

Библиографическое описание статьи

Максимов А.Б. Повышение качества гранулометрического состава калийной руды, добываемой проходческо-очистными комбайнами «Урал-20Р» / А.Б. Максимов, Д.И. Шишлянников // Горное оборудование и электромеханика — 2018. — № 4 (138). — С. 4-11.

Reference to article

Maksimov A.B., Shishlyannikov D.I. Improving the quality of granulometric composition of the pot-ash ore mined by heading-and-winning machines «Ural-20R». Mining Equipment and Electromechanics, 2018, no. 4 (138), pp. 4-11.

Герике Павел Борисович, канд. техн. наук, доцент

Институт угля Федерального Исследовательского Центра угля и углехимии СО РАН,
650065, г. Кемерово пр. Ленинградский, 10

E-mail: am_besten@mail.ru

ВИБРОДИАГНОСТИКА ДИЗЕЛЬ-ГИДРАВЛИЧЕСКИХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК В РАМКАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЦЕДУРЫ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Аннотация: *Актуальность работы.* В настоящей работе приведены некоторые результаты анализа методологических подходов к разработке единых диагностических критериев, пригодных для оценки фактического состояния буровой техники и разработки прогнозных деградационных моделей.

Цель работы: *Обобщить результаты анализа параметров механических колебаний, генерируемых при работе энерго-механического оборудования буровых установок, что позволит осуществить классификацию дефектов данного оборудования по базовым группам и формализовать диагностические признаки для удобства их использования при разработке кода алгоритма автоматизированного контроля сложных систем по частотным наборам диагностических признаков. Показать, что в условиях до сих пор действующей на предприятиях угольной и горнорудной промышленности Кузбасса системы плановых ремонтов приоритет должен быть отдан только краткосрочным прогнозным математическим моделям, позволяющим оценить вероятность возникновения аварийных отказов техники на ближайшую перспективу. Разработать алгоритм создания единых диагностических критериев, пригодных для оценки фактического состояния буровой техники.*

Методы исследования: *В рамках исследования обоснована необходимость использования результатов комплексного подхода к диагностике машинных агрегатов по параметрам генерируемой при их работе вибрации с одновременным применением нескольких диагностических методологий, включая спектральный анализ, анализ огибающей, вейвлет-преобразование, анализ характеристики выбега. Показано, что комплексный подход к диагностике по параметрам вибрации открывает широкие возможности для своевременного диагностирования дефектов оборудования горных машин, в том числе, находящихся на стадии зарождения.*

Результаты: *Результаты проведенных исследований безапелляционно доказывают принципиальную возможность создания группы единых диагностических критериев для эффективного выявления всех присущих буровым установкам дефектов энерго-механического оборудования. Реализация данных критериев на практике в качестве элементов системы обслуживания техники по фактическому техническому состоянию позволит повысить эффективность управления техническим обслуживанием сложных механических систем и осуществлять прогнозирование изменения фактического состояния горных машин.*

Ключевые слова: *вибродиагностика, экспертиза промышленной безопасности, единый диагностический критерий, прогнозное моделирование, дизель-гидравлические буровые установки.*

Информация о статье: принята 05 августа 2018 г.

DOI: 10.26730/1816-4528-2018-4-12-18

Значительная часть дизель-гидравлических буровых установок, получивших широкое распространение при проведении открытых горных работ в Кузбассе, находится сегодня в недопустимом техническом состоянии. По некоторым оценкам, до 10% от числа буровых установок, выработавших свой нормативный ресурс и подпадающих под проведение обязательной процедуры экспертизы промышленной безопасности, подлежат выводу из эксплуатации на основании результатов анализа параметров вибрации вплоть до устранения причин, вызывающих повышенный уровень механических колебаний [1]. Несовершенство действующего законодательства в области экспертизы промышленной безопасности технических устройств, эксплуатируемых на опасных производственных объектах, зачастую позволяет собственникам предприятий продолжать

работать на заведомо неисправном технологическом оборудовании без осуществления должных капиталовложений в материально-техническую базу и проведение ремонтно-восстановительных работ. Нормы действующей до сих пор на предприятиях морально устаревшей системы планово-предупредительных ремонтов (ППР) позволяют продолжать эксплуатацию заведомо неисправного оборудования, провоцируя возникновение аварийных ситуаций и подвергая опасности жизни людей. В таких условиях особенно остро встают вопросы о том, проработает ли объект экспертизы до проведения запланированного ремонта, и, что гораздо более актуально, представляет ли его эксплуатация реальную угрозу для жизни и здоровья обслуживающего персонала, насколько велики риски возникновения

несчастных случаев по причине нахождения техники в недопустимом состоянии?

Решить данные вопросы представляется возможным только при условии осуществления комплексного использования современных средств и методов неразрушающего контроля с применением подходов прогностического моделирования процессов деградации технического состояния сложных механических систем. В качестве объекта настоящего исследования использовалась выборка, состоящая из 15 единиц дизель-гидравлических буровых установок, эксплуатируемых на различных угольных разрезах Кузбасса. Все данные технические устройства подлежат обязательной процедуре экспертизы промышленной безопасности, как выработавшие свой нормативный срок эксплуатации. Сбор диагностической информации осуществлялся на протяжении десяти лет с интервалом проведения обследований от одного до трех раз в каждые три календарных года, что подтверждает представительность собранного банка диагностических данных.

Одним из перспективных направлений повышения эффективности проводимого контроля является совершенствование используемой методологии нормирования параметров механических колебаний, в частности, реализация принципов прогнозирования с применением единых диагностических критериев [1, 2, 3], что позволяет оптимизировать решение задачи по разработке прогностических моделей деградации технического состояния узлов и агрегатов энерго-механического оборудования дизель-гидравлических буровых установок. Кроме того, повысить эффективность проводимых исследований удалось с использованием результатов комплексного диагностического подхода, включающего в себя прямой спектральный анализ, эксцесс, анализ огибающей, вейвлет-преобразование и некоторые другие методы вибродиагностики, причем конкретное сочетание этих методов зависит только от двух факторов – типа объекта исследования (в данном случае это двигатель внутреннего сгорания, винтовой компрессор и вращатель) и режимов его работы (холостой ход, подача, режим пуска/выбега). Реализация принципов комплексного подхода позволяет использовать в анализе наиболее информативные диагностические характеристики, наилучшим образом учитывающие специфику проведения измерений и позволяющие предоставлять эффективную оценку предельному техническому состоянию самых разных объектов диагностирования [4].

Большинство из присутствующих сегодня на рынке программного обеспечения математических моделей, ориентированных на прогнозирование процессов деградации сложных механических систем на основе результатов анализа параметров вибрации, являются несовершенными. Это обусловлено узкой областью применения существующих моделей, малым количеством и слабой информативностью моделируемых параметров (обычно разработчики ограничиваются только лишь моделированием среднеквадратического значения виброскорости [5]) и недостаточной апробацией результатов моделирования. Именно поэтому использование на практике

предложенных единых диагностических критериев оценки представляет наибольший интерес для моделирования деградационных процессов, присущих энерго-механическому оборудованию горных машин [1]. В условиях системы ППР максимальный приоритет должен быть отдан только кратко- и среднесрочным прогнозным математическим моделям, причем для решения поставленных перед настоящим исследованием задач гораздо большую актуальность приобретает именно краткосрочное прогнозирование, позволяющее оценить вероятность возникновения аварийных отказов техники на ближайшую перспективу (обычно, интервал прогнозирования составляет один или максимум два месяца, что позволяет повысить точность адаптивного моделирования при снижении требований к объему диагностической информации). Для решения данной задачи наиболее оптимальным является использование подходов адаптивного краткосрочного прогнозирования, преимущество которых заключается в анализе информации о последних замерах и изменении на их основе параметров математической модели [6], что позволяет построить прогноз на 1 или 2 периода диагностики с максимальной достоверностью.

Очевидно, что для выявления каждого типа дефекта энерго-механического оборудования горных машин должен применяться уникальный единый диагностический критерий (ЕДК) оценки фактического технического состояния, основанный на использовании результатов комплексного подхода к анализу диагностических данных. Это позволит исключить необходимость проведения длительного анализа с использованием большого числа громоздких диагностических признаков и правил. На область применения единых критериев значительное влияние оказывает наличие большого числа «паразитных» составляющих частотного спектра [7], присутствие которых может быть вызвано ошибками при выборе места установки измерительных датчиков и наличием повреждений в кабельных соединениях виброизмерительной аппаратуры, труднодоступностью измерительных точек, значительными знакопеременными ударными нагрузками, неподготовленностью измерительной поверхности и рядом других причин [3]. Поэтому создание алгоритма расчета ЕДК невозможно без использования гибких процедур фильтрации, позволяющих очистить спектр от «паразитных» составляющих.

Проведенный анализ диагностических данных по параметрам вибрации оборудования дизель-гидравлических буровых установок позволил осуществить классификацию дефектов данного типа горных машин по 7 основным группам (нарушение жесткости системы, дефекты компрессоров, дефекты узлов и агрегатов ДВС, нарушение центровки ДВС с компрессором, дефекты соединительных муфт, дефекты подшипников, нарушение режима смазки). Всем этим дефектам в общей сложности соответствует более ста двадцати диагностических признаков в области практического виброанализа, часть из которых может быть использована для разработки единых диагностических критериев оценки

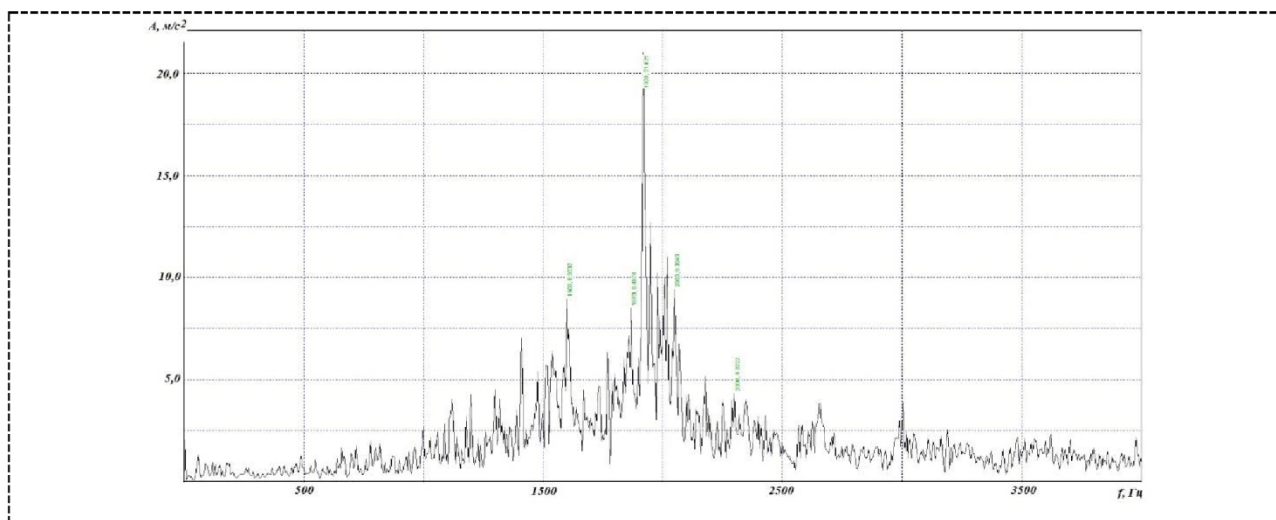


Рис. 1. Развитый дефект подшипника коленчатого вала двигателя Caterpillar буровой установки DML-1200.

Fig. 1. Developed Caterpillar engine crankshaft bearing defect of DML-1200 drilling rig.

состояния оборудования буровых установок (см. некоторые примеры анализа параметров виброакустических волн и совершенствования методологии нормирования вибрации на рисунках 1 – 4).

Результаты выполненных ранее исследований позволили сформулировать требования к наличию некоторых базовых признаков оценки состояния оборудования дизель-гидравлических буровых установок по параметрам вибрации [1]. В частности, для разработки ЕДК использовались как общепринятые признаки (общий уровень сигнала, пиковое значение, уровень составляющих подшипниковых частот) так и более специфичные диагностические правила (глубина модуляции спектра огибающей вибросигнала в области рабочих частот поршневой группы ДВС и флуктуация амплитуд соответствующих гармоник; мера подобия, определяемая по результатам сравнения характеристик вейвлет-преобразования и временной волны реального и «эталонного» сигналов). При разработке ЕДК для однотипных механических систем обычно применяют алгоритмы скаляризации, позволяющие осуществить

замену множества векторов диагностических признаков скалярными величинами на основе принципов пошаговой сегментации объектов на группы в зависимости от степени развития повреждений основных узлов механических систем [8, 9, 10].

С учетом специфики диагностирования каждого отдельного узла необходимым условием разработки адекватных алгоритмов создания ЕДК является использование процедур клиппирования, основанных на удалении из спектра всех составляющих, природа возникновения которых отличается от рассматриваемой, причем общее количество алгоритмов клиппирования должно быть равно максимальному числу возможных дефектов диагностируемого оборудования. Применение в алгоритмах клиппирования процедуры уточнения оборотной частоты вращения позволяет значительно повысить точность производимых расчетов, и, как следствие, достоверность прогнозной модели [11, 12].

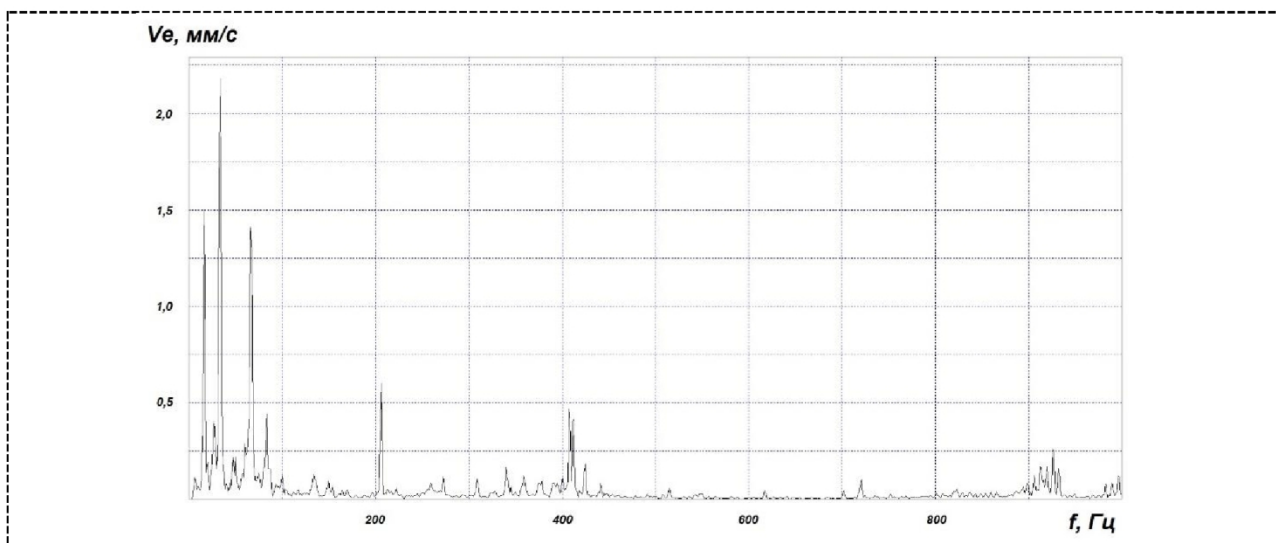


Рис. 2. Нарушение режима смазки подшипника гидромотора вращателя буровой установки DML-1200.

Fig. 2. Violation of the lubrication of the bearing motor rotator rotator DML-1200.

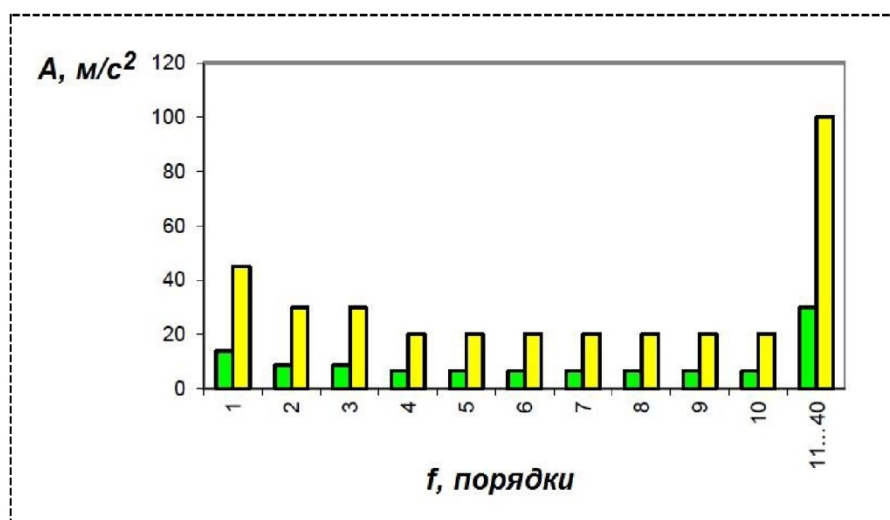


Рис. 3. Пример нормирования состава полигармонических волн вибрации группы вращателей буровых установок DML-1200.

Fig. 3. An example of rationing the composition of polyharmonic waves of vibration of a group of rotators of drilling rigs DML-1200.

Первые же полученные в рамках проводимых исследований результаты показали необходимость совершенствования вопросов методологии нормирования параметров вибрации, генерируемой при работе динамического оборудования буровых станков и установок, что является необходимым условием для выполнения эффективного моделирования и качественной оценки процессов деградации фактического состояния горной техники. В данных условиях хорошо зарекомендовало себя использование индивидуальных спектральных масок [13]. Данный подход к оценке параметров вибрации имеет ряд преимуществ по сравнению со стандартными методологиями оценки параметров механических колебаний, так как предусматривает вариативность в части ширины частотных полос, их положения и индивидуальных предельных значений; использование таких масок открывает широкие возможности для

совершенствования существующих математических прогнозных моделей. В рамках выполнения настоящей работы были разработаны спектральные маски для оценки состояния роторных компрессоров буровых установок серии DML-1200, определены индивидуальные границы зон оценки фактического технического состояния оборудования по параметрам генерируемой вибрации – «предупреждение», «тревога», «экстренная остановка».

Применение на практике спектральных масок позволит в значительной мере автоматизировать алгоритмы диагностирования и упростить задачу анализа и прогнозирования

процессов изменения технического состояния энерго-механического оборудования буровых установок. Реализацию данного подхода к совершенствованию методологии нормирования механических колебаний может значительно усложнить наличие широкого типового ряда бурового оборудования, имеющего свои конструктивные, кинематические и эксплуатационные особенности. Разработка индивидуальных спектральных масок высокой степени детализации для всех типов и марок буровых станков и установок, эксплуатируемых в условиях угольной промышленности Кузбасса, на сегодняшний день не представляется возможной. Этот факт объясняется отсутствием необходимого объема статистической информации по параметрам вибрации для всех типов буровых установок, и, как следствие, задача совершенствования методологии

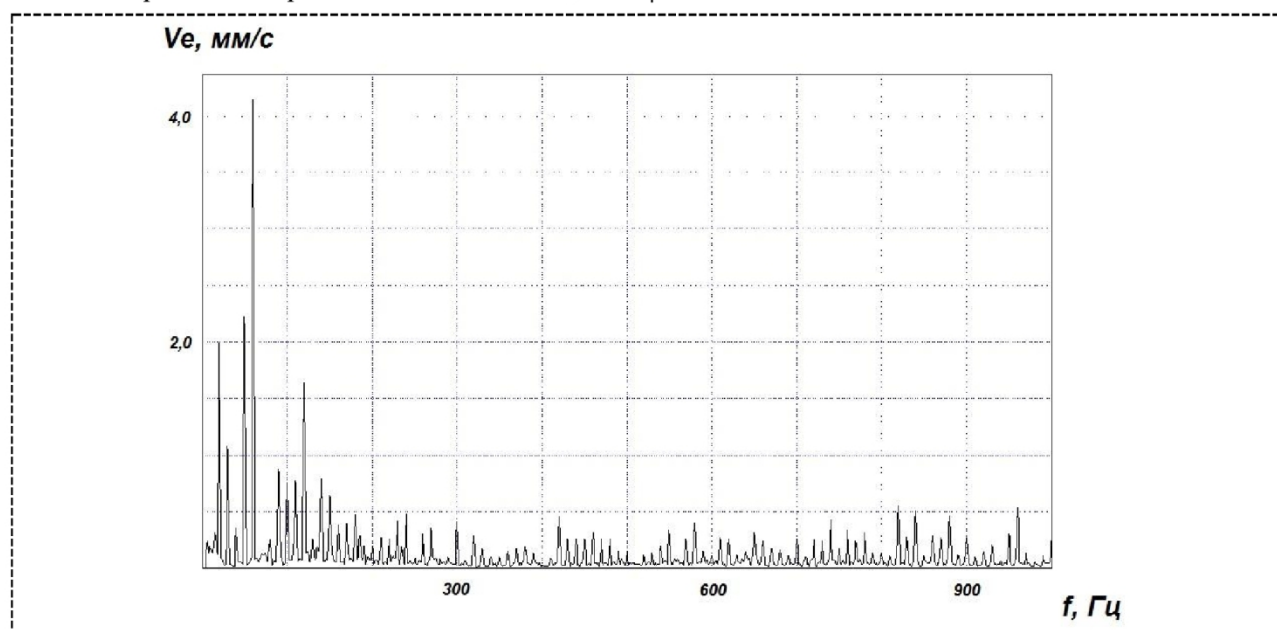


Рис. 4. Ослабление крепежа, нарушение центровки роторного винтового компрессора Ingersoll Rand.

Fig. 4. Slackening of fasteners, violation of the centering of the rotor screw compressor Ingersoll Rand.

нормирования параметров механических колебаний при помощи создания масок высокой степени детализации в заданных условиях может быть решена только для очень ограниченного модельного ряда буровой техники.

Результаты настоящего исследования позволили осуществить разработку алгоритма создания единого диагностического критерия для выявления дефектов роторных компрессоров, применяемых в конструкции привода буровых установок серии DML. Использование на практике нового критерия оценки в качестве базового моделируемого параметра, при помощи которого описывается фактическое состояние объекта диагностирования, позволит оптимизировать процесс прогнозирования и максимально повысить достоверность алгоритмов адаптивного краткосрочного моделирования.

Отказ от устаревшей системы плановых ремонтов и переход на обслуживание техники по ее фактическому состоянию сегодня невозможен без использования единых критериев оценки, которые могут применяться для выполнения контроля фактического состояния и математического моделирования процессов деградации технического состояния буровой техники, а также без наличия четко структурированной базы данных, содержащей информацию о динамике изменения диагностических параметров [14, 15].

Так исторически сложилось, что во всем мире угольная промышленность являлась и является объектом повышенной опасности [16], поэтому именно здесь должны применяться максимально жесткие требования к техническому состоянию эксплуатируемых машин и механизмов. Предложенный в рамках цикла настоящих исследований алгоритм создания единых диагностических критериев может быть использован при решении задачи по разработке адекватных деградационных моделей, пригодных для осуществления прогноза фактического состояния сложных механических систем. Разработка большого числа прогнозных моделей изменения технического состояния для широкого типового и номенклатурного ряда горной техники явится залогом успешного перехода на качественно новые формы проведения технического обслуживания и ремонта, необходимые для максимально безопасной эксплуатации горной техники. Использование при моделировании единых диагностических критериев позволит свести к минимуму вероятность аварийных отказов дорогостоящего технологического оборудования, оптимизировать логистические издержки промышленных предприятий Кузбасса и в целом повысить безопасность проведения открытых горных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герике П.Б., Герике Б.Л. Диагностика технического состояния преобразовательных агрегатов экскаваторов типа драглайн /П.Б. Герике, Б.Л. Герике// Вестник КузГТУ, № 4. – Кемерово. – 2014. – С. 16-19.
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, т.7 – Москва, 2005. – 828 с.
4. V. Pozhidaeva. Determining the roughness of contact surfaces of the rolling bearings by the method of shock pulses. World Tribology Congress III, September 12-16, 2005, Washington, D.C., USA
5. Tse P., Peng Y., Yam R. Wavelet Analysis and Envelope Detection For Rolling Element Bearing Fault Diagnosis—Their Effectiveness and Flexibilities. Journal of Vibration and Acoustics. 2001. Vol. 123. Pp 303-310. DOI: 10.1115/1.1379745.
6. Краковский, Ю. М. Математические и программные средства оценки технического состояния оборудования. /Новосибирск: Наука, 2006. – 227 с.
7. Барков А.В. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации. Учебное пособие. /Барков А.В., Баркова Н.А./ Издательство СПбГМТУ. Санкт Петербург, 2004. — 156 с.
8. Сушко А. Е. Разработка специального математического и программного обеспечения для автоматизированной диагностики сложных систем. Дисс. ... канд. техн. наук. – М. – МИФИ. – 2007. – 170 с.
9. Bently D.E., Hatch C.T. “Fundamentals of rotating Machinery Diagnostics”, Bently Pressurized Press, 2002, P.726.
10. F. Balducchi, M. Arghir, S. Gaudillere. 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.
11. Skeinik R., Petersen D. Automated fault detection via selective frequency band alarming in PC-based predictive maintenance systems. CSI, Knaxville, TN 37923, USA.
12. Liu G., Parker R. Dynamic Modeling and Analysis of Tooth Profile Modification for Multimesh Gear Vibration. Journal of Mechanical Design. 2008. Vol. 130. Pp 121402/1 - 121402-13. DOI: 10.1115/1.2976803
13. Герике П.Б., Герике Б.Л. Оценка остаточного ресурса вентиляторов главного проветривания /Б.Л. Герике, П.Б. Герике // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов, № 1. –Новокузнецк. – 2014. – С. 47-49.
14. Ещеркин П.В. Разработка методики диагностирования и прогнозирования технического состояния дизель-гидравлических буровых станков. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Кемерово – 2012 год. – 18 с.
15. Лукьянов А.В. Классификатор вибродиагностических признаков дефектов роторных машин. /Иркутск: Издательство ИрГТУ, 1999. – 230 с.
16. Клишин В.И. Проблемы безопасности и новые технологии подземной разработки угольных месторождений. /В.И. Клишин, Л.В. Зворыгин, А.В. Лебедев, А.В. Савченко/ Новосибирск, 2011. – 524 с.

Pavel B. Gericke, C.Sc. (Engineering), Associate Professor

Institute of Coal of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of SB RAS,
10 Leningradsky Prospekt, Kemerovo, 650065, Russian Federation.

VIBRATION ANALYSIS OF DIESEL-HYDRAULIC DRILLING RIGS WITHIN THE FRAMEWORK OF THE INDUSTRIAL SAFETY EXPERT EXAMINATION PROCEDURE

Abstract: *The urgency of the discussed issue.* In this paper, we present some results of the analysis of methodological approaches to the development of common diagnostic criteria suitable for assessing the actual state of drilling rigs and developing predictive degradation models.

The main aim of the study: *To generalize the results of the analysis of the parameters of mechanical oscillations generated during the operation of electromechanical equipment of drilling rigs. This will allow to classify the defects in this equipment by basic groups and to formalize diagnostic features for the convenience of their use when developing the code for the algorithm for automated control of complex systems by frequency sets of diagnostic features. It is shown that in the conditions of the planned preventive maintenance system operating at the coal and mining enterprises of Kuzbass until now, the priority should be given only to short-term predictive mathematical models that make it possible to estimate the probability of emergency failures of equipment for the near future. Develop an algorithm for creating common diagnostic criteria suitable for assessing the actual state of drilling rigs.*

The methods used in the study: *Within the framework of the work, the necessity of using the results of an integrated approach to the diagnosis of machine aggregates based on the parameters of vibration generated during their operation is substantiated. This approach implies the use of several diagnostic methodologies, including spectral analysis, spectral envelope analysis, wavelet transform, and analysis of the rotor aggregate run-out characteristics. It is shown that a comprehensive approach to diagnostics by vibration parameters opens wide opportunities for timely diagnosis of defects in equipment of mining machines, including those at the stage of nucleation.*

The results: *The results of the conducted scientific researches categorically prove the principal possibility of creating a group of common diagnostic criteria for the effective detection of all inherent defects in drilling rigs of electromechanical equipment. The implementation of these criteria in practice as elements of the maintenance system of the actual technical condition will improve the management efficiency of maintenance of complex mechanical systems and to predict the change in the actual state of mining machines.*

Keywords: *vibration analysis, industrial safety expert examination, a single diagnostic criterion, predictive modeling, diesel-hydraulic drilling rigs.*

Article info: received August 05, 2018

DOI: 10.26730/1816-4528-2018-4-12-18

REFERENCES

1. Gericke P.B., Gericke B.L. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2014. #4. Pp. 16-19. (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. V. Pozhidaeva. Determining the roughness of contact surfaces of the rolling bearings by the method of shock pulses. World Tribology Congress III, September 12-16, 2005, Washington, D.C., USA
5. Tse P., Peng Y., Yam R. Wavelet Analysis and Envelope Detection For Rolling Element Bearing Fault

Diagnosis—Their Effectiveness and Flexibilities. Journal of Vibration and Acoustics. 2001. Vol. 123. Pp 303-310. DOI: 10.1115/1.1379745.

6. Krakovskiy, Yu. M. Matematicheskie i programnye sredstva otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya oborudovaniya [Mathematical and software evaluation of the technical state of equipment]. Novosibirsk, 2006. – 227 p. (rus)

7. 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)

8. Sushko A. E. Razrabotka spetsial'nogo matematicheskogo i programmnogo obespecheniya dlya avtomatizirovannoy diagnostiki slozhnykh system [Development special mathematical and software for