

KONFERENSIYALAR UZ

ANJUMANLAR PLATFORMASI

**II RESPUBLIKA ILMIY-
AMALIY KONFERENSIYASI**

**YANGI DAVR ILM-
FANI: INSON UCHUN
INNOVATSION G'OYA
VA YECHIMLAR**

MAY, 2025



ELEKTRON NASHR:

<https://konferensiyalar.uz>

YANGI DAVR ILM-FANI: INSON UCHUN INNOVATSION G'OYA VA YECHIMLAR

**II RESPUBLIKA ILMIY-AMALIY
KONFERENSIYASI MATERIALLARI**

2025-yil, 12-may

TOSHKENT-2025

Yangi davr ilm-fani: inson uchun innovatsion g'oya va yechimlar.
II Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi materiallari. – Toshkent:
Scienceproblems team, 2025. – 60 bet.

Elektron nashr: <https://konferensiyalar.uz>

Konferensiya tashkilotchisi: “Scienceproblems Team” MChJ

Konferensiya o'tkazilgan sana: 2025-yil, 12-may

Mas'ul muharrir:
Isanova Feruza Tulqinovna

Annotatsiya

Mazkur to'plamda “Yangi davr ilm-fani: inson uchun innovatsion g'oya va yechimlar” mavzusidagi II Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi materiallari jamlangan. Nashrda respublikaning turli oliy ta'lim muassasalari, ilmiy markazlari va amaliyotchi mutaxassislari tomonidan tayyorlangan maqolalar o'rin olgan bo'lib, ular ijtimoiy-gumanitar, tabiiy, texnik va yuridik fanlarning dolzarb muammolari va ularning innovatsion yechimlariga bag'ishlangan. Ushbu nashr ilmiy izlanuvchilar, oliy ta'lim o'qituvchilari, doktorantlar va soha mutaxassislari uchun foydali qo'llanma bo'lib xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: ilmiy-amaliy konferensiya, innovatsion yondashuv, zamonaviy fan, fanlararo integratsiya, ilmiy-tadqiqot, nazariya va amaliyot, ilmiy hamkorlik.

Barcha huquqlar himoyalangan.
© “Sciences problems team” MChJ, 2025-yil
© Mualliflar jamoasi, 2025-yil

MUNDARIJA

TEXNIKA FANLARI

Rahimova Sevara, Hakimova Nargiza, Bakirov Shoxrux
QISHLOQ XO'JALIGIDA YUK MASSASINI O'LCHASHNING METROLOGIK TA'MINOTI: ANIQLIK,
USULLAR VA INNOVATION YECHIMLAR 4-10

Жуманазаров Акмал
АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ГОРНО-РАЗМОЛЬНЫХ МАШИН: ТЕОРИЯ ОБЪЕМНОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ 11-18

Rahimova Sevara, Hakimova Nargiza, Bakirov Shoxrux
TIBBIYOTDA YUK MASSASINI O'LCHASHNING METROLOGIK TA'MINOTI: ANIQLIK, USULLAR
VA INNOVATION YECHIMLAR 19-23

TARIX FANLARI

Salayev Umrbek
OROL DENGIZI TARIXI. YANGI O'ZBEKISTONDA REJALAR VA USTUVOR VAZIFALAR 24-21

Atamuratova Dilafroz
XORAZM TIPOLITOGRAFIYASIDA NASHR QILINGAN BA'ZI ADABIYOTLAR TAHLILI 22-27

IQTISODIYOT FANLARI

Mirtursunova Dinara
BANKLARDA KREDIT RISKINI BOSHQARISH TIZIMINI TAKOMILLASHTIRISHNING NAZARIY
ASOSLARI 34-36

FALSAFA FANLARI

Холиқова Покиза
ИЖТИМОЙ ДЕВИАНТЛИК МУАММОСИНИНГ ИЛМИЙ-ФАЛСАФИЙ АСОСЛАРИ 37-41

FILOLOGIYA FANLARI

Yakubova Feruza
"SARF" VA "TASRIF" ATAMALARINING FARQLARI VA SARF ILMINING
NAZARIY ASOSLARI 42-44

Turdaliyeva Dilfuza
XALQ MAQOLLARINING KONTEKSTUAL TAHLILI 45-48

TIBBIYOT FANLARI

Турсунова Лайло, Дадажонов Хамидулло
КЛИНИКО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ОСЛОЖНЕНИЙ НА
ДИАЛИЗНОМ ЭТАПЕ ХРОНИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНИ ПОЧЕК 49-54

Мамадалиев Хасанхон, Тошматова Зухрахон
ҲАРБИЙ ХИЗМАТЧИЛАРДА АНТИФОСФОЛИПИД СИНДРОМИНИНГ УЧРАШИ ВА УНИНГ
ДЕРМАТОЛОГИК НАМОЁН БЎЛИШИ 55-59

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ГОРНО-РАЗМОЛЬНЫХ МАШИН: ТЕОРИЯ ОБЪЕМНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Жуманазаров Акмал

Генеральный директор Узбекского Агентства
по техническому регулированию при
Кабинете Министров Республики Узбекистан
доктор философии по техническим наукам PhD
Эл.почта: ar.jumanazarov@gmail.com

Аннотация. В данной статье проводится анализ состояния горно-размольных машин с использованием теории объемного распределения. Рассмотрены подходы к оценке технического состояния оборудования, основанные на математическом моделировании и современных вычислительных методах. Подчеркнута практическая значимость применения теории объемного распределения для повышения эффективности работы машин.

Ключевые слова: горно-размольные машины, объемное распределение, техническое состояние, анализ, моделирование, эффективность, диагностика.

КОН-ҚИРҚИШ МАШИНАЛАРИНИНГ ҲОЛАТИНИ ТАҲЛИЛ ҚИЛИШ: ҲАЖМИЙ ТАҚСИМОТ НАЗАРИЯСИ

Жуманазаров Акмал

Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги
Техник тартибга солиш агентлиги Бош директори

Аннотация. Ушбу мақолада горно-размоль ускуналарининг ҳолати таҳлил қилиниб, ҳажмий тақсимот назарияси асосида техник ҳолатни баҳолаш усуллари кўриб чиқилган. Таърифланган назариянинг амалиётдаги аҳамияти, ундан самарали фойдаланиш имкониятлари ва ускуналар самарадорлигини оширишдаги ўрни ёритилган. Таҳлил жараёнида замонавий ҳисоблаш ютуқлари ва математик моделлаштириш ютуқлари асосида аниқлаштиришлар олиб борилган.

Калит сўзлар: горно-размоль машиналар, ҳажмий тақсимот, техник ҳолат, таҳлил, моделлаштириш, самарадорлик, диагностика.

Теория объема предсказывает гиперболическое распределение частоты размеров. Согласно этой теории, скорость, с которой вес любого шара уменьшается, пропорциональна массе (объему) шара. Ее оригинальность заключается в идее, что большинство событий измельчения происходит в носке заряда, где преобладают ударные события (Vermeulen & Howat, 1983).

Установлено, что при ударе работа, совершаемая шаром по напряжению частицы руды, пропорциональна кинетической энергии шара при катаракте и каскадировании при вращательном движении мельницы, а следовательно, массе или объему шара. Это может быть представлено математически как

$$-\frac{dm}{dT} = k_m m$$

T — количество измельченного материала в тоннах. Константа пропорциональности km называется константой тоннажа шаров, измеряемой в единицах на тонну.

Согласно поверхностной теории, распределение частот размеров является плоским: одинаковое количество шаров обнаруживается в каждом интервале, если диапазон размеров разделить на равные ширины (Vermeulen & Howat, 1983).

Основное предположение этой теории заключается в том, что большинство событий измельчения обусловлено абразивным измельчением частиц руды шарами, и поэтому предполагает, что скорость износа шаров пропорциональна площади поверхности шара. Прентис в 1943 году и Норман и др. в 1949 году выдвинули доказательства в поддержку этой теории (Вермейлен и Ховат, 1983).

Для шара массой m площадь поверхности пропорциональна массе в степени две трети; так что скорость потери массы равна:

$$-\frac{dm}{dT} = bm^{2/3}$$

b — константа износа поверхности

$$m(T) = \left(m_0^{1/3} - \frac{1}{3}bT \right)^3$$

m_0 — первоначальная масса шара, а T имеет то же значение, что и в теории объема.

Эти уравнения 2.21 и 2.22 справедливы только в том случае, если сферичность шара остается постоянной, и справедливы только в том случае, если

$$T < \frac{3m_0^{1/3}}{b}$$

Однако среда изнашивается и отклоняется от своей сферической формы, таким образом, достигая нерегулярных форм. Хорошо известно, что формы изношенных шлифовальных элементов могут быть отчетливо несферическими (Kelsall *et al*, 1973). Приближение постоянной формы неадекватно для описания форм изношенных шаров; как таковое его независимое использование может привести к ошибке.

В 1992 году Джанг и Ивасаки провели исследование по определению распределения размеров и формы частиц износа в исследовании скорости износа и поведения износа шаров для измельчения с использованием шаров из твердой хромированной стали и шаров из мягкой нехромированной стали. Они обнаружили, что первые генерировали меньше и меньших размеров частиц износа по сравнению со вторыми.

В 1983 году Вермюлен и Ховат провели испытание маркированного шара, чтобы проверить соответствие обеих теорий. Они обнаружили, что обе теории хорошо согласуются с имеющимися данными по фактическому износу различных классов размеров шаров, и поэтому любая из теорий может быть использована в теоретическом обсуждении испытания маркированного шара. Это сбивает с толку, поскольку скорость износа шара не может быть пропорциональна его поверхности и в то же время его массе. Согласно обеим теориям, расход шаров монотонно уменьшается с увеличением пропускной способности. Это, по сути, потому, что скорость износа шаров уменьшается по мере их уменьшения.

Общий закон скорости износа предполагает, что износ куска сферической среды (масса в единицу времени) является степенной функцией его радиуса r :

$$f(r) = k(\rho 4\pi r^2)r^\Delta$$

где k — линейная скорость износа (длина в единицу времени), а $\cap$ — константа. При $\cap = 0$ массовая скорость износа пропорциональна площади поверхности ($4 \cap r^2$) (теория поверхности) детали, а скорость уменьшения радиуса ($-dr/dt$) — константа. При $\cap = 1$ скорость износа пропорциональна объему ($4 \cap r^3/3$) детали (теория объема).

Yildirim *et al.* (1999) модифицировали известное соотношение для сферических сред (уравнение 2.24) и расширили его до соотношения для цилиндрических сред. Модификация была основана на испытаниях, включающих отбор проб сбрасываемой мельницей загрузки, микрометрирование длины и диаметра и взвешивание большого количества кусков среды. Они пришли к выводу, что:

а. Носители изнашивались равномерно, так что сохранялась цилиндрическая форма,

б. Построив график зависимости числа сред с диаметрами больше d от d , они показали, что износ диаметра шара подчиняется закону износа Бонда; что диаметр линейно уменьшается со временем шлифования, а линейная скорость износа радиуса цилиндров радиуса r , как было показано, представлена следующим образом:

$$-\frac{dr}{dt} = K_1(r)$$

в) Износ длины также следовал линейному закону; изменение, внесенное в закон износа что потребовалось для распространения обработки на несферические среды, так это замена r на l ; длина цилиндра и была представлена как:

$$-\frac{dr}{dt} = 2K_2(l)$$

На основе хорошо известного закона износа Бонда и с учетом радиуса и длины цилиндрической среды совокупная массовая доля среды была представлена как (Yildirim & Austin, 1998):

$$M(d) = \frac{\left[\left(\frac{d}{d_0} \right)^4 - \left(\frac{d_{\min}}{d_0} \right)^4 \right] + \left(\frac{4k_1}{3k_2} \right) \left(\frac{l_0}{d_0} - \frac{k_2}{k_1} \right)^4 \left[\left(\frac{d}{d_0} \right)^3 - \left(\frac{d_{\min}}{d_0} \right)^3 \right]}{\left[1 - \left(\frac{d_{\min}}{d_0} \right)^4 \right] + \left(\frac{4k_1}{3k_2} \right) \left(\frac{l_0}{d_0} - \frac{k_2}{k_1} \right)^4 \left[1 - \left(\frac{d_{\min}}{d_0} \right)^3 \right]}$$

k_1 - скорость износа диаметра d , k_2 - скорость износа длины l , $d_{\min}$ — размер отверстия удерживающей разгрузочной решетки, а d_0 — диаметр подпиточной среды. Для особого случая $l_0 = d_0$ и $k_1 = k_2$ уравнение 2.27 сводится к тому же выражению, что и для сфер.

Радзишевский (2002) исследовал далее и разработал модель полного износа среды, включив все три механизма износа. Модель основана на предположении, что эффект каждого механизма износа может быть определен независимо, и, таким образом, позволяет определить модель полного износа среды как сумму результатов каждого механизма. Сложность применения уравнения заключается в невозможности изолировать вклад каждого механизма.

Характеристика поведения рабочей нагрузки

Дэвис в 1919 году и Роуз и др. в 1958 году осознали важность описания поведения измельчительных мельниц для прогнозирования того, как различные параметры влияют на производительность измельчительного контура с точки зрения поведения нагрузки и энергопотребления (Dong & Moys, 2003). Были разработаны математические модели, которые можно использовать для моделирования поведения реальной системы

путем изменения соответствующим образом выбранных параметров для прогнозирования реакции на различные изменения в рабочих условиях. С такой системой легко сделать вывод из наблюдения за имитируемым процессом, вместо того чтобы проводить эксперименты на реальном процессе.

В 1919 году Дэвис был одним из первых, кто попытался изучить движение заряда и его профиль внутри мельницы. Он использовал описание движения заряда, в котором шары движутся по круговой траектории до точки, в которой центробежные и гравитационные силы находятся в равновесии. В этой точке шары падают на параболическую траекторию, пока не ударятся о корпус мельницы и снова не выйдут на круговую траекторию. Используя этот подход, Дэвис связал движение заряда с наблюдаемой мощностью, потребляемой мельницей. Именно на основе этой работы продвинулось большинство исследований, изучающих поведение нагрузки и моделирование мощности мельницы.

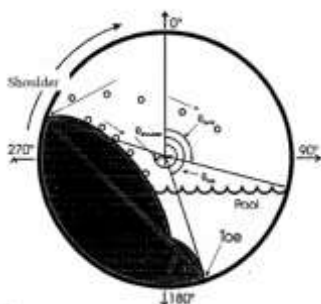


Рис. 7 Профиль, принимаемый загрузкой в барабанной мельнице (van Nierop & Moys, 1999)

В дальнейших попытках описать поведение шихты в мельнице Вермейлен *и др.* (1984) использовали пьезоэлектрическое устройство, встроенное в болт футеровки, для обнаружения механического удара и возмущения внутри мельницы. С помощью такой установки он смог собрать информацию об угловом распределении прямых ударов, среднем количестве ударов по футеровке оболочки за единицу времени, потребности в мощности для содействия ударам, скорости удара и количестве материала в полете.

Использование измерения проводимости в управлении измельчительной мельницей было реализовано для указания точки, когда зонд входит в загрузку (носик) и покидает загрузку (плечо), указанной в фиксированной точке на окружности вращения (Moys и Montini, 1987). Они показали, что использование проводимости может предоставить информацию, касающуюся реологии пульпы при мокром помоле. Однако его применение ограничено мокрым помолом, при котором пульпа действует как проводящая среда.

Больше работы было сделано для прогнозирования поведения нагрузки в барабанных мельницах. Среди других усилий по характеристике движения нагрузки и поведения нагрузки - измерение радиальных и тангенциальных сил, оказываемых нагрузкой во вращающейся мельнице, в зависимости от объема нагрузки и скорости мельницы (Moys & Skorupa, 1993), измерение поведения нагрузки в промышленной мельнице для измельчения (van Nierop & Moys, 1997), использование цифровых виртуальных изображений (Dong & Moys, 2003) и исследование движения нагрузки во вращающейся мельнице с использованием двухплоскостного ангиоскопа (Powell & Nurick, 1996 части 1, 2 и 3). Moys и Skorupa (1993) обнаружили, что измерение может предоставить подробную и количественную информацию о силах, оказываемых на футеровку, и о поведении нагрузки в мельнице.

Лидделл и Мойс (1988) изучали факторы, которые влияют на поведение нагрузки. Среди исследованных факторов были скорость мельницы и уровни

заполнения шихты. Авторы отметили, что на положения влияли изменения скорости мельницы свыше 80%, в то время как положение плеча зависело от скорости мельницы и уровня заполнения мельницы.

Приемлемо, что мощность является необходимым требованием для осмысленной оценки производительности мельницы. Поскольку измельчение является энергоемким и относительно неэффективным с точки зрения использования энергии, более ранние исследования производительности мельницы были посвящены пониманию и разработке соотношений энергии и размера (Kick, 1885; Bond, 1961). Однако потребляемая мощность мельницы является сильной функцией размера мельницы (L и D), загрузки (J) и рабочих условий, таких как скорость мельницы N, соотношение пульпы/пустоты и плотность пульпы (Sullivan *et al*, 1958)

В 1939 году Таггарт понял, что проблема прогнозирования мощности заключается в невозможности аналитически определить чистую мощность из-за незнания внутренней динамики барабанной мельницы. Таким образом, четкое понимание механики движения загрузки мельницы имеет решающее значение для точного прогнозирования мощности. Многие пытались, и из-за множества задействованных переменных основные переменные трактовались по-разному, что приводило к различным моделям мощности.

Разработки модели мощности основывались либо на промышленных и лабораторных данных (Bond, 1961), либо на выводе уравнений, описывающих потребность в мощности путем расчета траекторий шаров, падающих в мельнице, и интегрирования энергии, необходимой для подъема шаров по всем возможным траекториям (Guerrero & Arbiter, 1960). Другой подход рассматривает слой шарового порошка как единую массу, предполагая, что вращающий момент силы трения уравнивает вращающий момент центра тяжести слоя вокруг центра мельницы. Последний подход предполагает модель рычага крутящего момента, которая включает основные параметры, связанные с мощностью (Hogg & Fuerstaneu, 1972). Это основано на концепции, что профиль нагрузки можно аппроксимировать хордой (рисунок 2.3), проведенной между носком и плечом под углом к горизонтали, называемым динамическим углом естественного откоса нагрузки. Метод предполагает, что масса груза лежит ниже шнура, и центр тяжести груза, через который действует нагрузка, может быть легко установлен. Основным уравнением является уравнение 2.28.

$$P = \frac{2\pi N \tau}{60}$$

$$\tau = m_g r_g \sin \theta_R (Nm)$$

При более высокой скорости вращения некоторые среды имеют тенденцию к катаракте и центрифугированию. Форма нагрузки отклоняется от формы хорды. В этой ситуации части нагрузки выходят из контакта с оболочкой, а некоторые материалы находятся в полете. Модель моментного рычага менее верна, поскольку хорда больше не может определять и представлять профиль нагрузки, а центр тяжести становится трудно установить. Это делает модели, разработанные на основе этого предположения, ограниченными в применении для оценки мощности, потребляемой мельницей.

Лидделл и Мойс (1988) были среди первых, кто установил изменения в положениях и форме загрузки мельницы в широком диапазоне рабочих условий, включая скорость мельницы, уровень заполнения загрузки и реологические условия пульпы. Из наблюдений они сделали три вывода:

а) Максимальная мощность, потребляемая мельницей, является функцией сложных рабочих переменных;

б) Предыдущие модели (Бонд, 1961; Хогг и Фуэрстаней, 1972; Харрис *и др.*, 1985) не вполне соответствовали его наблюдаемому потреблению мощности во всем диапазоне скоростей и условий наполнения;

в) Пока движение мельницы не будет охарактеризовано математически, потребляемая ею мощность не может быть рассчитана реалистично.

При разработке более точной модели прогнозирования мощности Мойс (1993) вывел модель, которая объединила традиционную модель моментного рычага с тенденцией нагрузки к центрифугированию на высокой скорости, описывающую влияние конструкции подъемного стержня, скорости мельницы и ее коэффициента заполнения. Модель была основана на полуфеноменологическом понимании поведения мельницы и отражала нелинейную зависимость мощности мельницы от объема нагрузки J и скорости мельницы N как процента от критической скорости, а также влияние вязкости пульпы и конструкции футеровки были связаны с параметрами модели. Модель предполагает, что нагрузка делится на две части: одна, которая центрифугируется на высокой скорости, таким образом, не потребляя мощности, и другая - активная нецентрифугирующая часть нагрузки, потребляющая мощность в соответствии с моделью Бонда.

Автор модифицировал модель мощности Бонда 1961 года (вводя эффект центрифугирования, который уменьшает эффективный объем нагрузки) следующим образом:

$$P = K_2 D_{eff}^{23} \rho_L J_{eff} L (1 - \beta J_{eff}) N_{eff} \sin \alpha$$

Эффективный фракционный объем мельницы, заполненной шихтой, не являющейся центрифугирующей, определялся как:

$$J_{eff} = \frac{4V_{eff}}{\pi D_{eff}^2 L_{eff}}$$

Уменьшенный объем определяется как:

$$V_{eff} = \frac{J\pi D^2}{4} L - V_c; \quad V_c = \frac{\pi}{4} (D^2 - D_{eff}^2) L$$

$$D_{eff} = (1 - 2\delta_c) D$$

где δ_c — предполагаемая толщина центрифугированного слоя, которая также зависит от J и профиля лайнера.

Толщина центрифугируемого слоя (δ_c) была представлена следующей эмпирической формулой:

$$\delta_c = J^{\Delta J} e^{\frac{N_{100} - N}{\Delta N}}$$

При низкой скорости $\delta_c = 0$, и модель сводится к модели Бонда без эмпирического члена.

В 1993 году Морелл разработал теоретическое уравнение потребляемой мощности, рассмотрев три различных подхода, описывающих способ, с помощью которого мельница потребляет мощность: крутящий момент, создаваемый нагрузкой, баланс потенциальной и кинетической энергии и баланс сил трения.

Эти подходы предполагали, что после свободного полета энергия частиц не восстанавливалась мельницей. Автор поддержал этот аргумент на основе сделанных фотографий, которые показали, что в точке удара в носке траектории частиц были приблизительно радиальными и, следовательно, присутствовала небольшая тангенциальная составляющая.

Разработанные уравнения для подходов крутящего момента и силы трения были идентичны. Однако автор показал, что эти два подхода слишком упрощают условия фрезерования, не учитывая кинетическую энергию.

Чтобы обеспечить основу для разработки модели мощности промышленной мельницы для измельчения, Морелл использовал более полное уравнение на основе баланса энергии с учетом сброса через решетку и перелив. Автор экстраполировал уравнение мощности для простого барабанного сосуда, чтобы учесть эффекты, связанные с конструкцией машины, механизмов сброса через решетку и конической концевой секции. Сложность, связанная с моделью, заключается в ее применении в реальном мире.

Все разработанные модели, описывающие мощность мельницы, используют подход «сосредоточенных параметров»; поскольку такие эмпирические приближения неизбежны. Значительное количество параметров должно быть определено эмпирически для наилучшего использования этих моделей. По этой причине эти модели по-прежнему не способны адекватно учитывать влияние нескольких важных параметров, таких как конструкция футеровки, размер и форма сред, свойства футеровки и измельчающих сред, такие как коэффициент трения и восстановления, а также конструкция решетки.

В этом контексте Мишра и Раджаман (1992) отстаивали использование DEM (Метода дискретных элементов) в области переработки полезных ископаемых. Это использует преимущества технологических достижений, современных компьютеров и подходящих численных методов для оценки и моделирования пути и динамического равновесия каждого отдельного шара в загрузке. Это позволяет вычислять положение отдельных шаров в дискретные моменты времени при вращении мельницы. Методология была впервые предложена Кундаллом и Штраком в 1979 году в области механики грунтов; однако было установлено, что метод может быть применен к любой системе частиц.

Уравнение динамического равновесия для каждого отдельного шара можно записать в общем виде как:

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + C \frac{dx}{dt} + Kx = p$$

где M — масса, C — демпфирование, K — матрица жесткости, p — вектор силы x — вектор положения.

Уравнение 2.35 описывает движение системы шариков, где внутренние восстанавливающие силы обусловлены парой пружин, действующих на контакт как в нормальном, так и в сдвиговом направлении. Модель также включает аспекты движения заряда и потери энергии из-за трения и затухания. Чистая потеря мощности за период t в модели определяется как:

$$E = \sum_t \sum_n (F_d + F_f) dr$$

n — все контакты, t — время

F_d — работа, совершаемая диссипативными силами, F_f — сила трения.

С помощью DEM легко включить эффекты профиля футеровки, распределения размеров сред, объема загрузки, скорости мельницы, контактов между мелющими телами и футеровками мельницы. Таким образом, можно исследовать их влияние на поведение загрузки и мощность мельницы.

Ранние работы по моделированию включали двумерную аппроксимацию мельницы для сокращения времени вычислений и ограничений памяти, однако метод был усовершенствован до трехмерного в результате появления очень быстрых персональных компьютеров с большой памятью.

Adabiyotlar/Литература/References:

1. Hadfield, R. (1882). On the Properties of Manganese Steel. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 71(1), 123-148.
2. Кулешов, А. Н., Смирнов, И. В., Васильев, С. Ю. (2019). Абразивный износ: механизмы и влияние эксплуатационных факторов. Материалы в машиностроении, 12(4), 56-63.
3. Трофимов, А. В., Ершов, Н. А., Иванов, П. М. (2020). Влияние содержания хрома на стойкость хромистых чугунов. Металловедение и термообработка металлов, 62(2), 21-28.
4. Wang, H., Zhang, Y., Liu, X. (2018). Effect of Ceramic Reinforcement on the Wear Resistance of Metal-Matrix Composites. Journal of Materials Science, 53(10), 6892-6901.
5. Кондратенко, А. А., Петров, В. Г., Беляев, Д. А. (2021). Боросодержащие стали в условиях абразивно-ударного износа. Инженерный журнал, 45(3), 89-96.
6. Chatterjee, S., Kumar, R., Sharma, P. (2017). Surface Hardening Techniques and Their Applications in Wear-Resistant Components. Materials Performance, 56(6), 23-29.
7. Zhang, Q., Li, S., Wang, X. (2019). Influence of Rare Earth Elements on the Microstructure and Mechanical Properties of High-Manganese Steel. Journal of Alloys and Compounds, 785, 511-520.
8. Li, C., Zhou, Y., Zhu, J. (2020). Laser Surface Modification of High-Manganese Steel with Carbide Reinforcement for Enhanced Wear Resistance. Surface and Coatings Technology, 394, 125870.
9. Herzog, D., Seyda, V., Wycisk, E., Emmelmann, C. (2016). Additive Manufacturing of Metals. Acta Materialia, 117, 371-392.
10. Liew, R. K., Tan, Y. Q., Lee, J. H. (2021). Self-Lubricating Metal-Matrix Composites: Advances and Applications. Tribology International, 152, 106627.