

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СИЛЫ ЗАТЯЖКИ БОЛТА НА УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ В ЦЕЛЯХ ПОЛУЧЕНИЯ КОРРЕКТНЫХ ДАННЫХ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ИЗНОСА ФУТЕРОВОК МЕЛЬНИЦЫ ПСИ (ПОЛУ-САМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ)

Макенова А.Б. (КГТУ им.И.Раззакова), Кинжагулов И.Ю. (ИТМО)

Научные руководители – к.т.н. доцент **Андреев Ю.С.** (ИТМО),  
к.т.н. профессор **Омуралиев У.К.** (КГТУ им.И.Раззакова)

**Введение.** Футеровки мельниц полусамоизмеления подвергаются значительному износу из-за постоянного воздействия динамических нагрузок. Контроль состояния футеровок важен для предотвращения аварийных ситуаций и продления срока их службы, предотвращения простоя технологического оборудования процесса измеления и существенного сокращения упущенных выгод из-за простоя фабрики. [1] Исследование посвящено анализу методики оценки износа футеровки мельниц полусамоизмеления на золотоизвлекательной фабрике. [2] В рамках работы рассматривается ультразвуковой метод измерения остаточной длины болтов крепления футеровки. [3] Преимущество данного метода заключается в возможности контроля износа футеровок в режиме реального времени, что позволяет оперативно контролировать состояние футеровки и прогнозировать сроки её замены. В данной работе рассматривается применение **классического ультразвукового метода** с пьезоэлектрическим преобразователем для мониторинга состояния болтов футеровок, а также их сравнительный анализ.

**Основная часть.** Исследование влияния силы затяжки болта на ультразвуковые показатели проводилось на стенде с контролируемыми параметрами затяжки, используя классический ультразвуковой метод с пьезоэлектрическим преобразователем. Основной целью было выявить зависимость между удлинением болта, величиной его натяжения и состоянием футеровок мельницы. В ходе тестирования три болта подвергались различным условиям затяжки, варьирующимся от 10% до 80% от предела прочности, с регистрацией изменений ультразвуковых характеристик. Было выявлено устойчивое увеличение длины болта при натяжении, при этом болты, затянутые на 40% и выше, демонстрировали стабильные изменения, позволяя прогнозировать износ футеровок. Ослабленные болты давали неточные результаты, что подчеркивает необходимость контроля силы натяжения. В перспективе разработка автоматизированных систем мониторинга позволит интегрировать метод ультразвукового контроля длины болтов в систему прогнозирования износа футеровок мельницы.

### Используемое оборудование

- **Тестер Clarkester™** с системой SPC4™ для точного контроля натяжения болтов.
- **Пьезоэлектрический преобразователь** для регистрации ультразвуковых сигналов и измерения относительного удлинения болта - MB 4S (4MHz, 10 мм).
- **Ультразвуковой прибор USM 100** для обработки сигналов.
- **Стенд для затяжки болтов** с возможностью контроля нагрузки до 260 000 фунт-сил.

### Основные результаты испытаний

1. Ультразвуковая волна показала заметное изменение своих характеристик во время затяжки, что коррелируется с механическим удлинением болта.
2. Выявлено устойчивое увеличение длины болта при его натяжении на всех этапах.
3. Болты при затяжке 40% и выше демонстрировали стабильные изменения длины, что позволяет нам учитывать коэффициент удлинения при затяжке для прогнозирования износа футеровок с высокой точностью.
4. Было установлено, что ослабленные болты могут давать неточные результаты, поэтому важно контролировать силу натяжения. Однако, за счет внедрения постоянного мониторинга длины болта в режиме реального времени и сравнения с данными, полученными при ручном замере во время остановки мельницы, можно отслеживать уровень ослабления болтов футеровок.

**Выводы:** Исследование было проведено для подтверждения возможности мониторинга износа футеровок посредством ультразвукового контроля изменения длины болтов во время эксплуатации оборудования в режиме реального времени. Полученные результаты показали, что классический ультразвуковой метод с пьезоэлектрическим преобразователем является одним из эффективных инструментов для диагностики состояния износа болтов футеровок мельницы. Метод позволяет непрерывно измерять длину болтов, что делает его перспективным решением для прогнозирования износа футеровок без остановки мельницы. Сравнение данных, полученных в режиме реального времени без остановки мельницы, и данных, полученных при измерениях во время остановки мельницы, позволяет получить информацию для определения уровня ослабления болтов футеровок, что является важным для целостности всех футеровок. В перспективе планируется разработка автоматизированных систем диагностики с применением машинного обучения и адаптивных алгоритмов коррекции данных для прогнозирования срока службы футеровок.

#### **Список использованных источников:**

1. Макенова А.Б., Омуралиев У.К. Анализ бизнес процессов технологического оборудования ЗИФ//Материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2020- ISBN 978-5-94211-912-6 - Санкт-Петербург, 23-24 апреля 2020 года, стр.354-359
2. Макенова А.Б., Омуралиев У.К. Анализ процесса мониторинга простоев технологического оборудования ЗИФ // журнал Известия КГТУ им.И.Раззакова, выпуск 4 (72) - Бишкек, 2024 год, стр.1044-1050.
3. Zhang Y., Li X., Wang J., Chen H., Liu Y. PMUT-Based System for Continuous Monitoring of Bolted Joints Preload // Sensors. – 2024. – Vol. 24, No. 4150.