ISNN 3030-3907

2026/3
VOLUME 8

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/3 VOLUME 8

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

обогатит наше понимание истории медицинской науки, но и предложит практические идеи для развития точного, культурно адаптированного медицинского языка в современных системах здравоохранения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абу Али ибн Сина. Канон врачебной науки. Книга третья, часть вторая, 2015.
2. Avicenna, 1987. Qanoun fi al-Tibb (The Canon of Medicine). Translated by A. Sharafkandi. Tehran: Soroush Press. [in Persian].
3. Akhmedov, I. R. (2015). Linguistic Analysis of Classical Medical Texts in Central Asia: The Case of Ibn Sina's Canon of Medicine. Russian Journal of Linguistic Studies, 48(2), 98-107.
4. Ismailov, N. T., & Rakhimov, A. R. (2019). The Role of Ibn Sina in Shaping Medical Discourse in the TurkicIslamic World. Tashkent State University Press.
5. Galen, A. (2nd Century). On the Usefulness of the Parts of the Body. Greek Texts of Medical Literature.
6. Nuriddinov, B. S., & Karimov, A. M. (2013). Ibn Sina's Influence on the Development of Medical Terminology in the Arabic World and Beyond. Bukhara State University Press.

ISSN 3030-3907

РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ ДВИЖЕНИЯ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ В БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦАХ

Акмал Жуманазаров

Генеральный директор Узбекского Агентства по техническому регулированию при Кабинете Министров Республики Узбекистан

доктор философии по техническим наукам PhD

E-mail: ar.jumanazarov@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрены конструктивные особенности ударно-изнашиваемых узлов горно-размольных машин, работающих в условиях интенсивных динамических и абразивных нагрузок. Основное внимание уделено анализу взаимодействия мелющих тел, футеровки и измельчаемого материала в барабанных мельницах. Для исследования движения шаров и контактных сил использован метод дискретных элементов (DEM), реализованный в программной среде ROCKY. Разработана расчетная схема, позволяющая определить распределение ударных нагрузок, контактных напряжений и зон максимального износа. Показано, что геометрические параметры мельницы, размер и плотность шаров, коэффициенты трения и режим вращения существенно влияют на интенсивность разрушения рабочих поверхностей. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и совершенствовании ударно-изнашиваемых узлов горно-размольного оборудования с целью повышения их долговечности и эксплуатационной надежности.

Ключевые слова: горно-размольные машины, шаровая мельница, ударный износ, футеровка, мелющие тела, метод дискретных элементов, DEM-моделирование, контактные силы, барабанная мельница, изнашивание.

Annotatsiya. Maqolada tog‘-kon va maydalash mashinalarining kuchli dinamik hamda abraziv yuklamalar ta’sirida ishlovchi zarbali-yeyiluvchi uzellarining konstruktiv xususiyatlari tahlil qilingan. Asosiy e’tibor barabanli tegirmonlarda maydalovchi sharlar, futеровка va maydalanuvchi materialning o‘zaro ta’sirini o‘rganishga qaratilgan. Sharlarning harakati va kontakt kuchlarini aniqlash uchun ROCKY dasturiy muhitida amalga oshirilgan diskret elementlar usuli (DEM) qo‘llanilgan. Ishlab chiqilgan hisoblash sxemasi zarba yuklamalari, kontakt kuchlanishlari va eng katta yeyilish zonalarining taqsimotini aniqlash imkonini beradi. Tadqiqot natijalari tegirmonning geometrik parametrlari, sharlar o‘lchami va zichligi, ishqalanish koeffitsienti hamda aylanish rejimi ishchi yuzalarning yemirilish jadalligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishini ko‘rsatdi. Olingan natijalar tog‘-kon va maydalash uskunalarining zarbali-yeyiluvchi uzellarini loyihalash va

ISSN 3030-3907

takomillashtirishda, ularning xizmat muddatini va ishonchliligini oshirishda qo‘llanilishi mumkin.

Kalit so‘zlar: tog‘-kon va maydalash mashinalari, sharli tegirmon, zarbali yeyilish, футеровка, maydalovchi sharlar, diskret elementlar usuli, DEM-modellashtirish, kontakt kuchlari, barabanli tegirmon, yeyilish.

Abstract. The article examines the design features of impact-wear units in mining and grinding machines operating under intensive dynamic and abrasive loads. Particular attention is paid to the interaction between grinding media, lining, and processed material in drum mills. The Discrete Element Method (DEM), implemented in the ROCKY software environment, was used to study the motion of grinding balls and the resulting contact forces. A computational model was developed to determine the distribution of impact loads, contact stresses, and areas of maximum wear. The results show that the mill geometry, ball size and density, friction coefficients, and rotational speed significantly affect the rate of wear and destruction of working surfaces. The obtained findings can be applied in the design and improvement of impact-wear units of mining and grinding equipment in order to increase their durability and operational reliability.

Keywords:mining and grinding machines, ball mill, impact wear, lining, grinding media, Discrete Element Method, DEM modeling, contact forces, drum mill, wear resistance.

ВВЕДЕНИЕ.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДА

Метод дискретных элементов применяется для численного описания движения и взаимодействия совокупности отдельных частиц в динамических системах, к которым относится и шаровая мельница. В основе данного подхода лежит использование контактных моделей, позволяющих с высокой точностью определять силы взаимодействия между частицами в процессе их относительного движения и соударений.

В рамках настоящего исследования на базе метода дискретных элементов была разработана и реализована вычислительная схема в программной среде ROCKY, предназначенная для анализа движения загрузки внутри мельницы и расчета контактных сил между шарами и внутренней поверхностью барабана. Численная модель мельницы включала два ключевых компонента. Первый из них — геометрический, описывающий форму поверхностей, с которыми взаимодействуют измельчающие тела (рис. 6а). Второй компонент — контактная модель, определяющая характер взаимодействия между отдельными частицами, а также между частицами и стенками барабана (рис. 6б).

ISSN 3030-3907

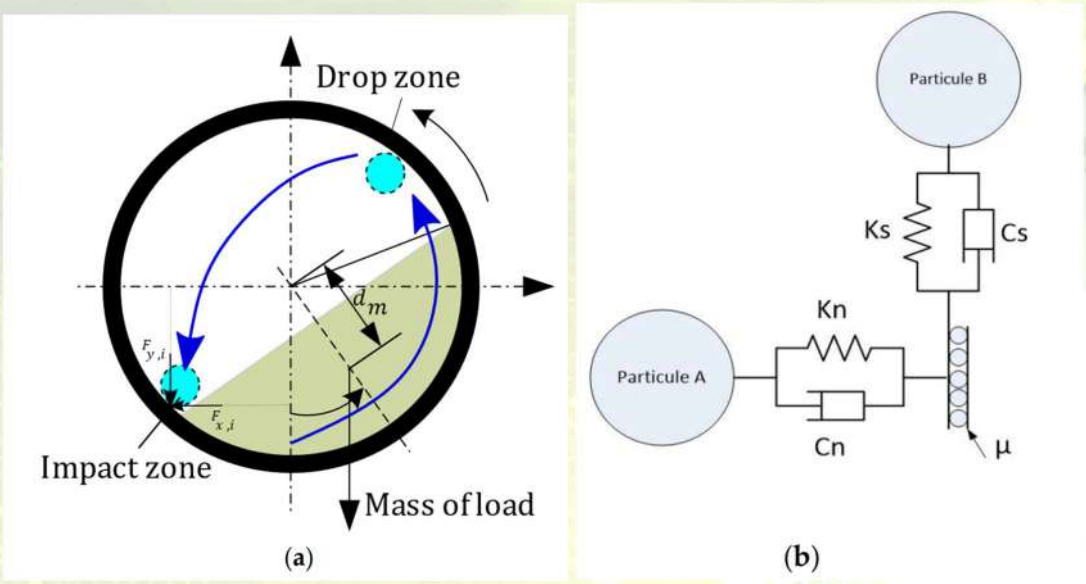


Рисунок - 6. Дискретно-элементное моделирование шаровой мельницы: (а) профиль движения нагрузки внутри шаровой мельницы; (б) контактная модель.

При моделировании рассматривались три типа элементов: сферические тела, представляющие измельчающие шары; треугольные поверхностные элементы, используемые для описания футеровки оболочки мельницы; а также плоские элементы, моделирующие торцевые стенки барабана.

Движение каждой частицы в системе описывается на основе второго закона Ньютона. Контактная линейная модель, схематично представленная на рис. 6б, используется для вычисления сил, действующих на каждую отдельную частицу. В задачах моделирования шаровых мельниц такие частицы, как правило, аппроксимируются сферами, соответствующими измельчающим шарам.

Каждая сферическая частица *j* характеризуется следующими наборами параметров: (i) кинематическими и динамическими характеристиками состояния, включающими положение центра x_{bj}, линейную скорость $\dot{x}_{bj}$, угловую скорость ω_{bj}, линейное ускорение $\ddot{x}_{bj}$, угловое ускорение ω_{bj}, результирующую силу F_{bj}, приложенную к центру массы, а также момент сил M_{bj}; (ii) геометрическими параметрами, такими как диаметр d_{bj} или радиус r_{bj}; (iii) физико-механическими свойствами материала, включая плотность ρ_{bj} и параметры контактного взаимодействия.

Поступательное и вращательное движение сферических частиц в пространстве определяется системой уравнений второго закона Ньютона:

$$\begin{cases} m_{bj}\ddot{x}_{bj} = F_{bj} \\ I_{bj}\dot{\omega}_{bj} = M_{bj} \end{cases}$$

ISSN 3030-3907

где масса частицы определяется выраже

$$m_{bj} = \frac{4}{3}\pi\rho_{bj}r_{bj}^3$$

а её момент инерции относительно центра равен

$$I_{bj} = \frac{2}{5}m_{bj}r_{bj}^2.$$

Силы F_{bj} в данных уравнениях представляют собой механические контактные силы, возникающие при взаимодействии частиц между собой и с поверхностями барабана. Для упругих частиц эти силы рассчитывались с использованием классической теории контактного взаимодействия, что обеспечивало адекватное описание соударений и передачи импульса в процессе работы мельницы.

§ - 2.5 Математическая модель взаимодействия мелющих тел с измельчаемым материалом

§ - 2.5.1 Модель контактного взаимодействия частиц

Взаимодействие между измельчающими шарами и внутренней поверхностью барабана мельницы описывалось с использованием адекватного закона контакта. В расчетной схеме учитывалось влияние силы тяжести, а также эффекты сухого трения. Для определения нормальных и касательных контактных усилий применялась линейная контактная модель [29].

Нормальная составляющая контактной силы F_n определялась на основе относительного нормального сближения δ_n, возникающего при взаимодействии сферической частицы с контактной поверхностью. Соответствующее выражение имеет вид:

$$F_n = K_n\delta_n + \eta_n\frac{d\delta_n}{dt},$$

где K_n и η_n представляют собой коэффициенты жесткости и вязкого демпфирования в нормальном направлении соответственно.

Касательная составляющая контактной силы F_s задавалась следующим соотношением:

$$F_s = \min\left(\mu F_n, K_s\int v_s dt + \eta_s v_s\right),$$

где μF_n соответствует силе сухого трения с коэффициентом трения μ\muμ, действующим между контактирующими телами. Вторая часть выражения учитывает упругую и вязкую составляющие в касательном направлении, причем результирующая касательная сила не может превышать предельное значение, определяемое законом Кулона. Величина ηs обозначает

ISSN 3030-3907

коэффициент вязкого демпфирования в касательном направлении, а v_s — относительную скорость скольжения.

Набор параметров, использованных при численном моделировании шаровой мельницы методом дискретных элементов, приведён в таблице 5.

«Таблица 5.»

Параметры численного моделирования:

Параметр	Обозначение	Значение	Ед. изм.
Радиус шаров	(Ri)	50	mm
Плотность шаров	ρ	7640	kg/m^3
Плотность футеровки мельницы	ρ	7640	kg/m^3
Коэффициент трения (шар–футеровка)	$(\mu 1)$	0.30	—
Коэффициент трения (шар–шар)	$(\mu 2)$	0.30	—
Коэффициент восстановления	$(e1)$	0.75	—
Коэффициент восстановления (шар–футеровка)	$(e2)$	0.75	—
Диаметр мельницы	(D)	0.80	M
Ширина мельницы	(L)	0.40	M
Нормальная жесткость контакта	(Kn)	(10^6)	N/m
Касательная жесткость контакта	(Ks)	(10^6)	N/m
Коэффициент нормального демпфирования	η_n	(10^6)	$N \cdot s/m$
Коэффициент касательного демпфирования	η_s	(10^6)	$N \cdot s/m$

Уравнения движения частиц, заданные ранее уравнением, решались численно с использованием явной схемы интегрирования типа *Leapfrog*, реализованной в программной среде ROCKY. Алгоритм интегрирования описывается следующими соотношениями:

$$\begin{cases} \dot{q}\left(t+\frac{\delta t}{2}\right) = \dot{q}\left(t-\frac{\delta t}{2}\right) + \ddot{q}(t)\delta t \\ q(t+\delta t) = q(t) + \dot{q}\left(t+\frac{\delta t}{2}\right)\delta t \end{cases},$$

где q — обобщённый вектор координат центров масс частиц, δt — постоянный шаг интегрирования по времени, а t — текущий момент времени. Данная схема является условно устойчивой, поэтому для обеспечения численной стабильности шаг интегрирования должен быть меньше критического значения δt_{cr}, определяемого выражением:

ISSN 3030-3907

$$\delta t_{cr} = \frac{2}{\omega_{max}}$$

где ω_{max} — наибольшая собственная частота, присутствующая в системе [30].

Использование данного интегрального алгоритма позволило корректно описать динамику движения частиц и процессы контактного взаимодействия в шаровой мельнице при различных режимах работы.

§ - 2.5. Численные методы решения и программная реализация моделей. Уравнения движения системы

Все элементы, описанные в предыдущих подразделах, были объединены в единую конечно-элементную модель трансмиссионной системы. В результате полученная расчетная схема описывается системой из 24 дифференциальных уравнений второго порядка, что соответствует 24 степеням свободы, определённым при моделировании валов в разделе 3.1.2. Динамическое поведение системы в общем виде может быть представлено матричным уравнением:

$$[M]\ddot{X} + [C]\dot{X} + [K]X = F_{BM}(t) + F_{ext}(t),$$

где $Fext(t)$ — вектор внешних воздействий, прикладываемых к редуктору. Он включает в себя приводной крутящий момент электродвигателя $C_M(t)$ и момент сопротивления со стороны мельницы $CR(t)$. Вектор $FBM(t)$ описывает силы, передаваемые от шаровой мельницы на трансмиссию.

Вектор сил, обусловленных действием измельчающих шаров на барабан мельницы, имеет следующую структуру:

$$F_{BM}(t) = \begin{bmatrix} zeros(1,21) \\ F_{BMx}(t) \\ F_{BM_y}(t) \\ zeros(1,1) \end{bmatrix}$$

в то время как вектор внешних моментов может быть записан в виде:

$$F_{ext}(t) = \begin{bmatrix} zeros(1,2) \\ C_M(t) \\ zeros(1,18) \\ C_R(t) \end{bmatrix}$$

Компоненты $F_{BM}x(t)$ и FBMy(t) представляют собой сосредоточенные силы, соответствующие результирующим нагрузкам, создаваемым измельчающими шарами на барабан мельницы в направлениях осей x и y. Эти величины вычислялись отдельно с использованием программного обеспечения ROCKY на основе дискретно-элементного моделирования.

ISSN 3030-3907

Матрицы [M] и [K] размерности 24×24 являются соответственно глобальными матрицами масс и жесткости редуктора, полученными путем сборки элементарных матриц всех компонентов системы. Вектор {X} размерности 24×124 содержит обобщённые координаты, соответствующие степеням свободы всей модели. Глобальная матрица демпфирования [C] также имеет размерность 24×24 и формировалась по пропорциональному закону Релея:

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K],$$

где α и β — вещественные коэффициенты, подобранные таким образом, чтобы характер демпфирования соответствовал вязкой модели. В соответствии с рекомендациями [31], интеграционные схемы при значениях α=1/2 и β=1/4 обладают безусловной устойчивостью.

Решение системы уравнений движения осуществлялось с использованием стандартной временной схемы интегрирования Ньюмарка. В рассматриваемой постановке задачи приводной момент C_M, момент сопротивления мельницы C_R и угловая скорость вращения N_r принимались постоянными. Единственным переменным воздействием во времени являлись контактные силы между шарами и барабаном мельницы, полученные в результате дискретно-элементного моделирования.

С учетом параметров зубчатой передачи, приведенных в таблице 3, численное решение уравнения (18) выполнялось в программной среде MATLAB, что позволило проанализировать динамический отклик редуктора при реальных режимах нагружения со стороны шаровой мельницы.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

1. Выбрана и обоснована методология исследования ударно-изнашиваемых процессов в шаровых мельницах на основе дискретно-элементного метода (DEM), как наиболее адекватного инструмента для описания сложного гранулярного поведения мелющих тел и измельчаемого материала.

2. Проведён сравнительный анализ существующих математических моделей износа мелющих тел; установлено, что большинство аналитических подходов недостаточно учитывают пространственно-временную неоднородность ударных и контактных взаимодействий, что делает необходимым переход к численному моделированию.

3. Разработана математическая модель взаимодействия мелющих тел с измельчаемым материалом, которая позволяет количественно связать режимные параметры (скорость вращения, степень заполнения, диаметр

ISSN 3030-3907

шаров) с энергетическими характеристиками контактов и процессами микроразрушения.

4. Сформулированы и численно реализованы уравнения движения системы «мелющее тело — частица материала — футеровка», учитывающие нормальные и касательные силы, диссипацию энергии и вероятностный характер столкновений.

5. Разработан и протестирован программный комплекс для решения DEM-задач применительно к промышленным масштабам шаровых мельниц, что позволило получить достоверные распределения энергий ударов и контактных давлений при различных режимах эксплуатации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Tavares L. M., King R. P. (1998). Single-particle fracture under impact loading. International Journal of Mineral Processing, 54(1–4), 1–28.
3. Djordjevic N. (2003). Simulation of breakage in ball mills using DEM: Comparison with experiment. Minerals Engineering, 16(6), 507–513.
4. Morrison R. D., Cleary, P. W. (2008). Using DEM to model ore breakage within a pilot scale SAG mill. Minerals Engineering, 21(9), 719–736.
5. Govender N., Wilke D. N., Kok S. (2016). Large-scale GPU-based DEM modeling of industrial tumbling mills. Minerals Engineering, 91, 2–13.
6. Shi F., Kojovic T. (2007). Validation of a model for impact breakage incorporating particle size effect. International Journal of Mineral Processing, 82(3), 156–163.
7. Lin Y., Yao Y., Huang Z. (2019). Structural response of the mill shell under impact loading from grinding media: A DEM–FEM study. Engineering Failure Analysis, 102, 134–148.
8. Kandiah K., van der Westhuizen, A. P., Mainza A. N. (2020). A study of the energy partitioning in tumbling mills using DEM. Minerals Engineering, 146, 106146.
9. Aghajani A., Hashemolhosseini H., Sharifi M. (2021). Force chain distribution and its correlation with liner wear in ball mills. Powder Technology, 386, 248–258.
10. Cho H., Herbst J. A. (1996). Simulation of the kinetics of breakage as applied to a ball mill. Powder Technology, 86(3), 239–251.

ISSN 3030-3907