

Научная статья

УДК 681.518.5

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-1-55-64

Герике Павел Борисович¹, Герике Борис Людвигович^{1, 2}¹ Институт угля Федерального Исследовательского Центра угля и углехимии СО РАН² Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

* для корреспонденции: am_besten@mail.ru

**ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ С ПОМОЩЬЮ
ЕДИНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ****Информация о статье**

Поступила:

19 ноября 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

01 марта 2025 г.

Принята к печати:

10 марта 2025 г.

Опубликована:

24 марта 2025 г.

Ключевые слова:

вибродиагностика, ленточный конвейер, единый диагностический критерий, неразрушающий контроль, горное оборудование, управление техническим обслуживанием

Аннотация.

Актуальность работы. Настоящая работа затрагивает результаты исследований в области контроля параметров механических колебаний оборудования ленточных конвейеров, полученные с применением новых единых диагностических критериев, разработанных с учетом специфики условий эксплуатации и особенностей конструкции различного энерго-механического оборудования, эксплуатируемого на угольных разрезах и каменных карьерах Кузбасса.

Методология создания единых критериев основана на комплексном использовании вибродиагностических данных и позволяет осуществлять прогнозирование изменения фактического состояния обследуемых технических устройств на срок до шестидесяти календарных дней, что дает возможность применять полученные результаты для решения задачи по поиску дефектов горного оборудования и минимизации рисков возникновения аварийных ситуаций в условиях системы планово-предупредительных ремонтов.

Цель работы: Анализ возможностей, которые предоставляет использование новых единых диагностических критериев для комплексного диагностирования по параметрам вибрации и прогнозирования изменения фактического состояния приводов ленточных конвейеров.

Методы исследования: В рамках выполнения работы использовались комплексные результаты контроля параметров вибрации приводов ленточных конвейеров, включая данные спектрального анализа, анализа огибающей и эксцесса.

Результаты: Эффективность использования предложенных единых диагностических критериев подтверждается результатами выполненного контроля и прогнозирования технического состояния ленточных конвейеров, что открывает дополнительные перспективы для расширения области применения новых подходов к диагностике дробильно-сортировочного оборудования. Полученные данные могут оказаться полезными для совершенствования существующих сегодня подходов к техническому обслуживанию горного оборудования и внедрения элементов систем обслуживания техники по ее фактическому состоянию.

Для цитирования: Герике П.Б., Герике Б.Л. Выявление дефектов ленточных конвейеров с помощью единых диагностических критериев // Горное оборудование и электромеханика. 2025. № 1 (177). С. 55-64. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-1-55-64, EDN: GKECBV

Введение. До 20% дробильно-сортировочного оборудования на обогатительных фабриках и карьерах Кузбасса, попадающего под экспертизу промышленной безопасности технических устройств, эксплуатируемых на опасных производственных

объектах, сегодня находится в недопустимом техническом состоянии, что приводит к росту непродуцируемых простоев оборудования и увеличению себестоимости готовой продукции [1].



Рис. 1. Общий вид привода ленточного конвейера Л-650
Fig. 1. General view of the L-650 belt conveyor drive

Объектом настоящей работы были выбраны ленточные конвейеры как наиболее распространенный тип горнотранспортного оборудования, повсеместно используемый на промышленных предприятиях для перемещения массы измельченного материала. Параметры вибрации контролировались на динамически работающем оборудовании, особенностью эксплуатации которого являлось не всегда точное и в срок выполнение требований системы планово предупредительных ремонтов, использование при проведении ремонтов восстановленных агрегатов и запасных частей, значительная загрязненность оборудования и т. д. Оценка параметров вибрации приводов ленточных конвейеров была реализована в качестве наиболее эффективного метода неразрушающего контроля, позволяющего получить максимум информации о состоянии объектов диагностирования без проведения дополнительных дорогостоящих и затратных диагностических мероприятий, сопряженных с необходимостью вывода оборудования из эксплуатации и ростом непроизводительных простоев.

Методика проведения исследований. Данные контроля вибрации, использованные для выполнения оценки и прогнозирования технического состояния обследованных агрегатов, основаны на результатах комплексного анализа диагностических данных с использованием принципов оптимальной скаляризации диагностических данных [1]. Обоснование применения сочетания конкретных диагностических методологий, признаков и правил выявления дефектов произведено в методике разработки новых единых критериев, созданной в рамках выполнения гранта РФФИ и Кемеровской области №20-48-420010.

В частности, анализ существующих трендов в области контроля технического состояния оборудования угольной промышленности [2, 3, 4] позволил выявить в качестве основных следующие диагностические методологии и признаки выявления дефектов, применение которых может быть оправ-

дано при диагностике ленточных конвейеров с точки зрения особенностей условий их эксплуатации (нарушение условий смазки, значительные нагрузки, перепад температур) и специфики их конструкции (постоянные рабочие частоты, труднодоступность некоторых измерительных точек, жесткость опорной системы, использование соединительных муфт различного типа и конструкции). Например, для диагностики двигателей среди прочего это признаки дисбаланса ротора и расцентровки привода – в том числе использование оценки величины общего вклада совокупности амплитуд первых пяти гармоник виброскорости для всех трех пространственных плоскостей диагностируемого агрегата, а также оценки интенсивности механических колебаний на оборотной и удвоенной оборотной частотах с использованием спектральных масок, полученных на основе статистической обработки результатов вибромониторинга, позволяющей получить информацию о качестве центровки сопряженных валов работающих агрегатов.

Для комплексной диагностики подшипников качения использовался общий уровень подшипниковых составляющих по спектру виброскорости; нормированный отфильтрованный общий уровень виброускорения; мера сходства, рассчитываемая по спектру огибающей; высокочастотный эксцесс.

Состояние редукторов рассматривалось с применением спектральных масок, разработанных с учетом основных диапазонов проявления дефектов диагностируемого оборудования.

Для оценки состояния рам и фундаментов применялся анализ общего уровня активности гармонического ряда оборотной частоты (вплоть до ее двенадцатой гармоники), оценка наличия в спектрах комбинаторных модуляционных частот рядов нарушения жесткости, оценка меры сходства спектров огибающей и анализ относительного уровня шума, содержащегося в исходном виброакустическом сигнале.

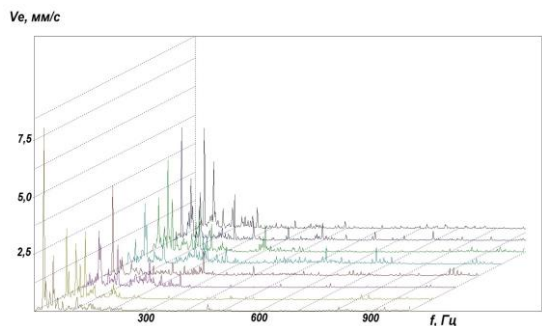
Результаты исследования. Среди дефектов энерго-механического оборудования ленточных конвейеров в качестве основных можно выделить несоосность привода, дефекты зубчатых зацеплений в редукторах и неуравновешенность ротора электродвигателя, так как именно эти повреждения привносят заметный вклад в общий уровень вибронагруженности диагностируемого оборудования. Кроме того, повсеместно встречаются признаки наличия дефектов подшипников и нарушения жесткости опорной системы, а также повреждения элементов соединительных муфт.

Большую часть этих дефектов условно можно отнести к эксплуатационным, связанным с нарушением режимов эксплуатации горной техники, вместе с тем встречаются признаки некачественного монтажа и центровки агрегатов – все это может являться причиной преждевременного выхода оборудования из строя и оказать влияние на экономические показатели работы предприятия.

Реализация принципов комплексного подхода к анализу вибрации дает возможность получить больше полезной диагностической информации и

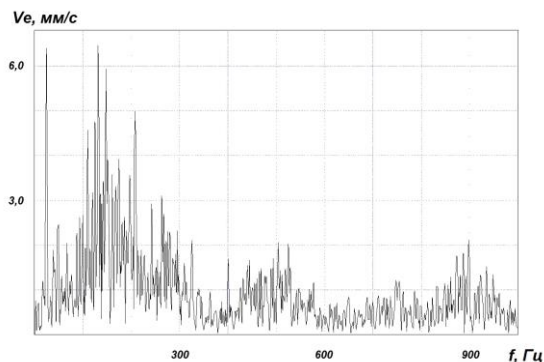
уйти от привязки к конкретному методу, имеющему свои ограничения на область применения (например, использование результатов анализа эксцесса позволяет проводить диагностику при отсутствии сведений о геометрических параметрах подшипника, а анализ огибающей позволяет компенсировать источники случайной высокочастотной вибрации, использование расширенного измерительного диапазона позволит отследить параметры даже при низких частотах вращения вала и т. п.) [5, 6]. Таким образом, анализ результатов комплексного подхода к оценке параметров вибрации позволяет эффективно оценить фактическое состояние оборудования и диагностировать его дефекты, в том числе находящиеся на стадии зарождения, при этом недостатки отдельных используемых вибродиагностических методологий нивелируются использованием данных, предоставляющих дополнительную диагностическую информацию о состоянии объектов исследования.

Ниже на Рис. 2 приведены примеры некоторых дефектов, наиболее распространенных на приводах обследованных ленточных конвейеров. Результаты

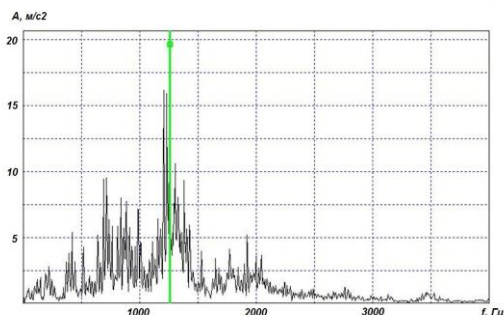


А) Нарушение центровки электродвигателя с редуктором, незначительное нарушение жесткости опорной системы

Misalignment of the electric motor with the gearbox, slight violation of the rigidity of the support system



Б) Несоосность валов, локальный абразивный износ зубчатых зацеплений редуктора
Misalignment of shafts, local abrasive wear of gears of the gearbox



В) Множественные дефекты подшипника приводного барабана
Multiple defects in the drive drum bearing

Рис. 2. Спектры вибрации, содержащие признаки наличия основных дефектов энерго-механического оборудования ленточных конвейеров

Fig. 2. Vibration spectra containing signs of the presence of main defects in the energy-mechanical equipment of belt conveyors

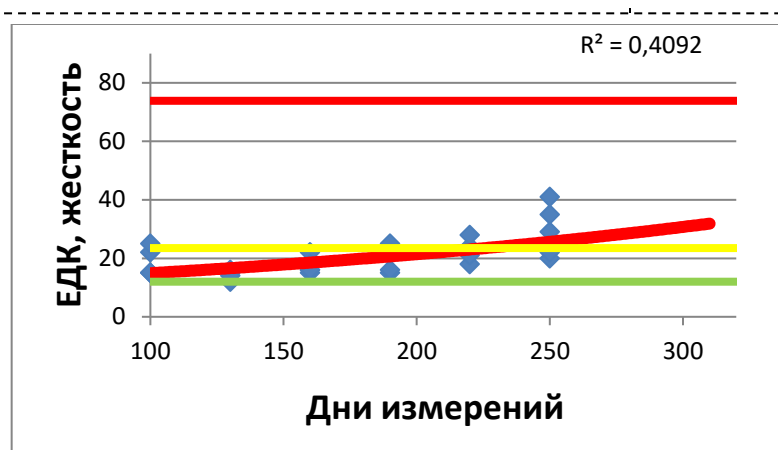


Рис. 3. Среднесрочный прогноз по модифицированному критерию нарушения жесткости системы привода ленточного конвейера Л-800
Fig. 3. Medium-term forecast for the modified criterion of violation of the rigidity of the drive system of the L-800 belt conveyor

спектрального анализа иллюстрируют наличие несоосности, нарушения жесткости опорной системы, множественные дефекты подшипника и износ зубчатых зацеплений редуктора, при этом из-за конструктивных особенностей данного оборудования часть спектральных признаков невозможно интерпретировать однозначно, т. к. частоты проявления информативных гармоник для дефектов различной природы (например, признаки расцентровки и замыкания обмоток электродвигателя) могут совпадать вплоть до 0,1 Гц.

Измерения вибрации проводились с использованием сертифицированного виброанализатора АГАТ-М, удовлетворяющего жестким требованиям в части эксплуатации в условиях угольной промышленности, включая расширенный частотный и динамический диапазон измерений, наличие нескольких измерительных трактов, многозадачность программного обеспечения прибора (включая реализацию отдельных методов контроля), пылевлагодостойкое искровзрывобезопасное исполнение, возможность работы при отрицательных температурах, малый вес и габариты. Объектами исследования стали ленточные конвейера марок УКЛС-650, УКЛС-800, КЛС-1600, КЛС-1000, КЛС-1200 с шириной ленты от 650 до 1600 мм и мощностью установленного привода от 35 до 200 кВт. Объем диагностируемой выборки составил 15 единиц ленточных конвейеров, наблюдение за которыми производилось в течение полугода.

Основной научной задачей, которая ставилась перед настоящим исследованием, являлась апробация новых единых диагностических критериев (ЕДК) для оценки состояния приводов ленточных конвейеров, а также проверка работоспособности разработанных алгоритмов прогнозирования технического состояния, основанных на кратко- и среднесрочном моделировании изменения величин ЕДК в зависимости от исходных условий и наработки диагностируемых объектов. Базы данных по параметрам вибрации ленточных конвейеров, использованные в рамках выполнения настоящей задачи, включали все основные характеристики, необходимые для расчета большинства новых критериев, исключением стало разве что отсутствие индивидуальных спектральных масок для редукторов и результатов контроля шумовой составляющей

спектра, необходимой для расчета ЕДК для оценки жесткости системы. С целью получения комплексных результатов прогнозирования в рамках настоящей работы была проведена корректировка существующих критериев с учетом наличия ограничений по имеющейся диагностической информации, для чего некоторые алгоритмы были изменены с учетом наличия актуальных замеров вибрации на оборудовании обследованных ленточных конвейеров (см. пример прогноза на Рис. 3). В частности, изменения затронули единый критерий для диагностики нарушения жесткости, из расчетов которого была убрана информация о наличии уровня шума в регистрируемом сигнале вибрации. Кроме того, расчет единых критериев для диагностики редукторов не производился вовсе, т. к. имеющиеся наработки в этой области основаны на использовании спектральных масок, разработка которых для рассматриваемого номенклатурного ряда ленточных конвейеров является отдельной научной задачей, находящейся за рамками настоящего исследования.

Результаты проведенных исследований позволяют свидетельствовать, что именно данные комплексного диагностического подхода к анализу параметров вибрации и созданные на их основе единые диагностические критерии (ЕДК), предназначенные для оценки состояния всего базового энерго-механического оборудования горных машин, могут предоставить возможность использования эффективной математической деградационной модели для решения задач, связанных с получением средне- и краткосрочного прогноза безаварийной работы сложных механических систем, эксплуатируемых в условиях угольной отрасли [1]. Максимальный период прогнозирования в таких условиях составляет до шестидесяти календарных дней, что полностью перекрывает потребности системы планово-предупредительных ремонтов горного оборудования и позволяет выполнить оценку риска возникновения аварии до момента проведения ближайшего ремонта.

Единой прогнозной универсальной математической модели, способной оценить и спрогнозировать процессы изменения технического состояния дробильно-сортировочного и горнотранспортного оборудования, в мировой практике виброанализа до сих пор не существует, причины этого кроются в

различиях используемых диагностических подходов и сложностях, возникающих при реализации большого количества диагностических признаков наличия дефектов энерго-механического оборудования, а также в недостаточной изученности вопросов динамики горных машин [7, 8, 9]. Однако для заданных условий моделирования (таких как периодичность проведения ремонтов, необходимость адаптации параметров модели к быстро меняющимся внешним условиям) наиболее эффективным может оказаться реализация принципов адаптивного краткосрочного прогнозирования, позволяющих быстро корректировать параметры модели в соответствии с текущими диагностическими показателями и осуществлять прогнозирование на период до двух стандартных диагностических интервалов [10, 11]. Основными недостатками существующих математических моделей такого типа обычно являются узкая область применения получаемых результатов прогнозирования, ограниченная обычно единичным механическим элементом конструкции машины, а также использование в качестве параметров модели базовых диагностических параметров (например, моделирование параметра виброскорости V_e [5, 12]), использование которых не позволяет в полной мере интерпретировать все процессы, происходящие при зарождении и развитии дефектов в сложных механических системах. Использование в подобных адаптивных алгоритмах в качестве моделируемых параметров единых диагностических критериев, одним из преимуществ которых является исключение из расчетов большого числа громоздких диагностических признаков и правил выявления дефектов, может открыть инновационный путь к прогнозированию комплекса параметров, характеризующих изменение фактического состояния всего диагностируемого устройства в целом, а не его отдельных элементов и узлов.

Обобщение результатов комплексного анализа параметров вибрации, генерируемой при работе энерго-механического оборудования горных машин, позволило выбрать из состава ранее формализованных более чем ста сорока базовых диагностических признаков персонализированные наборы диагностических данных, анализ которых позволяет получить максимум полезной информации, необходимой для идентификации дефектов приводов ленточных конвейеров. Таким образом, в рамках выполнения настоящей работы использовались единые критерии для диагностики подшипников качения, расцентровки, дисбаланса, модифицированный критерий для нарушения жесткости и соединительных муфт. Единый критерий для диагностики редукторов не применялся в силу того, что его использование в настоящее время возможно только на редукторах карьерных экскаваторов, получение информативных результатов на оборудовании другого типового и модельного ряда затруднено из-за специфики создания ЕДК, предусматривающего использование узкоспециализированных спектральных масок. Таким образом, одной из задач, стоящих перед настоящим исследованием, была необходимость проверить достаточность и эф-

фективность предложенного набора ЕДК для выполнения оценки и прогнозирования процесса изменения технического состояния приводов ленточных конвейеров.

Решение этой задачи позволит осуществить совершенствование методологических подходов, связанных с диагностикой горного оборудования по параметрам вибрации, а также создание рабочих алгоритмов прогнозирования с использованием в качестве моделируемого параметра адаптивной деградиционной модели единых диагностических критериев, предназначенных для выполнения комплексной оценки и прогнозирования изменения фактического состояния объектов исследования на основе анализа параметров генерируемой при их работе вибрации. Все перечисленное позволит реализовать на практике элементы системы обслуживания горной техники по ее фактическому состоянию, что в перспективе способно привести к снижению уровня логистических издержек эксплуатирующих промышленных предприятий, снизить уровень непроизводительных простоев сложного и дорогостоящего технологического оборудования, а также повысить общий уровень безопасности при проведении горных работ.

Достоверность результатов моделирования с использованием адаптивных моделей можно повысить при условии уменьшения временного интервала, на который осуществляется прогноз, а также с использованием возможно большего объема диагностических данных, записанных на выборке из однотипных технических устройств, эксплуатируемых со схожими режимными характеристиками (при этом минимальное потребное для проведения расчетов количество измерений вибрации было принято равным пяти [1]).

Решение задачи прогнозирования технического состояния, в свою очередь, требует реализации эффективных способов выделения трендов детерминированной составляющей из регистрируемых сигналов вибрации [13, 14]. ЕДК, использованные в качестве моделируемых параметров прогнозной модели, разработаны с использованием анализа многомерного пространства диагностических признаков с применением алгоритмов «оптимальной» скаляризации с учетом распределения обследуемых объектов на различные группы в зависимости от их фактического технического состояния.

Кроме того, алгоритм создания единых критериев включает в себя индивидуальные процедуры клиппирования или фильтрации, с помощью которых из спектров удалялась вся лишняя информация, не имеющая прямого отношения к рассматриваемому типу дефекта. При разработке ЕДК была реализована процедура модифицированного поэтапного клиппирования, осуществляющая поэтапную фильтрацию сглаженного спектра вибрации. Таким образом, в результате выполненного клиппирования каждый модифицированный замер вибрации может быть представлен в виде суммы аналогичных между собой компонентов вибрации, например, подшипниковых гармоник или частотных рядов нарушения жесткости [15, 16].

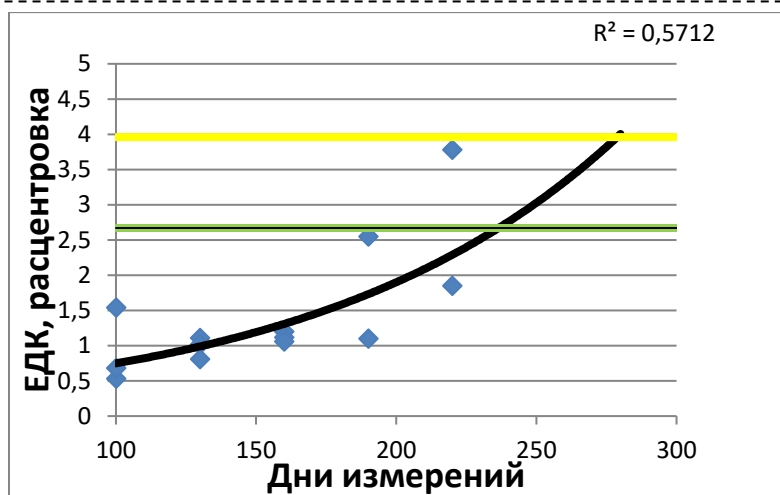


Рис. 4. Результаты среднесрочного прогнозирования расцентровки привода ленточного конвейера Л-800

Fig. 4. Results of medium-term forecasting of drive misalignment of the L-800 belt conveyor

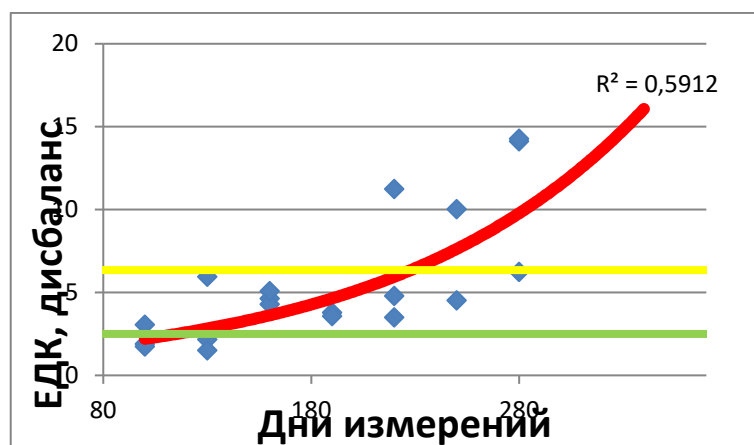


Рис. 5. Среднесрочное прогнозирование развития неуравновешенности ротора ленточного конвейера Л-800

Fig. 5. Medium-term forecasting of the development of imbalance of the rotor of the L-800 belt conveyor

Очевидно, что только комплексное применение нескольких новых ЕДК позволит в достаточной мере оценить работоспособность привода ленточного конвейера, рассматриваемого как единое техническое устройство, а не как набор отдельных несвязанных между собой узлов и деталей [17, 18]. Результаты исследований показали, что использование результатов прогнозирования на основе ЕДК для расцентровки, дисбаланса, жесткости и подшипников позволяет дать эффективную оценку фактическому состоянию приводов ленточных конвейеров на основе комплексного анализа параметров вибрации, полученные результаты могут использоваться для проведения кратко- и среднесрочного прогнозирования процессов деградации объектов диагностирования. Полученные результаты свидетельствуют о корректности предложенных алгоритмов прогнозирования и эффективности реализованных единых диагностических критериев для оценки технического состояния ленточных конвейеров.

Обсуждение результатов.

Результаты прогнозирования свидетельствуют о возможности безаварийной работы обследованных ленточных конвейеров на рассматриваемом временном периоде, составляющем до шестидесяти календарных дней (см. пример реализации адаптивной модели с использованием ЕДК для нарушения центровки привода ленточного конвейера на Рис. 4).

В качестве объекта моделирования здесь выступил привод ленточного конвейера Л-800, наблюдения за объектом продолжались на протяжении полугода. В соответствии с результатами прогнозирования конвейер безаварийно отработал весь период прогнозирования до момента планируемого годового ремонта. Результаты замеров вибрации, выполненные непосредственно перед выходом оборудования в ремонт, подтвердили, что объект диагностирования находится в допустимом техническом состоянии. На основании результатов контроля были даны рекомендации по виброналадке оборудования, при этом необходимость в проведении работ по центровке привода отсутствовала.

Кроме того, результаты расчетов показали, что среднесрочный прогноз, осуществленный по критериям для нарушения жесткости, дисбаланса и расцентровки, показал минимальную вероятность аварийного выхода из строя диагностируемого оборудования по данным показателям (см. Рис. 3, 4, 5).

Вместе с тем результаты прогнозирования технического состояния с использованием ЕДК для подшипников показали наличие среднесрочной вероятности выхода из строя подшипника электродвигателя ленточного конвейера Л-800 №8 (см. Рис. 6). В соответствии с полученными данными были даны рекомендации о проведении ревизии и планировании замены дефектного подшипника. Запланированная ревизия была проведена, и в рамках выполнения ближайшего ремонта осуществле-

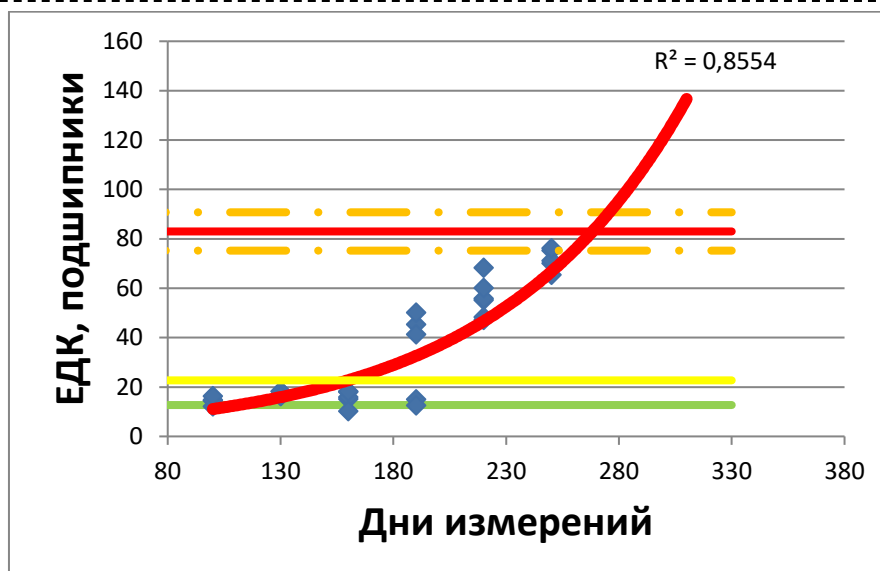


Рис. 6. Среднесрочный прогноз выхода из строя подшипника электродвигателя ленточного конвейера Л-800

Fig. 6. Medium-term forecast of failure of the bearing of the electric motor of the L-800 belt conveyor

на замена дефектного подшипника электродвигателя, позволившая избежать аварийной остановки оборудования и увеличения доли непроизводительных простоев технологической цепи.

Заключение. Таким образом, результаты прогнозирования подтверждаются данными проведенного визуально-измерительного контроля, выполненного в рамках проведенных ремонтов. Эффективность применения единых диагностических критериев для оценки технического состояния оборудования ленточных конвейеров с учетом внесенных изменений в алгоритм их реализации подтверждена на практике при анализе выборки диагностической информации по пятнадцати ленточным конвейерам. Результаты исследований доказано, что полученные научные результаты могут использоваться для выполнения комплексной оценки технического состояния приводов ленточных конвейеров, а также могут оказаться полезными при внедрении на угольных предприятиях Кузбасса элементов системы обслуживания горной техники по ее фактическому техническому состоянию. Показано, что именно результаты комплексного подхода к использованию новых ЕДК позволяют раскрыть потенциал использования существующих деградационных моделей и дополнить данные неразрушающего контроля результатами прогнозирования процессов изменения технического состояния оборудования ленточных конвейеров, полученными на основе анализа вибрации с использованием оценки рисков наступления аварийных ситуаций по всем базовым дефектам диагностируемого оборудования.

Совершенствование единых критериев оценки вибрации и разработанного программного обеспечения позволит предложенной прогностической модели более гибко приспосабливаться к изменяющимся входным данным, зависящим в том числе от кинематики обследуемых агрегатов и режимов их работы [19, 20]. Реализация на практике алго-

ритмов системы управления техническим обслуживанием горных машин на основе анализа их фактического состояния с применением предложенной методологии диагностики и новых единых критериев позволит планировать проведение ремонтов на основе анализа результатов прогнозирования процессов изменения технического состояния эксплуатируемого оборудования и решать логистические задачи по снабжению предприятий запасными частями для проведения ремонтов оборудования «точно в срок», а также свести к минимуму количество непроизводительных аварийных простоев горной техники и повысить общий уровень безопасности при проведении горных работ.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» проект FWEZ-2024-0024 «Разработка эффективных технологий добычи угля роботизированными горнодобывающими комплексами без постоянного присутствия людей в зонах ведения горных работ, систем управления и методов оценки технического состояния и диагностики их ресурса и обоснование обеспечения воспроизводства минерально-сырьевой базы. 2024-2025 гг.» (рег. № 1022041500010-0-1.5.1;2.7.5).

The work was performed within the framework of the state assignment of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, : Project FWEZ-2024-0024 «Development of efficient technologies of coal mining by robotic mining complexes operating without permanent presence of personnel in mining zones, design of control systems and methods to assess their technical condition and operating life as well as justification of the mineral resource base reproduction. 2024-2025» (Reg. No. 1022041500010-0-1.5.1;2.7.5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование процессов формирования и распространения виброакустических волн для создания единых диагностических критериев оценки технического состояния горных машин. Отчет по НИР: грант № 20-48-420010. Российский фонд фундаментальных исследований. 2020.
2. Барков А. В., Баркова Н. А. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации. Учебное пособие. Санкт-Петербург: Издательство СПбГМТУ, 2004. 156 с.
3. Wang T., Han Q., Chu F., Feng Z. Vibration based condition monitoring and fault diagnosis of wind turbine planetary gearbox : A review // Mechanical Systems and Signal Processing. 2019. V.126., Pp. 662-685. DOI: 10.1016/j.ymssp.2019.02.051.
4. Неразрушающий контроль. Справочник в 7 томах под редакцией чл.-корр. РАН В. В. Клюева. Т. 7. Москва, 2005. 828 с.
5. Puchalski A., Komorska I. Stable distributions and fractal diagnostic models of vibration signals of rotating systems // Applied Condition Monitoring. 2018. Vol. 9. Pp. 91–101. DOI: 10.1007/978-3-319-61927-9_9.
6. 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.
7. 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. Pp. 2260-2274. DOI: 10.1007/s11668-023-01760-2.
8. Hogir Rafiq. Condition Monitoring and Non-linear Frequency Analysis Based Fault Detection of Mechanical Vibration Systems // Springer Nature. 2023. DOI: 10.1007/978-3-658-42480-0.
9. Trebuna F., Šimcak F., Bocko J., Hunady R., Pastor M. Complex approach to the vibrodiagnostic analysis of excessive vibration of the exhaust fan // Engineering Failure Analysis. 2014. № 37. Pp. 86–95.
10. Гери́ке П. Б., Гери́ке Б. Л., Никитин А. Г. Использование единого диагностического критерия для прогнозирования технического состояния горного оборудования. // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: Материалы международной научно-практической конференции «Уголь и майнинг 2024». Новокузнецк : СибГИУ, 2024. № 10. С. 91–97.
11. Xu Hong-yang, Zhao Xiang, Ma Hui, Luo Zhong, Han Qing-kai, Wen Bang-chun. Vibration analysis of a gear-rotor-bearing system with outer-ring spalling and misalignment // J. Cent. South Univ. 2024. 31. DOI: 10.1007/s11771-024-5576-9.
12. Shardakov I., Shestakov A., Tsvetkov R., Yepin V. Crack diagnostics in a large-scale reinforced concrete structure based on the analysis of vibration processes // AIP Conference Proceedings. 2018. 2053. 040090 DOI: 10.1063/1.5084528.
13. Ширман А. Р., Соловьев А. Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. Москва, 1996. 276 с.
14. Гольдин А. С. Вибрация роторных машин. М. : Машиностроение, 1999. 344 с.
15. Ишин Н. Н., Гоман А. М., Скороходов А. С., Шпортько В. В., Пановко Г. Я., Шишко С. А., Карпович П. Г. Методика оценки модальных параметров планетарных редукторов мотор-колес карьерных самосвалов при их эксплуатационной вибродиагностике // Механика машин, механизмов и материалов. 2022. № 3 (60). С. 24–34.
16. Сундуков А. Е., Шахматов Е. В. Субгармоники зубцовой частоты в вибродиагностике износа зубьев редуктора газотурбинного двигателя // Динамика и виброакустика. 2022. Т. 8. № 2. С. 6–11.
17. Кузин Е. Г., Гери́ке Б. Л., Захаров А. Ю. Модели предельного состояния приводных станций ленточных конвейеров // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2024. №8. С. 92–107. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_8_0_92.
18. Десятников В. Е., Пичков С. Н. Особенности диагностирования подшипников качения методом огибающей // Контроль. Диагностика. 2023. Т. 26. № 9 (303). С. 58–64.
19. Насонов Д. А., Пузакина А. К. Влияние выбора точек контроля при вибродиагностике подшипниковых узлов электродвигателей // Машиностроение и инженерное образование. 2023. № 4 (73). С. 26–30.
20. Wrzochal M. New method of metrological evaluation of industrial rolling bearing vibration measurement systems // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2023. 124. Pp. 587–600. DOI: 10.1007/s00170-022-10359-0.

© 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:

Гери́ке Павел Борисович – канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории угольного машиноведения Института угля Федерального Исследовательского Центра угля и углехимии СО РАН (ФИЦ УУХ СО РАН), г. Кемерово, am_besten@mail.ru,

Гери́ке Борис Людвигович – докт. техн. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории угольного машиноведения Института угля Федерального Исследовательского Центра угля и углехимии СО РАН (ФИЦ УУХ СО РАН), профессор кафедры горных машин и комплексов Горного института Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово. gbl_42@mail.ru. 650065, г. Кемерово, пр-т Ленинградский, 10.

Заявленный вклад авторов:

Герике Павел Борисович – разработка методики исследования, проведение исследований, обработка результатов, обсуждение результатов и формулировка заключения.

Герике Борис Людвигович – постановка задачи исследования, обсуждение результатов и формулировка заключения.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-1-55-64

Pavel B. Gerike¹, Boris L. Gericke^{1,2}

¹Institute of Coal of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of SB RAS

²T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

* for correspondence: am_besten@mail.ru

DETECTION OF CONVEYOR BELT DEFECTS USING UNIFIED DIAGNOSTIC CRITERIA



Article info

Received:

19 November 2024

Accepted for publication:

01 March 2025

Accepted:

10 March 2025

Published:

24 March 2025

Keywords: vibration analysis, belt conveyor, unified diagnostic criterion, nondestructive testing, energomechanical equipment, maintenance management.

Abstract.

Relevance of the work. This work covers the results of research in the field of monitoring the parameters of mechanical vibrations of crushing and screening equipment, obtained using new unified diagnostic criteria developed taking into account the specifics of operating conditions and design features of various energy-mechanical equipment used in coal mines and stone quarries of Kuzbass. The methodology for creating unified criteria is based on the integrated use of vibration diagnostic data and allows for forecasting changes in the actual state of the technical devices being examined for up to sixty calendar days, which makes it possible to use the results obtained to solve the problem of finding defects in mining equipment and minimizing the risks of emergency situations in the context of a system of scheduled preventive maintenance.

Purpose of the work: Analysis of the possibilities provided by the use of new unified diagnostic criteria for complex diagnostics based on vibration parameters and predicting changes in the actual state of belt conveyor drives.

Research methods: The work was carried out using comprehensive results of monitoring the vibration parameters of energy-mechanical equipment of belt conveyors, including data from spectral analysis, envelope analysis and excess.

Results: The efficiency of using the proposed uniform diagnostic criteria is confirmed by the results of the performed monitoring and forecasting of the technical condition of belt conveyors, which opens up additional prospects for expanding the scope of application of new approaches to the diagnostics of crushing and sorting equipment. The obtained data proved useful for improving the maintenance of mining equipment and implementing elements of equipment maintenance systems based on its actual condition.

For citation: Gerike P.B., Gericke B.L. Detection of conveyor belt defects using unified diagnostic criteria. Mining Equipment and Electromechanics, 2025; 1(177):55-64 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2025-1-55-64, EDN: GKECBB

REFERENCES

1. Research of the processes of formation and propagation of vibroacoustic waves for the creation of uniform diagnostic criteria for assessing the technical condition of mining machines. Research work: grant No. 20-48-420010. Russian Foundation for Basic Research. 2020. (rus)

2. Barkov A.V., Barkova N.A. Vibration diagnostics of machines and equipment. Vibration analysis: Handbook. St. Petersburg, 2004. 156 p. (rus)

3. Wang T., Han Q., Chu F., Feng Z. Vibration based condition monitoring and fault diagnosis of wind turbine planetary gearbox : A review. Mechanical Sys-

tems and Signal Processing. 2019. V.126,. Pp. 662-685. DOI: 10.1016/j.ymssp.2019.02.051. (eng)

4. Non-destructive testing; Handbook. In 7 Vol. V. 7. Pod. red. V.V. Klyueva. Moscow: Mashinostroenie Publishers; 2005. 828 p. (rus)

5. Puchalski A., Komorska I. Stable distributions and fractal diagnostic models of vibration signals of rotating systems. Applied Condition Monitoring. 2018; 9:91–101. DOI: 10.1007/978-3-319-61927-9_9. (eng)

6. Hemati Ali, Shooshtari 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. (eng)

7. 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; 23:2260–2274. DOI: 10.1007/s11668-023-01760-2. (eng)

8. Hogir Rafiq. Condition Monitoring and Non-linear Frequency Analysis Based Fault Detection of Mechanical Vibration Systems. Springer Nature. 2023 <https://doi.org/10.1007/978-3-658-42480-0> (eng)

9. Trebuna F., Šimcak F., Bocko J., Hunady R., Pastor M. Complex approach to the vibrodiagnostic analysis of excessive vibration of the exhaust fan. Engineering Failure Analysis. 2014; 37:86–95. (eng)

10. P. B. Gerike, B. L. Gerike, A. G. Nikitin. Using a single diagnostic criterion to predict the technical condition of mining equipment. Naukoemkie tehnologii razrabotki i ispol'zovanija mineral'nyh resursov = High-tech technologies for the development and use of mineral resources. 2024; 10:91–97. (rus)

11. Xu Hong-yang, Zhao Xiang, Ma Hui, Luo Zhong, Han Qing-kai, Wen Bang-chun. Vibration analysis of a gear-rotor-bearing system with outer-ring spalling and misalignment. J. Cent. South Univ. (2024) 31: DOI: 10.1007/s11771-024-5576-9. (eng)

12. Shardakov I., Shestakov A., Tsvetkov R., Yepin V. Crack diagnostics in a large-scale reinforced concrete structure based on the analysis of vibration

processes. AIP Conference Proceedings. 2018; 2053:040090. DOI: 10.1063/1.5084528. (eng)

13. Shirman A.R., Solov'ev A.B. The practical vibration analysis and monitoring of mechanical equipment. Moscow: Spectrum engineering Publishers; 1996. 276 p. (rus)

14. Gol'din A.S. Vibration of rotating machines. Moscow: Mashinostroenie Publishers; 1999. 344 p. (rus)

15. Ishin N.N., Goman A.M., Skorohodov A.S., Shport'ko V.V., Panovko G.Ja., Shishko S.A., Karpovich P.G. Methodology for assessing modal parameters of planetary gearboxes of motor-wheels of quarry dump trucks during their operational vibration diagnostics. Mehanika mashin, mehanizmov i materialov = Mechanics of machines, mechanisms and materials. 2022; 3(60):24–34. (rus)

16. Sundukov A.E., Shahmatov E.V. Subharmonics of tooth frequency in vibration diagnostics of wear of gearbox teeth of gas turbine engine. Dinamika i vibroakustika = Dynamics and vibroacoustics. 2022; 8(2):6–11. (rus)

17. Kuzin E.G., Gerike B.L., Zaharov A.Ju. Limit state models of drive stations of belt conveyors. Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' = Mining information and analytical bulletin. 2024; 8:92–107. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_8_0_92. (rus)

18. Desjatnikov V.E., Pichkov S.N. Features of diagnostics of rolling bearings using the envelope method. Kontrol'. Diagnostika = Control. Diagnostics. 2023; 26(9(303)):58–64. (rus)

19. Nasonov D.A., Puzakina A.K. The influence of the choice of control points in vibration diagnostics of bearing units of electric motors Mashinostroenie i inzhenernoe obrazovanie = Mechanical engineering and engineering education. 2023; 4(73):26–30. (rus)

20. Wrzochal M. New method of metrological evaluation of industrial rolling bearing vibration measurement systems. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2023; 124:587–600. DOI: 10.1007/s00170-022-10359-0. (eng)

© 2025 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the author:

Pavel B. Gerike – C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Senior Researcher at the Laboratory of Coal Engineering at the Institute of Coal of the Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry SB RAS (FITZ UUH SB RAS), Kemerovo, am_besten@mail.ru, tel (3842)74-17-02

Boris L. Gerike - Dr. Sc. in Engineering, Professor, Chief Researcher at the Laboratory of Coal Engineering of the Institute of Coal of the Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry SB RAS (FITZ UUH SB RAS), Professor of the Department of Mining Machines and Complexes of the Mining Institute of the Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, Kemerovo, gbl_42@mail.ru, 10 Leningradsky Ave., Kemerovo, 650065.

Contribution of the authors:

Pavel B. Gerike – development of research methodology, conducting research, processing results, discussing results and formulating a conclusion.

Boris L. Gerike – formulation of the research problem, discussion of the results and formulation of the conclusion.

Authors have read and approved the final manuscript.



ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА



1₍₁₇₇₎ ♦ 2025

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

12+

1 (177)

2025

Основан в 2000 году

Выходит 6 раз в год

ISSN 1816-4528

Главный редактор:
Хорешок А.А., д.т.н., проф.

Зам. гл. редактора:
Лагунова Ю.А., д.т.н., проф.
Кантович Л.И., д.т.н., проф.

Редакционный совет:
Трубецкой К.Н., акад. РАН, д.т.н.
Галкин В.А., д.т.н.
Мерзляков В.Г., д.т.н., проф.
Блюменштейн В.Ю., д.т.н., проф.
Аксенов В.В., акад. АГН, д.т.н.

Редакционная коллегия:
Андреева Л.И., д.т.н.
Аннакулов Т.Ж., к.т.н., доц.
Воронова Э.Ю., д.т.н., проф.
Галкин В.И., д.т.н., проф.
Глебов А.В., к.т.н.
Жабин А.Б., д.т.н., проф.
Зырянов И.В., д.т.н.
Ляхомский А.В., д.т.н., проф.
Певзнер Л.Д., д.т.н., проф.
Петров В.Л., д.т.н., проф.
Семыкина И.Ю., д.т.н., проф.
Трифанов Г.Д., д.т.н., проф.
Хазанович Г.Ш., д.т.н., проф.
Юнгмейстер Д.А., д.т.н., проф.

Учредитель и издатель:
ФГБОУ ВО «Кузбасский
государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева»

**Адрес учредителя, издателя и
редакции:**
650000, Россия, Кемеровская область,
г. Кемерово, ул. Весенняя 28

Технический редактор:
Останин О.А.

**Дизайн обложки, компьютерная
верстка:** Бородин Д.А.

Телефон редакции:
+7 (384-2) 39-63-14

Email: gormash@kuzstu.ru
Сайт: http://gormash.kuzstu.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

- Завьялов В.М., Семыкина И.Ю., Велияев А.С., Дубков Е.А., Губарев Ф.А.,
Углова М.Б. Система управления для станции беспроводного заряда
аккумуляторов шахтного электровоза 3
- Туманов И.Е. Построение и анализ мультифизической модели двухтактного
электромагнитного возбудителя низкочастотных колебаний 13

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

- Коротков В.А. Повышение эффективности шлифования на основе применения
шлифовальных кругов с упорядоченной формой зерен и высокопористой
структурой 25

ГОРНЫЕ МАШИНЫ

- Линник Ю.Н., Линник В. Ю. Анализ способов оценки сопротивляемости
горных пород разрушению при динамическом приложении нагрузки 39
- Линник Ю.Н., Линник В. Ю. Влияние формы и размеров ударника на
показатели динамического разрушения горных пород 47
- Герике П.Б., Герике Б.Л. Выявление дефектов ленточных конвейеров с
помощью единых диагностических критериев 55
- Герике Б. Л., Должок Д. М., Лудзиш В. С., Дрозденко Ю. В. Разработка
системы мониторинга технического состояния вентиляторов главного
проветривания 65
- Ефременко В.М., Скребнева Е.В., Лебедев Г.М. Обеспечение безаварийного
состояния угольных шахт при перерывах электроснабжения от энергосистемы 75
- Черкасов П.В. Технологический процесс выпуска угля подкровельной толщи в
нотации системно-функционального подхода 85

Позиция редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов публикуемых материалов.

Полнотекстовый доступ к электронной версии журнала на сайте www.elibrary.ru
Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции

Издание соответствует коду 58.14.1 ОКПД 2 ОК 034-2014 (КПЕС 2008)

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций – Свидетельство о
регистрации ПИ № ФС77-76284 от 19 июля 2019 г.

Журнал включен в Перечень ВАК РФ – ведущих рецензируемых научных журналов и
изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты
диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук по направлениям
(технические науки):

- 2.5.5. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки
(технические науки)
- 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы (технические науки)
- 2.8.8. Геотехнология, горные машины (технические науки)

Дата выхода в свет: 24.03.2025. Формат 60×84/8. Бумага офсетная. Отпечатано на МФУ.
Уч.-изд. л. 12,5. Тираж 70 экз. Заказ 67. Цена свободная

Адрес типографии: Издательский центр КузГТУ
650000, Россия, Кемеровская область, г. Кемерово, ул. Д.Бедного, 4а

SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL

MINING EQUIPMENT AND ELECTROMECHANICS

GORNOE OBOURODOWANIE I ELEKTROMEKHANIKA

12+

1 (177)
2025

Founded in 2000

Issued 6 times a year

ISSN 1816-4528

Editor-in-chief:

Khoreshok A. A., Dr. Sc., prof.

Deputy editor-in-chief:

Lagunova, Yu. a., prof.
Kantowicz L. I., Dr. Sc., prof.

Editorial board:

Trubetskoy K. N., Acad. RAS, Dr. Sc.
Galkin V. A., Dr. Sc.
Merzlyakov V. G., Dr. Sc., prof.
Blumenstein V. Yu., Dr. Sc., prof.
Aksenov V. V., Akad. AMS., Dr. Sc.

Editorial Team:

Andreeva L. I., Dr. Sc.
Annakulov T.J., PhD, assoc. prof.
Voronova E.Yu., Dr. Sc., prof.
Galkin V. I., Dr. Sc., prof.
Glebov A.V., Ph. D.
Zhabin A. B., Dr. Sc., prof.
Zyryanov I. V., Dr. Sc.
Lakomski A. V., Dr. Sc., Prof.
Pevzner L. D., Dr. Sc., prof.
Petrov V. L., Dr. Sc., prof.
Semykina I. Yu., Dr. Sc., prof.
Trifanov G. D., Dr. Sc., prof.
Khazanovich G. Dr. Sc., prof.
Jungmeister D. A., Dr. Sc., prof.

Founder and publisher:

T. F. Gorbachev Kuzbass state technical university

Address of the founder, the publisher and the Editorial office:

Russia, 650000, Kemerovo region,
Kemerovo, 28 Vesennaya str.

Technical editor:

Ostanin O. A.

Cover design,

computer layout: Borodin D. A.

Tel.: +7 (384-2) 39-63-14

Email: gormash@kuzstu.ru

Website: http://gormash.kuzstu.ru

CONTENTS

ELECTROTECHNICAL COMPLEXES AND SYSTEMS

- Zavyalov V.M., Semykina I.Yu., Velilyaev A.S., Dubkov E.A., Gubarev F.A.,
Uglova M.B. The control system of a wireless charging station for mine electric
locomotive batteries 3
- Tumanov I.E. Construction and analysis of a multiphysical model of a two-pull
electromagnetic exciter of low-frequency oscillationss 13

TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR MECHANICAL

AND PHYSICAL-TECHNICAL PROCESSING

- Korotkov V.A. Increasing grinding efficiency by using grinding wheels with ordered
grain shape and highly porous structure 25

MINING MACHINES

- Linnik Yu.N., Linnik V.Yu. Analysis of methods for assessing rock fracture resistance
under dynamic load application 39
- Linnik Yu.N., Linnik V.Yu. Impact of impactor shape and dimensions on dynamic
rock fracture performance 47
- Gerike P.B., Gericke B.L. Detection of conveyor belt defects using unified diagnostic
criteria 55
- Gerike B.L., Dolzhko D.M., Ludzish V.S., Drozdenko Y.V. Development of a system
for monitoring the technical condition of main mine ventilation fans 65
- Efremenko V.M., Skrebneva E.V., Lebedev G.M. Ensuring the trouble-free state of
coal mines in case of interruptions in power supply from the power system 75
- Cherkasov P.V. Longwall top coal caving technological process in the notation of the
system-functional approach 85

The editorial position does not always coincide with the point of view of the authors of the published materials.

Full-text access to the electronic version of the journal is on website www.elibrary.ru

Tax relief - All-Russian product classifier

The publication corresponds to 58.14.1 OKPD 2 OK 034-2014 (KPEC 2008)

The journal is registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Communication, Information Technologies and Mass Communications - Certificate PI No. FS77-76284 of July 19, 2019.

The journal is included in the Russia List of the Higher Attestation Commission being the list of the leading peer-reviewed scientific journals and publications in which the main scientific results of theses for the academic degrees of a doctor and candidate of sciences should be published in the following areas (engineering):

- 2.5.5. Technology and equipment for mechanical and physical-technical processing (engineering)
- 2.4.2. Electrotechnical complexes and systems (engineering)
- 2.8.8. Geotechnology, Mining machines (engineering)

Date of publication: 24 March 2025. Format 60×84 /8. Offset paper. Imprinted on MFPs. Published sheets 12,5. Edition 70 copies. Order 67. Free price

Address of the printing house:

Publishing center KuzSTU

Russia, 650000, Kemerovo region, Kemerovo, 4a, D. Bednogo str