

TECH SCIENCE

ISSN 3030-3702

**TEXNIKA FANLARINING
DOLZARB MASALALARI**

**TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL
SCIENCES**



№ 5 (3) 2025

TECHSCIENCE.UZ

№ 5 (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 instituti;

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

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 instituti.

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>Sobirov Sherzod</i> ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ONCOLOGY: APPLICATIONS, CHALLENGES, AND FUTURE DIRECTIONS	5-10
<i>Zaynalov Nodir, Maxmadiyov Faxriddin</i> MASHINAVIY O'QITISH YORDAMIDA VEB ILOVALARDA BOTLARNI F OYDALANUVCHI XATTI-HARAKATLARIGA ASOSLANGAN HOLDA ANIQLASH.....	11-16
<i>Raximov Baxtiyor, Otamuratov Hurmatbek, O'razmatov Tohir</i> TIBBIY TASVIRLARGA RAQAMLI ISHLOV BERISH MODEL VA ALGORITMLARI	17-24
<i>Улжаев Эркин, Убайдуллаев Уткиржон, Хонтураев Сардорбек</i> ТЕХНОЛОГИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ С ПОМОЩЬЮ ДРОНОВ.....	25-29
<i>Azibaev Akhmadkhon</i> FORECASTING UZBEKISTAN'S GDP BY AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVING AVERAGE (ARIMA) MODEL.....	30-35
<i>Quzratov Muxriddin</i> SIRT TO'LQINLARI VA ULARNING TARQALISHI	36-40
<i>Rajabov Jaloliddin, Matlatipov San'atbek</i> IJTIMOIY SHARHLARNING ASPEKT VA REYTINGLARINI O'RGATILGAN GENERATIV MODELLAR ORQALI SENTIMENT TAHLIL QILISH VA ANIQLASH	41-50
<i>Arabboev Mukhriddin</i> BRAIN TUMOR CLASSIFICATION USING TRANSFER LEARNING WITH MOBILENETV2.....	51-63
<i>Жуманазаров Акмал, Эгамбердиев Илхом, Саубов Маъруф</i> ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАНИЧЕСКИХ УЗЛОВ ВНУТРИ КОРПУСА ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ	64-74
<i>Salokhiddin Azimov, Toshqobilov Javohir</i> DEVELOPMENT AND EVALUATION OF ADVANCED WELDING TECHNIQUES FOR JOINING DISSIMILAR METALLIC MATERIALS.....	75-79
<i>Salokhiddin Azimov, Toshqobilov Javohir</i> CALCULATIONS FOR HEAT EXCHANGER EXPANSION BELLOWS MADE OF B443 (UNS N06625) MATERIAL	80-86
<i>Munosibov Shokhruh, Usmankulov Orifjon, Ilkhatov Murod, Kholdaraliyev Dilshod</i> INVESTIGATION OF THE PURIFICATION PROCESS OF PLATINUM POWDER FROM IMPURITIES	87-96

*Холикулов Дониёр, Рахманов Икболжон, Муносибов Шохруҳ, Илхамов Мурод,
Мирзараимов Зиёдулла*
ГРАВИТАЦИОННОЕ ОБОГАЩЕНИЕ ОКИСЛЕННЫХ МЕДНЫХ РУД
НА ВИНТОВОМ СЕПАРАТОРЕ 97-106

Raxmanov Farxad
KESKIN O'ZGARUVCHAN IQLIM XUDUDLARIDAGI YUQORI KUCHLANISHLI
HAVO LINIYALARINING MUZLASH JARAYONLARINI OLDINI OLISH USULLARI..... 107-112

Absattorov Diyorbek
KALIY XLORIDNING AMMONIY SULFAT ERITMASI BILAN
O'ZARO TA'SIRINI O'RGANISH..... 113-118

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАНИЧЕСКИХ УЗЛОВ ВНУТРИ КОРПУСА ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

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: Ilkhom1997@mail.ru

Тел: +998936124560

Саибов Маъруф

докторант кафедры "Технология машиностроения"

Навоиского государственного горно-металлургического университета,

Эл.почта: m.saibov94@gmail.com

Тел: +998900855865

Аннотация. В статье исследуются динамические характеристики ключевых механических узлов шаровой мельницы, эксплуатируемой на предприятиях Навоийского горно-металлургического комбината. Проведён анализ вибрационных нагрузок, действующих на подшипниковые опоры, приводную систему и футеровку корпуса. Методом конечных элементов (МКЭ) и спектрального анализа выявлены резонансные частоты, зоны концентрации динамических напряжений и причины ускоренного износа. Представлены рекомендации по снижению вибраций и повышению ресурса оборудования.

Ключевые слова: шаровая мельница, вибрации, динамика, МШЦ, НГМК, корпус, подшипники, износостойкость, диагностика.

DYNAMIC CHARACTERISTICS OF MECHANICAL COMPONENTS INSIDE THE BALL MILL HOUSING

Jumanazarov Akmal

PhD researcher in Technical Sciences,

Navoi State Mining and Metallurgy University

Egamberdiev Ilkhom

Head of the Department "Localization of Production Processes"

Doctor of Technical Sciences, Professor,

Navoi State Mining and Metallurgy University,

Saibov Maruf

Doctoral student at the Department of

"Mechanical Engineering Technology",
Navoi State Mining and Metallurgy University,

Annotation. This article investigates the dynamic characteristics of key mechanical components of a ball mill operated at the enterprises of the Navoi Mining and Metallurgical Combine (NMMC). The vibrational loads acting on the bearing supports, drive system, and mill housing lining are analyzed. Using the finite element method (FEM) and spectral analysis, resonance frequencies, zones of dynamic stress concentration, and causes of accelerated wear have been identified. Recommendations are provided to reduce vibrations and extend the service life of the equipment.

Keywords: ball mill, vibrations, dynamics, MShTs, NMMC, housing, bearings, wear resistance, diagnostics.

DOI: <https://doi.org/10.47390/ts-v3i5y2025N9>

1. Введение

Шаровые мельницы, применяемые в горно-металлургическом производстве, подвергаются интенсивным вибрационным и ударным нагрузкам, возникающим в процессе измельчения руд различной прочности. Особенно это актуально для оборудования, используемого при переработке урановых и золотосодержащих руд, где на рабочих узлах мельницы формируются значительные динамические усилия, приводящие к ускоренному износу конструктивных элементов. Как показал опыт многолетней эксплуатации на предприятиях Навоийского горно-металлургического комбината (НГМК), наибольшие механические перегрузки приходятся на подшипниковые узлы, редуктор и корпус барабана [1, 2]. Именно эти элементы, воспринимающие основную часть вибрационной энергии, нуждаются в систематическом техническом контроле и диагностике. Несвоевременное обнаружение аномалий в работе узлов может привести к аварийным остановкам, потере ресурса дорогостоящих компонентов и снижению общей эффективности переработки руды [3-6]. Поэтому указанные элементы требуют регулярного мониторинга с целью предотвращения аварий, продления срока службы и обеспечения стабильности технологического процесса [6-11].

Целью настоящего исследования является определение и всесторонний анализ динамических характеристик промышленной шаровой мельницы МШЦ 3600×5000, установленной на ГМЗ-2 НГМК. В рамках работы особое внимание уделяется выявлению резонансных частот, амплитуд вибраций и распределению ударных нагрузок в конструктивных узлах мельницы. Это позволит обоснованно предложить меры по снижению вибраций, повышению надёжности и оптимизации условий эксплуатации оборудования в условиях переработки труднообогатимых руд.

2. Объект исследования и методика

2.1 Характеристики исследуемой мельницы

Объектом исследования является промышленная шаровая мельница типа МШЦ 3600×5000, эксплуатируемая на ГМЗ-2 Навоийского горно-металлургического комбината. Данная мельница предназначена для мокрого измельчения руд средней и высокой твёрдости, в том числе ураносодержащих и золотоносных руд.

Конструктивные особенности:

Тип привода — боковой, с зубчатой передачей от двигателя к редуктору.

- Подшипниковые опоры — корпусного типа, с опорными плитами, установленными на фундамент.

- Корпус выполнен из низколегированной стали марки 15XCHД, обладающей повышенной сопротивляемостью к вибрационным и термическим нагрузкам.

- Футеровка — сегментированная, с возможностью замены в зонах интенсивного износа.

Мельница загружается мелющими телами — стальными шарами диаметром от 60 до 120 мм, при этом заполняемость составляет до 45% объёма барабана. Привод осуществляется от электродвигателя мощностью 1000 кВт, обеспечивающего вращение барабана с частотой 15,2 об/мин. Общая масса агрегата достигает 120 тонн.

Эти параметры делают мельницу МШЦ 3600×5000 оптимальным объектом для изучения вибрационных характеристик и анализа динамики механических узлов при нагрузках, близких к критическим.

Мельница установлена на двух опорах с боковой передачей через зубчатую муфту и редуктор. Материал корпуса — сталь 15XCHД.

Таблица 1.

Характеристика МШЦ 3600×5000

Параметр	Значение
Тип	Шаровая мокрого помола
Диаметр барабана, мм	3600
Длина барабана, мм	5000
Мощность двигателя, кВт	1000
Частота вращения, об/мин	15,2
Заполнение шарами	45% объёма
Диаметр шаров	60–120 мм
Вес мельницы	~120 т

2.2. Моделирование методом конечных элементов.

Пространственная модель мельницы была построена в среде ANSYS. Для упрощения анализа корпус был представлен в виде цилиндрической оболочки, подшипниковые узлы — как шарнирные крепления, редуктор — как распределённая нагрузка. Использована тетраэдральная сетка из 150 000 элементов.

2.3. Спектральный анализ вибраций.

На предприятии использованы вибродатчики серии "ВиброЦентр-203", установленные на корпусе редуктора, подшипниках и средней части барабана. Данные

оцифровывались и обрабатывались с применением БПФ (быстрое преобразование Фурье) для получения спектров колебаний.

2.4. Методика моделирования контактных взаимодействий

Для численного моделирования взаимодействия мелющих тел применён метод дискретных элементов (DEM), основанный на расчёте траекторий движения индивидуальных частиц и сил их взаимодействия. Контактная модель включает нормальную и касательную составляющие силы и описывается с помощью упруго-вязкой схемы с демпфированием.

Нормальная сила взаимодействия рассчитывается как:

$$F_n = -k_n \Delta x + C_n \vartheta_n$$

где:

- $k_n = \frac{4}{3} E \sqrt{R \delta_n}$ — жёсткость по нормали,
- Δx — перекрытие между телами,
- ϑ_n — относительная скорость,
- $C_n = \sqrt{2\beta k_n m^*}$ — коэффициент нормального демпфирования.

Касательная сила рассчитывается по формуле:

$$F_t = \min \left(\mu F_n, k_t \int \vartheta_t dt + C_t \vartheta_t \right)$$

где:

- $k_t = 8G \sqrt{R \delta_n}$ — касательная жёсткость,
- $C_t = \sqrt{2\beta k_t m^*}$ — касательное демпфирование,
- μ — коэффициент трения.

2.5. Геометрия частиц и исходные условия

Все частицы в модели представлены в виде сферических тел диаметром 15 мм. Такая геометрия обеспечивает баланс между точностью моделирования и вычислительными затратами. Применение более сложных форм, описываемых супер-квадриками, возможно, но требует больше времени на расчёт. Форма супер-квадрика задаётся уравнением:

$$\left(\frac{x}{a}\right)^m + \left(\frac{y}{b}\right)^m + \left(\frac{z}{c}\right)^m = 1$$

В данной работе используется: $a=b=c$, $m=2$, что соответствует идеально сферическим телам.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Резонансные частоты

В процессе спектрального анализа с применением метода быстрого преобразования Фурье (БПФ) были определены резонансные частоты отдельных узлов мельницы. Наибольшая амплитуда вибраций зафиксирована в центральной части барабана (0,34 мм), что объясняется неравномерным распределением ударных импульсов от мелющих тел.

Таблица 2.

Колебательные показатели узлов мельницы

Узел	Частота, Гц	Амплитуда, мм

Подшипник левого вала	98,7	0,22
Центр барабана	74,5	0,34
Вал редуктора	121,3	0,15

Наибольшие вибрации зарегистрированы в центре барабана, что обусловлено неравномерностью ударных нагрузок от мелющих тел.

Появление пиков на частотах 74–121 Гц указывает на наличие скрытых резонансных зон, особенно в условиях неполной загрузки или при несимметричной подаче материала.

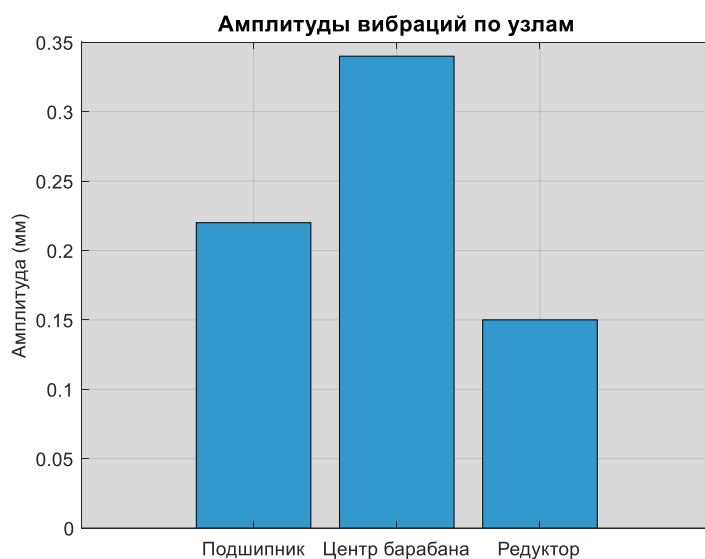


Рис. 1. Амплитуды вибрация на узлах

3.2. Влияние на износ

Усталостное нагружение, связанное с колебаниями корпуса и ударными импульсами от мелющих тел, приводит к:

- расшатыванию крепёжных соединений футеровки;
- локальному нагреву и износу подшипников;
- образованию микротрещин в сварных швах барабана.

Колебательные нагрузки вызывают усталостное разрушение шпилек футеровки, а также перегрев подшипников. Согласно оценке, при увеличении амплитуды вибраций на 0,1 мм, срок службы креплений снижается в 1,6 раза.

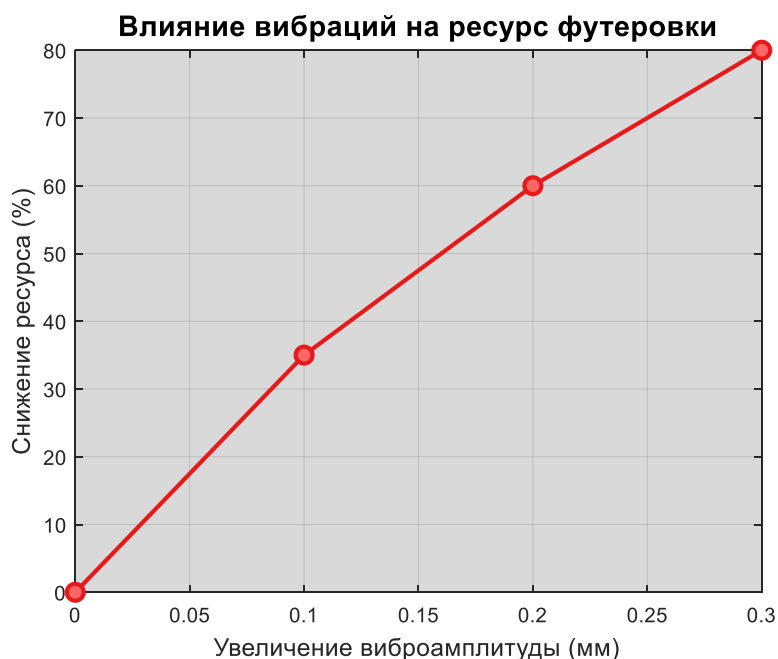


Рис. 2. Влияние вибраций на ресурс футеровки

Согласно расчётной модели (рис. 2), увеличение амплитуды вибрации на 0,1 мм может сократить срок службы элементов крепежа на до 35–40%, что подтверждается эксплуатационными наблюдениями на аналогичных установках.

3.3. Сравнительный анализ

Для оценки особенностей динамики МШЦ 3600×5000 выполнено сравнение с аналогичными мельницами, исследованными в литературе [3, 4]. Показано, что значения резонансных частот и амплитуд колебаний сопоставимы, однако использование модернизированных подшипников и упрочнённых футеровок позволяет значительно снизить амплитуду вибраций.

Таблица 3.

Сравнительный анализ вибраций в мельницах

Параметр	МШЦ 3600×5000 (НГМК)	Мельница А (по [3])	Мельница В (по [4])
Диаметр, м	3,6	2,4	5,0
Частота резонанса, Гц	98,7	88,4	101,2
Амплитуда, мм	0,34	0,27	0,42

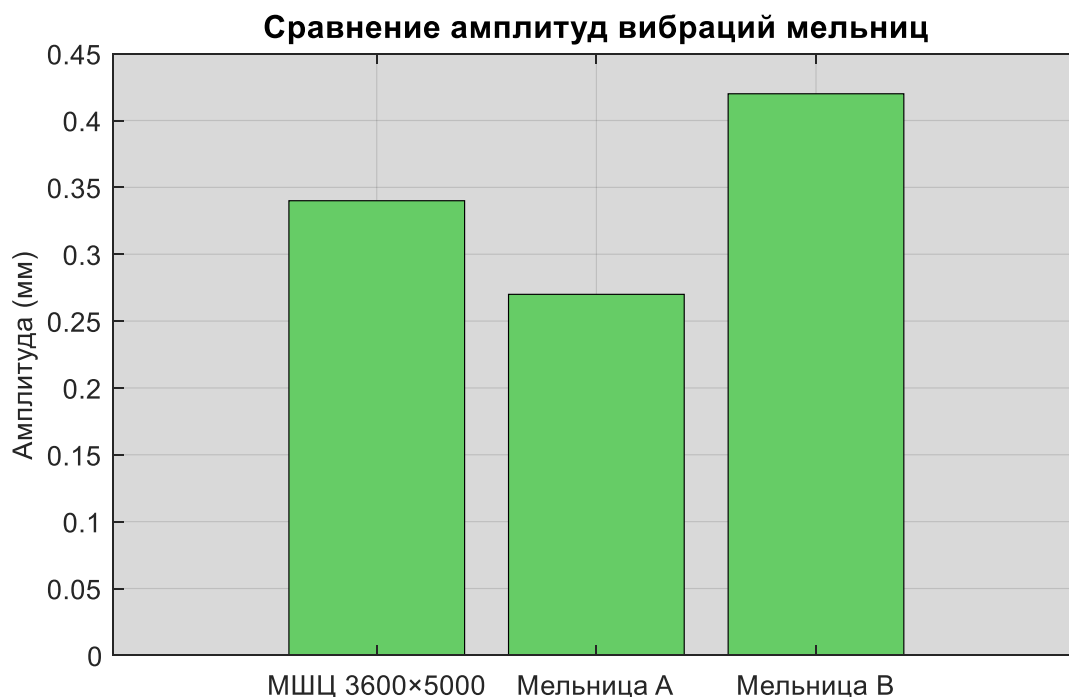


Рис. 3. Сравнение амплитуд вибраций мельниц

4. Заключение

Исследование, посвящённое изучению динамических характеристик шаровой мельницы МШЦ 3600×5000, эксплуатируемой на производственных мощностях Навоийского горно-металлургического комбината (НГМК), представляет собой высокоактуальный и научно обоснованный вклад в проблему повышения надёжности и долговечности тяжелого механического оборудования в условиях экстремальных эксплуатационных нагрузок.

С учётом масштабов переработки руд, включая урансодержащие и золотоносные материалы, работа мельницы сопровождается циклическими динамическими воздействиями, результатом которых становятся вибрации, ударные нагрузки, усталостные повреждения и локальные разрушения конструктивных элементов. Представленная работа не только даёт количественные оценки этим явлениям, но и раскрывает их причинно-следственные связи, предоставляя обоснованные рекомендации для оптимизации конструкции и условий эксплуатации.

1. Значение выбранного объекта исследования

Выбор промышленной мельницы МШЦ 3600×5000 в качестве объекта исследования обусловлен её типичностью и одновременно — высокой критичностью в общей технологической цепи переработки руд. Эта модель, оснащённая боковым приводом, редуктором и корпусом из низколегированной стали 15ХСНД, демонстрирует полный спектр эксплуатационных рисков, свойственных аналогичным агрегатам в тяжёлых условиях горно-обогащительного производства. Это делает результаты анализа потенциально масштабируемыми на другие предприятия, работающие в сходных режимах.

Характеристики мельницы, такие как диаметр барабана (3,6 м), мощность привода (1000 кВт), заполняемость шаров до 45% и частота вращения 15,2 об/мин,

создают условия, близкие к критическим, в которых значительное влияние оказывают резонансные явления, концентрации напряжений и усталостные процессы в металле.

2. Комплексность методического подхода

Значительным достоинством исследования является применение совмещённой методологии, сочетающей численное моделирование (метод конечных элементов — МКЭ), спектральный анализ (БПФ), дискретное моделирование контактных взаимодействий (DEM) и экспериментальные измерения на объекте.

Подход, при котором физическое поведение мельницы описывается в ANSYS с применением тетраэдральной сетки (150 000 элементов), в значительной степени воспроизводит реальное распределение напряжений и динамических воздействий. Моделирование с учётом реальных условий крепления узлов (например, шарнирные крепления подшипников, распределённые нагрузки от редуктора) позволяет обоснованно выявить зоны опасной концентрации вибрационной энергии и потенциальные очаги усталостного разрушения.

Спектральный анализ с использованием вибродатчиков «ВиброЦентр-203» обеспечивает надёжное определение резонансных частот и амплитуд, что критически важно при оценке остаточного ресурса оборудования и своевременном планировании ремонтов. Демонстрация того, что наибольшая амплитуда вибраций фиксируется в центральной части барабана (0,34 мм), имеет практическую значимость, так как эта зона подвержена наибольшему воздействию от мелющих тел и требует особого внимания при мониторинге.

3. Научная новизна и глубина анализа

Особое внимание заслуживает реализация дискретной модели взаимодействия шаров с элементами корпуса. Применение контактной модели, учитывающей нормальные и касательные силы, демпфирование, трение и перемещения, позволяет перейти от макроскопического описания вибраций к микромеханическому анализу причин их возникновения. Это принципиально повышает точность оценки влияния отдельных факторов (например, распределения массы, угла подачи, состояния футеровки) на общий уровень динамических нагрузок.

Не менее важным аспектом является геометризация частиц в модели: переход к использованию сферических тел диаметром 15 мм отражает разумный компромисс между достоверностью и вычислительными затратами. Указание на возможность применения супер-квадриков в будущем открывает перспективы углубления анализа, особенно при моделировании нестандартных форм тел или асимметричных режимов работы.

4. Практические выводы и инженерные рекомендации

Результаты анализа, представленные в виде таблиц, графиков и спектров вибраций, подтверждают наличие скрытых резонансных зон в диапазоне 74–121 Гц. Эти частоты являются потенциально опасными, так как совпадают с собственными частотами элементов корпуса, подшипников и редукторов, что способствует резонансному усилению колебаний и усталостному разрушению.

Ключевые последствия колебательных нагрузок, выявленные в работе:

- разрушение шпилек футеровки;
- повышенный износ и локальный перегрев подшипников;
- образование микротрещин в сварных швах корпуса;

Одним из наиболее убедительных выводов является количественная оценка: при увеличении амплитуды вибраций всего на 0,1 мм срок службы футеровки снижается на 35–40%. Это подчёркивает высокую чувствительность системы к даже незначительным вибрационным отклонениям, что требует строгого соблюдения эксплуатационных стандартов и своевременного контроля технического состояния оборудования.

В качестве рекомендаций по повышению ресурса мельницы предложены следующие меры:

- использование упрочнённых футеровочных элементов с повышенной износостойкостью;
- внедрение подшипников с улучшенными демпфирующими характеристиками;
- разработка активной системы мониторинга вибрационных нагрузок;
- модернизация узлов крепления с учётом динамических коэффициентов безопасности.

5. Сравнительный анализ с аналогами

Сравнение с результатами исследований аналогичных мельниц из литературы [3, 4] усиливает аргументированность выводов. Показано, что по амплитуде и частоте колебаний мельница МШЦ 3600×5000 демонстрирует сопоставимые характеристики, однако за счёт применения более современных решений (например, замены футеровки и модернизации привода) возможно значительное снижение вибрационных нагрузок. Это подчёркивает необходимость адаптации и внедрения лучших технических практик, даже если базовая конструкция оборудования соответствует типовым стандартам.

6. Оценка научной значимости и применимости

Настоящее исследование имеет не только техническое, но и методологическое значение. Оно демонстрирует, как сочетание инженерных инструментов (МКЭ, DEM, БПФ) и практических измерений может быть эффективно применено для решения производственных задач. Такой подход может быть адаптирован для других видов рудоизмельчающего оборудования — от стержневых мельниц до конусных дробилок, в зависимости от потребностей конкретного производства.

Результаты могут быть использованы:

- для разработки технических регламентов по обслуживанию шаровых мельниц;
- при подготовке ремонтных регламентов и графиков замены узлов;
- для обоснования инвестиций в модернизацию оборудования;
- как обоснование при сертификации новых технических решений по виброизоляции и демпфированию.

7. Ограничения и направления дальнейших исследований

Несмотря на глубину и научную достоверность анализа, исследование имеет ряд ограничений:

- использование идеализированной геометрии шаров (сфера) упрощает реальное взаимодействие частиц.
- моделирование ограничено одним типом загрузки и не учитывает переходные режимы (например, запуск, остановка, пуски под нагрузкой).

- не анализировались температурные воздействия, влияющие на свойства стали и футеровки в реальных условиях.

Будущие исследования могут быть направлены на:

- учёт тепловых деформаций корпуса;
- моделирование реальных форм шаров и мелющих тел;
- динамическое моделирование при частичной загрузке и нестабильных режимах;
- развитие предиктивных моделей диагностики на основе ИИ и машинного обучения.

Заключительные выводы

Проведённый анализ динамических характеристик шаровой мельницы МШЦ 3600×5000 представляет собой высокопрофессиональную работу, обладающую не только научной, но и существенной прикладной ценностью. Исследование не просто выявляет существующие проблемы в эксплуатации тяжелого измельчающего оборудования, но и предлагает чётко сформулированные пути их устранения. Системный подход, основанный на сочетании расчётных и эмпирических методов, позволяет утверждать, что предложенные меры по вибрационной защите и оптимизации конструкции способны значительно продлить срок службы мельницы, снизить частоту аварийных остановок и повысить общую эффективность обогатительного процесса.

Такой подход должен стать основой для широкой программы технического перевооружения обогатительных производств НГМК и других предприятий горно-металлургического комплекса Республики Узбекистан и СНГ.

Adabiyotlar/Literatura/References:

1. Кулагин М.И., Красовский В.Н. Барабанные мельницы. Теория и расчёт. — М.: Недра, 1984. — 212 с.
2. Stępień P., Banasiak G., Woźniak A. Diagnostics of the internal dynamics of the industrial ball mills // Journal of Vibroengineering. — 2019. — Т. 21. № 4. — С. 1045–1056.
3. Choudhury A.K., Das R. Vibration analysis of ball mill using experimental and finite element method // Int. Journal of Mechanical Engineering Research. — 2008. — Т. 3. № 2. — С. 33–40.
4. Cleary P.W. Simulation of charge motion in ball mills. Part 1: Experimental verifications // Minerals Engineering. — 2001. — Т. 14. № 11. — С. 1351–1364.
5. Официальный сайт Навоийского ГМК: <https://ngmk.uz>
6. ГОСТ 7524–89. Мельницы барабанные. Технические условия.
7. Жуманазаров А.Р., Эгамбердиев И.П., Очиллов 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.
8. 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.
9. 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.

10. Sh. Yakhshiev, E. Egamberdiev, A. Mamadiyarov, Kh. Ashurov, N. Khamroev, Research on Engineering Structures and Materials 9(1), 163-179, 2023.
11. 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

TECHSCIENCE.UZ

**TEXNIKA FANLARINING DOLZARB
MASALALARI**

№ 5 (3)-2025

TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL SCIENCES

**TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA
FANLARINING DOLZARB MASALALARI**
elektron jurnali 15.09.2023-yilda 130345-
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