

Научная статья

УДК 621.879

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-6-23-33

Лагунова Юлия Андреевна^{1,2}, Быков Дмитрий Владимирович^{1,3},
Калянов Александр Евгеньевич¹, Жилинков Александр Александрович^{1,2},
Девяткин Евгений Александрович¹

¹ Уральский государственный горный университет² Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина³ ООО НПО «Диатех»

* для корреспонденции: yu.lagunova@mail.ru

ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПАРКА ДРОБИЛЬНО-РАЗМОЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПАО «УРАЛАСБЕСТ»



Информация о статье

Поступила:

31 октября 2025 г.

Одобрена после
рецензирования:

14 ноября 2025 г.

Принята к печати:

15 ноября 2025 г.

Опубликована:

18 декабря 2025 г.

Ключевые слова:

дробильно-размольное оборудование, техническое состояние, данные вибродиагностики по ПАО «Ураласбест»

Аннотация.

Совершенствование дробильно-размольного оборудования, эксплуатационные расходы по которому составляют 70% общих расходов на переработку полезного ископаемого или производство строительных материалов, таких как щебень и цемент, является актуальной задачей. Дробильно-размольное оборудование относится к машинам рудоподготовки, которые находятся в начале технологической цепочки, где особенно важно обеспечить бесперебойную, надежную работу, так как их простой приносят значительные убытки. Рассмотрены данные по эксплуатации парка дробильно-размольного оборудования в России. Показан процент износа парка дробильно-размольного оборудования в России по отраслям производства. Приведено время нахождения оборудования в ремонте. Показано, что в основе эффективной эксплуатации дробильно-размольного оборудования по-прежнему решающим фактором остается техническая диагностика состояния технического объекта. Настоящая работа посвящена организации диагностического обеспечения дробильно-размольного оборудования (ДРО) с хранением всех предшествующих результатов диагностирования, для того чтобы дать полезную и объективную информацию, представляющую собой предысторию (динамику) развития процесса изменения технических характеристик ДРО в прошлом, что может быть использовано для систематической коррекции прогноза и повышения его достоверности. Проведенный анализ показал возможность совершенствования методов диагностирования за счет оптимизации алгоритмов диагностирования и применения новейшей вибродиагностической аппаратуры. В качестве выводов для сбора данных с контрольных точек оборудования предложено применение надежно работающих внешних и встроенных средств диагностирования, обеспечивающих получение объективной и полной информации. Приведены результаты экспериментальных данных по оценке технического состояния дробильно-размольного оборудования на ПАО «Ураласбест» с помощью аппаратных средств вибродиагностики. Даны рекомендации по устранению обнаруженных дефектов оборудования.

Для цитирования: Лагунова Ю.А., Быков Д.В., Калянов А.Е., Жилинков А.А., Девяткин Е.А. Диагностика технического состояния парка дробильно-размольного оборудования ПАО «Ураласбест» // Горное оборудование и электромеханика. 2025. № 6 (182). С. 23-33. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-6-23-33, EDN: AUOCJQ

Введение

Дробильно-размольное оборудование (ДРО) предназначено для преобразования кусков горных пород различной крепости, твердости и конфигурации до получения продукта требуемой фракции. С помощью ДРО могут перерабатываться руды черных и цветных металлов, горно-химическое сырье,

нерудные ископаемые, используемые в строительстве, в том числе абразивные и труднодробимые породы с временным сопротивлением сжатию до 300 МПа. Как правило, ДРО устанавливается в начале технологической цепочки дробильных цехов и обогатительных фабрик. Следовательно, от бесперебойной производительной работы ДРО за-

висит эффективность всей технологической линии. Простой дробилок и мельниц в ремонтах нарушают режим работы оборудования, задействованного в последующих за ними операциях [1-2].

Парки как дробильного, так и измельчительного оборудования практически всех предприятий включают машины, имеющие срок эксплуатации, превышающий нормативный в 1,5-2 раза и более (15 лет для дробилок и 12 лет для мельниц). Следует заметить, что период сверхнормативной эксплуатации дробильно-размольного оборудования, как правило, связан с повышенным расходом запасных частей, дополнительными затратами на ремонт и в большинстве случаев экономически не оправдан [2].

Количество установленного ДРО на крупных предприятиях и его износ (по отношению к нормативному сроку службы) по отраслям показан в Таблице 1:

Таблица 1. Износ ДРО по отраслям
Table 1. Depreciation of DRO by industry

Наименование отрасли	Дробилки		Мельницы	
	количество, ед.	износ, %	количество, ед.	износ, %
Черная металлургия	442	67	724	82
Цветная металлургия	203	59	340	58
Горно-химического сырья	43	72	44	73
Строительная и дорожно-строительная отрасли	830	45	304	55
Всего	1518	61	1412	63

Как видно из Таблицы 1, средний износ дробилок составляет 61%, мельниц – 67%. Наиболее изношен парк ДРО в черной металлургии (соответственно 67 и 82%). В цветной металлургии почти 60% дробилок и мельниц имеют сверхнормативный износ.

Принципиальные конструкции наиболее распространенных в мире дробильно-измельчительных машин были созданы в конце позапрошлого века и до настоящего времени не претерпели существенных изменений. Кинематические схемы конусных и щековых дробилок имеют эксцентриковый привод, который сдерживает интенсификацию процесса дробления и улучшение технологических показателей оборудования [1-2].

ДРО, применяемое на горных предприятиях, как правило, эксплуатируется в течение 20 лет и более. За этот срок практически приходят в негодность и подвергаются замене или ремонту подавляющее большинство деталей. Среди них выделяется группа деталей (быстроизнашивающихся), которые периодически заменяются или восстанавливаются в процессе эксплуатации до того, как наступит очередной крупный ремонт. Расходы, связанные с заменой этих деталей, обычно многократно превосходят их стоимость. Несвоевременная замена быстроизнашивающихся деталей приводит к более тяжелым последствиям, так как нарушается нормальная работа и наступает преждевременный износ ответственных узлов и деталей. Поэтому уход за быстроизнашивающимися деталями составляет основную сущность текущих ремонтов и техниче-

ского обслуживания, а ресурсы этих деталей определяют межремонтный ресурс оборудования.

Срок службы футеровок конусных дробилок при равном размере выходной щели зависит от физико-механических свойств перерабатываемого материала. Футеровка подвижного дробящего конуса практически может служить на 5-15% времени дольше неподвижного, но, учитывая большую трудоемкость замены, связанную с разборкой дробилки, обычно их заменяют одновременно [2].

Таблица 2. Продолжительность службы комплекта футеровок конуса дробилок КСД в различных условиях

Table 2. Service life of the KSD crusher cone lining kit under various conditions

Типоразмер дробилки КСД (диаметр конуса, мм)	600	900	1200	1750	2200	3000
Срок службы комплекта броней конуса и чаш, ч, при переработке:						
- высокопрочных и абразивных пород	400	750	1000	1000	1050	1150
- пород средней прочности и абразивности	850	1300	2500	2500	2600	2800
- пород слабой прочности и малой абразивности	3000	4600	6000	6250	6500	7000

Высокий уровень затрат на ремонт оборудования, эксплуатируемого на российских горнодобывающих предприятиях, связан не только с величиной запасов, но и с недостатками планирования и проведения ремонта, несовершенством технологии производства ремонтных работ, низким качеством запасных частей и материалов, слабой ремонтной базой, низкой конструктивной надежностью и небольшим сроком службы ДРО, значительным удельным весом в составе парка физически изношенного оборудования, чрезвычайно низким уровнем механизации работ (10-20%), также с отсутствием на большинстве предприятий службы диагностики, использующей методы неразрушающего контроля и т. д. [3-5].

Неполное выполнение профилактических работ приводит к ускоренному накоплению повреждений и авариям ДРО. Аварийные ремонты, которые обычно проводятся без надлежащей технологической подготовки, не обеспечивают полного восстановления ресурса оборудования, объемы ремонтных работ увеличиваются, повышается их трудоемкость. Это усложняет процесс систематизации планово-предупредительных ремонтов (ППР), перераспределение материальных, трудовых и финансовых ресурсов внутри ремонтной службы становится неэффективным, что в конечном итоге снижает уровень надежности и безопасности эксплуатации оборудования после ремонта [3-5].

Установлено, что время нахождения ДРО в аварийных ремонтах составляет в среднем 10%, что характеризует высокий уровень аварийности оборудования, а его нахождение в плановых ремонтах – 80% от общего количества времени, в течение которого обслуживается техника. Фактическое выполнение ППР, как правило, составляет 60-70%. При неполном выполнении объемов планово-предупредительных работ на 1% время аварийных ремонтов увеличивается на 2-2,5%, при этом их стоимость увеличивается в 4-5 раз по сравнению со стоимостью плановых ремонтов. [3, 6].

В общей трудоемкости ремонта на ликвидацию аварий и поломок оборудования приходится 35-45% времени. Простои достигают 40% общих простоев машин в ремонте и превышают простои машин в капитальном ремонте в 1,5-2 раза [6].

Децентрализованное производство запасных частей составляет 85-90%. При существующем положении более 50% всего объема ремонтных работ – это затраты на изготовление запасных и сменных деталей [6].

В основе эффективной эксплуатации дробильно-размольного оборудования по-прежнему решающим фактором остается техническая диагностика состояния технического объекта.

Техническая диагностика – отрасль научно-технических знаний, сущность которой составляют теория, методы и средства обнаружения и поиска дефектов объектов технической природы. Под дефектом следует понимать любое несоответствие свойств объекта заданным, требуемым или ожидаемым его свойствам. Обнаружение дефекта есть установление факта его наличия или отсутствия в объекте. Поиск дефекта заключается в указании с определенной точностью его местоположения в объекте [7-10].

Основное назначение технической диагностики состоит в повышении надежности объектов на этапе их эксплуатации, а также в предотвращении производственного брака на этапе изготовления объектов и их составных частей.

Повышение надежности обеспечивается улучшением следующих показателей: коэффициент готовности; коэффициент технического использования; время восстановления работоспособного состояния; ресурс или срок службы; наработка до отказа или наработка на отказ для резервированных объектов с восстановлением [11-15].

Методы

Диагностическое обеспечение позволяет получать высокие значения достоверности правильного функционирования и оценивать техническое состояние объектов.

Различают следующие задачи определения технического состояния объектов:

1) задачи диагностирования – определение технического состояния, в котором находится объект в настоящий момент времени.

2) задачи прогнозирования – предсказание технического состояния, в котором окажется объект в некоторый будущий момент времени.

3) задачи генеза – определение технического состояния, в котором находился объект в некоторый момент времени в прошлом [7, 10, 16-18].

Задачи первого типа формально следует отнести к технической диагностике, а задачи второго типа – к технической прогностике (техническому прогнозированию). Тогда отрасль знания, которая должна заниматься решением задач третьего типа, естественно называть технической генетикой.

Задачи технической генетики возникают, например, в связи с расследованием аварий и их причин, когда техническое состояние объекта в рассматриваемое время отличается от состояния, в

котором он был в прошлом, в результате появления первопричины, вызвавшей аварию. Эти задачи решаются путем определения возможных или вероятных предисторий, приведших к настоящему состоянию объекта.

К задачам технической прогностики относятся, например, задачи, связанные с определением срока службы объекта или с назначением периодичности его профилактических проверок и ремонтов. Эти задачи решаются путем определения вероятных эволюции состояния объекта, начинающихся в настоящий момент времени.

Решение задач прогнозирования весьма важно, в частности, для организации технического обслуживания объектов по состоянию (вместо обслуживания по срокам или по ресурсу). Непосредственное перенесение методов решения задач диагностирования на задачи прогнозирования невозможно из-за различия моделей, с которыми приходится работать: при диагностировании моделью обычно является описание объекта, в то время как при прогнозировании необходима модель процесса эволюции технических характеристик объекта во времени. В результате диагностирования каждый раз определяется не более, чем одна точка указанного процесса эволюции для текущего момента (интервала) времени. Тем не менее, хорошо организованное диагностическое обеспечение объекта с хранением всех предшествующих результатов диагностирования может дать полезную и объективную информацию, представляющую собой предысторию (динамику) развития процесса изменения технических характеристик объекта в прошлом, что может быть использовано для систематической коррекции прогноза и повышения его достоверности [7, 10, 16-18].

Объективным методом оценки необходимости того или иного вида ремонта или технического обслуживания машины является периодический или постоянный диагностический контроль технического состояния оборудования, осуществляемый методами и средствами технической диагностики. Диагностирование оборудования представляет собой процесс, при котором на диагностируемый объект осуществляются многократные воздействия (входные сигналы) и производятся измерение и анализ ответов (выходных сигналов). Техническое диагностирование при эксплуатации машин обеспечивает проверку их исправности, работоспособности, правильности функционирования, поиск дефектов и сбор информации для прогнозирования остаточного ресурса.

Основное назначение диагностики – определение технического состояния конкретной машины или механизма в данный момент времени с минимальным объемом разборки или без нее.

Цель диагностирования определяется видом технической диагностики: для заводской диагностики это оценка качества изделия после изготовления (капитального ремонта); для эксплуатационной – оценка основных рабочих параметров, выявление скрытых неисправностей, определение объе-

ма работ по техническому обслуживанию и ремонту, прогнозирование ресурса.

Таким образом, *задачами диагностирования* являются задачи проверки исправности, работоспособности и правильности функционирования объекта, а также задачи поиска дефектов, нарушающих исправность, работоспособность или правильность функционирования. Строгая постановка этих задач предполагает, во-первых, прямое или косвенное задание класса возможных (рассматриваемых, заданных, наиболее вероятных) дефектов и, во-вторых, наличие формализованных методов построения алгоритмов диагностирования, реализация которых обеспечивает обнаружение дефектов из заданного класса с требуемой полнотой или поиск последних с требуемой глубиной.

Средства могут быть аппаратными или программными, в качестве средств диагностирования может также выступать человек-оператор, контролер, наладчик. Средства и объект диагностирования, взаимодействующие между собой, образуют систему диагностирования.

Различают две системы диагностирования:

1) система *функционального* технического диагностирования, при которой на объект поступают только рабочие воздействия, предусмотренные рабочим алгоритмом функционирования объекта. В этом случае без перерыва технологического процесса с функционирующего объекта средствами диагностики снимается рабочий (выходной) сигнал. Анализ выходных сигналов позволяет судить о техническом состоянии оборудования. Основное преимущество функционального технического диагностирования – осуществление диагноза без остановки технологического процесса.

2) система *тестового* технического диагностирования, при которой осуществляется подача на объект тестового воздействия. В большинстве случаев при тестовом диагностировании рабочее функционирование объекта прекращается, поэтому обеспечить непрерывный контроль технического состояния оборудования не удастся.

В системах тестового диагностирования на объект подаются специально организуемые тестовые воздействия. В системах функционального диагностирования, которые работают в процессе применения объекта по назначению, подача тестовых воздействий, как правило, исключается – на объект поступают только рабочие воздействия, предусмотренные его алгоритмом функционирования. В системах обоих видов средства диагностирования воспринимают и анализируют ответы объекта на входные (тестовые или рабочие) воздействия и выдают результат диагностирования, т. е. ставят диагноз: объект исправен или неисправен, работоспособен или неработоспособен, функционирует правильно или неправильно, имеет такой-то дефект или в объекте повреждена такая-то его составная часть и т. п. Системы тестового диагностирования необходимы для проверки исправности и работоспособности, а также поиска дефектов, нарушающих исправность или работоспособность объекта.

Системы функционального диагностирования необходимы для проверки правильности функционирования и для поиска дефектов, нарушающих правильное функционирование объекта. В горной промышленности функциональное техническое диагностирование находит применение в основном для энерго-механической части ДРО. Тестовое техническое диагностирование применяется для аппаратуры автоматики и электрооборудования.

Результаты исследования и рекомендации

Алгоритм диагностирования в общем случае состоит из определенной совокупности элементарных проверок объекта, а также правил, устанавливающих последовательность реализации элементарных проверок, и правил анализа результатов последних. Каждая элементарная проверка определяется своим тестовым или рабочим воздействием, подаваемым или поступающим на объект, и составом контрольных точек, с которых снимаются ответы объекта на это воздействие. Результатом элементарной проверки являются конкретные значения ответных сигналов объекта в соответствующих контрольных точках. Диагноз (окончательное заключение о техническом состоянии объекта) ставится в общем случае по совокупности полученных результатов элементарных проверок.

Задачи изучения физических свойств объектов и их возможных дефектов достаточно специфичны и вряд ли поддаются какому-либо обобщению из-за многообразия и различия отдельных классов объектов. Если предшествующего опыта по диагностированию изучаемого объекта нет или такой опыт недостаточен, то существенной становится роль технолога-разработчика, работающего со специалистом-диагностом либо, что еще лучше, являющегося таким специалистом. В результате должен быть определен (например, явно в виде списка или неявно через указание свойств классов) перечень дефектов, подлежащих обнаружению и поиску в условиях производства и эксплуатации объекта, а также определены признаки проявления дефектов, включаемых в перечень.

Построение алгоритмов диагностирования заключается в выборе такой совокупности элементарных проверок, по результатам которых в задачах обнаружения дефектов можно отличить исправное или работоспособное состояние, или состояние правильного функционирования объекта от его неисправных состояний, а также в задачах поиска дефектов различать неисправные состояния (или группы неисправных состояний) [18, 20].

При построении алгоритмов диагностирования по моделям объектов элементарные проверки выбирают путем попарного сравнения тех описаний, технические состояния которых требуется различать. В задачах тестового диагностирования составы контрольных точек объекта часто определены предварительно и они одинаковы для всех элементарных проверок. В таких случаях выбирают только входные воздействия элементарных проверок – это задачи построения тестов. В задачах функционального диагностирования, наоборот, входные воздействия элементарных проверок определены

заранее рабочим алгоритмом функционирования объекта и выбору подлежат только составы контрольных точек.

Построение алгоритмов функционального диагностирования состоит в определении условий работы средств, реализующих эти алгоритмы. Средства функционального диагностирования, как правило, являются встроенными в объект диагностирования и часто называются средствами встроенного контроля. Обычно стремятся к тому, чтобы при нормальном функционировании объекта в условиях применения его по назначению средства встроенного контроля на своих выходах выдавали известные постоянные значения сигналов и меняли эти значения при нарушении правильности функционирования объекта. На этом принципе строятся схемы встроенного контроля дискретных объектов (схемы сравнения, схемы контроля по модулю и др.). Эту же идею применяют при построении средств встроенного контроля методом избыточных переменных для аналоговых объектов. При организации проверки правильности функционирования или поиска дефектов, нарушающих правильное функционирование аналоговых объектов, на основе допускового способа контроля параметров задача построения алгоритмов диагностирования сводится к выбору составов контрольных точек.

Оптимизация алгоритмов диагностирования возможна тогда, когда число элементарных проверок, достаточных для решения конкретной задачи диагностирования, меньше числа всех допустимых (т. е. физически возможных и реализуемых) элементарных проверок данного объекта. Для разных элементарных проверок могут требоваться разные затраты на их реализацию; эти проверки могут давать разную информацию о техническом состоянии объекта. Кроме того, одни и те же элементарные проверки могут быть реализованы в различной последовательности [19].

Поэтому для решения одной и той же задачи диагностирования (например, проверки исправности) можно построить несколько алгоритмов, различающихся либо составом элементарных проверок, либо последовательностью их реализации, либо, наконец, тем и другим вместе и поэтому, возможно, требующих разных затрат на их реализацию.

Необходимость увеличения производительности труда на операциях диагностирования, сокращения времени обнаружения, поиска и устранения неисправностей, уменьшения объемов и сложности средств диагностирования вызывает интерес к разработке методов построения оптимальных алгоритмов, требующих минимальных затрат на их реализацию.

Эффективность процессов диагностирования определяется не только качеством алгоритмов диагностирования, но и качеством средств диагностирования.

Эффективность процессов диагностирования, оцениваемая, например, временем диагностирования или затратами аппаратуры на хранение и реализацию алгоритмов диагностирования, в некото-

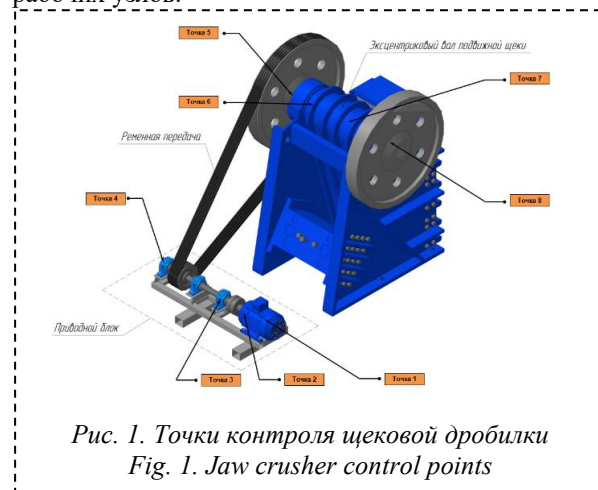
рых случаях существенно зависит от выбора контрольных точек.

Наличие объективных статистических данных о вероятностях возникновения дефектов, а также о средних затратах на обнаружение, поиск и устранение дефектов расширяет возможности эффективной организации процессов диагностирования. Для сбора таких данных необходимо применять надежно работающие внешние и встроенные средства диагностирования, обеспечивающие получение объективной и полной информации.

Рассмотрим пример применения вибродиагностического метода оценки технического состояния дробильно-размольного оборудования на ПАО «Ураласбест», позволяющего определить с высокой точностью зону возникновения дефекта.

Метод вибродиагностики основан на измерении процесса перемещения агрегата при механических колебаниях от положения равновесия системы. Для описания технического состояния системы есть три главных параметра (колебательные величины) вибрационного состояния и около десяти дополнительных параметров вибрации, которые учитываются при выполнении вибрационного анализа данных [20].

Для получения детального спектра использовался виброметр STD-510 и ViPen2. Хранение данных и анализ спектров производился в программном обеспечении Safe Plant. На Рис. 1 приведена схема щековой дробилки, на которой показаны точки контроля (диагностирования) соответствующих рабочих узлов.



В Таблицах 3 и 4 и на Рис. 2 и 3 приведены результаты замеров виброскорости и виброускорения в контрольных точках. По полученным результатам и шаблонам спектрального анализа сделаны выводы о неисправностях и выданы рекомендации по техническому обслуживанию соответствующих узлов щековой дробилки.

Выводы и рекомендации по техническому состоянию щековой дробилки следующие.

На холостом ходу, на приводном подшипнике электродвигателя (Т2) были обнаружены повышенные уровни вибрации в осевом и продольном направлениях. На спектре огибающей виден общий высокий уровень и пики с частотами тел качения (3,44 Гц). Корневой причиной повышенного уровня

вибрации при такой спектральной картине является недостаточность смазки в подшипнике, что вызывает на появление частот тел качения.

Обслуживающему персоналу было предложено провести смазку приводного подшипника электродвигателя (Т2). После проведения указанной операции по техническому обслуживанию приводного узла щековой дробилки из спектральной составляющей вибрационного сигнала исчезли частоты тел качения и общий уровень высокочастотных колебаний огибающей стал ниже 5%.

В ходе эксперимента по диагностированию технического состояния оборудования обогатительной фабрики ПАО «Ураласбест», проводимого 24 июля 2025 года, были обнаружены существенные неис-

правности, которые могли не только остановить работу технологического оборудования на короткое время, но и привести к долгосрочному останову всей технологической цепочки обогатительной фабрики.

По результатам оценки технического состояния маслостанции конусной дробилки крупного дробления ККД-1500/180 при замере насоса в контрольных точках Т1 и Т2 было обнаружено предаварийное состояние объекта. Схема агрегата приведена на Рис. 3. Результаты измерений отражены в Таблице 5 и на Рис. 4.

Анализ измерений показал, что на спектре виброскорости отражен только гармонический ряд оборотной частоты, что говорит об ослаблении ме-

Таблица 3. Измерения прибором STD-510
Table 3. Measurements with the STD-510 device

Дробилка (10.07.2024)												
Ид. точки:	OU-V	OU-A	Спектр-V_2	Спектр-A	Спектр-A_2	СпО 10К	П/Ф	Эксесс	Ф/C_2	П/Ф VIP	Сп.Оиб 10К_2	
T1 (В)	4.54	5.44	3.73	5.65	5.74	62.53	12.47	22.66	2.05	8.98	62.89	
T1 (П)	5.35	6.53	5.83	5.92	5.79	63.34	13.78	22.38	1.87	12.70	63.44	
T2 (В)	3.31	16.09	3.53	15.72	15.76	76.37	17.88	80.20	3.34	22.04	77.17	
T2 (П)	2.48	21.04	2.29	19.55	19.38	76.68	19.29	94.09	2.72	14.71	75.79	
T2 (О)	11.90	20.15	10.28	18.20	17.30	75.91	16.37	75.95	4.11	10.45	75.92	
T3 (В)	2.95	30.95	3.20	26.79	28.49	96.50	4.65	3.46	1.51	4.04	96.46	
T3 (П)	17.33	28.06	15.61	26.48	26.54	88.76	3.79	3.05	5.24	3.60	88.83	
T4 (В)	5.78	14.91	5.37	14.25	14.11	80.36	6.72	5.45	3.32	4.85	80.51	
T4 (П)	1.00	0.53	0.93	0.55	0.55	52.69	4.27	3.11	0.36	5.02	52.80	
T5 (В)	0.00	3.87	0.43	3.54	3.43	54.08	12.35	20.29	0.35	4.21	54.14	
T6 (В)	0.00	3.95	2.65	4.00	4.03	96.69	6.58	4.41	1.31	6.01	96.86	
T7 (В)	0.00	6.06	2.76	5.37	5.13	64.44	5.57	4.27	0.99	5.75	64.41	
T8 (В)	2.18	5.19	2.25	4.97	4.94	56.28	4.83	4.06	1.10	4.66	56.28	

Таблица 4. Измерения прибором ViPen2
Table 4. Measurements with the ViPen2 device

Дробилка (10.07.2024)													
Ид. точки:	OU-V	OU-A	Спектр-V_2	Спектр-A	Спектр-A_2	СпО 10К	П/Ф	Эксесс	Ф/C_2	П/Ф VIP	Ф/C_0%Hz	Сп.Оиб 10К_2	Температура, Г.
T1 (В)	3.14	6.20	3.73	6.12	6.37	62.53	16.01	28.29	2.05	7.34	5.65	62.89	
T1 (П)	4.21	3.09	5.83	3.49	3.24	63.34	25.51	189.20	1.87	7.37	2.38	63.44	36.00
T1 (О)													
T2 (В)	4.09	13.17	3.53	14.54	13.21	76.37	26.48	220.38	3.34	10.66	5.58	77.17	
T2 (П)	3.25	8.52	2.29	4.96	5.56	76.68	21.11	112.26	2.72	12.98	5.37	75.79	
T2 (О)	8.97	8.66	10.28	6.03	8.83	75.91	21.90	110.94	4.11	10.06	4.51	75.92	
T3 (В)	2.95	8.61	3.20	8.30	8.67	96.50	6.78	4.26	1.51	4.03	1.99	96.46	40.00
T3 (П)	16.00	10.79	15.61	10.99	11.23	88.76	8.50	5.00	5.24	3.90	5.64	88.83	
T3 (О)													
T4 (В)	6.25	7.39	5.37	7.27	7.68	80.36	15.34	26.18	3.32	4.68	4.86	80.51	50.00
T4 (П)	1.03	0.81	0.93	0.86	0.83	52.69	16.02	30.59	0.36	7.58	0.68	52.80	
T4 (О)													
T5 (В)	0.00	3.95	2.65	4.00	4.03	96.69	6.58	4.41	1.31	6.01		96.86	49.00
T6 (В)	0.00	6.06	2.76	5.37	5.13	64.44	5.57	4.27	0.99	5.75		64.41	
T7 (В)	0.00	6.06	2.76	5.37	5.13	64.44	5.57	4.27	0.99	5.75		64.41	
T8 (В)	2.14	4.03	2.25	3.79	4.05	56.28	26.46	220.64	1.10	4.06	1.12	56.28	

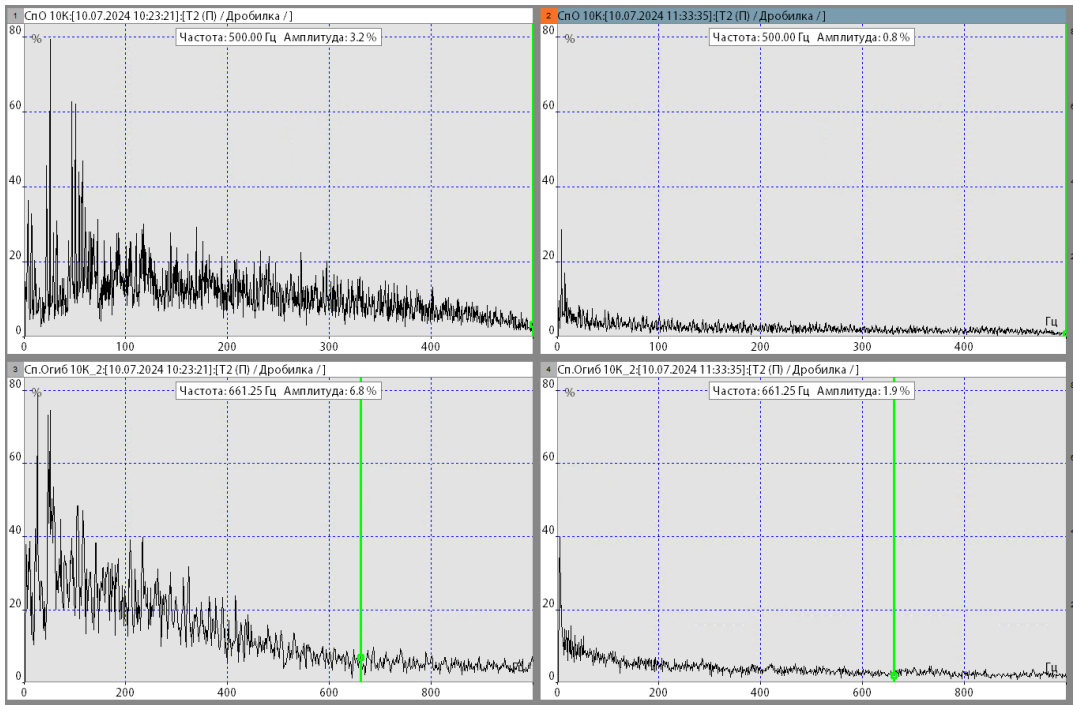


Рис. 2. Диаграммы замеров в контрольных точках щековой дробилки
Fig. 2. Measurement diagrams at control points of the jaw crusher

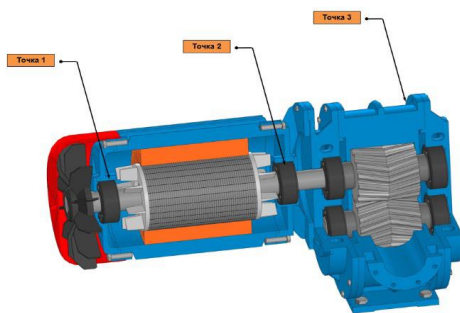


Рис. 3. Точки контроля насоса ККД
Fig. 3. Control points of the KKD pump

Таблица 5. Результаты вибродиагностических измерений
Table 5. Results of vibration diagnostic measurements

МСС ККД №1 насос №1 (15.07.2025)									
Место	СЧД	СЧД	Средств. 2	Средств.	Средств. 2	Средств.	Средств. 2	Средств.	Средств.
T1 (В)	14.56	14.56	14.56	14.56	14.56	14.56	14.56	14.56	14.56
T2 (В)	16.95	16.95	16.95	16.95	16.95	16.95	16.95	16.95	16.95
T3 (В)	34.14	34.14	34.14	34.14	34.14	34.14	34.14	34.14	34.14
T1 (О)	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25
T2 (О)	7.12	7.12	7.12	7.12	7.12	7.12	7.12	7.12	7.12
T3 (О)	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58

Точка	Виброскорость 10,00-1000,00 Гц (мм/с, СКЗ)		Виброскорость 100,00-10000,00 Гц (мм/с, Пик)	
	Вертикальное	Осевое	Вертикальное	Осевое
T1	11,25	---	14,56	---
T2	7,12	---	16,95	---
T3	3,58	4,36	34,14	32,42
Пороговые значения	Предупреждение		---	
	Авария		7,10	

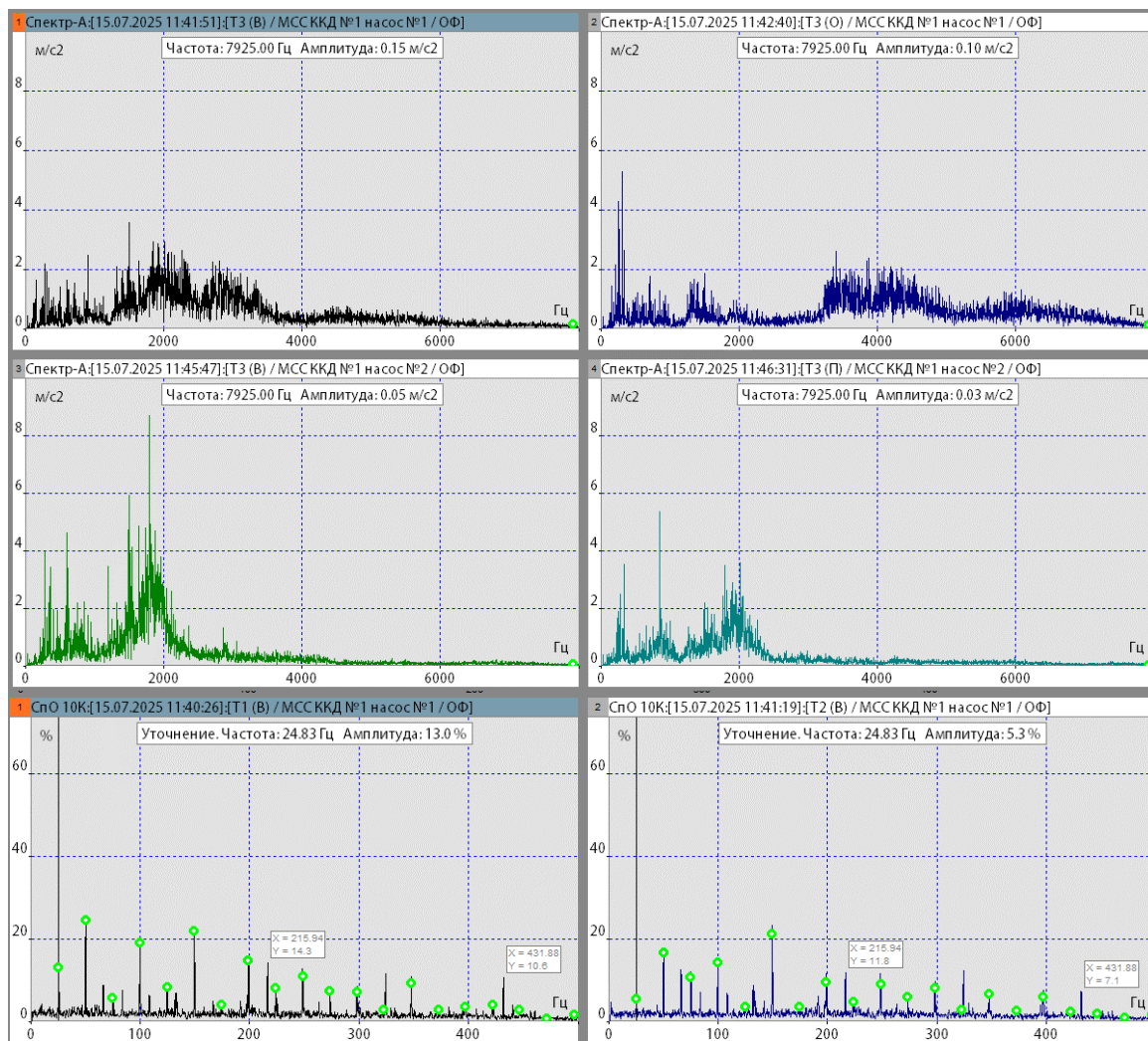


Рис. 4. Спектры виброскоростей и ускорений в контрольных точках насоса
Fig. 4. Vibration velocity and acceleration spectra at pump control points

ханической системы, то есть возможно ослабление болтовых соединений фиксации двигателя на раме или рамы на баке.

На спектре виброускорения на насосе видно большое количество высокочастотных гармоник, что свидетельствует о наличии кавитации или пены при работе насоса.

На спектре огибающей электродвигателя обнаружен дефект внутреннего кольца подшипника (215 Гц), это указывает на вероятное ослабление посадки подшипника на валу (гармонический ряд от оборотной частоты 24,83 Гц).

В результате анализа данных службе главного механика обогатительной фабрики ПАО «Ураласбест» было рекомендовано:

1. Произвести протяжку болтовых соединений фиксации двигателя на раме и проверить целостность сварных соединений фиксации рамы на баке маслостанции.
2. Планировать замену подшипников в течение ближайших трех месяцев.
3. Износ втулок скольжения на насосе № 1 выше, чем на насосе № 2, поэтому необходимо осуществлять контроль производительности насоса,

вероятнее всего насос № 1 работает на сниженных параметрах производительности (см. Рис. 4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клушанцев Б. В., Ермолаев П. С., Дудко А. А. Машины и оборудование для производства щебня, гравия и песка. М. : Машиностроение, 1976. 182 с.
2. Груздев А. В. Дробильно-размольное оборудование корпорации «Объединенные машиностроительные заводы» // Горный журнал. 2004. № 3.
3. Андреева Л. И. Организационные основы системы обеспечения работоспособности горного оборудования на угольных разрезах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Челябинск, 1999.
4. Андреева Л. И., Давлетшина Д. Р. Анализ систем планово-предупредительных ремонтов горной техники: Стратегия профилактики // Горное оборудование и электромеханика. 2014. № 6. С. 38-42.
5. Андреева Л. И. Комплексные решения для управления активами в системе технического обслуживания и ремонта горной техники // Проблемы недропользования. 2023. № 3(38). С. 79-88. DOI: 10.25635/2313-1586.2023.03.079.
6. Касимов А. М. Совершенствование ремонтного производства на предприятии М. : Экономика, 1985. 112 с.
7. Герике Б. Л., Абрамов И. Л., Герике П. Б. Спектральный метод вибродиагностики подшипниковых узлов карьерных экскаваторов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2007. № 3(61). С. 7-9.
8. Zhang Z., Zhang H., Chen Y., Yan H. Research on dynamic load estimation method of crawler travel system // Journal of Mechanical Science and Technology. 2023. Vol. 37. Pp. 555-567. DOI: 10.1007/s12206-023-0102-9.
9. Bouhalais M. L., Djebala A., Ouelaa N., Khemissi M. CEEMDAN and OWMRA as a hybrid method for rolling bearing fault diagnosis under variable speed // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2018. Vol. 94. Pp. 2475-2489. DOI: 10.1007/s00170-017-1044-0.
10. Дрыгин С. Ю. Обоснование метода вибродиагностики технического состояния одноковшовых карьерных экскаваторов : специальность 05.05.06 «Горные машины» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дрыгин Сергей Юрьевич. Кемерово, 2005. 18 с. EDN NIAУЕР.
11. Корогодина А. С., Иванов С. Л. Оценка технического состояния опорных подшипников скольжения барабанной мельницы при эксплуатации в составе арктического комплекса горного оборудования // Горная промышленность. 2024. № 6. С. 144-151. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-6-144-151.
12. Рассомагин А. С. Оптимизация стратегии технического обслуживания и ремонтов с применением интеллектуальных методов // Инновации и инвестиции. 2019. № 7. С. 130-136.
13. Hemati Ali, Shooshtari Alireza Bearing failure analysis using vibration analysis and natural frequency excitation // Journal Of Failure Analysis And Prevention. 2023 (23). № 4. Pp. 1431-1437. DOI: 10.1007/s11668-023-01700-0.
14. Kumar R., Anand R. S. Statistical Analysis of Vibration Signal Frequency During Inner Race Fault of Rolling Ball Bearings // Journal of Failure Analysis and Prevention. 2023. № 23. 2274. DOI: 10.1007/s11668-023-01760-2.
15. Hogir Rafiq. Condition Monitoring and Nonlinear Frequency Analysis Based Fault Detection of Mechanical Vibration Systems // Springer Nature. 2023. DOI: 10.1007/978-3-658-42480-0.
16. Дрыгин М. Ю., Курнышкин Н. П. Диагностика состояния тяжелой горной техники при планово-предупредительных ремонтах. // Динамика систем, механизмов и машин. 2017. Т. 5. № 2. С. 115-122.
17. Герике Б. Л., Козовой Г. И., Квагинизде В. С., Хорешок А. А., Герике П. Б. Диагностика горных машин и оборудования. 2012. 400 с.
18. Корогодина А. С., Иванов С. Л. Прогнозирование остаточного ресурса опорных подшипниковых узлов барабанной мельницы для оценки долговечности работы на основе изменения поля температур // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2022. № 17-1. С. 186-195. DOI: 10.26160/2658-3305-2022-17-186-195.
19. Сушко А. Е., Быков Д. В., Лагунова Ю. А. Комплексная оценка технического состояния технологического оборудования // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности. Сборник трудов XXIII Международной научно-технической конференции, проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады. Под общей редакцией Ю. А. Лагуновой. Екатеринбург, 2025. С. 367-371.
20. Лагунова Ю. А., Макарова В. В., Быков Д. В., Адамков А. В. Оценка технического состояния редуктора хода карьерного экскаватора // Горное оборудование и электромеханика. 2024. № 1. С. 40-49.

© 2025 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Лагунова Юлия Андреевна, проф., доктор техн. наук, Уральский государственный горный университет (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), Уральский Федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина (620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3828-434X>, e-mail: yu.lagunova@mail.ru

Быков Дмитрий Владимирович, аспирант, Уральский государственный горный университет (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), руководитель проектов, ООО НПО «Диатех» (107061, Россия, г. Москва, Преображенская площадь, д. 8)

Калянов Александр Евгеньевич, доцент, канд. техн. наук, Уральский государственный горный университет (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-6905-0416>, e-mail: aleksandr.kalyanov@m.ursmu.ru

Жилинков Александр Александрович, канд. техн. наук, Уральский государственный горный университет (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), Уральский Федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина (620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3252-8577>, e-mail: zhilinkov@m.ursmu.ru

Девяткин Евгений Александрович, аспирант, Уральский государственный горный университет (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30)

Заявленный вклад авторов:

Лагунова Юлия Андреевна – генерация идеи исследования, постановка задачи исследования, научный менеджмент, написание текста статьи;

Быков Дмитрий Владимирович – сбор и анализ данных, обработка экспериментальных данных;

Калянов Александр Евгеньевич – математическая обработка результатов эксперимента;

Жилинков Александр Александрович – подготовка и проведение эксперимента, анализ результатов;

Девяткин Евгений Александрович – проведение эксперимента.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-6-23-33

Yulia A. Lagunova^{1,2}, Dmitry V. Bykov,^{1,3} Alexander E. Kalyanov¹, Alexander A. Zhilinkov^{1,2}, Evgeny A. Devyatkin¹

¹ Ural State Mining University

² Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

³ ООО НПО "Diotech"

* for correspondence: yu.lagunova@mail.ru

DIAGNOSIS OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE FLEET OF CRUSHING AND GRINDING EQUIPMENT OF PJSC "URALASBEST"



Article info

Received:

31 October 2025

Accepted for publication:

14 November 2025

Accepted:

15 November 2025

Published:

18 December 2025

Keywords: crushing and grind-

Abstract.

Improving crushing and grinding equipment, the operating costs of which account for 70% of the total cost of mineral processing or the production of construction materials such as crushed stone and cement, is a pressing issue. Crushing and grinding equipment is part of the ore preparation machinery, located at the beginning of the process chain, where ensuring uninterrupted, reliable operation is particularly critical, as downtime causes significant losses. The article considers the data on the operation of crushing and grinding equipment in Russia. The percentage of wear of the crushing and grinding equipment in Russia by industry is shown. The time spent by the equipment in repair is given. It is shown that the technical diagnostics of the technical object condition remains the decisive factor in the effective operation of crushing and grinding equipment. This work is devoted to the organization of diagnostic support for crushing and grinding equipment (CGE) with the storage of all previous diagnostic results in order to provide useful and objective information representing the background (dynamics) of the development of the process of changing the technical characteristics of CGE in the past, which can be used for systematic correction

ing equipment; technical condition; vibration diagnostics data for PJSC Uralasbest.

of the forecast and increasing its reliability. The analysis showed the possibility of improving diagnostic methods due to: optimization of diagnostic algorithms and the use of the latest vibration diagnostic equipment. As conclusions, it is proposed to use reliably operating external and built-in diagnostic tools for collecting data from equipment checkpoints, providing objective and complete information. The results of experimental data on the assessment of the technical condition of crushing and grinding equipment at PJSC Uralasbest using vibration diagnostics hardware are presented. Recommendations are given for eliminating the detected equipment defects.

For citation: Lagunova Yu.A., Bykov D.V., Kalyanov A.E., Zhilinkov A.A., Devyatkin E.A. Diagnostics of the technical condition of the crushing and grinding equipment fleet of PJSC Uralasbest. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2025; 6(182):23-33 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2025-6-23-33, EDN: AUOCJQ

REFERENCES

1. Klushantsev B.V., Ermolaev P.S., Dudko A.A. Machines and equipment for the production of crushed stone, gravel and sand. M.: Mashinostroenie; 1976. 182 p.
2. Gruzdev A.V. Crushing and grinding equipment of the United Machine-Building Plants corporation. *Mining magazine*. 2004; 3.
3. Andreeva L.I. Organizational foundations of the system for ensuring the operability of mining equipment in open-pit coal mines. Dissertation for the degree of candidate of technical sciences. Chelyabinsk, 1999.
4. Andreeva L.I., Davletshina D.R. Analysis of systems of scheduled preventive maintenance of mining equipment: Prevention strategy. *Mining equipment and electromechanics*. 2014; 6:38-42.
5. Andreeva L.I. Integrated solutions for asset management in the system of technical maintenance and repair of mining equipment. *Problems of subsoil use*. 2023; 3(38):79-88. DOI: 10.25635/2313-1586.2023.03.079.
6. Kasimov A.M. Improving repair production at the enterprise M.: Economica; 1985. 112 p.
7. Guericke B.L., Abramov I.L., Guericke P. B. Spectral method of vibration diagnostics of bearing units of quarry excavators. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2007; 3(61):7-9.
8. Zhang Z., Zhang H., Chen Y., Yan H. Research on dynamic load estimation method of crawler travel system. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2023; 37:555-567. DOI: 10.1007/s12206-023-0102-9.
9. Bouhalais M.L., Djebala A., Ouelaa N., Khemissi M. CEEMDAN and OWMRA as a hybrid method for rolling bearing fault diagnosis under variable speed. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2018; 94:2475-2489. DOI: 10.1007/s00170-017-1044-0.
10. Drygin S.Yu. Justification of the method of vibration agnostics of the technical condition of single-bucket quarry excavators: specialty 05.05.06 "Mining machines": abstract of the dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Drygin Sergey Yuryevich. Kemerovo, 2005. 18 p. EDN NIAYEP.
11. Korogodin A.S., Ivanov S.L. Assessment of the technical condition of the sliding support bearings of a drum mill during operation as part of an Arctic complex of mining equipment. *Mining industry*. 2024; 6:144-151. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-6-144-151.
12. Rassomagin A. . Optimization of the maintenance and repair strategy using intelligent methods. *Innovations and Investments*. 2019; 7:130-136.
13. Hemati Ali, Shoostari Alireza Bearing failure analysis using vibration analysis and natural frequency excitation. *Journal Of Failure Analysis And Prevention*. 2023; 23(4):1431-1437. DOI: 10.1007/s11668-023-01700-0.
14. Kumar R., Anand R.S. Statistical Analysis of Vibration Signal Frequency During Inner Race Fault of Rolling Ball Bearings. *Journal of Failure Analysis and Prevention*. 2023; 23:2274. DOI: 10.1007/s11668-023-01760-2.
15. Hogir Rafiq. Condition Monitoring and Nonlinear Frequency Analysis Based Fault Detection of Mechanical Vibration Systems. *Springer Nature*. 2023. DOI: 10.1007/978-3-658-42480-0.
16. Drygin M.Yu., Kurnyshkin N.P. Diagnostics of the condition of heavy mining equipment during scheduled preventive maintenance. *Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines*. 2017; 5(2):115-122.
17. Guericke B.L., Kozovoy G.I., Kvaginidze V.S., Khoreshok A.A., Guericke P.B. Diagnostics of Mining Machinery and Equipment. 2012. 400 p.
18. Korogodin A.S., Ivanov S.L. Forecasting the Residual Life of Drum Mill Bearing Support Units to Assess Service Life Based on Temperature Field Changes. *Transport, Mining and Construction Engineering: Science and Production*. 2022; 17-1:186-195. DOI: 10.26160/2658-3305-2022-17-186-195.
19. Sushko A.E., Bykov D.V., Lagunova Yu.A. Comprehensive assessment of the technical condition of process equipment. *Technological equipment for the mining and oil and gas industry. Collection of papers of the XXIII International scientific and technical conference held within the framework of the Ural Mining Decade*. General editor Yu.A. Lagunova. Ekaterinburg, 2025. Pp. 367-371.
20. Lagunova Yu.A., Makarova V.V., Bykov D.V. Assessment of the technical condition of the travel gearbox of a quarry excavator. *Mining equipment and electromechanics*. 2024; 1:40-49.

The authors declare no conflict of interest.

About the author:

Yuliya A. Lagunova, Doctor of Technical Sciences, Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Ural State Mining University, (Russia, Yekaterinburg, 620144, Kuibyshev street, 30), Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, (Russia, Yekaterinburg, 620002, Str. Mira, 19), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3828-434X>, e-mail: yu.lagunova@mail.ru

Dmitry V. Bykov, postgraduate student, Ural State Mining University (620144, Russia, Yekaterinburg, Kuibysheva St., 30), project manager, NPO Diotech LLC (107061, Russia, Moscow, Preobrazhenskaya Square, 8)

Alexander E. Kalyanov, Candidate of Sciences in technology, Associate Professor, Ural State Mining University, (Russia, Yekaterinburg, 620144, Kuibyshev street, 30), ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-6905-0416>, e-mail: aleksandr.kalyanov@m.ursmu.ru

Aleksandr A. Zhilinkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Ural State Mining University, (Russia, Yekaterinburg, 620144, Kuibyshev street, 30), Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, (Russia, Yekaterinburg, 620002, Str. Mira, 19), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3252-8577>, e-mail: zhilinkov@m.ursmu.ru

Evgeniy A. Devyatkin, graduate student, Ural State Mining University (620144, Russia, Yekaterinburg, Kuibysheva St., 30).

Contribution of the authors:

Yuliya A. Lagunova – generation of the research idea, formulation of the research task, scientific management, writing the article;

Dmitry V. Bykov – data collection and analysis, processing of experimental data;

Alexander E. Kalyanov – mathematical processing of the experimental results;

Aleksandr A. Zhilinkov – preparation and conduct of the experiment, analysis of the results;

Evgeniy A. Devyatkin – conducting the experiment.

Authors have read and approved the final manuscript.

