

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

Научная статья

УДК 53.083(430.1)

DOI: 10.26730/1999-4125-2024-5-115-124

## К ВОПРОСУ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БЕЗАВАРИЙНОЙ РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРНЫХ ГРУПП КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Герике Павел Борисович<sup>1</sup>, Герике Борис Людвигович<sup>1,2</sup><sup>1</sup> Институт угля Федерального Исследовательского Центра угля и углехимии СО РАН<sup>2</sup> Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

\*E-mail: am\_besten@mail.ru

### Аннотация.

**Актуальность работы.** В настоящей статье приведены некоторые результаты исследований в области прогнозирования технического состояния генераторных групп карьерных экскаваторов, полученные с использованием новых единых диагностических критериев и разработанного программного обеспечения, предназначенного для выполнения оценки и построения кратко- и среднесрочного прогноза технического состояния энергомеханического оборудования карьерных экскаваторов.

**Цель работы:** Провести апробацию новых критериев на оборудовании генераторных групп карьерных экскаваторов и обобщить результаты их использования применительно к решению задачи комплексной оценки и прогнозирования изменения технического состояния объектов диагностирования по параметрам генерируемой при их работе вибрации. Доказать эффективность применения алгоритмов среднесрочного прогнозирования, позволяющих наглядно оценить риски развития основных групп дефектов диагностируемого оборудования и предотвратить возникновение аварийных ситуаций.

**Методы исследования:** Результаты проведенных исследований основаны на комплексном подходе к анализу параметров вибрации горной техники, в том числе на результатах спектрального анализа данных в стандартном и расширенном частотном и динамическом диапазонах, анализе характеристик выбега, эксцесса и анализе огибающей спектра в области базовых частот проявления диагностируемых дефектов. Конкретное сочетание диагностических методов и подходов обосновано в рамках разработки единых диагностических критериев с учетом конструктивных особенностей и условий эксплуатации объектов диагностирования.

**Результаты:** Полученные результаты свидетельствуют о возможности реализации на практике новых единых диагностических критериев при их использовании в качестве параметров среднесрочной прогнозной математической модели. Результаты оценки и прогнозирования технического состояния технологического оборудования позволяют предоставить дополнительные возможности для оптимизации системы ремонтов горной техники и планирования поставок необходимых запасных частей, а также для реализации в условиях угольной промышленности Кузбасса основных элементов системы обслуживания карьерных экскаваторов по их фактическому техническому состоянию.



### Информация о статье

Поступила:

06 мая 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

29 сентября 2024 г.

Принята к публикации:

10 октября 2024 г.

Опубликована:

24 октября 2024 г.

### Ключевые слова:

вибродиагностика, карьерные экскаваторы, прогнозирование технического состояния, единый диагностический критерий, энергомеханическое оборудование.

**Для цитирования:** Герике П.Б., Герике Б.Л. К вопросу прогнозирования безаварийной работы генераторных групп карьерных экскаваторов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 5 (165). С. 115-124. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-5-115-124, EDN: UGJMLX

**Введение.** Карьерные экскаваторы, эксплуатируемые сегодня на угольных предприятиях Кузбасса, частично выработали свой нормативный ресурс, при этом часть их находится в недопустимом техническом состоянии [1]. В таких условиях фактическое состояние эксплуатируемых машин оказывается тем критерием, который напрямую влияет не только на экономические показатели добычи, но и на безопасность проведения горных работ и количество непроизводительных простоев технологического оборудования [2, 3].

Основой выборки диагностических данных по параметрам вибрации, использованной в рамках настоящей работы, стали экскаваторы типа ЭКГ и ЭШ (модели ЭШ 10/70, ЭШ 11/70, ЭКГ-5А, ЭКГ-8И и т. д.) Сбор данных проводился в рамках выполнения гранта РФФИ и Кемеровской области №20-48-420010. Анализ выборки позволил заключить, что в предельно допустимом или недопустимом техническом состоянии находится до 20% от общего числа обследованных карьерных экскаваторов.

Первые же результаты проведенного анализа параметров вибрации свидетельствуют о наличии широкого спектра типовых неисправностей и повреждений энергомеханического оборудования карьерных экскаваторов, среди которых можно выделить наиболее опасные и энергоемкие дефекты, развитие которых угрожает аварийным выходом из строя диагностируемого оборудования [4]. К таким дефектам в первую очередь следует отнести повреждения зубчатых передач в составе редукторов, развитие дисбаланс роторного оборудования и расцентровку валов машинных агрегатов [5-7]. Кроме того, свой вклад в общее состояние обследованного оборудования вносят такие дефекты, как нарушение жесткости системы, разнообразные дефекты подшипников и ослабление их посадки, дефекты элементов соединительных муфт, а также дефекты электрической природы сетевых двигателей и генераторов преобразовательных агрегатов.

Опыт практической вибродиагностики показывает, что только применение результатов комплексного подхода к анализу параметров вибрации сложных механических систем позволяет повысить эффективность и достоверность получаемых результатов контроля [8-11]. Таким образом, для решения задачи комплексного анализа вибрации оборудования горных машин появилась потребность в новых единых диагностических критериях, способных заменить собой большое количество существующих диагностических признаков и правил выявления дефектов горных машин. И такие критерии были созданы.

**Результаты и их применение.** В рамках выполнения работ по проекту Российского фонда фундаментальных исследований и администрации Кемеровской области №20-48-420010 учеными ФИЦ УУХ СО РАН и КузГТУ были проведены исследования по созданию новых единых диагностических критериев (ЕДК), предназначенных для оценки и прогнозирования изменения технического состояния горных машин. Особенностью единых критериев является то, что их реализация при разработке алгоритмов анализа и прогнозирования позволит избежать значительных трудозатрат, связанных с привлечением экспертов, и уйти от необходимости проведения сложного анализа исходных параметров вибрации, генерируемой при работе энергомеханического оборудования горных машин.

В данной статье предпринята попытка обобщения результатов проведенных исследований в области создания единых критериев анализа диагностических данных применительно к диагностике генераторных групп карьерных экскаваторов по параметрам вибрации. Генераторные группы были выбраны в качестве объекта исследования не случайно. Именно этим объектам свойственно наличие разнообразных по природе своего возникновения дефектов, оказывающих взаимное влияние друг на друга [4, 12-14]. Кроме того, влияние одних дефектов на скорость развития других именно на генераторных группах может, как показывает практика, приводить к резкому увеличению виброактивности преобразовательных агрегатов и даже разрушению валопровода и отрыву генераторов от опор, что представляет несомненную угрозу для безопасности обслуживающего персонала [15]. Вторым фактором, определяющим интерес к данному объекту, стала возможность апробации нескольких новых критериев на однотипном штатно работающем энергомеханическом оборудовании, что позволило комплексно оценить эффективность работы сразу нескольких единых диагностических критериев применительно к решению задачи прогнозирования технического состояния оборудования карьерных экскаваторов.

В частности, речь идет о комплексном применении единых критериев для выявления нарушения жесткости системы, поиска дефектов подшипников, дисбаланса и расцентровки. Основная идея данной работы заключается в том, что совокупная оценка риска развития этих базовых дефектов позволит дать комплексную оценку техническому состоянию генераторных групп карьерных экскаваторов и

спрогнозировать момент возникновения аварийной ситуации.

Для решения задач, поставленных настоящей работой, были приняты на вооружение четыре базовых ЕДК, использование которых на практике позволяет получить исчерпывающие сведения о фактическом состоянии обследованных генераторных групп электрических карьерных экскаваторов.

Так, например, для комплексной оценки состояния подшипников качения при разработке единого критерия оптимальной скаляризации были подвергнуты данные, полученные с использованием анализа уровня синхронных составляющих, вычисленных по спектру виброскорости, нормированного отфильтрованного общего уровня виброускорения, анализа высокочастотного эксцесса, а также меры сходства, рассчитанной по спектрам огибающей.

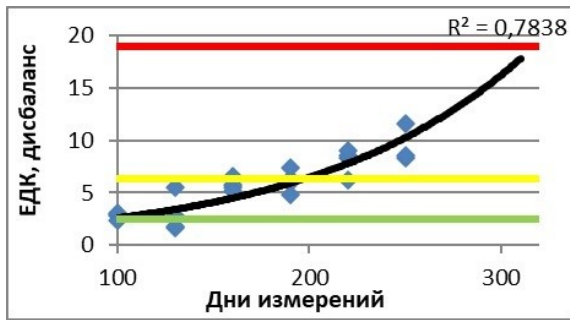
Для оценки влияния расцентровки валов агрегатов использовался вклад в общий уровень стандартного спектра по параметру виброскорости амплитуд гармоник оборотной и

удвоенной оборотной частот, для чего применялись спектральные маски, полученные на основе статистической обработки результатов вибромониторинга карьерных экскаваторов.

Для дисбаланса применялась оценка величины вклада в общий уровень виброакустического сигнала совокупности амплитуд виброскорости на гармониках  $(1-5)f_p$ , измеренных во всех трех пространственных плоскостях диагностируемого агрегата.

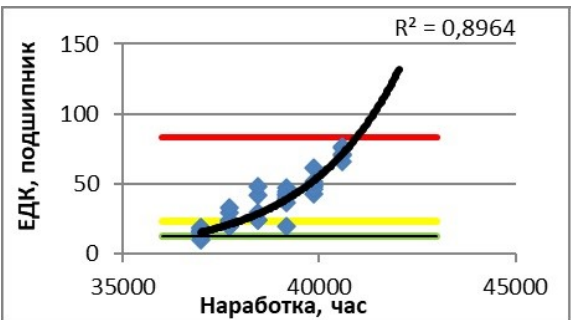
Для оценки нарушения жесткости системы использовался анализ уровня активности широкого гармонического ряда оборотной частоты по спектру виброскорости для всех трех пространственных положений диагностируемого агрегата, оценка нормированного уровня комбинаторных модуляционных частот рядов жесткости, мера сходства спектров огибающей в заданных частотных диапазонах, а также оценка относительного уровня шума, присутствующего в регистрируемых спектральных характеристиках.

В рамках проведенных ранее исследований



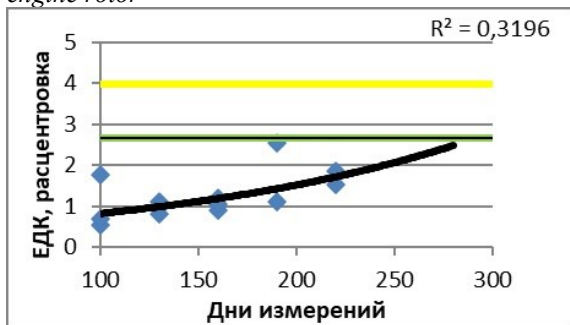
1) прогноз для дисбаланса ротора сетевого двигателя

1) the forecast for imbalance of mains-operated engine rotor



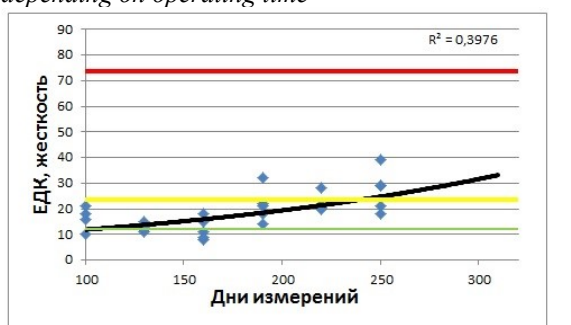
2) прогноз для подшипника сетевого двигателя в зависимости от наработки

2) the forecast for mains-operated engine bearing depending on operating time



3) прогноз для расцентровки сетевого двигателя

3) the forecast for misalignment of the mains-operated engine



4) прогноз для нарушения жесткости сетевого двигателя

4) the forecast for mains-operated engine stiffness failure

Рис. 1. Некоторые результаты среднесрочного прогнозирования технического состояния оборудования генераторных групп ЭКГ-5А, полученные с использованием новых единых диагностических критериев

Fig. 1. Some results for medium-term forecasting of generator group EKG-5A equipment technical condition obtained applying new unified diagnostic criteria

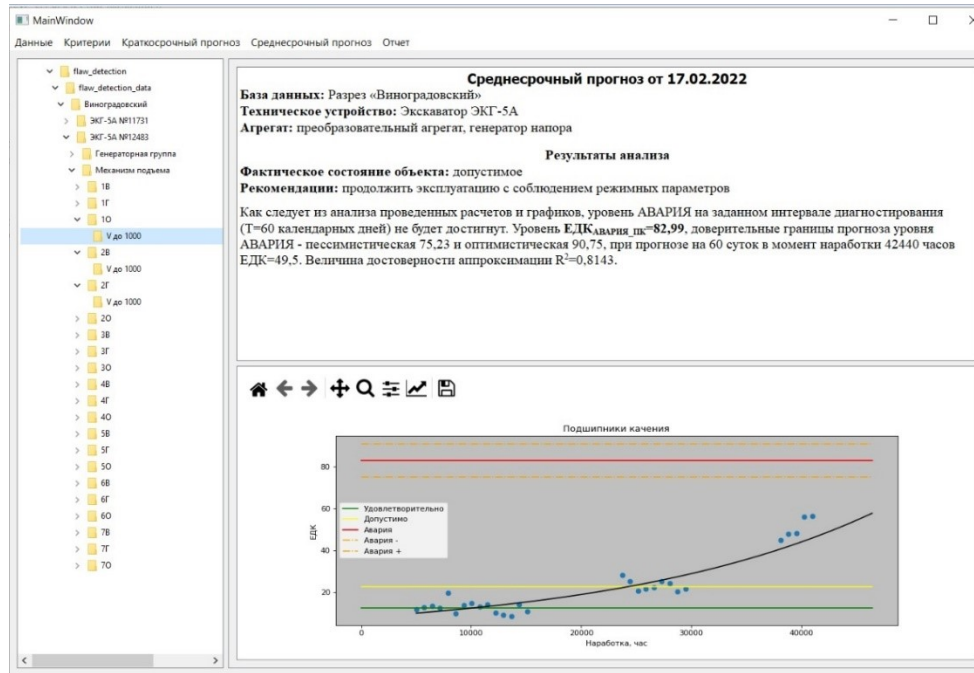


Рис. 2. Общий вид диалогового окна разработанного программного обеспечения для прогнозирования процессов технического состояния энергомеханического оборудования горных машин  
 Fig. 2. General view on the dialogue box of the developed software for mining machines power and mechanic equipment technical condition forecasting

Таблица БД: SD\_ECG

	station	unit	point	ve_skz	fp
1	ЭКГ 5А № 10182	сетевой двигатель	1В	1,57	0,24
2	ЭКГ 5А № 10182	сетевой двигатель	1Г	4,28	3,55
3	ЭКГ 5А № 10182	сетевой двигатель	1О	2,93	0,73
4	ЭКГ 5А № 10182	сетевой двигатель	2В	1,76	0,53
5	ЭКГ 5А № 10182	сетевой двигатель	2Г	3,41	2,16
6	ЭКГ 5А № 10182	сетевой двигатель	2О	2,64	0,69
7	ЭКГ 5А № 10502	сетевой двигатель	1В	1,43	0,53
8	ЭКГ 5А № 10502	сетевой двигатель	1Г	3,13	1,47
9	ЭКГ 5А № 10502	сетевой двигатель	1О	2,12	0,68
10	ЭКГ 5А № 10502	сетевой двигатель	2В	1,13	0,25
11	ЭКГ 5А № 10502	сетевой двигатель	2Г	4,66	2,03

Кнопки: Добавить строку, Удалить строку, Отменить изменения, Сохранить

Рис. 3. Скриншот базы данных по параметрам вибрации горного оборудования  
 Fig. 3. Database screenshot on the mining equipment vibration parameters

было показано [4], что именно такое сочетание групп диагностических признаков покажет максимальную эффективность с учетом конструктивных особенностей диагностируемого горного оборудования и специфики условий его эксплуатации.

Результаты расчетов единых диагностических критериев были обобщены и использованы в качестве моделируемых параметров адаптивной математической модели прогнозирования технического состояния объектов диагностирования. Предложенная прогнозная

модель позволяет осуществить прогноз технического состояния на период до шестидесяти календарных дней, используя при этом наиболее актуальные диагностические данные [1, 4] (см. Рис. 1).

Данные исследований позволили создать в среде Python программный код для осуществления кратко- и среднесрочного прогнозирования процессов изменения технического состояния оборудования электрических одноковшовых карьерных экскаваторов, основанный на принципах

адаптивного моделирования новых единых диагностических критериев [4].

Значительный объем исследований, выполненный отечественными и зарубежными учеными в области контроля вибрации сложных технических систем, прямо свидетельствует о том, что только результаты комплексного подхода к диагностике по параметрам вибрации позволяют не только получить информацию о наличии развитых дефектов и оценить степень их опасности для технического состояния эксплуатируемого оборудования, но и выявить дефекты и повреждения, находящиеся на стадии своего зарождения, что позволит получать более точные результаты прогнозирования технического состояния объектов исследования [16-18]. Таким образом, при использовании принципа комплексного анализа диагностических данных помимо построения прогноза технического состояния горного оборудования разработанная программа при условии ее дальнейшей модернизации и совершенствования может быть использована при осуществлении планирования ремонтов горной техники или при оценке работоспособности эксплуатируемых горных машин (скрин-шот разработанного программного обеспечения, иллюстрирующий общий вид и некоторые возможности программы для оценки прогнозирования технического состояния горной техники, представлен на Рис. 2).

Возможности программы обеспечивают получение кратко- и среднесрочного (до 60 суток) прогноза технического состояния горного оборудования, оценку величины достоверности аппроксимации данных; возможность работы с базами данных формата SQLite; возможность выбора единого диагностического критерия, формирование таблиц и графиков с диагностической информацией и результатами прогнозирования; создание отчета по сделанным прогнозам деградации фактического состояния горной техники. Вес программы составляет до 1Гб, минимальные системные требования – оперативная память 3 и более Гб, процессор CPU: 2+ cores, операционная система Windows / Linux/ MacOS.

Кроме того, была создана база данных для хранения и использования результатов комплексного анализа вибрации, необходимых для расчета единых диагностических критериев оценки технического состояния динамического оборудования горных машин. База данных содержит более 14000 записей контроля вибрации карьерного оборудования, включая данные спектрального анализа, эксцесса и анализа огибающей. (см. пример листинга на Рис. 3).

Результаты комплексного использования новых единых критериев для прогнозирования технического состояния генераторных групп показали свою эффективность, так как данные, полученные при последовательном моделировании различных диагностических критериев, позволили повысить точность результатов прогнозирования. Так, например, в данном случае по критерию жесткости, дисбаланса и расцентровки нет превышения предельных значений прогнозируемой вибрации, а полученные данные по критерию для подшипников говорят о переходе агрегата в недопустимое техническое состояние в течение 60 дней с момента проведения наиболее актуального измерения, что позволяет спланировать проведение ремонта и замены изношенного подшипника, не допустив при этом аварийного выхода из строя сетевого двигателя, исключив тем самым аварийный простой экскаватора (см. Рис. 1).

Таким образом, подводя итог вышесказанному, можно заключить, что апробация результатов прогнозирования, выполненная с использованием созданного программного обеспечения и математической модели с комплексным применением новых единых диагностических критериев, была проведена на выборке из десяти генераторных групп карьерных экскаваторов типа ЭКГ.

Полученные результаты моделирования подтвердили эффективность прогнозирования технического состояния генераторных групп, а также корректную работу разработанного программного обеспечения для прогнозирования состояния энергомеханического оборудования карьерных экскаваторов. Правильность сделанных выводов и рекомендаций о замене дефектного узла были подтверждены результатами визуально-измерительного контроля, проведенного в рамках ближайшего текущего ремонта, что позволило предотвратить непроизводительный аварийный простой экскаватора. По результатам выполненных работ в настоящий момент подготавливается заявка на получение свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ и базы данных, а также патента РФ на способ вибродиагностики с использованием новых единых диагностических критериев.

#### **Выводы.**

Результаты проведенных исследований доказали принципиальную эффективность использования на практике новых критериев для решения задач практической вибродиагностики и построения среднесрочного прогноза состояния энергомеханического оборудования карьерных экскаваторов.

Комплексное использование новых единых диагностических критериев для диагностики

сложных механических систем показало хорошие результаты при обследовании генераторных групп карьерных экскаваторов. Прогноз технического состояния генераторных групп, осуществленный по результатам расчета сразу нескольких новых критериев, включая ЕДК для дисбаланса, расцентровки, подшипников и нарушения жесткости, позволил выявить дефекты подшипника и оценить вероятность их развития, что в итоге позволило предотвратить поломку и аварийный выход из строя преобразовательного агрегата.

Вместе с тем, результаты практического использования разработанных критериев оценки показали, что созданные ЕДК необходимо совершенствовать, накапливая объем диагностических данных и улучшая нормирование новых критериев. Например, результаты прогнозирования выявили существенные недостатки критерия для диагностики дисбаланса, для корректировки которого потребуется увеличить объем диагностической выборки по параметрам вибрации для корректировки границ недопустимого состояния горного оборудования и повышения достоверности реализуемого прогноза.

#### **Заключение.**

Реализация результатов моделирования величин единых диагностических критериев, основанных на комплексном анализе параметров вибрации горных машин, позволит оценить степень развития всех базовых дефектов энергомеханического оборудования горных машин и спрогнозировать изменение его технического состояния [4, 19, 20]. Результаты расчетов, полученные при комплексном использовании нескольких различных ЕДК, позволили осуществить прогноз безаварийной работы динамического оборудования экскаваторов типа ЭШ и ЭКГ при сохранении высокого уровня достоверности получаемых результатов моделирования, основанных на принципе адаптации параметров математической модели к изменяющимся входным диагностическим данным. Совершенствование разработанного программного обеспечения для прогнозирования в части анализа данных одновременно с использованием нескольких ЕДК, соответствующих потенциально возможным для конкретного типа оборудования дефектам, позволит автоматизировать процесс прогнозирования технического состояния и повысить его эффективность, т. к. в данном случае будут моделироваться процессы развития сразу нескольких дефектов, присущих обследуемому оборудованию. Результаты комплексного использования ЕДК для прогнозирования технического состояния горных машин были апробированы на

оборудовании генераторных групп экскаваторов ЭКГ, показав при этом высокую сходимость результатов моделирования с данными визуально-измерительного контроля диагностируемого оборудования.

Предложенные алгоритмы расчетов и методика диагностирования с применением разработанных единых диагностических критериев при условии совершенствования нормирования ЕДК (в части уточнения разработанных границ предельного состояния горной техники) и модернизации разработанного программного обеспечения позволят минимизировать количество ошибок, допускаемых при анализе параметров вибрации горных машин. Кроме того, данные алгоритмы могут оказаться полезными при планировании и осуществлении ремонтов карьерных экскаваторов, а также могут использоваться в качестве элементов системы обслуживания карьерных машин по их фактическому техническому состоянию, переход на которую позволит оптимизировать существующую систему ремонтов и оптимизировать убытки угольных предприятий, вызванные аварийными простоями эксплуатируемой горной техники.

**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. Герике П. Б., Герике Б. Л. Об одном критерии оценки технического состояния редукторов горных машин // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2021. № 7. С. 141–147.

2. Гольдин А. С. Вибрация роторных машин. М. : Машиностроение, 1999. 344 с.
3. Неразрушающий контроль. Справочник в 7 томах под редакцией чл.-корр. РАН В. В. Клюева. - Москва "Машиностроение", 2005. Т. 7. 828 с.
4. Исследование процессов формирования и распространения виброакустических волн для создания единых диагностических критериев оценки технического состояния горных машин. НИР: грант № 20-48-420010. Российский фонд фундаментальных исследований. 2020.
5. 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. Pp. 511–525 DOI: 10.1007/s11771-024-5576-9.
6. Hemati Ali, Shoostari Alireza. Bearing failure analysis using vibration analysis and natural frequency excitation // Journal of failure analysis and prevention. 2023. № 4. Pp. 1431–1437. DOI: 10.1007/s11668-023-01700-0.
7. Краковский Ю. М. Математические и программные средства оценки технического состояния оборудования. Новосибирск : Наука, 2006. 227 с.
8. Барков А. В. , Баркова Н. А. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации. Учебное пособие. Санкт Петербург : Издательство СПбГМТУ, 2004. 156 с.
9. 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. № 5. Pp. 2260-2274. DOI: 10.1007/s11668-023-01760-2.
10. Bently D. E. Hatch C.T. «Fundamentals of rotating Machinery Diagnostics». Bently Pressurized Press. 2002. P. 726.
11. Balducchi F., Arghir M., Gaudillere S. Experimental analysis of the unbalance response of rigid rotors supported on aerodynamic foil bearings // Proceedings of ASME Turbo Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition GT2014. June 16–20. 2014. Düsseldorf, Germany.
12. 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.
13. 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.
14. Никитин А. Г., Герике П. Б., Абрамов А. В. Расчет производительности одновалковой дробилки с принудительной подачей разрушаемого материала // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2024. № 1. С. 70–73.
15. Vibration Analysis of Rotary Machines Using Machine Learning Techniques // EJERS, European Journal of Engineering Research and Science. 2019. Vol. 4. № 2. DOI: 10.24018/ejers.2019.4.2.1128 .
16. 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.
17. Шлаев К. И., Сабиров Ф. С. Вибродиагностика технического состояния угловых фрезерных головок // Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 1 (68). С. 68–74.
18. Ишин Н. Н., Гоман А. М., Скороходов А. С., Шпортко 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.
19. 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.
20. Десятников В. Е., Пичков С. Н. Особенности диагностирования подшипников качения методом огибающей // Контроль. Диагностика. 2023. Т. 26. № 9(303). С. 58–64.

© 2024 Авторы. 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:

**Герике Павел Борисович** – канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории угольного машиноведения Института угля Федерального Исследовательского Центра угля и углекислоты СО РАН (ФИЦ УУХ СО РАН), г. Кемерово, am\_besten@mail.ru,

**Герике Борис Львович** – докт. техн. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории угольного машиноведения Института угля Федерального Исследовательского Центра угля и углекислоты 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 – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы; написание текста.

Герике Борис Людвигович – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы; написание текста.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

## Original article

### TO THE QUESTION OF PREDICTION OF ACCIDENT-FREE OPERATION OF ENERGY-MECHANICAL EQUIPMENT OF MINING SHOVELS

Pavel B. Gerike<sup>1</sup>, Boris L. Gericke<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Coal of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of SB RAS

<sup>2</sup>T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

\*E-mail: am\_besten@mail.ru

#### **Abstract.**

**Relevance of the work.** Some results of research in the field of forecasting the technical condition of mining excavator generator groups are presented in the article. The results are obtained using new unified diagnostic criteria and developed computer software. The software is designed for estimating and building a short- and medium-term forecast of the technical condition for mining excavator energy and mechanical equipment.

**Purpose of the work** is to test the new criteria on the equipment of mining excavator generator groups and to sum up the results of their use in solving the problem of comprehensive estimation and forecasting of changes in the technical condition of diagnostic objects made on the basis of the vibration parameters generated during their operation. The purpose is also in proving the effectiveness of applying medium-term forecasting algorithms, which make it possible to visually estimate the risks of main group defects development in diagnosed equipment and prevent emergencies that may arise during mining excavator operation.

**Methods of investigation:** The results of the research are based on an integrated approach to the analysis of vibration parameters of mining equipment. They are also based on the results of spectral analysis of data in the standard and extended frequency and dynamic ranges, on the analysis of rundown characteristics and kurtosis, on spectrum envelope analysis in the field of basic frequencies of diagnosed defects occurrence. A specific combination of diagnostic methods and approaches is substantiated within the framework of the development of unified diagnostic criteria taking into account the design features and operating conditions of the diagnosed objects.

**Results:** The obtained results indicate the possibility of implementing new unified diagnostic criteria in practice when they are used as parameters for a medium-term predictive mathematical model. The results of the estimation and forecasting of the technical condition of technological equipment make it possible to provide additional opportunities for optimizing the system of repairs of mining equipment and planning the supply of the necessary spare parts. It also helps to implement basic elements of mining excavator maintenance grounding on their actual technical condition within the conditions of Kuzbass coal industry.



#### **Article info**

Received:

06 May 2024

Accepted for publication:

29 September 2024

Accepted:

10 October 2024

Published:

24 October 2024

**Keywords:** vibration analysis, mining shovels, technical condition forecasting, a single diagnostic criterion, energy-mechanical equipment.



**For citation:** Gerike P.B., Gerike B.L. To the question of prediction of accident-free operation of energy-mechanical equipment of mining shovels. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024; 5(165):115-124. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-5-115-124, EDN: UGJMLX

## REFERENCES

1. Gerike P.B., Gerike B.L. Naukoemkie tehnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nyh resursov. 2021; 7:141–147. (rus)
2. Gol'din A.S. Vibratsiya rotornykh mashin [Vibration of rotating machines]. Moscow: Mashinostroenie Publishers; 1999. 344 p. (rus)
3. Nerazrushayushchiy kontrol': spravochnik. V 7-kh tomakh [Non-destructive testing: Handbook. In 7 Vol. V.7] / Pod. red. V.V. Klyueva. Moscow: Mashinostroenie Publishers; 2005. 828 p. (rus)
4. 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)
5. 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; 31:511–525. DOI: 10.1007/s11771-024-5576-9. (eng)
6. Hemati Ali, Shoostari Alireza Bearing failure analysis using vibration analysis and natural frequency excitation. *Journal of failure analysis and prevention.* 2023; 4:1431–1437. DOI: 10.1007/s11668-023-01700-0. (eng)
7. Krakovskiy Yu.M. Matematicheskie i programmnye sredstva otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya oborudovaniya [Mathematical and software evaluation of the technical state of equipment]. Novosibirsk, 2006. 227 p. (rus)
8. Barkov A.V., Barkova N.A. Vibratsionnaya diagnostika mashin i oborudovaniya. Analiz vibratsii [Vibration diagnostics of machines and equipment. Vibration analysis: Handbook]. St. Petersburg, 2004. 156 p. (rus)
9. 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; 5:2260-2274. DOI: 10.1007/s11668-023-01760-2. (eng)
10. Bently D.E., Hatch C.T. «Fundamentals of rotating Machinery Diagnostics». Bently Pressurized Press. 2002. 726 p. (eng)
11. Balducchi F., Arghir M., Gaudillere S. Experimental analysis of the unbalance response of rigid rotors supported on aerodynamic foil bearings. *Proceedings of ASME Turbo Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition GT2014.* June 16 – 20, 2014, Düsseldorf, Germany. URL: <http://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org/> (eng)
12. 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. (eng)
13. 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. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-10359-0> (eng)
14. Nikitin A.G., Gerike P.B., Abramov A.V. Chernaja metallurgiya. *Bjulleten' nauchno-tehnicheskoy i jekonomicheskoy informacii.* 2024; 1:70–73. (rus)
15. Vibration Analysis of Rotary Machines Using Machine Learning Techniques. *EJERS, European Journal of Engineering Research and Science.* 2019; 4(2). DOI: 10.24018/ejers.2019.4.2.1128. (eng)
16. Nasonov D.A., Puzakina A.K. Influence of the choice of control points during vibration diagnostics of bearing units of electric motors. *Mashinostroenie i inzhernoe obrazovanie.* 2023; 4(73):26–30. (rus)
17. Shlaev K.I., Sabirov F.S. Vibration diagnostics of the technical condition of angular milling heads. *Vestnik MGTU "Stankin".* 2024; 1(68):68–74. (rus)
18. 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 the modal parameters of planetary gearboxes of motor-wheels of mining dump trucks during their operational vibration diagnostics. *Mehanika mashin, mehanizmov i materialov.* 2022; 3(60):24–34. (rus)
19. Sundukov A.E., Shahmatov E.V. Subharmonics of tooth frequency in vibration diagnostics of gear tooth wear of a gas turbine engine. *Dinamika i vibroakustika.* 2022; 8(2):6–11. (rus)
20. Desjatnikov V.E., Pichkov S.N. Features of diagnosing rolling bearings using the envelope method. *Kontrol'. Diagnostika.* 2023; 26(9(303)):58–64. (rus)

© 2024 The Authors. 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 authors:

**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. Gericke** - 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 – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions; writing the text.

Boris L. Gericke – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions; writing the text.

*All authors have read and approved the final manuscript.*

