єднувати дві секції 48, 50 футерування чаші одну з іншою, утворюючи футерування чаші повністю. Використання пари ідентичних секцій футерування чаші зменшує кількість різних елементів, необхідних для виготовлення футерування чаші. Однак різні секції футерування чаші можна розглянути як лежачі в межах обсягу цього винаходу.

Як тільки перша і друга секції футерування чаші відлиті, компоненти розміщують таким чином, що вони примикають один до одного, і з'єднують їх за допомогою пари верхніх з'єднувачів 54 і нижніх з'єднувачів 56. Після того, як

футерування чаші зібрано, всю чашу можна обробити до потрібних допусків за межами місця, де знаходиться конусна дробарка. Зокрема, коли секції футерування чаші з'єднують, контактний конус 63 піддають механічній обробці навколо всієї футерування чаші. Як тільки процес механічної обробки завершено, дві секції 48, 50 чашки футеровки розбирають для відвантаження. Так як футерування чаші 32 може мати великий зовнішній діаметр, наприклад, до 3,96 м (13 футів), відвантаження зібраної футеровки чаші або футеровки чаші, виконаної за одне ціле, є дорогою, і складною. Відділення футерування чаші від двох окремих секцій 48, 50 футерування чаші дозволяє зменшити витрати на транспортування. та збільшити кількість ливарних заводів, на яких можна відливати секції футерування чаші.

Як тільки пара секцій футерування чаші прибуває на місце, де знаходиться конусна дробарка, секції футерування чаші повторно збирають і встановлюють конусну дробарку.

У цьому письмовому описі використовуються приклади для розкриття винаходу, включаючи найкращий спосіб його здійснення, а також для того, щоб дати можливість будь-якому фахівцю в даній галузі техніки виготовляти або використовувати винахід. Патентований обсяг винаходу визначений формулою винаходу і може включати інші приклади, які очевидні фахівцям в даній галузі техніки. Мається на увазі, що дані інші приклади знаходяться в рамках обсягу винаходу, якщо вони мають конструктивні елементи, які не відрізняються від буквально викладеного у формулі винаходу, або вони включають еквівалентні конструктивні елементи з незначними відмінностями від буквально викладеного у формулі винаходу.

Найкращий на нашу думку варіантом удосконалення є наступний патент.

Мета удосконалення досягається тим, що утворююча поверхні рухомого конусу виконується у вигляді опуклої плавної кривої зі змінним радіусом кривизни (рис 2.13).

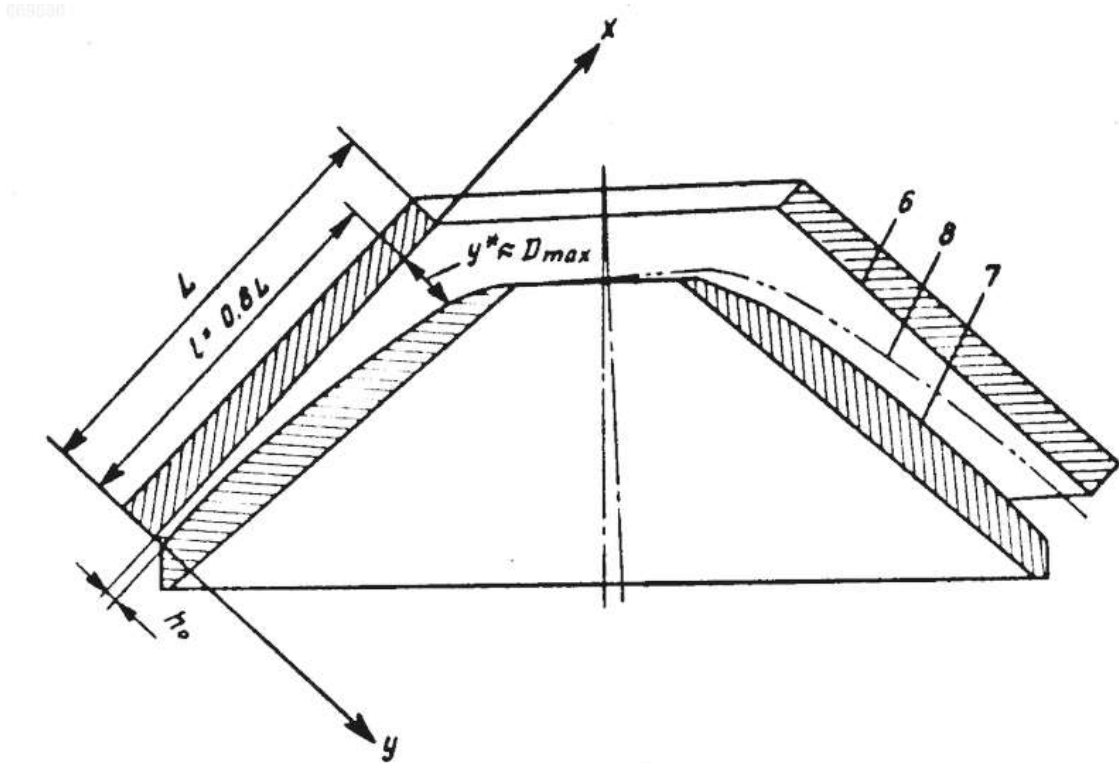


Рис 2.13. Профілі футерування конусів: 6 – прямолінійна утворююча нерухомого конуса; 7 – криволінійна утворююча конуса рухомого.

У пропонованій конструкції кут захоплення буде змінним. Утворююча поверхні рухомого конуса виконується у вигляді опуклої плавної кривої зі змінним радіусом кривизни (рис 3.1)

$$\frac{f\left(\frac{Y}{YX}\right) - f^X\left(\frac{h_0}{XY}\right)}{1 - f^X\left(\frac{h_0}{XY}\right)} = \frac{\int_0^X \left(r_{0Y} - Y\tau \cdot \cos \alpha_0 - \frac{1}{2}Y^2 \cdot \sin \alpha_0\right) d\tau}{\int_0^X \left(r_{0Y} - XY \cdot \cos \alpha_0 - \frac{1}{2}Y^2 \cdot \sin \alpha_0\right) dX} \pm 10\% \quad (2.27)$$

де X і Y - координати точок твірної робочої поверхні конуса, що дробить, в системі координат $ХОУ$ (див. рис 3.6.) у якій початок 0 співпадає з нижнім краєм твірної робочої поверхні подрібнювальної чаші, вісь $ОХ$ спрямована по твірній вгору, вісь $ОУ$ перпендикулярна їй і спрямована у бік осі дробарки, причому значення X змінюється в межах $0 \cong X \cong 1$, а Y в межах $h_0 \cong Y \cong D_{\max}$, мм; h_0 - розмір розвантажувальної щілини на закритій стороні камери дроблення, який, наприклад, для конусних дробарок дрібного дроблення знаходиться в межах $5 \cong h_0 \cong 15$, мм; l - довжина робочої поверхні подрібнювальної чаші, що утворює, приймається $0,8L$ (L - повна довжина твірної поверхні подрібнювальної чаші, зазвичай приймається $0,25$

- 0,35 діаметру її робочої поверхні в зоні розвантаження), мм; $f\left(\frac{Y}{Y^X}\right)$ - функція, адекватна функції, що визначає грансостав початкового живлення у відносних одиницях, тобто $f\left(\frac{Y}{Y^X}\right) \approx d\left(\frac{d}{D_{\max}}\right)$; d - поточна крупність початкового живлення, значення якої знаходяться в межах $0 \cong d \cong D_{\max}$; $D_{\max}$ - максимальна крупність початкового живлення, що знаходиться в межах $15 h_{o \min} \cong D_{\max} \cong 20 h_{o \min}$, причому значення функції $f\left(\frac{Y}{Y^X}\right)$ знаходяться в межах $0 \leq f\left(\frac{Y}{Y^X}\right) \leq 1$ безрозмірна; $f^X\left(\frac{h_o}{Y^X}\right)$ - значення функції $f\left(\frac{Y}{Y^X}\right)$ при $y = h_o$, безрозмірна; r_0 - радіус робочої поверхні подрібнювальної чаші в зоні розвантажувальної щілини, мм; τ - поточна координата від нижнього краю твірної подрібнювальної чаші, до X , мм; α_o - кут нахилу твірної подрібнювальної чаші до горизонту, що знаходиться в межах $50^\circ \geq \alpha_o \geq 30^\circ$, причому гострий кут, утворений при перетині дотичних до верхнього і нижнього краю твірної робочої поверхні конуса, що дробить, складає $10 - 30^\circ$

Висновки до розділу 2

1. Розроблено загальну методику подальшого дослідження, що дозволяє досягти поставленої мети роботи;
2. Проведено аналіз відомої методики розрахунку конусних дробарок дрібного дроблення. Проаналізовано такі параметри, як кут захоплення, число обертів конуса, продуктивність, потрібна потужність електродвигуна, зусилля, що виникають при дробленні.
3. Встановлено, що результати розрахунків частоти обертання конуса рухомого за відомими формулами та реальні значення дробарок, що випускають серійно не співпадають за характером зміни показників. Формуло було уточнено;
4. Встановлено, що результати розрахунків продуктивності за цими формулами відомими формулами та реальні значення дробарок достатньо точно описують залежність продуктивності від параметрів дробарки, тому

уточнення не потребують.

5. Проведено патентний аналіз та визначено найкращий варіант удосконалення, що полягає у тому, що утворююча поверхні рухомого конусу виконується у вигляді опуклої плавної кривої зі змінним радіусом кривизни.

3. РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ КОНУСНОЇ ДРОБАРКИ ДРІБНОГО ДРОБЛЕННЯ

3.1. Пропоноване удосконалення футерування

Пропонована конструкція конуса дроблячого має на меті збільшення ступеня дроблення і збереження технологічних показників при зношенні робочих поверхонь дроблячи конусів. Мета удосконалення досягається тим, що утворююча поверхні рухомого конусу виконується у вигляді опуклої плавної кривої зі змінним радіусом кривизни (рис 3.1).

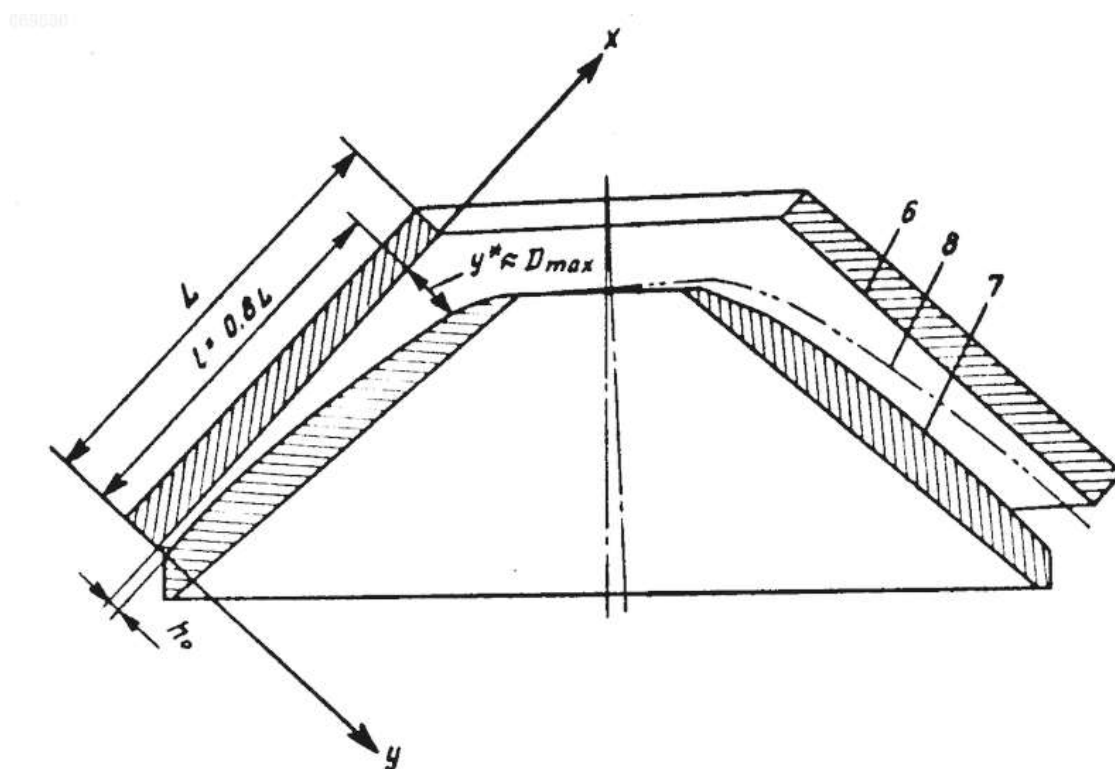


Рис 3.1. Профілі футерування конусів: 6 – прямолінійна утворююча нерухомого конуса; 7 – криволінійна утворююча конуса рухомого.

У пропонованій конструкції кут захоплення буде змінним. Утворююча поверхні рухомого конусу виконується у вигляді опуклої плавної кривої зі змінним радіусом кривизни (рис 3.1)

$$\frac{f\left(\frac{Y}{YX}\right) - f^X\left(\frac{h_o}{XY}\right)}{1 - f^X\left(\frac{h_o}{XY}\right)} = \frac{\int_0^X \left(r_{0Y} - Y\tau \cdot \cos \alpha_o - \frac{1}{2} Y^2 \cdot \sin \alpha_o\right) d\tau}{\int_0^X \left(r_{0Y} - XY \cdot \cos \alpha_o - \frac{1}{2} Y^2 \cdot \sin \alpha_o\right) dX} \pm 10\%$$

де X і Y - координати точок твірної робочої поверхні конуса, що дробить, в системі координат $ХОУ$ (див. рис 3.6.) у якій початок 0 співпадає з нижнім краєм твірної робочої поверхні подрібнювальної чаші, вісь $ОХ$ спрямована по твірній вгору, вісь $ОУ$ перпендикулярна їй і спрямована у бік осі дробарки, причому значення X змінюється в межах $0 \cong X \cong 1$, а Y в межах $h_0 \cong Y \cong D_{\max}$, мм; h_0 - розмір розвантажувальної щілини на закритій стороні камери дроблення, який, наприклад, для конусних дробарок дрібного дроблення знаходиться в межах $5 \cong h_0 \cong 15$, мм; 1 - довжина робочої поверхні подрібнювальної чаші, що утворює, приймається $0,8L$ (L - повна довжина твірної поверхні подрібнювальної чаші, зазвичай приймається $0,25 - 0,35$ діаметру її робочої поверхні в зоні розвантаження), мм; $f\left(\frac{Y}{YX}\right)$ - функція, адекватна функції, що визначає грансостав початкового живлення у відносних одиницях, тобто $f\left(\frac{Y}{YX}\right) \approx d\left(\frac{d}{D_{\max}}\right)$; d - поточна крупність початкового живлення, значення якої знаходяться в межах $0 \cong d \cong D_{\max}$; $D_{\max}$ - максимальна крупність початкового живлення, що знаходиться в межах $15 h_{0 \min} \cong D_{\max} \cong 20 h_{0 \min}$, причому значення функції $f\left(\frac{Y}{YX}\right)$ знаходяться в межах $0 \leq f\left(\frac{Y}{YX}\right) \leq 1$ безрозмірна; $f^X\left(\frac{h_o}{XY}\right)$ - значення функції $f\left(\frac{Y}{YX}\right)$ при $y = h_o$, безрозмірна; r_0 - радіус робочої поверхні подрібнювальної чаші в зоні розвантажувальної щілини, мм; τ - поточна координата від нижнього краю твірної подрібнювальної чаші, до X , мм; α_o - кут нахилу твірної подрібнювальної чаші до горизонту, що знаходиться в межах $50^\circ \geq \alpha_o \geq 30^\circ$, причому гострий кут, утворений при перетині дотичних до верхнього і нижнього краю твірної робочої поверхні конуса, що дробить, складає $10 - 30^\circ$

Проінтегрувавши рівняння твірної поверхні рухомого конусу, отримано набір координат поверхні футерування конусу (рис 3.2.)

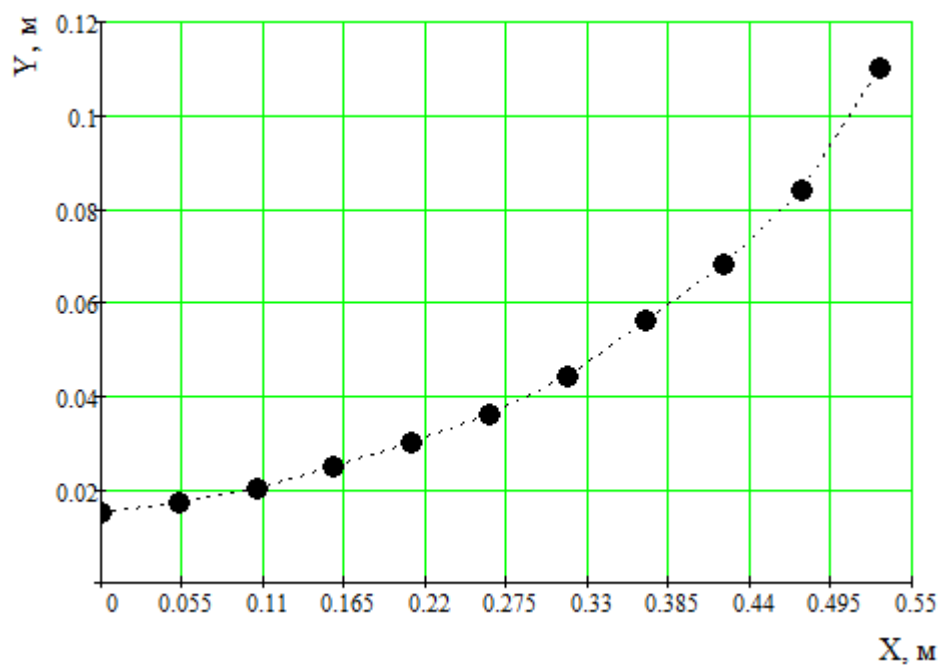


Рис 3.2 – Профіль футерування рухомого конусу

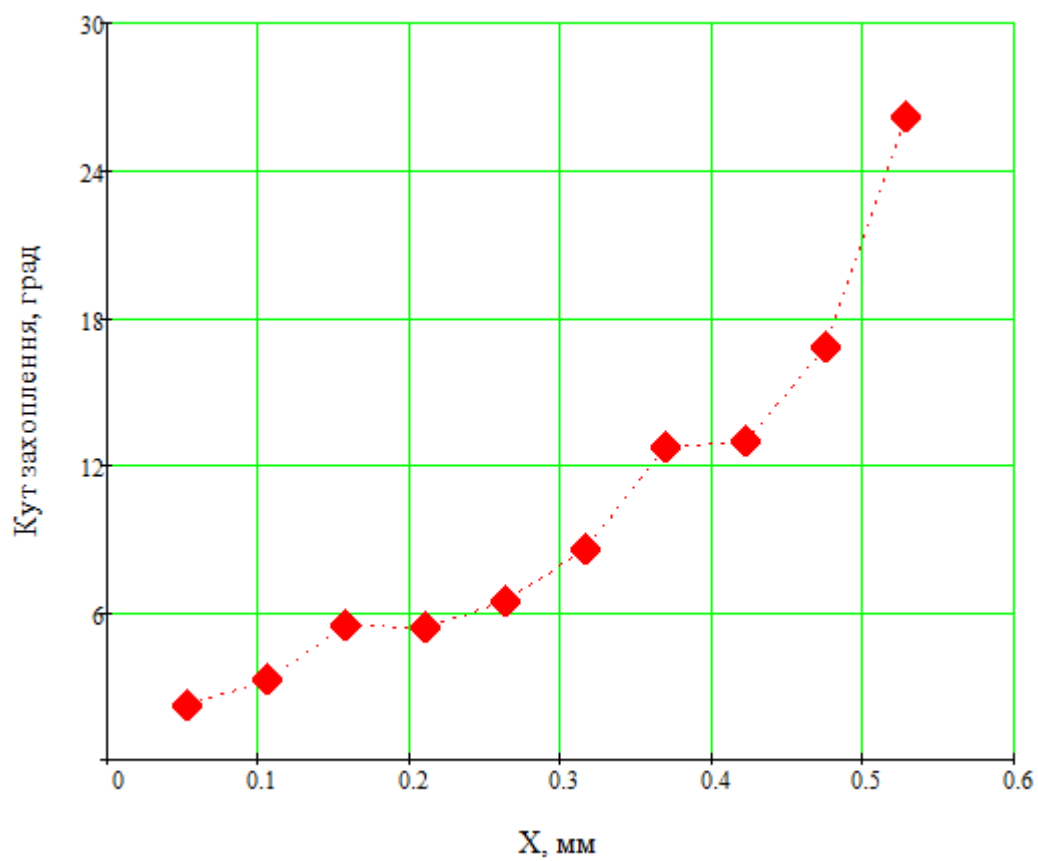


Рис 3.3 – Зміна кута захоплення уздовж футерування

3.2. Комп'ютерне дослідження впливу форми футерування на продуктивність конусної дробарки

Метою проведення експерименту за допомогою комп'ютерного моделювання є дослідження впливу форми футерування на продуктивність конусної дробарки.

Обмеження та спрощення DEM –методу:

1. Обмежена кількість часток у розрахунку (якомога менша кількість)
2. Мінімальна кількість граней у часток (ідеальною є сфера)
3. Мінімальна інтенсивність процесу (мінімально можливі швидкості руху)
4. За можливості не використовувати функції зношення, адгезії
5. Відсікання нижньої частина гранулометричного складу породи, що подрібнюється – розраховуються тільки крупні частинки;

Корпус конусної дробарки зі стандартним та запропонованим футеруванням побудовані у САПР SolidWorks (рис 3.4, 3.5) та експортовані Rocky DEM.

Експеримент проводиться для кожної конструкції з однаковими початковими умовами:

- розмір та матеріал часток породи на вході
- масова витрата часток
- кількість обертів за хвилину

Визначається час повного дроблення усього об'єму завантаженої породи для кожної з двох схем.

Послідовність створення нового проекту у Rocky DEM simulation

1. У розділі Physics встановлюються загальні константи такі, як прискорення вільного падіння та ін. За проектом моделювання роботи млина ніяких змін у цьому розділі не робимо.
2. У розділі Modules визначається параметри збирання статистичних даних про зіткнення тіл у моделі.

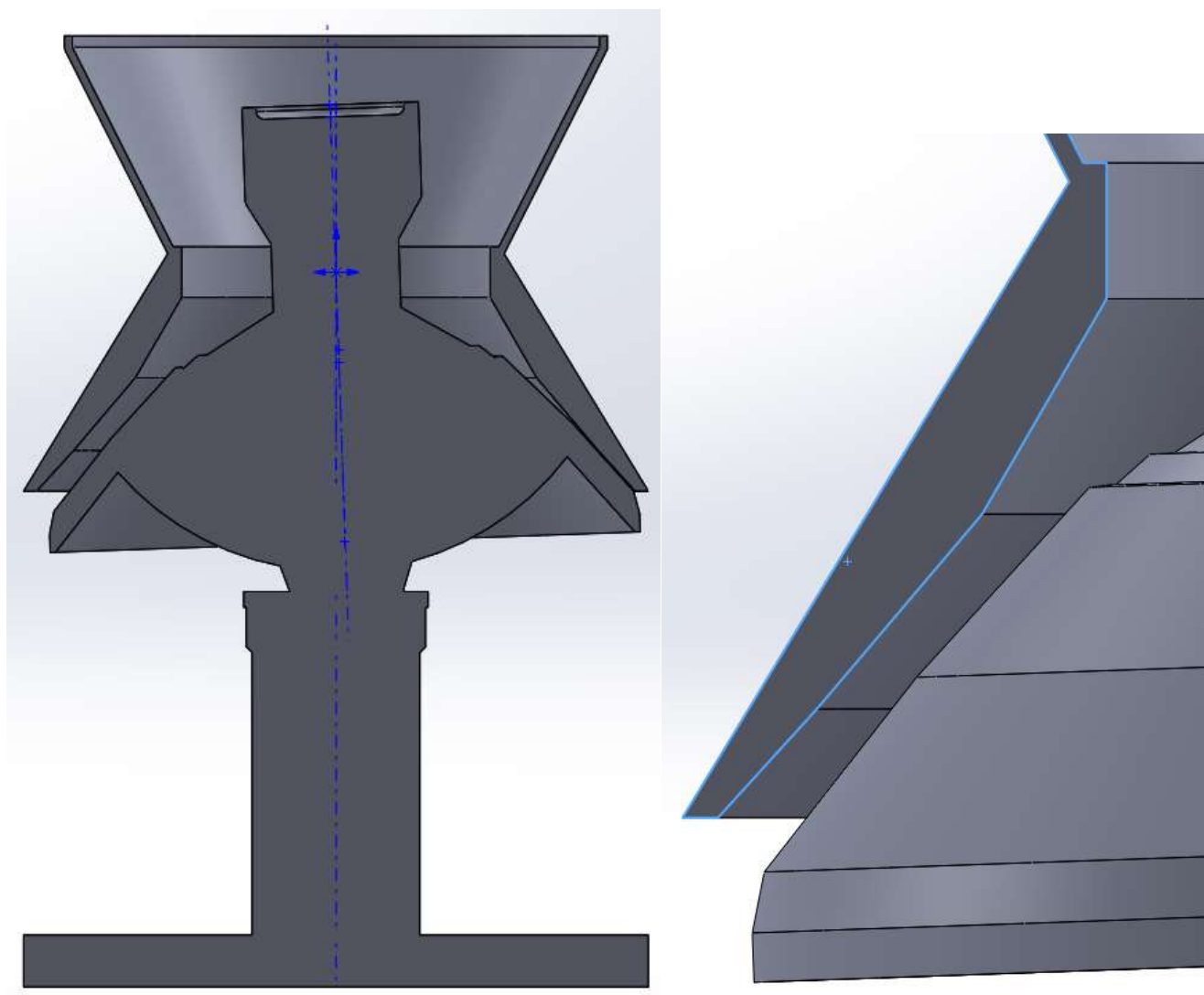


Рис 3.4 – Стандартний профіль футерування

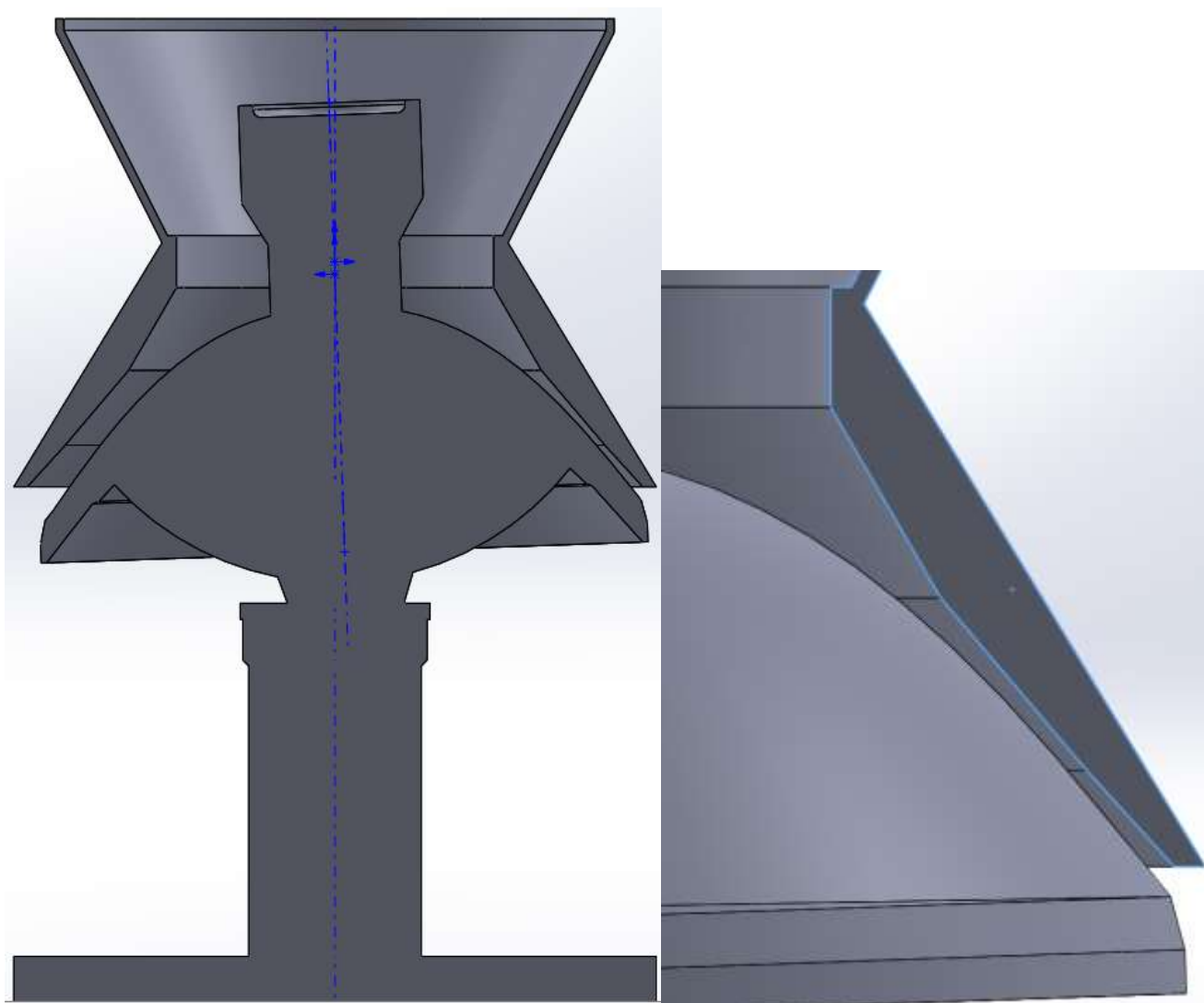


Рис 3.5 – Профіль пропонованого футерування

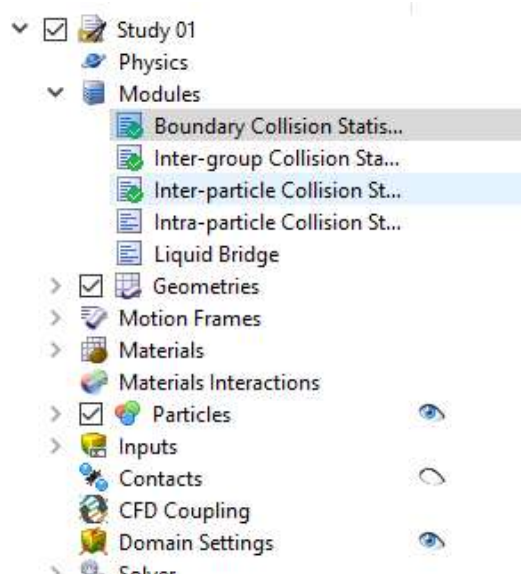


Рис 3.6 - Розділ Modules

Встановлюємо відмітки про збирання даних про зіткнення часток з границями, зіткнення груп часток і зіткнення часток між собою.

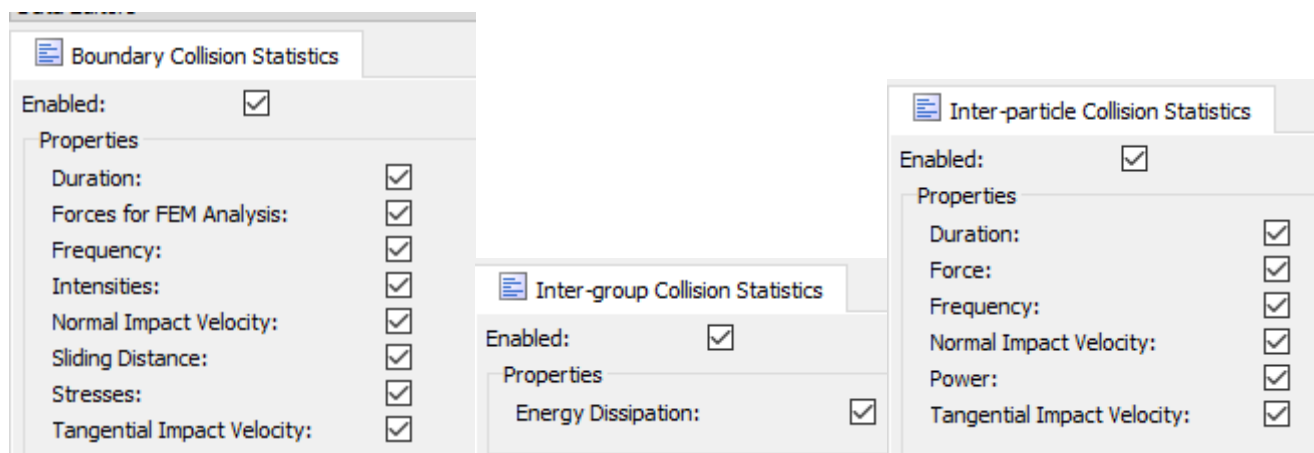


Рис 3.7 - Розділ Modules

3. Розділ Geometries визначає геометрію моделі. Тут завантажується модель конусної дробарки для кожного експерименту. Модель будується у SolidWorks та зберігається у форматі STL (рис 3.6).

Додатково створюється зона завантаження у вигляді кола над завантажувальною воронкою (рис 3.5).

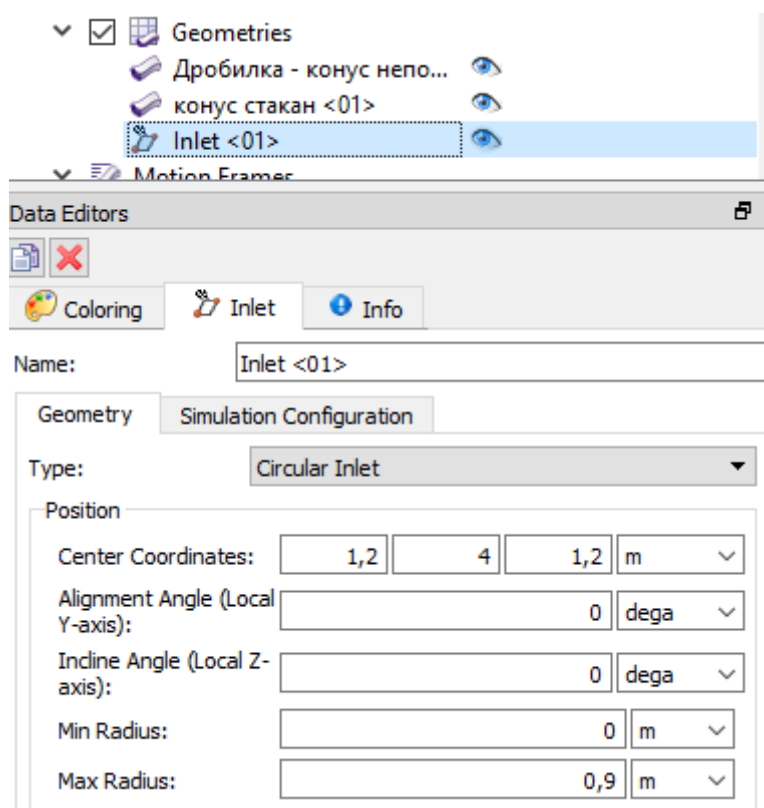


Рис 3.8 - Задання зони завантаження

У налаштуваннях зони завантаження на закладці Simulation Configuration визначаємо, що матеріал буде поступати у дробарку з 0 по 0,5 с симуляції.



Рис 3.9 – Завантажені моделі конуса рухомого та конуса нерухомого

4. У розділі Motion Frames задаються параметри конуса дробарки.

Встановлюється:

- Motions – Type (тип руху) –Rotation (обертання);

- Initial Angular Velocity (початкова кутова швидкість) задається швидкість обертання конуса 240 об/хв за встановленою віссю Y;
- Relative position (початкова позиція осі обертання) – виставляється за координатами XYZ.

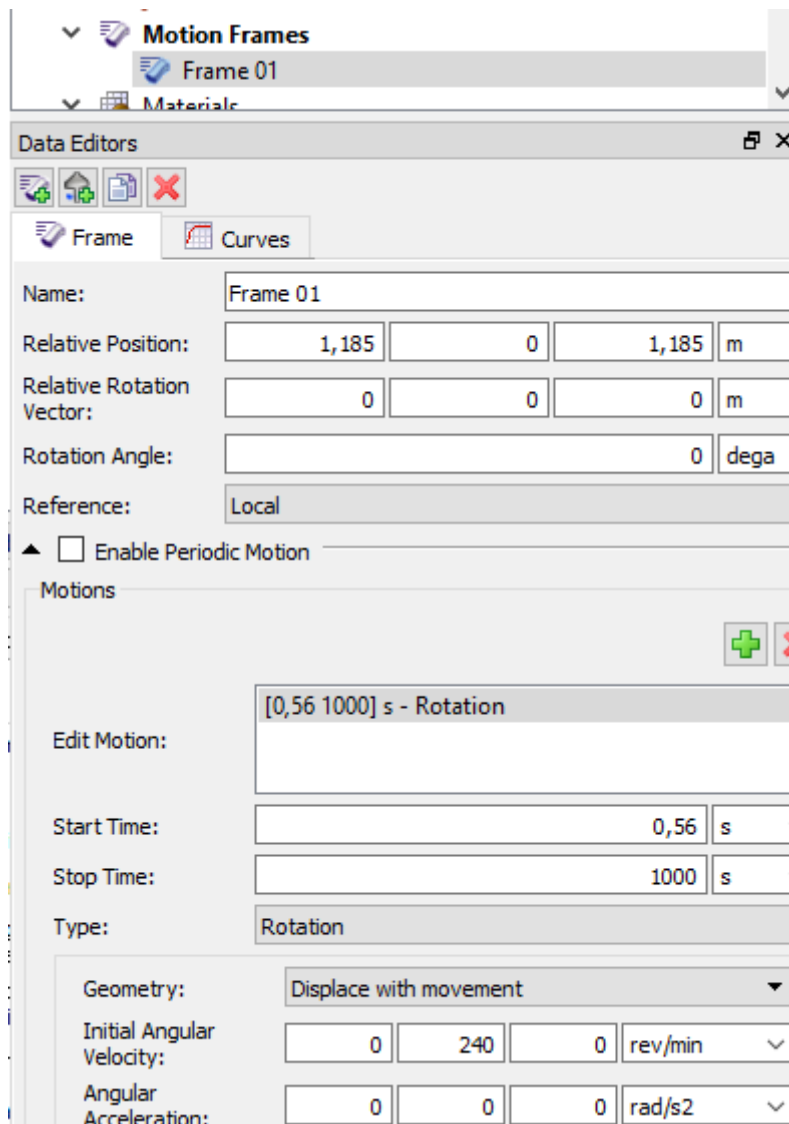


Рис 3.10 - Розділ Motion Frames

- У розділі Materials визначаються матеріали тіл, що будуть використовуватися у моделі. У моделі будуть використовуватися 2 матеріали – сталь для куль і барабану та залізна руда для частинок породи.

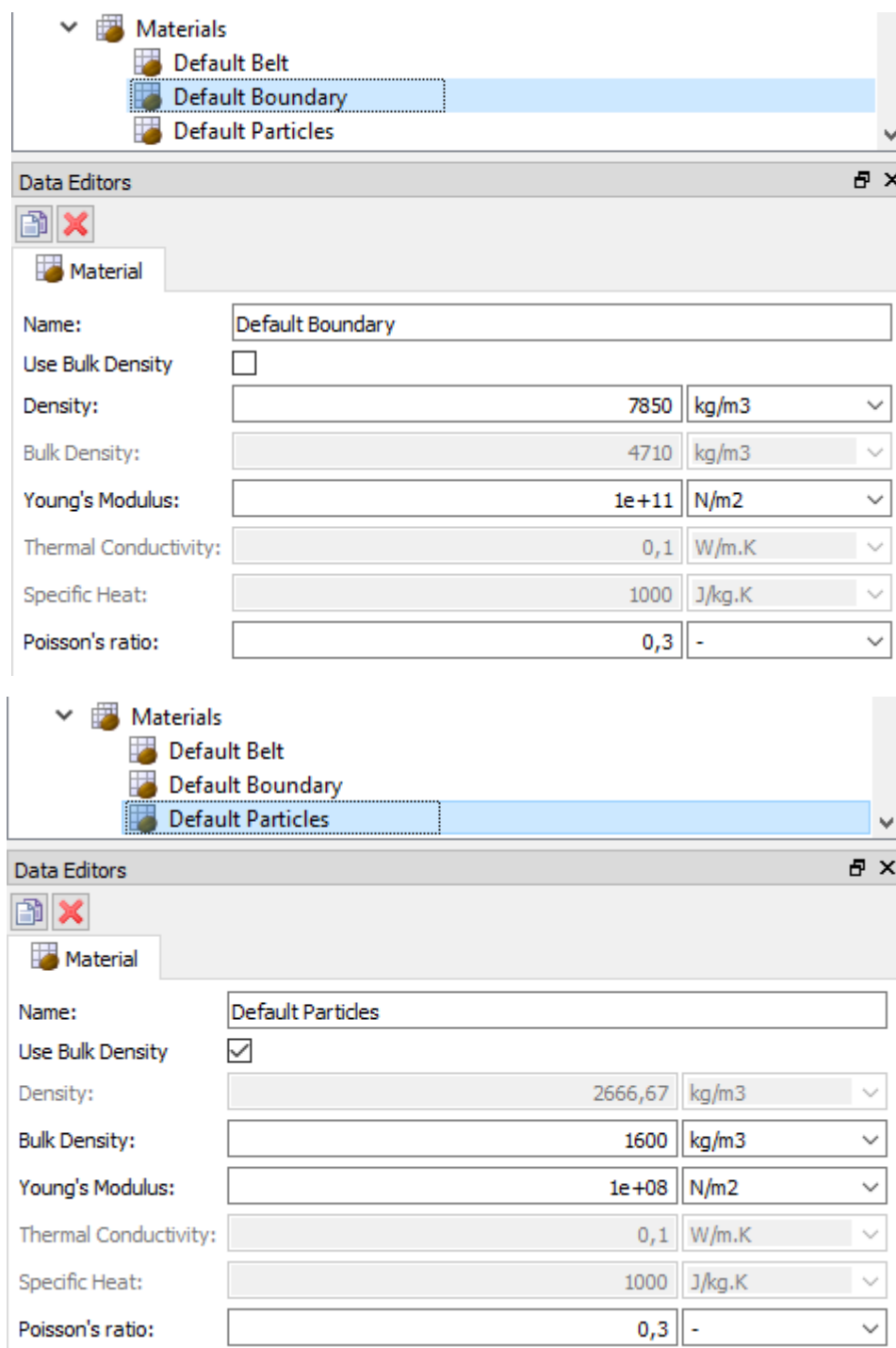


Рис 3.11 - Розділ Materials

6. У розділі Particles задаються частинки, які будуть використовуватися у моделі. У моделі використовується 1 вид частинок:
- частинки породи, форма – polyhedron з розмірами 140 мм

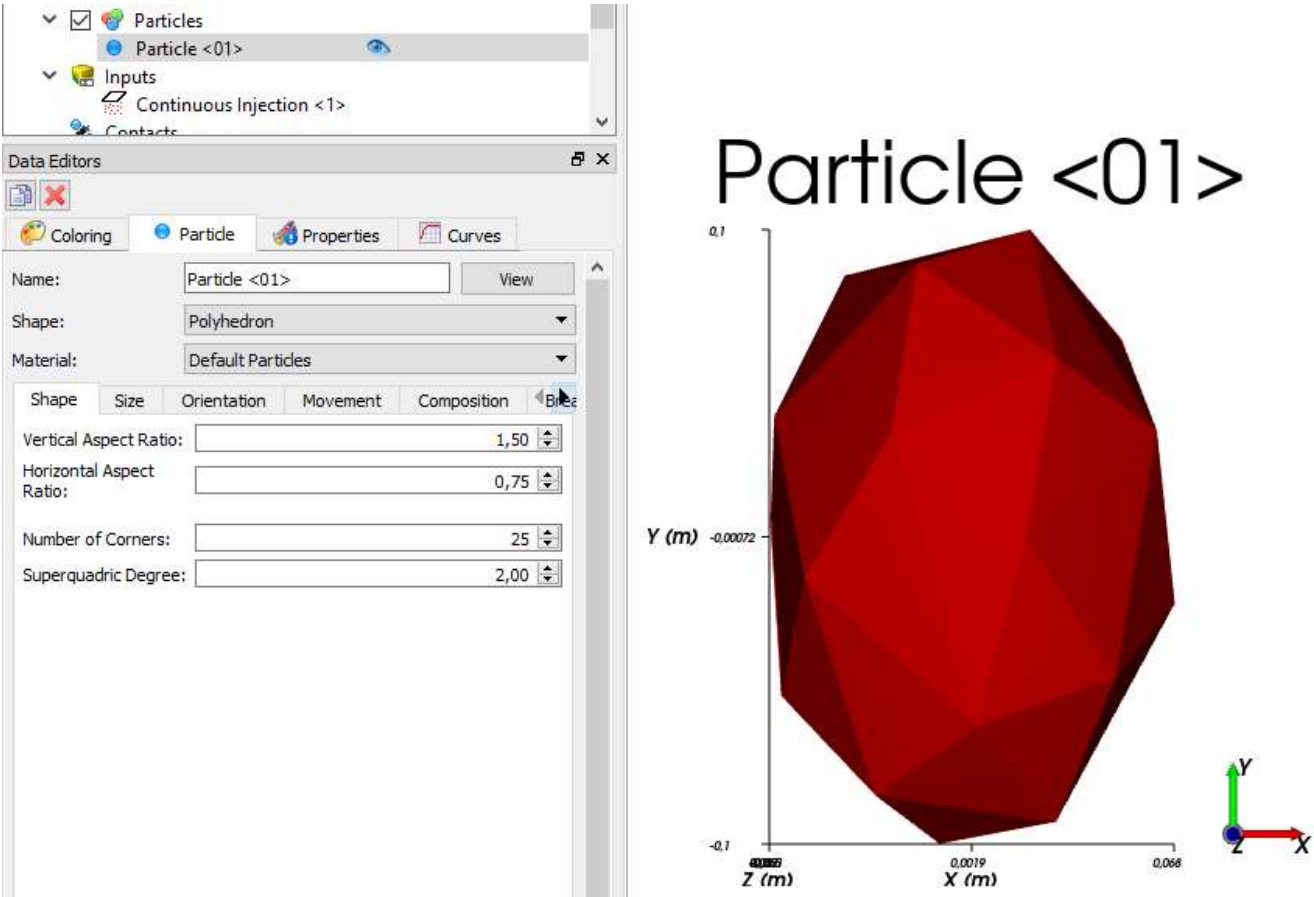


Рис 3.12 - Розділ Particles. Порода

7. У розділ Inputs визначаємо скільки матеріалу буде завантажено у дробарку

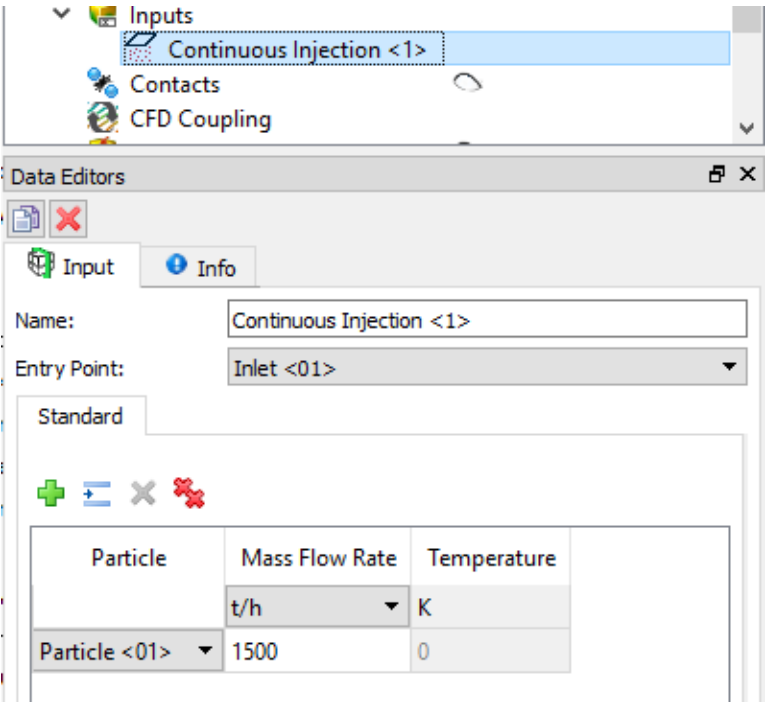


Рис 3.13 - Розділ Inputs

8. У розділі Solver визначаємо час розрахунку 5 с., та кількість кадрів за секунду – 33.3.

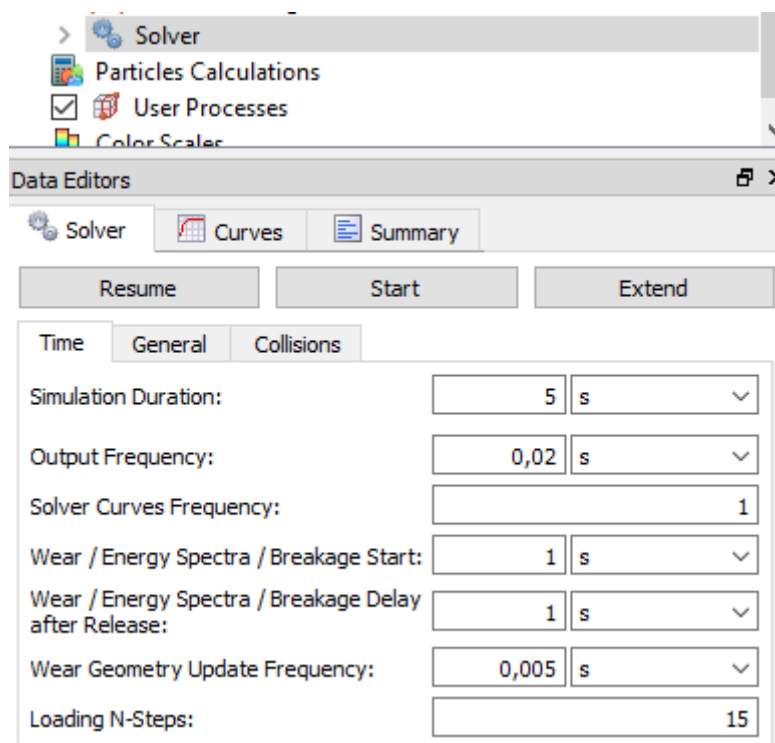


Рис 3.14 - Розділ Solver

У результаті розрахунку записуються для кожного дослідів час перероблення завантаженого матеріалу (рис 3.11).

Встановлено, що дробарка з криволінійним футеруванням швидше дробить завантаженої породи.

У досліді у завантажувальну воронку було завантажено 418 кг породи. У першому досліді (конус зі звичайною бронею) усю породу було подрібнено за 4,75 с, тобто продуктивність склала $87,7 \text{ кг/с} = 315 \text{ т/год}$. Для переходу до об'ємної продуктивності приймемо насипну щільність породи 2500 кг/м^3 . Тоді об'ємна продуктивність складе $121,15 \text{ м}^3/\text{год}$.

У другому досліді усю породу було подрібнено за 4,25 с, тобто продуктивність склала $98,35 \text{ кг/с} = 354 \text{ т/год}$, об'ємна продуктивність складе $141,6 \text{ м}^3/\text{год}$. Загалом можна сказати, що продуктивність дробарки з пропонованим футеруванням збільшилася на 16,9 %.



Рис 3.15 – Результати розрахунку

Висновки до розділу 3

1. Розглянуто пропоноване удосконалення футерування конусної дробарки дрібного дроблення, що дозволяє покращити ефективність дроблення;
2. Проведено порівняльне дослідження базового та пропонованого криволінійного футерування;
3. Встановлено, що дробарка з криволінійним футеруванням швидше дробить завантажену породу. Загалом можна сказати, що продуктивність дробарки з пропонованим футеруванням збільшилася на 16,9 %.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі розв'язано актуальне науково-технічне завдання, що полягає в дослідженні процесу дроблення у конусних дробарках дрібного дроблення та визначення раціональних параметрів процесу дроблення

1. Розроблено загальну методику подальшого дослідження, що дозволяє досягти поставленої мети роботи;
2. Проведено аналіз відомої методики розрахунку конусних дробарок дрібного дроблення. Проаналізовано такі параметри, як кут захоплення, число обертів конуса, продуктивність, потрібна потужність електродвигуна, зусилля, що виникають при дробленні.
3. Встановлено, що результати розрахунків частоти обертання конуса рухомого за відомими формулами та реальні значення дробарок, що випускають серійно не співпадають за характером зміни показників. Формуло було уточнено;
4. Встановлено, що результати розрахунків продуктивності за цими формулами відомими формулами та реальні значення дробарок достатньо точно описують залежність продуктивності від параметрів дробарки, тому уточнення не потребують.
5. Проведено патентний аналіз та визначено найкращий варіант удосконалення, що полягає у томц, що утворююча поверхні рухомого конусу виконується у вигляді опуклої плавної кривої зі змінним радіусом кривизни.
6. Розглянуто пропоноване удосконалення футерування конусної дробарки дрібного дроблення, що дозволяє покращити ефективність дроблення;
7. Проведено порівняльне дослідження базового та пропонованого криволінійного футерування;
8. Встановлено, що дробарка з криволінійним футеруванням швидше дробить завантажену породу. Загалом можна сказати, що продуктивність дробарки з пропонованим футеруванням збільшилася на 16,9 %.