M.: IGD im. A.A. Skochinskogo, 1964. – 20 s.

3. Mindeli, E.O. Zaboyka shpurov / E.O. Mindeli, P.A. Demichuk, V.E. Aleksandrov. – M.: Nedra, 1967. – 152 s.

4. Baranov, E.G. Vliyanie parametrov promezhutkov iz poristykh nizkoplotnykh materialov na effektivnost' vzryva skvazhinnogo zaryada / E.G. Baranov, V.N. Vilyan-skiy, O.N. Oberemok, V.N. Kurinnoy // Izvestiya vuzov: Gornyy zhurnal. – 1990. – № 5. – S. 72–76.

5. Zharkenov, M.I. Rezul'taty promyshlennykh ispytaniy skvazhinnykh zaryadov s pro-mezhutkami iz granulirovannogo penopolistirola / M.I. Zharkenov, E.B. Beketaev, T.A. Kineev, K.N. Zhunusov // Sb.: Vzryvnoe delo № 78/35. – M.: Nedra, 1977. – S. 102–106.

6. Kutuzov, B.N. Primenenie skvazhinnykh zaryadov VV s poristoy zaboykoy na granitnykh kar'erakh / B.N. Kutuzov, V.A. Bezmaternykh, G.P. Bersenev // Izvestiya vuzov: Gornyy zhurnal. – 1988. – № 12. – S. 45–49.

7. Mosinets, V.N. Drobyashchee i seysmicheskoe deystvie vzryva v gornykh porodakh. – M.: Nedra, 1976. – 271 s.

8. Katanov, I. B. Obosnovanie tekhnologicheskikh kharakteristik penogelevoy zaboyki vzryvnykh skvazhin / Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. – 2005. – № 5 (50). – S. 50-53.

9. Katanov, I. B. Modelirovanie protsessa formirovaniya skvazhinnykh zaryadov s peno-gelevoy zaboykoy / Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. – 2005. – № 5 (50). – S. 54-56.

10. Gurin, A.A. Primenenie gidrogelevoy zaboyki vzryvnykh skvazhin / A.A. Gurin, S.S. Yashchenko // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. – 1986. – № 1. – S. 38–39.

11. Baum, F.A. Impul'sy vzryva, obuslovlennye bokovym rasporom zaboyki v skvazhine / F.A. Baum, N.S. Sanasaryan // Sb.: Vzryvnoe delo № 59/16. – M.: Gosgortekh-izdat, 1966. – S. 28–32.

12. Etkin, M.B. Vzryvnye raboty v energeticheskom i promyshlennom stroitel'stve / M.B. Etkin, A.E. Azarkovich // Nauch.-prakt. rukov. – M.: MGGU, 2004. – 317 s.

13. Biryukov, A.V. Optimizatsiya parametrov vzryvnoy podgotovki porod pri otkrytoy razrabotke ugol'nykh mestorozhdeniy / A.V. Biryukov, A.S. Tashkinov. – Kemerovo : Kuzbass. politekh. in-t., 1981. – 112 s..

14. Repin, N.Ya. Burovzryvnye raboty na ugol'nykh razrezakh / N.Ya. Repin [i dr.] – M.: Nedra, 1987. – 254 s.

15. Strel'nikov, A.V. Primenenie obratnykh gidravlicheskikh lopat pri razrabotke slozhnostrukturnykh ugol'nykh mestorozhdeniy Kuzbassa / A.V. Strel'nikov, M.A. Tyulenev // Gornoe oborudovanie i elektromekhanika. – 2011. – № 1. – S. 30-34.

16. Tyulenev, M.A. and Lesin, Y.V. (2014). Justification complex purification technology open-pit mines wastewater. Taishan Academic Forum – Project on Mine Disaster Prevention and Control, Atlantis Press, Beijing, China, pp. 441-444.

17. Katanov, I. B. Fugasnoe deystvie produktov detonatsii skvazhinnogo zaryada pri ispol'zovanii penogelya v skvazhinnom zaryade / Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. – 2010. – № 6 (82). – S. 33-37.

Поступило в редакцию 4.08.2016
Received 4 August 2016

УДК 53.083(430.1)

РАЗРАБОТКА ЕДИНОГО КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГИДРАВЛИЧЕСКИХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК.

DEVELOPMENT OF A SINGLE EVALUATION CRITERIA FOR THE DIAGNOSIS OF EQUIPMENT DIESEL-HYDRAULIC DRILLING RIGS

Герике Павел Борисович
канд. техн. наук, доцент, e-mail: am_besten@mail.ru
Gericke Pavel B.,
C.Sc. (Engineering), Associate Professor

Федеральный Исследовательский Центр угля и углехимии СО РАН, Ленинградский пр. 10, Кемерово, 650065, Россия
Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of SB RAS, 10 Leningradsky Prospect, Kemerovo, 650065, Russian Federation.

Аннотвция. *В основу данного исследования положены результаты анализа существующих подходов к разработке единых диагностических критериев, основанные на принципах вибродиагностики сложных механических систем и являющихся необходимыми для использования в качестве базовых элементов математических деградационных моделей изменения состояния. Выполненное исследование виброакустических характеристик, генерируемых при работе энерго-механического оборудования дизель-гидравлических буровых установок, позволило провести распределение дефектов данного оборудования по 7 основным группам (дефекты ДВС, нарушение жесткости системы, дефекты подшипников, компрессоров, соединительных муфт, вращателей, нарушение центровки) которым в общей сложности соответствует более ста диагностических признаков по параметрам вибрации, формализованных для удобства их использования при разработке кода алгоритма автоматизированного контроля сложных систем по частотным наборам базовых признаков. В рамках настоящего исследования обосновывается необходимость использования результатов комплексного диагностического подхода к оценке технического состояния машин и механизмов по параметрам генерируемой при их работе вибрации. В работе показано, что только с широким использованием современных методов вибрационной диагностики и неразрушающего контроля появляется возможность для своевременного диагностирования дефектов оборудования горных машин (в том числе, находящихся на начальной стадии зарождения) и разработки прогнозных моделей изменения их технического состояния. Базовой платформой для реализации основных элементов системы обслуживания техники по ее фактическому техническому состоянию может послужить разработанный комплекс диагностических правил выявления дефектов по результатам анализа параметров механических колебаний и создаваемые единые диагностические критерии оценки состояния, основанные на анализе параметров механических колебаний, разрабатываемые для каждой из основных групп неисправностей диагностируемого оборудования буровых установок. Результаты проведенных исследований доказывают принципиальную возможность создания группы единых диагностических критериев оценки технического состояния дизель-гидравлических буровых установок, необходимых для осуществления эффективного краткосрочного прогнозирования исследуемых параметров. Доказано, что результаты краткосрочного прогнозирования являются достаточным минимумом, необходимым для осуществления внедрения базовых элементов системы обслуживания горной техники по ее фактическому состоянию.*

Abstract. *This paper is based on the results of the analysis of existing approaches to the development unified diagnostic criteria based on the results of vibration diagnostics of complex mechanical systems and are required to be used as the basic elements of mathematical models of changes in the state of degradation. The research of vibro-acoustic characteristics, generated by the power-mechanical equipment of diesel-hydraulic drilling rigs, allowed for the distribution of defects in the equipment for the 7 main groups (defects of internal combustion engines, the violation of the rigidity of the system, bearing defects, compressor defects, defects of the couplings, rotators defects alignment errors). This defects corresponds to more than a hundred diagnostic features vibration parameters, formalized for ease of use in the development of the algorithm code of the automated control of complex systems on the frequency set of basic features. As part of this work the necessity of using the results of an integrated diagnostic approach for performance evaluation of the technical state of the parameters*

generated when the vibration. It is shown that only with the extensive use of modern methods of vibration diagnostics and non-destructive testing there is an opportunity for early diagnosis of defects mining machinery equipment (including at the stage of inception) and the development of predictive models of change of their technical condition. As a platform for the realization of the basic elements of technology service system in its actual technical condition may serve as a diagnostic set of rules designed to identify defects on the analysis of parameters of mechanical vibrations, and create a united diagnostic criteria for assessment of the state, based on the analysis of mechanical vibrations parameters, developed by the number of major groups of faults diagnosed equipment. The results of these studies demonstrate the fundamental possibility of creating a group unified diagnostic criteria for assessing the technical condition of the diesel-hydraulic drilling rigs required for effective short-term forecasting of the tested parameters. It is proved that the results of short-term forecasting is sufficient and appropriate to the minimum necessary for the implementation of the basic elements of the system maintenance of mining equipment for its actual state.

Ключевые слова: *вибродиагностика, спектральный анализ, единый диагностический критерий, прогнозное моделирование, дизель-гидравлические буровые установки.*

Keywords*: vibration analysis, spectral analysis, a single diagnostic criterion, predictive modeling, diesel-hydraulic drilling rigs.*

На сегодняшний день на предприятиях угольной и горнорудной промышленности Кузбасса доля технологического оборудования, находящегося в недопустимом техническом состоянии, достигает до 25% от общего числа технических устройств, подлежащих процедуре экспертизы промышленной безопасности (ЭПБ ТУ ОПО). Дальнейшая эксплуатация этого оборудования должна быть запрещена до момента устранения всех дефектов и неисправностей, послуживших причиной возникновения недопустимого состояния. Однако, нормы действующей до сих пор морально устаревшей системы планово-предупредительных ремонтов (ППР) позволяют продолжать эксплуатацию заведомо неисправного оборудования, провоцируя возникновение аварийных ситуаций и подвергая опасности жизнь и здоровье обслуживающего и ремонтного персонала. Система оценки технического состояния горных машин по параметрам механических колебаний [1, 2], применяемая в рамках процедуры ЭПБ ТУ ОПО, является не совершенной и не позволяется определять тип дефекта и давать оценку степени опасности его развития.

В качестве объекта настоящего исследования использована выборка из 10 единиц дизель-гидравлических буровых установок серии DML-LP, эксплуатируемых на угольных разрезах Кузбасса и подлежащих прохождению процедуры экспертизы промышленной безопасности, как выработавшее свой нормативный срок. Сбор диагностической информации осуществлялся на протяжении пяти лет, что обуславливает представительность объема полученных данных.

Основной целью настоящей работы является создание единого диагностического критерия (ЕДК), основанного на результатах анализа параметров вибрации, генерируемой при работе основного энерго-механического оборудования дизель-гидравлических буровых установок (дизельных двигателей, роторных компрессоров, гидромоторов и редукторов вращателей) и пригодного для выполнения эффективной, быстрой и точной оценки фактического технического состояния объектов диагностирования. Очевидно, что из-за существенных ограничений в области применения методов контроля по параметрам механических колебаний [3, 4], выборка диагностических характеристик и параметров, необходимая для создания ЕДК каждого из элементов конструкции сложной механической системы, будет по-своему уникальна. Кроме того, настоящее исследование ориентировано на совершенствование методологических подходов к диагностике сложных механических систем, что позволит оптимизировать решение задачи по проблематике создания прогностических моделей деградации технического состояния узлов и агрегатов энерго-механического оборудования дизель-гидравлических буровых установок.

Отличительная особенность настоящей работы заключается в применении комплексного подхода к выбору наиболее информативных диагностических характеристик, наилучшим образом учитывающих специфику проведения измерений и позволяющих дать эффективную оценку предельному техническому состоянию самых разных объектов диагностирования. В рамках настоящего исследования использовались результаты комплексного диагностического подхода, включающего в себя прямой спектральный анализ, эксцесс, анализ огибающей, вейвлет-преобразование исходного сигнала и некоторые другие методы практического виброанализа, конкретное сочетание которых определялось только типом объекта исследования и режимами его работы.

Абсолютное большинство существующих математических прогнозных моделей, описывающих процессы изменения технического состояния энерго-механического оборудования горных машин и позволяющих выполнять прогнозирование изменения параметров технического состояния сложных механических систем по результатам анализа параметров генерируемой при их работе вибрации, являются несовершенными. Область их применения крайне мала, а апробация результатов моделирования

не всегда является достаточной. Кроме того, прогнозирование, как правило, осуществляется с использованием результатов моделирования только лишь одного диагностического параметра – среднеквадратического значения виброскорости (общего уровня сигнала).

Именно поэтому разрабатываемый единый диагностический критерий наибольший интерес представляет для моделирования процесса деградации технического состояния сложных механических систем [5].

Основные причины отсутствия универсальной математической модели, ориентированной на прогнозирование деградации технического состояния сложных механических систем, заключаются в недостаточной изученности вопросов динамики горных машин и отсутствии представительных баз данных по параметрам вибрации [6, 7].

Как следствие – только результаты комплексного подхода к анализу параметров исходных виброакустических характеристик и единый диагностический критерий оценки состояния позволят создать математическую деградационную модель качественно нового порядка, позволяющую с высокой степенью достоверности дать оценку техническому состоянию объекта диагностирования в кратко- и среднесрочной перспективе.

Таким образом, для каждого типа дефекта энергомеханического оборудования горных машин должен быть разработан свой уникальный единый диагностический критерий оценки технического состояния, учитывающий результаты комплексного анализа исходных данных несколькими различными методами вибродиагностики, что исключает необходимость использования различных громоздких диагностических признаков и правил.

На область применения разрабатываемых диагностических критериев существенное влияние оказывает наличие «паразитных» составляющих частотного спектра [8, 9].

Присутствие этих составляющих может быть обусловлено неверным выбором места установки датчиков и наличием повреждений в кабельных соединениях виброизмерительной аппаратуры, труднодоступ-ностью измерительных точек, значительными знакопеременными ударными нагрузками, неподготовленностью поверхности для датчика и т.п. причинами [10, 11].

Следовательно, алгоритм расчета единого диагностического критерия должен включать в себя гибко настраиваемую программу фильтрации, позволяющую очистить спектр от «паразитного» шума.

В условиях до сих пор действующей на предприятиях угольной и горнорудной промышленности Кузбасса морально устаревшей системы планово-предупредительных ремонтов максимальный приоритет может быть отдан только кратко- и среднесрочным прогнозным математическим моделям. Причем, в рамках системы ППР гораздо большую актуальность приобретает именно краткосрочное прогнозирование, позволяющее оценить вероятность безаварийной работы оборудования до момента проведения ближайшего ремонта.

Как нельзя лучше для данных условий подходят алгоритмы адаптивного краткосрочного прогнозирования [8], максимально использующие диагностическую информацию предыдущих замеров и корректирующие на их основе параметры прогнозной модели.

Таким образом, модель быстро адаптируется к изменяющимся входным условиям и позволяет получить хорошие результаты на малых интервалах прогнозирования (1 – 2 диагностических периода). Главным недостатком существующих краткосрочных адаптивных прогностических моделей считается малая область их практической реализации, что подтверждается работами разных авторов [3, 7, 8]. Кроме того, до сих пор не осуществлена апробация данных методик на значительном количестве элементов конструкций горных машин.

Подавляющее большинство из присутствующего сегодня на рынке специализированного программного обеспечения в моделях краткосрочного прогнозирования деградации технического состояния механических систем в качестве моделируемого параметра использует величину общего уровня сигнала по параметру виброскорости (например, пакеты экспертных систем для диагностики и автоматизированного контроля параметров вибрации: Dream – ООО «Ассоциация ВАСТ», Аврора – ООО «Вибро-Центр» и др.)

Адекватных деградационных моделей, осуществляющих прогноз технического состояния таких сложных механических объектов, как планетарные редуктора или двигателя внутреннего сгорания по результатам моделирования групп частотных наборов на сегодняшний день не существует; их разработка является не в пример более сложной задачей, по сравнению с моделированием среднеквадратического значения общего уровня вибрации.

Выполненный обзор научных публикаций по тематике настоящего исследования [7, 9, 12, 13, 14] показал наличие существенного числа работ, посвященных разработке алгоритмов автоматизированного анализа информативных частот, генерируемых при работе объекта диагностики.

Область применения таких алгоритмов, как правило, ограничена однотипными не сложными механическими объектами и требует наличия представительных баз данных по частотным признакам дефектов диагностируемого оборудования.

Существующие программные комплексы для автоматизированного поиска дефектов энергомеханического оборудования по частотным наборам базовых признаков имеют не высокую достоверность результатов, сильно зависящую от типа объекта диагностирования и качества сигнала.

Анализ диагностических характеристик, полученных при работе энерго-механического оборудования дизель-гидравлических буровых установок (под данным оборудованием здесь понимаем

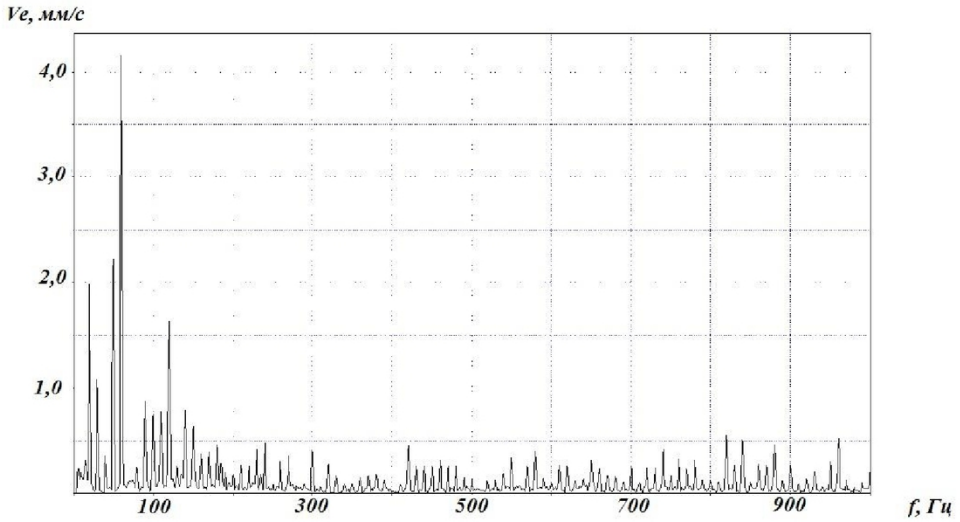

Рис. 1. Нарушение центровки ДВС с компрессором, ярко выраженное нарушение жесткости системы (буровая установка DML-LP).

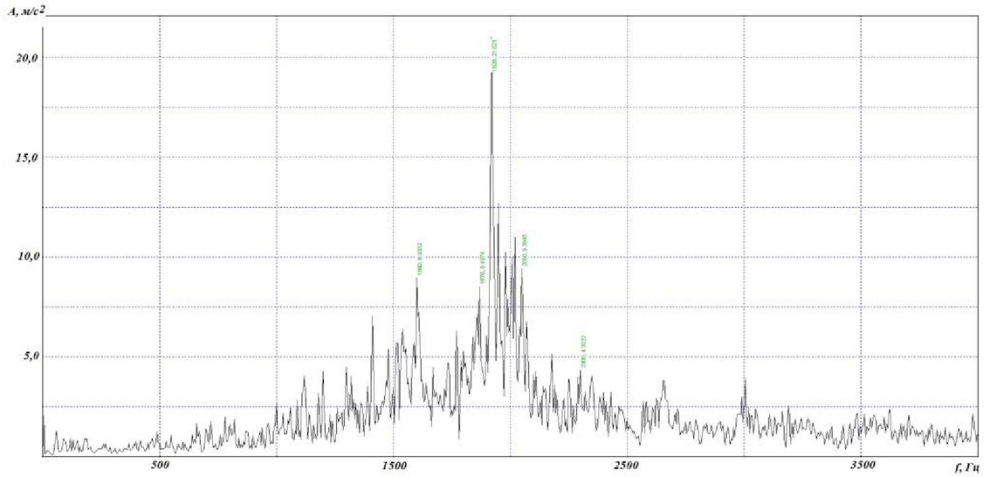

Рис. 2. Дефект подшипника коленвала двигателя внутреннего сгорания, установленного на буровой установке DML-LP.

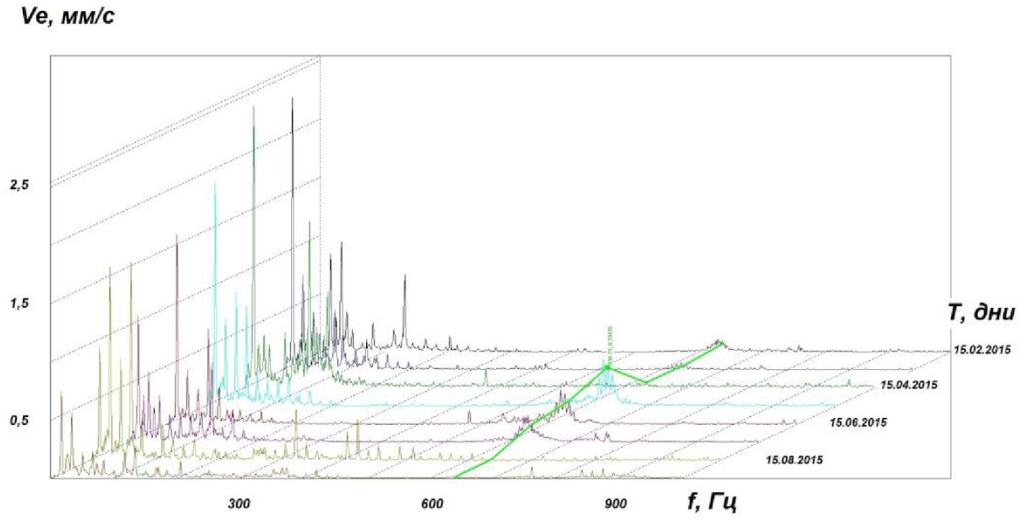

Рис. 3. Динамика развития дефекта подшипника гидромотора вращателя буровой установки DML-LP, вызванного нарушением режима его смазки.

двигатель внутреннего сгорания – ДВС, роторный компрессор, вращатели штанги), позволил сгруппировать дефекты данного типа горных машин по 7 основным группам (нарушение жесткости системы, дефекты компрессоров, износ элементов поршневой группы ДВС, нарушение центровки агрегатов, дефекты соединительных муфт, дефекты подшипников, нарушение режима смазки), которым в совокупности соответствует более ста диагностических признаков по параметрам вибрации (см. примеры на рисунках 1, 2 и 3). Данные признаки были классифицированы и формализованы для удобства их использования при разработке кода алгоритма автоматизированного контроля сложных систем по параметрам генерируемых механических колебаний. Следует особо отметить, что вопросы разработки ЕДК для диагностирования дефектов элементов гидравлической системы буровых установок (гидрораспределители, золотники, гидроцилиндры, гидравлическая обвязка и т.д.) остались за рамками настоящего исследования.

На сегодняшний день не существует ЕДК по параметрам генерируемой вибрации для зубчатых передач, ДВС и компрессорного оборудования, для их создания необходимо выполнить формализацию диагностических признаков в области виброанализа [3, 4, 7, 8, 9]. Основной задачей, стоящей перед настоящим исследованием, является разработка оригинальных диагностических критериев, позволяющих получить максимум полезной диагностической информации из исходных полигармонических волн, генерируемых при работе агрегатов оборудования буровых установок. Одним из основных требований, предъявляемых к разрабатываемым критериям, является их эффективность на всех этапах развития дефекта.

Результаты выполненных автором настоящей работы исследований позволили сформулировать 7 основных диагностических признаков оценки состояния по параметрам вибрации, пригодных для создания единого диагностического критерия оценки и прогнозирования технического состояния оборудования дизель-гидравлических буровых установок:

1. Нормированный общий уровень сигнала (признак 1а) и пиковое значение (признак 1б) по параметру виброускорения в диапазоне 50…10 000 Гц;
2. Общий уровень составляющих подшипниковых частот по параметру виброскорости (2…3000 Гц);
3. Общий уровень по параметру виброскорости в низкочастотном диапазоне (5Гц … $15f_{R1}$), содержащий признаки наличия несоосности и/или изгиба валов, неуравновешенности элементов ДВС и роторного компрессора, нарушения жесткости системы, дефектов муфты.
4. Глубина модуляции спектра огибающей вибросигнала в области частот, генерируемых деталями поршневой группы ДВС, и флуктуация амплитуд соответствующих гармоник – базовых, промежуточных и модуляционных частот.
5. Изменение генерируемых при работе ДВС импульсов по фазе, амплитуде и длительности, свидетельствующие об изменении момента впрыска, нарушениях в работе ГРМ, износе поршневых колец и т.д. (набор из более чем 20 гармонических составляющих спектра и их рядов).
6. Рост составляющих высокочастотной вибрации (>2000 Гц по параметру виброскорости), свидетельствующий о наличии неоднородности выходного потока компрессора.
7. Мера подобия, определяемая по результатам сравнения характеристик вейвлет-преобразования и временной волны реального и «эталонного» сигналов.

Ранее проведенные исследования позволили обобщить результаты виброанализа характеристик, генерируемых при работе оборудования буровых установок серии DML и построить два типа спектральных опорных масок – для типов сигнализации «предупреждение» и «тревога» (с 85% и 95% доверительной вероятностью соответственно). Кроме того, удалось детально обосновать необходимость мониторинга технического состояния буровых станков, позволяющего определить и прогнозировать величину остаточного ресурса применительно к различным схемам технического обслуживания, причем рекомендации по осуществлению вибромониторинга буровых установок и по совершенствованию на этой основе системы технического обслуживания и ремонта приняты к внедрению на ПАО «Кузбассразрезуголь» «Разрез Сартаки» [5].

Результаты мониторинга параметров вибрации энерго-механического оборудования горных машин позволили сделать вывод о необходимости использования комплексного подхода к диагностике сложных систем. Так, например, комплексный подход к диагностике, осуществленный в рамках мониторинга состояния буровой установки DML, позволил выявить опасную динамику развития дефекта подшипника вращателя и своевременно осуществить его замену, что привело к нормализации характеристики его вибронагруженности и позволило избежать аварийного выхода агрегата из строя (см. рисунок 3). Результаты практического виброанализа показывают, что такой комплексный подход должен, как минимум, содержать результаты спектрального анализа по параметрам виброскорости и виброускорения в расширенном частотном диапазоне, анализ огибающей и эксцесс. Таким образом, очевидно, что разрабатываемые ЕДК для диагностики узлов и элементов оборудования горной техники, которые могут быть применены для осуществления прогноза деградации объекта диагностики, должны быть основаны на результатах анализа параметров полигармонических волн с применением комплексного диагностического подхода.

При разработке ЕДК для диагностирования по параметрам вибрации однотипных механических

объектов с успехом могут применяться алгоритмы скаляризации, выполняющие замену множества векторов диагностических признаков скалярными величинами [8, 14] и базирующиеся на принципах пошагового распределения объектов на группы по степени развития повреждений и дефектов. Для каждого из элементов энерго-механического оборудования должен быть разработан свой уникальный единый критерий, учитывающий все аспекты специфики диагностирования того или иного узла, для чего необходимо очистить спектр от лишних гармоник, т.е. осуществить процедуру клиппирования. Разработка алгоритмов выделения наборов частотных составляющих для выявления дефектов подшипников, соединительных муфт, двигателей внутреннего сгорания, зубчатых передач и т.п. должна быть основана на удалении из спектра всех составляющих иной природы, причем число алгоритмов клиппирования должно совпадать с количеством потенциально возможных дефектов диагностируемого оборудования. Алгоритмы клиппирования должны содержать широко распространенную в вибродиагностике процедуру уточнения оборотной частоты вращения, основанную на принципе поиска в низкочастотном диапазоне спектра гармоник с максимальными амплитудами. Из множества аналогичных алгоритмов в рамках настоящего исследования использовалась процедура [8], наилучшим образом зарекомендовавшая себя на объектах с неявными максимумами оборотной частоты.

Внедрение системы обслуживания горной техники по ее фактическому состоянию невозможно без создания ЕДК, которые могут быть с успехом применены для эффективной оценки фактического состояния и использованы в качестве базового моделируемого параметра при разработке адаптивных деградационных моделей, наиболее приемлемых для условий действующей на предприятиях отрасли системы планово-предупредительных ремонтов [13, 14]. Внедрение системы обслуживания эксплуатируемой техники по ее фактическому состоянию невозможно без наличия четко структурированной базы данных, содержащей информацию о динамике изменения диагностических параметров для широкого типового ряда горных машин [15]. Предложенный алгоритм создания единых диагностических критериев ориентирован на решение актуальных научных проблем по разработке адекватных деградационных моделей для диагностики сложных механических систем, использование которых позволит предотвратить аварийные выходы из строя дорогостоящего технологического оборудования, повысить безопасность проведения открытых горных работ, минимизировать складские и транспортные издержки предприятий угольной и горнорудной отраслей промышленности Кузбасса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 15-14-2008. Методические рекомендации о порядке проведения экспертизы промышленной безопасности карьерных одноковшовых экскаваторов.

2. РД 15-04-2006. Методические указания по проведению экспертизы промышленной безопасности ленточных конвейерных установок.

3. Разработка методики диагностирования и прогнозирования технического состояния дизель-гидравлических буровых станков. Ещеркин П.В., автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Кемерово – 2012 год. – 18 с.

4. Bently D.E., Hatch C.T. “Fundamentals of rotating Machinery Diagnostics”, Bently Pressurized Press, 2002, P.726.

5. Герике П.Б. Профилактическое обслуживание буровых станков: преимущества и перспективы/В.И. Клишин, Б.Л. Герике, П.Б. Герике// Вестник Кузбасского государственного технического университета, № 5. – Кемерово. – 2015. – С. 64-69.

6. S. Delvecchio, G. DElia, E. Mucchi, G. Dalpiaz, Advanced signal processing tools for the vibratory surveillance of assembly faults in diesel engine cold tests, Journal of Vibration and Acoustics, April 2010, Vol. 132, Issue 2, 021008-10, ISSN: 1048-9002, doi:10.1115/1.4000807

7. Разработка стационарного диагностического комплекса для экскаватора типа ЭКГ. Дрыгин М.Ю., автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Кемерово – 2012 год. – 20 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. Skeinik R., Petersen D. Automated fault detection via selective frequency band alarming in PC-based predictive maintenance systems. CSI, Knaxville, TN 37923, USA.

10. Ширман А.Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / Ширман А.Р., Соловьев А.Б. / Москва, 1996. – 276 с.

11. Неразрушающий контроль. Справочник в 7 томах под редакцией чл.-корр. РАН В.В. Клюева, т.7 – Москва, 2005. – 828 с.

12. Лукьянов А.В. Классификатор вибродиагностических признаков дефектов роторных машин. /