

TECH SCIENCE

ISSN 3030-3702

**TEXNIKA FANLARINING
DOLZARB MASALALARI**

**TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL
SCIENCES**



№ 3 (3) 2025

TECHSCIENCE.UZ

№ 3 (3)-2025

**TEXNIKA FANLARINING DOLZARB
MASALALARI**

**TOPICAL ISSUES
OF TECHNICAL SCIENCES**

TOSHKENT-2025

BOSH MUHARRIR:

KARIMOV ULUG'BEK ORIFOVICH

TAHRIR HAY'ATI:

Usmankulov Alisher Kadirkulovich - Texnika fanlari doktori, professor, Jizzax politexnika universiteti

Fayziyev Xomitxon – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent arxitektura qurilish instituti;

Rashidov Yusuf Karimovich – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent arxitektura qurilish instituti;

Adizov Bobirjon Zamirovich– Texnika fanlari doktori, professor, O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti;

Abdunazarov Jamshid Nurmuxamatovich - Texnika fanlari doktori, dotsent, Jizzax politexnika universiteti;

Umarov Shavkat Isomiddinovich – Texnika fanlari doktori, dotsent, Jizzax politexnika universiteti;

Bozorov G'ayrat Rashidovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro muhandislik-texnologiya instiuti;

Maxmudov MUxtor Jamolovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro muhandislik-texnologiya instiuti;

Asatov Nurmuxammat Abdunazarovich – Texnika fanlari nomzodi, professor, Jizzax politexnika universiteti;

Mamayev G'ulom Ibroximovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Jizzax politexnika universiteti;

Ochilov Abduraxim Abdurasulovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Buxoro muhandislik-texnologiya instiuti.

OAK Ro'yxati

Mazkur jurnal O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasi Rayosatining 2025-yil 8-maydagi 370-son qarori bilan texnika fanlari bo'yicha ilmiy darajalar yuzasidan dissertatsiyalar asosiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM" mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika insituti.

**TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA
FANLARINING DOLZARB MASALALARI**
elektron jurnali 15.09.2023-yilda
130343-sonli guvohnoma bilan davlat
ro'yxatidan o'tkazilgan.

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik
Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.
Elektron manzil:
scienceproblems.uz@gmail.com

Barcha huqular himoyalangan.

© Sciencesproblems team, 2025-yil

© Mualliflar jamoasi, 2025-yil

MUNDARIJA

<i>Muxamediyeva Dildora, Abdiraximov Amriddin</i> MIYA O'SIMTALARINI MRI VA KT TASVIRLAR TO'PLAMLARINI SHAKLLANTIRISH HAMDA OLDINDAN ISHLOV BERISH	6-12
<i>Jo'rayev Zafar, Ruziyev Nodirbek</i> DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT MEDICAL ROBOT FOR ULTRASOUND DIAGNOSTIC STUDIES	13-19
<i>Nurullaev Mirkhon</i> ASSESSMENT OF CRYPTOGRAPHIC KEY GENERATION SYSTEMS USING DREAD AND STRIDE THREAT METHODOLOGIES	20-28
<i>Косимов Мухиддин</i> ПЕРСПЕКТИВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕДР С УЧЕТОМ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА ОЦЕНКИ ПОТЕРЬ И РАЗУБОЖИВАНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД	29-36
<i>Jumayev Odil, Xolov Abduaziz, Raxmatov Doston</i> O'LCHASH VOSITALARINI QIYOSLASH VA KALIBRLASH JARAYONINI DASTURIY TA'MINOT YORDAMIDA AVTOMATLASHRISHNING AHAMIYATI VA AFZALLIKLARI	37-42
<i>Sobirov Muzaffarjon, Abdijabborov G'Ayratjon</i> ENERGETIKA OBYEKTLARINI QOZON AGREGATLARINING ISH REJIMLARINI OPTIMAL BOSHQARISH TIZIMLARINI SINTEZI	43-47
<i>Жуманазаров Акмал, Эгамбердиев Илхом, Очилов Элбек, Очилов Улугбек</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ДВИЖЕНИЯ ИЗМЕЛЬЧАЕМОГО МАТЕРИАЛА В РАБОЧЕМ ПРОСТРАНСТВЕ МЕЛЬНИЦЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИЗНОС ДЕТАЛЕЙ ГОРНО-РАЗМОЛЬНЫХ МАШИН	48-57
<i>Кобулов Мухаммаджон</i> ЛОГИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЕРМИНАЛА И СКЛАДА	58-64
<i>Almataev Tojiboy, Zokirjonov Azizbek</i> A COMPARATIVE STUDY OF REGENERATIVE BRAKING EFFICIENCY BETWEEN AUTOMATED AND HUMAN DRIVEN ELECTRIC VEHICLES TO MINIMIZE BATTERY DEGRADATION	65-76
<i>Komilov Asror, Qodirov Tuyg'un</i> "TOSHSANARTRANSXIZMAT" JAMOAT TRANSPORTI BO'LINMALARI FAOLIYATINING SAMARADORLIGINI VAHOLASH: 2020–2023 YILLAR MISOLIDA	77-92
<i>Джаббарова Нигина</i> СЦЕНАРНАЯ ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ, УЩЕРБА И УЯЗВИМОСТИ ГОРОДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ С ПОМОЩЬЮ МНОГОСТОРОННЕГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	93-98

Axmedov Barxayot, Shukurova Karomat, Utegenova Mahliya, Saydullayeva Dildora
ME'MORIY OBIDALARDA UCHRAYDIGAN DEFEXT, SHIKASTLANISH VA DEFORMATSIYA
HOLATLARINING TAHLILI VA ULARNI QAYTA TIKLASHDAGI MUAMMOLAR..... 99-105

G'ulomov Islombek
EKOLOGIK MONITORING VA PROGNOZLASH
USULLARINI GAT ASOSIDA RIVOJLANTIRISH..... 106-116

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ДВИЖЕНИЯ ИЗМЕЛЬЧАЕМОГО МАТЕРИАЛА В РАБОЧЕМ ПРОСТРАНСТВЕ МЕЛЬНИЦЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИЗНОС ДЕТАЛЕЙ ГОРНО-РАЗМОЛЬНЫХ МАШИН

Жуманазаров Акмал

соискатель Навоиского государственного горно-металлургического университета,
PhD по техническим наукам,
Эл.почта: ar.jumanazarov@gmail.com

Эгамбердиев Илхом

заведующий кафедры "Локализация производственных процессов" Навоиского государственного горно-металлургического университета,
доктор технических наук, профессор,
Эл.почта: llkhom1997@mail.ru,
Тел: +998936124560

Очилов Элбек

ассистент кафедры "Инженерная механика" Навоиского государственного горно-металлургического университета,
Эл.почта: elbekoch@mail.ru,
Тел: +998905012142

Очилов Улугбек

докторант кафедры "Технология машиностроения" Навоиского государственного горно-металлургического университета,
Эл.почта: ulugbek_ochilov94@mail.ru,
Тел: +998915495655

Аннотация. В этом исследовании изучается динамика движения измельченного материала в рабочем пространстве мельницы и ее влияние на износ критических компонентов в горнодобывающих и измельчительных машинах. Понимание поведения потока и взаимодействия частиц в рабочих условиях имеет важное значение для повышения долговечности оборудования и эффективности процесса. Используя комбинацию методов моделирования и экспериментальных наблюдений, мы анализируем траектории, скорости и схемы столкновений измельченного материала. Особое внимание уделяется тому, как эти факторы влияют на механизмы износа, такие как истирание, удар и усталость футеровок. Результаты показывают отдельные зоны движения внутри мельницы, которые коррелируют с областями высокого износа, что дает представление об оптимизации параметров конструкции и выборе материалов. Это исследование способствует разработке более износостойких компонентов мельницы и увеличивает срок службы измельчительного оборудования в горнодобывающей промышленности.

Ключевые слова: процесс измельчения, поток материала, зоны мельницы, износ, горнодобывающая промышленность, моделирование, футеровка

STUDY OF THE NATURE OF MOVEMENT OF THE GRINDED MATERIAL IN THE WORKING SPACE OF THE MILL, AFFECTING THE WEAR OF PARTS OF MINING AND GRINDING MACHINES

Jumanazarov Akmal

PhD candidate of Navoi State Mining and Metallurgical University,
PhD in technical sciences,

Egamberdiev Ilkhom

Head of the Department of "Localization of Production Processes" of Navoi State Mining and Metallurgical University,
Doctor of Technical Sciences, Professor,

Ochilov Elbek

Assistant of the Department of "Engineering Mechanics" of Navoi State Mining and Metallurgical University,

Ochilov Ulugbek

Doctoral candidate of the Department of "Mechanical Engineering Technology" of Navoi State Mining and Metallurgical University,

Abstract. This study investigates the dynamics of crushed material movement within the mill's working chamber and its impact on the wear of critical components in mining and grinding machines. Understanding flow behavior and particle interactions under operating conditions is essential for enhancing equipment longevity and process efficiency. Using a combination of modeling methods and experimental observations, we analyze the trajectories, velocities, and collision patterns of crushed material. Special focus is given to how these factors influence wear mechanisms such as abrasion, impact, and fatigue of liners. The results identify specific motion zones within the mill that correlate with areas of high wear, providing insights for optimizing design parameters and material selection. This research supports the development of more wear-resistant mill components and extends the service life of grinding equipment in the mining industry.

Keywords: grinding process, material flow, mill zones, wear, mining industry, modeling, liners

DOI: <https://doi.org/10.47390/issn3030-3702v3i3y2025N07>

Введение

В горнодобывающей промышленности мельницы играют важную роль в измельчении руды до более мелких частиц, необходимых для последующей обработки. В процессе измельчения перемещение измельченного материала в рабочем пространстве мельницы создает сложные динамические взаимодействия между частицами и компонентами машины. Эти взаимодействия существенно влияют на износ внутренних деталей, таких как футеровки, подъемники и мелющие тела. Чрезмерный износ не только увеличивает расходы на техническое обслуживание и время простоя машины, но также влияет на эффективность измельчения и качество продукции. Понимание природы потока материала и его механического воздействия на компоненты мельницы имеет важное значение для оптимизации как конструктивных, так и эксплуатационных параметров. Традиционные эмпирические подходы к изучению износа все чаще дополняются численным моделированием и имитацией, что позволяет проводить более подробный анализ траекторий частиц, ударных сил и поведения материала в условиях изменяющейся нагрузки. В частности, моделирование с использованием метода дискретных элементов (DEM) стало мощным инструментом для визуализации и количественной оценки внутренней динамики процесса измельчения. В этой статье представлено комплексное исследование

характеристик движения измельченного материала во вращающейся мельнице и дана оценка того, как эти движения влияют на износ деталей машины. Объединяя результаты моделирования с экспериментальными данными, исследование выявляет зоны высокого износа.

Цель этих результатов — повысить надежность и производительность систем измельчения в горнодобывающей промышленности.

Изучение динамики частиц и механизмов износа в мельницах привлекло значительное внимание исследователей, стремящихся оптимизировать производительность мельниц и снизить износ компонентов. Было проведено множество исследований, как экспериментальных, так и вычислительных, чтобы лучше понять, как измельченный материал ведет себя внутри мельниц и как это влияет на срок службы внутренних деталей.

Мишра и Раджамани [1] представили метод дискретных элементов (DEM) для моделирования движения мелющих тел и частиц руды в шаровых мельницах. Их работа заложила основу для численного моделирования динамики частиц, что позволило исследователям визуализировать сложные взаимодействия, которые способствуют износу компонентов. Клири [2] расширил это, используя моделирование DEM для анализа поведения заряда и энергопотребления в мельницах в различных условиях. Он показал, что геометрия футеровки и скорость мельницы существенно влияют на траектории частиц, которые напрямую влияют на характер износа футеровки. Таварес и Кинг [3] изучали поведение разрушения отдельных частиц при ударной нагрузке, предоставляя информацию о том, как разрушение частиц влияет на эффективность измельчения и износ оборудования. Их работа способствовала лучшему пониманию механизмов передачи энергии в процессе измельчения. Датта и Раджамани [4] разработали вычислительную модель для движения шихты в шаровых мельницах, связывая силы удара и частоту столкновений с зонами износа. Их выводы подтвердили существование отдельных областей удара, связанных с ускоренным износом футеровок и подъемников. Ван и Сюй [5] сосредоточились на проблемах износа в мельницах полусамоизмельчения (SAG).

Они проанализировали закономерности износа футеровки и предложили изменения в конструкции и работе мельницы для продления срока службы футеровки и сокращения времени простоя. Ройстон [6] провел полевые испытания износа в мельницах SAG и определил ключевые факторы, такие как твердость руды, состав измельчающих сред и скорость мельницы, как основные факторы, влияющие на скорость износа. Его практический подход объединил эксплуатационные данные с материаловедением для руководства по выбору футеровки. Джорджевич [7] интегрировал DEM и модели разрушения для исследования закономерностей разрушения и их роли в рассеивании энергии и износе компонентов. Его моделирование помогло предсказать не только износ, но и распределение размеров продукта. Пауэлл и др. [8] исследовали влияние профиля футеровки мельницы на траекторию движения измельчаемой загрузки. Их работа показала, что изменение конструкции футеровки может изменить механизм передачи энергии и уменьшить локальный износ. Говендер и др. [9] усовершенствовали мультифизическое моделирование, включив как механические, так и термические аспекты взаимодействия частиц с футеровкой.

Этот комплексный подход дал более полную картину эволюции износа с течением времени. Дюран и Олссон [10] использовали 3D-визуализацию высокого разрешения и лабораторные испытания для корреляции глубины износа с конкретными областями воздействия частиц, подтверждая прогнозы, сделанные с помощью численного моделирования [11-15].

Эти исследования в совокупности иллюстрируют важность понимания динамики потока материала в мельницах. Интеграция моделирования DEM с эмпирическими данными оказалась особенно эффективной при выявлении зон высокого износа и предложении улучшений конструкции или эксплуатации. Текущее исследование строится на этой основе, изучая движение измельченного материала в полномасштабной среде мельницы и связывая его напрямую с наблюдаемыми моделями износа на таких компонентах, как футеровки и подъемники.

Методология

Для исследования характера движения частиц в рабочем пространстве мельницы и его влияния на механизмы износа внутренних компонентов мы использовали подход численного моделирования с использованием метода дискретных элементов (DEM), реализованного в программном обеспечении Rocky DEM.

1. Геометрическое моделирование мельницы

Внутренняя геометрия типичной промышленной шаровой мельницы была воссоздана в 3D CAD в SolidWorks и импортирована в Rocky DEM. Модель включала в себя геометрию подъемников, оболочки и торцевых стенок, которые отражают реальные физические условия чувствительных к износу компонентов. Размеры камеры, количество и форма подъемников, а также скорость вращения мельницы были основаны на промышленных параметрах. Но из-за вычислительных сложностей, геометрия была упрощена.

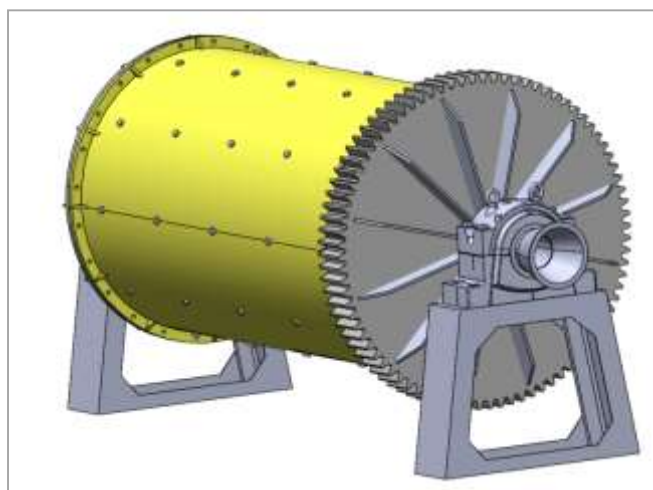


Рис.1. CAD модель шаровой мельницы

2. Свойства материалов и частиц

Для моделирования кинематики и динамики движения дробленого материала в рабочем объеме мельницы использовались многогранные частицы, обладающие геометрической сложностью, способной адекватно воспроизвести реальные условия межчастичного взаимодействия и распределения ударных нагрузок. Применение

данной формы частиц позволяет обеспечить более точное моделирование механизмов накопления энергии, сегрегации и истирания, что особенно важно при анализе процессов износа.

Физико-механические характеристики моделируемого материала были определены на основании данных, полученных в результате испытаний и анализа соответствующей научной литературы. Плотность материала составляла 2650 кг/м^3 , что соответствует типичным значениям для силикатных пород средней твёрдости. Модуль Юнга был принят равным 50 МПа , отражая упругопластическое поведение дроблёного материала при кратковременных контактных взаимодействиях. Коэффициент Пуассона составлял $0,25$, что является усреднённым значением для минеральных зерен, обладающих внутренней микротрещиноватостью. Коэффициенты трения между частицами, а также между частицами и элементами конструкции мельницы были заданы с учётом шероховатости поверхностей и особенностей контактного взаимодействия где статический коэффициент трения равна $0,6$ и динамический коэффициент трения равна $0,5$. Коэффициент восстановления (коэффициент упругости столкновений) был установлен на уровне $0,35$, что отражает частичное сохранение кинетической энергии при соударениях и учитывает эффект деформационного гашения при высокочастотных контактах.

Таблица 1. Вводные данные

Параметр	Обозначение	Значение	Единицы измерения	Примечание
Плотность материала	ρ	2 650	кг/м^3	Для силикатных пород средней твёрдости
Модуль Юнга	E	50	МПа	Упругопластическое поведение при кратковременных контактах
Коэффициент Пуассона	ν	0,25	–	Усреднённое значение для минералов с микротрещиноватостью
Статический коэффициент трения	$\mu_{\text{ст}}$	0,6	–	Между частицами и между частицами и стенками мельницы
Динамический коэффициент трения	$\mu_{\text{дин}}$	0,5	–	Учёт относительного скольжения
Коэффициент восстановления (упругости столкнов.)	e	0,35	–	Учитывает частичное сохранение кинетической энергии

3. Настройка моделирования

Численное моделирование процессов движения дроблёного материала в рабочем пространстве мельницы проводилось в условиях установившегося

стационарного режима, соответствующего типичной промышленной эксплуатации оборудования. Геометрическая модель вращающейся барабанной мельницы, включая конфигурацию лифтеров, внутренние обечайки и торцевые стенки, была реализована на основе инженерной документации и импортирована в программную среду Rocky DEM. Рабочие параметры моделирования были заданы следующим образом: уровень заполнения активной зоны мельницы материалом составлял 40 % от общего объёма камеры, скорость вращения барабана была установлена на уровне 75 % от критической скорости. Длительность расчёта выбиралась с таким расчётом, чтобы достичь установившегося состояния движения частиц, при котором кинематические и динамические характеристики потока стабилизировались во времени. Такой подход позволяет обеспечить статистическую достоверность полученных результатов, отражающих реальную природу взаимодействия материала с элементами конструкции мельницы.

В рамках моделирования была активирована запись следующих параметров: пространственно-временное распределение скоростей частиц, карта интенсивности соударений, контактные силы, а также данные об энергозатратах при столкновениях и трении. Эти данные легли в основу последующего анализа закономерностей изнашивания внутренних поверхностей мельницы.

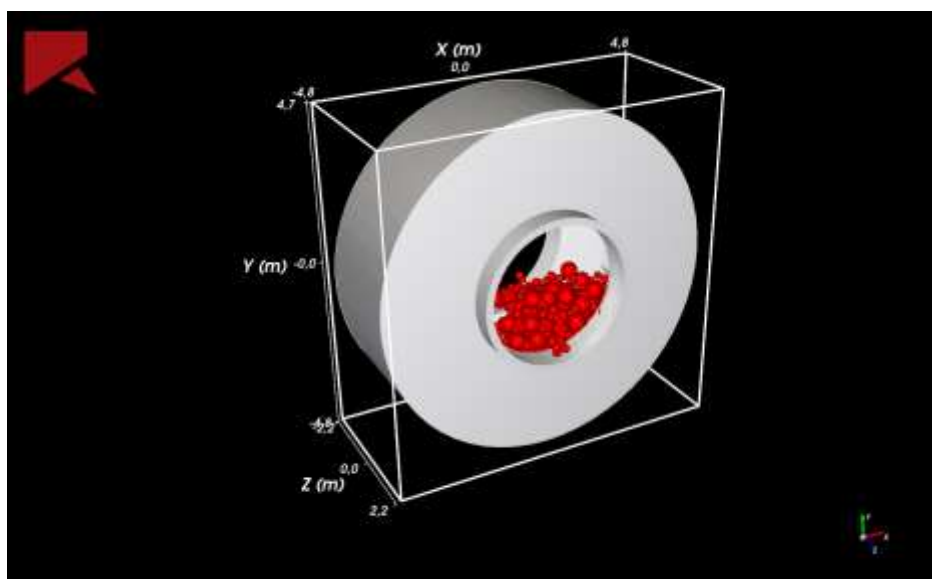


Рис.2. Симуляция загрузки частиц в мельницу

4. Граничные условия и модели контакта

Модель контакта Герца-Миндлина (без проскальзывания) была выбрана для учета как нормальных, так и тангенциальных сил во время столкновений. Механизмы рассеивания энергии из-за удара и трения скольжения были включены для отражения реалистичных потерь энергии во время измельчения.

5. Моделирование прогнозирования износа

Используя закон износа Арчарда, была получена предварительная оценка скорости износа на основе локальной энергии удара и скорости скольжения с течением времени:

$$\text{Объем износа} = \frac{K \cdot F_n \cdot s}{H}$$

где K — коэффициент износа, F_n — нормальная сила, s — расстояние скольжения, а H — твердость материала. Для визуализации и сравнения на поверхности мельницы была нанесена локальная интенсивность износа

Результаты

Результаты численного моделирования позволили получить пространственно-временные характеристики движения и взаимодействия твёрдых частиц в рабочем объёме барабанной мельницы, включая интенсивность ударных и сдвиговых воздействий, а также характер распределения контактных сил. Рисунок 3 представляет движения шаров и фрагментов породы внутри мельницы в момент активного каскадирования.

Цветовая шкала демонстрирует интенсивность ударных воздействий на внутренние поверхности, выраженную в Вт/м². Наибольшие значения (до ~7 000 Вт/м²) наблюдаются в центральной зоне траектории падения шаров, что свидетельствует о высокой вероятности абразивного и ударного износа в этих областях.

Сами шары демонстрируют высокую кинетическую энергию, в то время как порода локализована ближе к стенкам барабана, формируя зону накопления. Также, рисунок 4 иллюстрирует стадию, соответствующую более плотной укладке материала и минимальному подъёму частиц. Здесь интенсивность ударов достигает пиковых значений свыше 65 000 Вт/м², что связано с концентрированным воздействием в нижней части барабана, особенно при движении тяжёлых шаров. Такие локальные перегрузки могут ускорять развитие износа, особенно в зонах, прилегающих к торцевым стенкам и кромкам лифтеров. В свою очередь, рисунок 5 демонстрирует распределение сдвиговой интенсивности (shear intensity) на поверхности внутренних компонентов мельницы.

Максимальные значения (до 3 400 Вт/м²) отмечаются вблизи оснований лифтеров и в зонах контакта материала с корпусом, что коррелирует с зонами повышенного истирания. Анализ показывает, что сдвиговые напряжения играют ключевую роль в механизмах изнашивания, особенно в условиях частичного скольжения и обкатки частиц. Результаты моделирования позволили выделить критические зоны воздействия и установить количественные характеристики локального перенапряжения, оказывающего решающее влияние на деградацию элементов конструкции мельницы. Полученные данные могут быть использованы как основа для разработки оптимальных схем футеровки, подбора материалов и проектирования износостойких элементов.

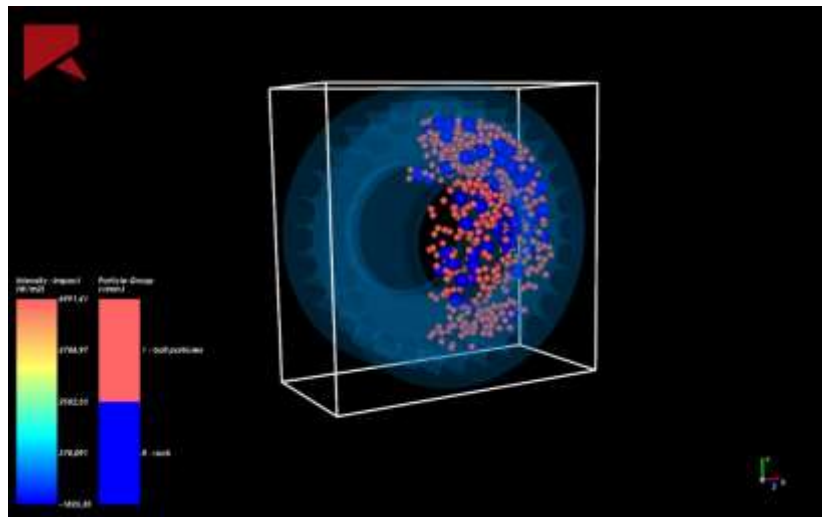


Рис.3. Движения шаров и фрагментов породы внутри мельницы

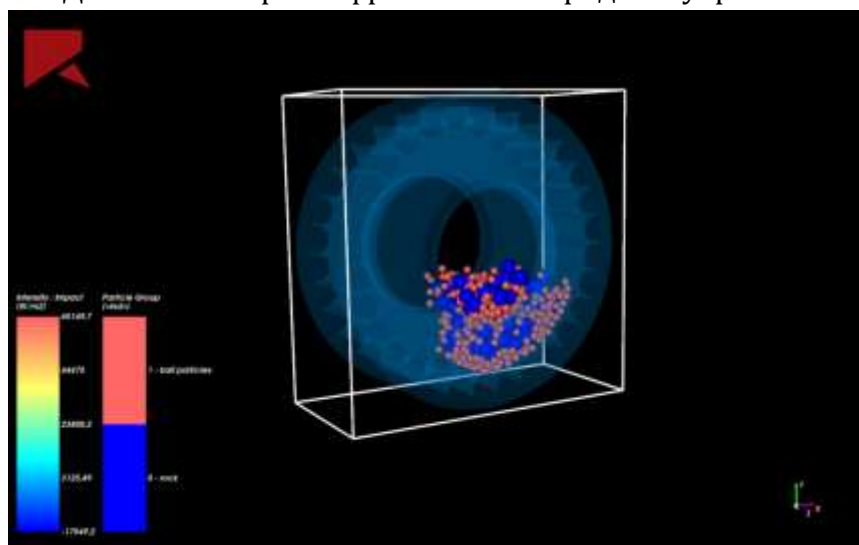


Рис.4. Минимальный подъем частиц

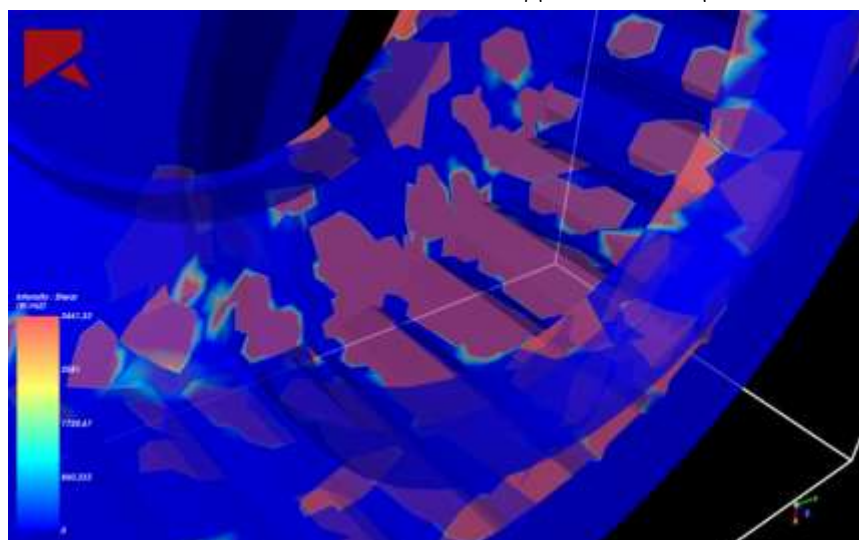


Рис.5. Распределение сдвиговой интенсивности

Заключение

В настоящем исследовании проведено численное моделирование движения дроблёного материала и тел измельчения в рабочем объёме барабанной мельницы с использованием метода дискретных элементов (DEM) в среде Rocky DEM. Особое внимание уделено анализу интенсивности ударных и сдвиговых воздействий,

оказывающих определяющее влияние на износ элементов конструкции — футеровки, лифтеров и торцевых стенок. Результаты моделирования позволили:

- установить характерные режимы движения материала при различных условиях заполнения и вращения мельницы;
- выделить критические зоны с повышенной концентрацией энергии соударений и сдвиговых напряжений;
- картировать распределение механических воздействий по внутренней поверхности мельницы;
- подтвердить значимость локальных перегрузок как ключевого фактора абразивного и ударного износа;
- предложить основу для дальнейшей оптимизации конструктивных решений и выбора износостойких материалов.

Проведённый численный анализ продемонстрировал высокую эффективность применения DEM-моделирования как инструмента для прогнозирования зон интенсивного износа и разработки инженерных решений, направленных на повышение надёжности и ресурса работы горнодобывающего и помольного оборудования. В перспективе планируется экспериментальная верификация полученных результатов и расширение модели с учётом температурных и влажностных факторов, а также изучение влияния различных геометрий лифтеров на структуру потока материала.

Adabiyotlar/Literatura/References:

1. Mishra, B. K., & Rajamani, R. K. (1992). The discrete element method for the simulation of ball mills. *Applied Mathematical Modelling*, 16(11), 598–604.
2. Cleary, P. W. (2001). Charge behaviour and power consumption in ball mills: Sensitivity to mill operating conditions, liner geometry and charge composition. *International Journal of Mineral Processing*, 63(2), 79–114.
3. Tavares, L. M., & King, R. P. (1998). Single particle fracture under impact loading. *International Journal of Mineral Processing*, 54(1-2), 1–28.
4. Datta, A., & Rajamani, R. K. (2002). Simulation of charge motion in ball mills. *Powder Technology*, 124(3), 210–221.
5. Wang, Y., & Xu, L. (2017). Study on wear and methods of improving liner life in SAG mills. *Wear*, 376-377, 1932–1937.
6. Royston, D. (2000). Design and implementation of advanced wear-resistant materials in SAG mill liners. *Mining Engineering*, 52(4), 43–48.
7. Djordjevic, N. (2004). The effect of mill speed and filling on the behavior of the mill charge. *Minerals Engineering*, 17(1), 11–20.
8. Powell, M. S., McBride, A., Morrison, R. D., & Cleary, P. W. (2004). Liner wear in dry ball milling by DEM analysis. *Minerals Engineering*, 17(11-12), 1095–1102.
9. Govender, I., Wilke, D. N., & Mainza, A. N. (2015). DEM–CFD modelling of particle flow in fluid environments. *Minerals Engineering*, 72, 116–121.
10. Durán, M. J., & Olsson, M. (2019). High-resolution wear characterisation of mill liners using 3D scanning. *Wear*, 428–429, 26–34.
11. Жуманазаров А.Р., Эгамбердиев И.П., Очилов У.Ю. Разработка модели дискретных элементов для шаровых мельниц. *Proceedings of the v-international conference on integrated innovative development of zarafshan region: achievements, challenges and prospects. 2024. Vol.2. 11-12 p.*

12. Жуманазаров А.Р., Эгамбердиев И.П., Очиллов У.Ю. Влияние объема суспензии на процесс измельчения вращающейся мельницы с использованием мультиметодного подхода и анализа параметров. Proceedings of the v-international conference on integrated innovative development of zarafshan region: achievements, challenges and prospects. 2024. Vol.2. 17-18 p.
13. N. Karimova, U. Ochilov, Sh. Yakhshiev I. Egamberdiev, Predictive maintenance of cutting tools using artificial neural networks, XIV International Conference on Transport Infrastructure: Territory Development and Sustainability (TITDS-XIV-2023). 2023.
14. Sh. Yakhshiev, E. Egamberdiev, A. Mamadiyarov, Kh. Ashurov, N. Khamroev, Research on Engineering Structures and Materials 9(1), 163-179, 2023.
15. N. Karimova, U. Ochilov, O. Tuyboyov, Sh. Yakhshiev, I. Egamberdiev, Advanced surface roughness characterization using 3D scanning technologies and YOLOv4, IV International Conference on Geotechnology, Mining and Rational Use of Natural Resources, GEOTECH-2024

ISSN: 3030-3702 (Online)
САЙТ: <https://techscience.uz>

TECHSCIENCE.UZ

**TEXNIKA FANLARINING DOLZARB
MASALALARI**

№ 3 (3)-2025

TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL SCIENCES

**TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA
FANLARINING DOLZARB MASALALARI**
elektron jurnali 15.09.2023-yilda 130343-
sonli guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan
o'tkazilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM"
mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika insituti.

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik
Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.

Elektron manzil:

scienceproblems.uz@gmail.com