ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 681.518.43

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ ЗАВОДОВ ГОРНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

QUALITY PROVIDING FOR PRODUCTS MANUFACTURED BY MINING MACHINERY FACTORIES

Герике Борис Людвигович [1,2],
д.т.н., профессор, e-mail: gbl_42@mail.ru
Gerike Boris L. [1,2], Dr. Sc. in Engineering, e-mail: gbl_42@mail.ru
Хорешок Алексей Алексеевич [1,2],
д.т.н., профессор, e-mail: haa.omit@kuzstu.ru
Khoreshok Alexey A. [1,2], Dr Sc. in Engineering, e-mail: haa.omit@kuzstu.ru
Дрозденко Юрий Вадимович [1],
к.т.н., e-mail: duv.gmik@kuzstu.ru
Drozdenko Yuriy V. [1], Ph.D., e-mail: duv.gmik@kuzstu.ru

[1] Кузбасский государственный технический университ имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
[1] T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation
[2] Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, 650065, Россия, Кемерово, Ленинградский проспект, 10
[2] Federal Research Centre Coal and Coal Chemistry SB of RAS, 10 avenue Leningradskiy, Kemerovo, 650065, Russian Federation

Аннотация. *Высокое качество выпускаемой продукции обеспечивает не только место на рынке, но и высокие эксплуатационные показатели. В статье рассмотрен подход к нормированию вибрации выпускаемой заводами горного машиностроения оборудования, основанный на построении спектральных масок, при помощи которого возможно провести идентификацию и локализацию дефектов возникающих при изготовлении горного оборудования. Применение методов и средств вибрационного контроля для оценки выпускаемой продукции должно повлечь за собой не только рост качества горных машин, но и их конкурентоспособность не только на внутреннем рынке, а и при поставке на экспорт.*

Abstract: *The high quality of products provides not only a place on the market, but also high operational performance. The article deals with the approach to rationing of vibration of mining machinery equipment produced by factories, based on the spectral masks, using which it is possible to carry out the identification and localization of defects occurring during manufacturing of mining equipment. Using of the methods and tools of vibration control for products evaluation should entail not only the quality increase of mining machines, but also their competitiveness both on the domestic and foreign markets.*

Ключевые слова. *Заводы горного машиностроения, конкурентоспособность, качество продукции, вибродиагностика, нормирование вибрации, спектральная маска.*

Keywords*: mining machinery factories, competitiveness, product quality, vibration diagnostics, vibration normalization, spectral mask.*

Горная промышленность Кузбасса является ключевым драйвером развития экономики региона, основным получателем инвестиций, источником высокооплачиваемых рабочих мест и бюджетных поступлений [1]. Вместе с тем, развитие горной отрасли сдерживается рядом проблем, связанных с инвестированием ее технологической модернизации [2], вредным воздействием добывающих предприятий на окружающую среду [3-5], подготовкой высокопрофессиональных научных и производ-

ственных кадров [6, 7]. Сегодня возрастает роль горной отрасли в обеспечении структурной перестройки региональной экономики [8, 9], которой невозможно добиться без развития горного машиностроения, его выхода на международный уровень конкурентоспособности.

Международная конкурентоспособность предприятий горного машиностроения определена тремя факторами:

– качеством выпускаемой продукции;
– производительностью;
– финансовой структурой.

Для того чтобы сохранить высокую конкурентоспособность, предъявляются все возрастающие требования к организации производства и последующего технического обслуживания. С одной стороны, объемы производства должны быть увеличены, а с другой стороны, должны быть выполнены все возрастающие требования безопасности эксплуатации технологического оборудования и охраны окружающей среды.

Эти обстоятельства имеют огромное влияние на производство, поскольку:

– непрерывное увеличение интенсивности труда ведет к более высоким эксплуатационным скоростям, пропускной способности и удельной производительности технологического оборудования;

– необходимость модернизации делает заманчивой идею одновременной автоматизации и слияния производств;

– желание почти неограниченной работоспособности машины приводит к привлечению самых новых технологий и эффективных стратегий обслуживания оборудования;

– повышенные капитальные вложения в новые технологии производства требуют использования технологического оборудования в течение максимально возможного срока службы.

Чтобы выполнить все эти требования, обслуживание и поддержание работоспособности машин и механизмов должны играть ключевую роль в областях исследования и разработки, производства и контроля качества технологического оборудования. И если в угледобывающей и горнорудной отраслях промышленности все большее распространение находят формы обслуживания технологического оборудования по фактическому состоянию [10, 11], то в области производства этого оборудования, несмотря на внедрение стандартов качества ГОСТ ISO 9000-2011, все еще не находят применения новые формы контроля качества.

Вибрация (колебания с относительно малой амплитудой и не слишком низкой частотой) – типичное явление для любого оборудования, содержащего движущиеся элементы конструкции [12, 13]. Она возникает из-за ряда свойств, которые являются естественным следствием изготовления элементов оборудования и характеристик материалов. При увеличении вибрации эти свойства могут развиваться в серьезные дефекты. В свою очередь развитие дефекта в оборудовании приводит к изменению характеристик вибрации. Увеличение вибрации выше определенного уровня может привести к разрушению элементов оборудования или характеризовать разрушение. Таким образом, вибрация служит как причиной развития дефектов, так и их индикатором.

Вибрационная диагностика применяется для контроля текущего состояния оборудования, выявления возможных дефектов, оценки остаточного ресурса, определения сороков и объемов ремонтных работ. При этом измерения происходят на работающем оборудовании, что существенно повышает эффективность использования данного метода. Анализ отечественного и зарубежного опыта контроля технического состояния систем с вращательным движением силовых узлов показывает, что для обнаружения возможных отказов наиболее эффективен (до 77%) контроль состояния оборудования по параметрам вибрации [14]. На рис. 1. показана диаграмма применения аппарата вибрационной диагностики на различных этапах жизненного цикла машинного оборудования.

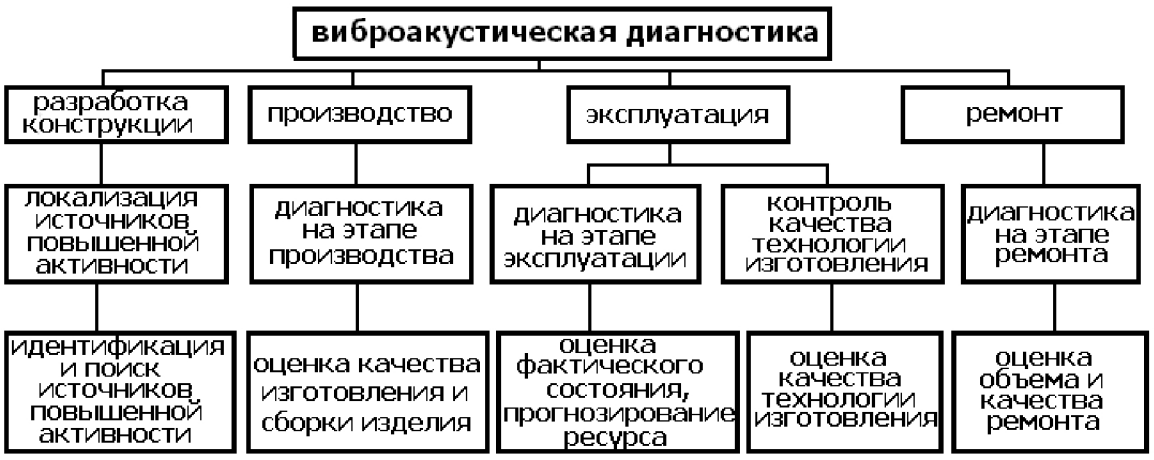

Рис. 1. Области применения вибрационной диагностики на различных этапах жизненного цикла машинного оборудования

Экономическая целесообразность применения методов вибрационной диагностики в различных отраслях техники обусловлена множеством причин: снижением вероятности непредвиденных аварий с катастрофическими последствиями; ликвидацией или уменьшением количества переборок, сокращающих ресурс оборудования; снижением стоимости техобслуживания и ремонта; экономией запасных частей и горюче-смазочных материалов [15]. При этом потери, связанные с простоем производства и затратами на восстановление поврежденного оборудования, многократно превосходят расходы на приобретение, установку и применение средств вибрационного мониторинга.

На сегодняшний день существует большое количество различных видов замеров параметров механических колебаний, позволяющих оценивать состояние самого разнообразного оборудования [16-18]. В зависимости от решаемых задач могут меняться настройки замеров – единицы представления, полосы частот, время измерения, тип и количество усреднений, однако, сами замеры остаются практически неизменными.

Любые параметры вибрации или типы замеров, полученные на работающем агрегате, содержат диагностическую информацию, характеризующую состояние одновременно нескольких узлов машины. Поэтому при решении задачи оценки состояния отдельных узлов по параметрам вибрации необходимо исключать из рассмотрения составляющие иной природы. На сегодняшний день алгоритмы подобной фильтрации отсутствуют, поэтому при анализе виброакустических сигналов необходимо оценивать возможное влияние на характер и величину механических колебаний сил различной природы от различных источников (вала, рабочего колеса, муфты и т.д.) [19-21].

Подводя итоги сказанному, сформулируем основные требования к диагностике сложных си-

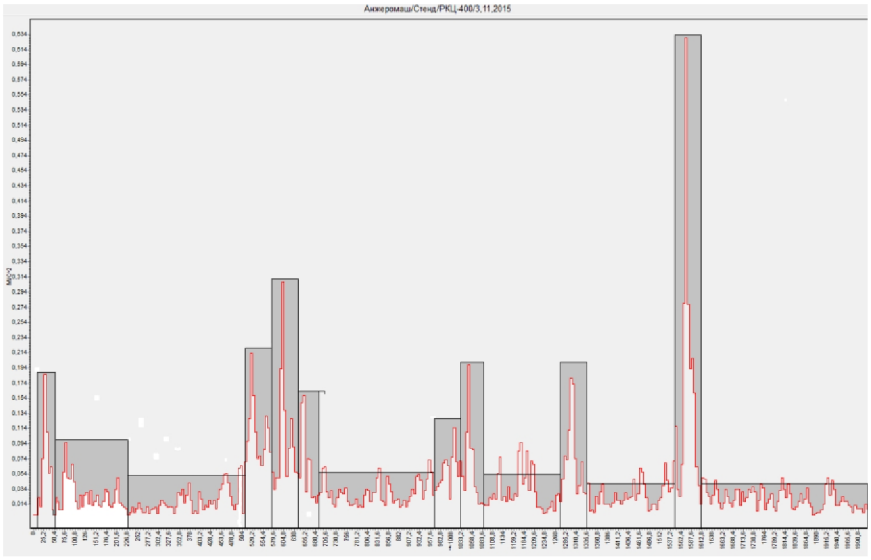

Рис. 2. Спектр виброакустического сигнала, разделенный на 14 частотных полос

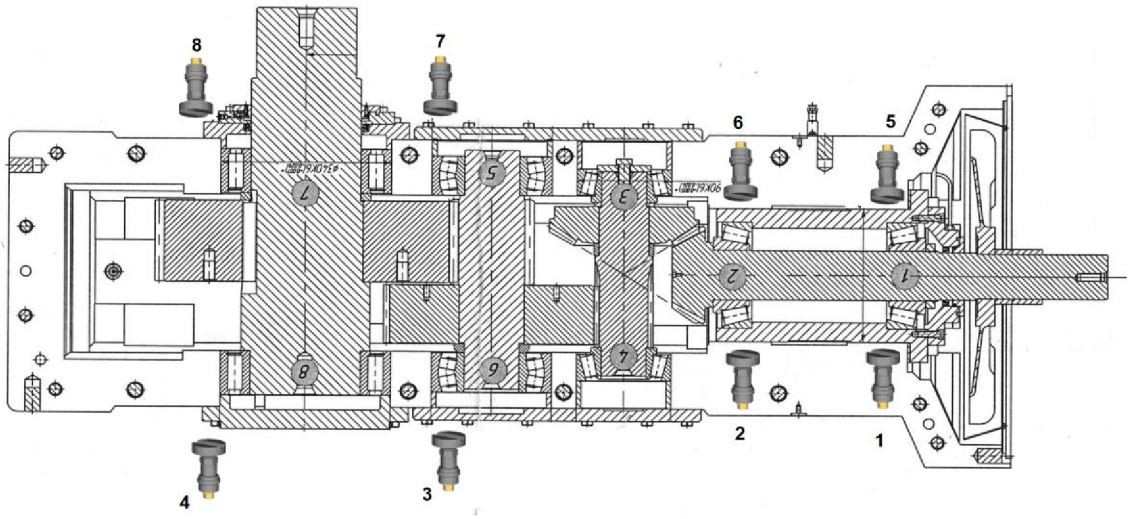

Рис. 3. Схема контрольных точек измерения вибрации на редукторе РКЦ-400

стем. Во-первых, необходимо получить универсальную оценку технического состояния на основании комплексного использования различных параметров и критериев. При этом количество априорных данных должно быть сведено к минимуму, а влияние различных факторов, искажающих диагностическую информацию – устранено. С другой стороны, оценка состояния сложных систем одновременно по нескольким диагностическим критериям – достаточно трудоемкая задача. Гораздо проще и эффективнее применять математические модели диагностики в одномерном пространстве признаков [22-24]. Таким образом, при диагностике для исключения «человеческого фактора» целесообразно использовать единичный критерий, сформированный «наилучшим» образом из N-мерного, где N – количество используемых диагностических критериев, т.е. решать задачу скаляризации. При этом в рамках перехода к линеаризованной величине (единому диагности-

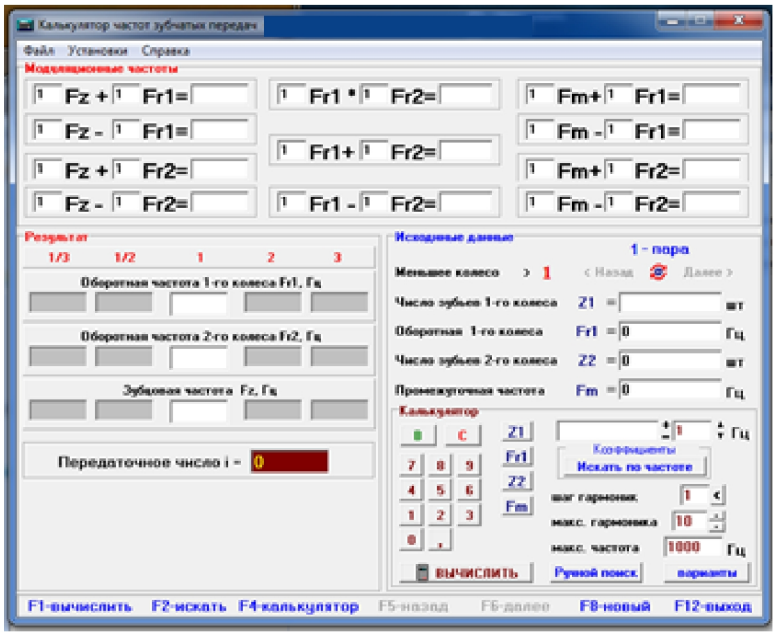

Рис. 4. Калькулятор частот зубчатых передач

Таблица 1 Частоты, характерные для дефектов зубчатых передач в рядных редукторах

Частота	Вид дефекта изготовления	Вид дефекта сборки	Вид дефекта износа
f_r	Дисбаланс		
$k\times f_{r1}$ и $k\times f_{r2}$ (k = 1,2, реже 3 и 4), $m\times f_z \pm n\times f_r$ (m, n = 1,2…)	Переменная погрешность шага зацепления	Нарушение соосности (перекос валов)	
$k\times f_r$ k= l, 2...20 и выше		Повышенный боковой зазор между колесами	
f_z	Постоянная погрешность шага зацепления		
$k\times f_z$, $k\times f_r$ рост шумовой компоненты $m\times f_m \pm n\times f_r$ (m, n=1,2…)			Абразивный износ
$k\times f_r$, $m\times f_z \pm n\times f_r$, $m\times f_m \pm n\times f_r$ (флуктуация амплитуд, n= 0,1,2...)			Выкрашивание зубьев
$k\times f_r$, $m\times f_z \pm n\times f_r$, $m\times f_m \pm n\times f_r$ (флуктуация амплитуд, n =0,1,2...), рост шумовой компоненты			Трещины и (или) излом зубьев

ческому критерию) особенно важно оценить «разделяемость» первоначально используемых диагностических критериев. Более того, необходимо на основании полученных данных предложить адекватную модель, описывающую развитие дефекта, и математический аппарат, оценивающий с заданной точностью текущее состояние диагностируемого узла.

На стадии производства горных машин и оборудования в качестве метода оценки качества изготовления и сборки оборудования (рис. 1) наиболее целесообразно использовать спектральные опорные маски, которые являются более гибким и достоверным инструментом по сравнению с методом оценки по общему уровню вибрации [25]. Метод оценки технического состояния оборудования по спектральным маскам предусматривает вариативность в части ширины частотных полос, их положения и индивидуальных предельно допустимых значений, поскольку дефекты узлов и агрегатов насыщают спектр виброакустической волны составляющими с частотами, изменяющимися в определенных диапазонах, которые подчиняются четким физическим законам и принципам [11]. Кроме того, использование этого метода открывает широкие возможности для построения кратко- и среднесрочных прогнозов оценки состояния техники. Количество частотных полос в спектральной маске обычно составляет от 6 до 18 [14-16].

Метод спектральных масок основан на сегментировании всего диапазона измерений на несколько частотных полос, каждая из которых рассчитывается исходя из определенных параметров. В качестве примера, на рис.2 приведена спектральная маска вибрации опоры входного вала редуктора РКЦ-400 ОАО «Анжеромаш» (рис. 3). На представленном примере частотный диапазон (2; 2000 Гц) разделен на 14 полос, каждая из которых нормируется по среднеквадратическому значению виброскорости, определенному по результатам измерений вибрации при прямом и реверсивном вращении выходного вала. В качестве нормируемого параметра вибрации, как правило, принимают значение виброскорости, как наиболее информативное в рассматриваемом диапазоне частот. Однако, известны работы, где рассматриваются вопросы нормирования частотных диапазонов виброакустических сигналов по параметру виброускорения или виброперемещения [14].

Следует отметить общее правило построения спектральных масок – в общем виде число частотных полос маски зависит от количества предполагаемых дефектов агрегата, высота каждой из полос – от степени вклада каждой группы гармонических составляющих в общий уровень сигнала (от степени опасности развития того или иного повреждения). Полосы могут перекрывать, а могут и не перекрывать друг друга, это зависит от степени детализации маски, а также конструктивных и кинематических особенностей механизма.

Частотные диапазоны спектральной маски (ширина полос) обычно принимают значения исходя из следующих условий:

– «высокоэнергетические» составляющие спектра, сопровождающие дисбаланс или расцентровку– (0,5...1,5)×f_r и (l,5...2,5))×f_r;

– «низкоэнергетические» составляющие колебаний, сопровождающие дефекты подшипника качения – (7,5...15,5)×f_r;

– (2,5...10,5))×f_r— общее нарушение жесткости системы;

– первая среднечастотная полоса (3... 15))×f_r;

– вторая среднечастотная полоса (15...40))×f_r;

– первая высокочастотная полоса 40×f_r...20 кГц;

– (0,1...0,9)×f_r– для обнаружения дефектов масляного клина подшипников скольжения;

Таблица 2. Дефекты зубчатой передачи в составе планетарного редуктора и их основные диагностические параметры

Вид дефекта	Диагностические признаки
Бой солнечной шестерни	f_o, nf*±f_o, kf_z±f*
Перекос солнечной шестерни	$2f_o$, $2nf$*±$2f_o$,kf_z±$2f$*
Дефект зубьев солнечной шестерни	knf*±k_1f_o, kf_z±k_1f*
Перекос сателлита	$4f_g$±k_1f_v,kf_z±$2f_g$
Дефект зубьев сателлита	$2kf_g$±k_1f_v, kf_z±k_1f_g
Перекос короны	$2nf_v$, kf_z± $2nf_v$
Дефект зубьев короны	knf_v, kf_z± k_1nf_v
Дефект зацепления	kf_z
Бой водила	kf_v,f_o±f_v, kf_z±k_1f_v
Дефект подшипника сателлита	kf_v, f_o±f_v, kf_z±f_g/2
Дефект подшипника солнечной шестерни (водила)	kf_r + рост СКЗ СЧ, появление ударных импульсов на СЧ
Дефект смазки подшипника	Появление ударных импульсов на ВЧ, рост СКЗ на ВЧ

– $(n\pm1)\times f_r$– для повреждения элементов соединительных муфт;

– для дефектов зубчатых передач редукторов сведения приведены в таблицах 1 и 2.

Наиболее характерные дефекты, присущие редукторам горных машин, проявляются на частотах, приведенных в табл. 1 и 2, для вычисления которых разработан встраиваемый в программное обеспечение специализированный калькулятор (рис. 4).

Примечание. f_o – частота вращения солнца; f_v – частота вращения водила; f_z – зубовая частота; f_g – частота вращения сателлита; $f^* = f_o – f_v$ – частота вращения оси с дефектным подшипником; СЧ – средние частоты; ВЧ – высокие частоты; УВЧ – ультразвуковые частоты; СКЗ – среднеквадратичное значение вибрации; n – число сателлитов; k=1,2,3,4,...; k_1=1,2,3,4,…

Предложенный подход к нормированию параметров механических колебаний может быть использован на практике, при разработке стандарта предприятия по нормированию вибрации выпускаемой продукции для включения в паспорт изделия.

Разработка большого числа спектральных масок для широкого типового ряда горной техники является одним из условий выпуска заводами горного машиностроения качественной продукции и осуществления перехода на новые формы технического обслуживания и ремонта горных машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жиронкин, С.А. Структурно-отраслевые проблемы развития экономики Кузбасса // Уголь. – 2009. – № 5 (997). – С. 18.

2. Жиронкин, С.А. Теоретические основы и направления структурного регулирования экономики России // Журнал экономической теории. – 2011. – № 1. – С. 74-80.

3. Тюленев, М.А. Перенос загрязняющих веществ при фильтрации сточных карьерных вод во вскрышных породах / М.А. Тюленев, С.Ю. Лукьянова, А.В. Папин, Е.А. Макаревич // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2011. – № 2. – С. 22-30.

4. Тюленев, М.А. Технология очистки сточных вод на действующих разрезах Кузбасса. / М.А. Тюленев, Ю.В. Лесин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № 6. – С. 104-109.

5. Астафьева, В.Г. Изменение содержания загрязняющих примесей в карьерных сточных водах разреза «Талдинский» / В.Г. Астафьева, М.А. Тюленев // В сборнике: Перспективы инновационного развития угольных регионов России Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции. – Прокопьевск, 2014. – С. 118-120.

6. Жиронкина, О.В. Формирование профессионально значимых качеств будущих экономистов в процессе изучения общеобразовательных дисциплин: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата педагогических наук / Кемеровский государственный университет. Кемерово, 2003. – 16 с.

7. Жиронкин, С.А. Технопарк как структуропреобразующая форма развития экономики Кузбасса / С.А. Жиронкин, М.Ю. Журавский // ЭКО. – 2009. – №7. – С. 33-42.

8. Жиронкин, С.А. Концепция структурных преобразований экономики России / С.А. Жиронкин, Е.Ю. Доценко // Вестник экономики, права и социологии. – 2014. – № 2. – С. 35-37.

9. Доценко, Е.Ю. Условия неоиндустриализации российской экономики / Е.Ю. Доценко, С.А. Жиронкин, О.В. Жиронкина // Вестник экономики, права и социологии. – 2015. – № 2. – С. 23-27.

10. Клишин, В. И. Научное обеспечение инновационного развития угольной отрасли / В.И. Клишин, М.В. Писаренко // Уголь. – 2014. – № 9.– С. 42-46.

11. Герике, Б. Л. Методология построения спектральных масок для динамического оборудования горных машин / Б.Л. Герике, П.Б. Герике // Вестник КузГТУ. – № 4. – 2014. – С. 20 – 22.

12. Вибрации в технике: Справочник: В 6 т./ Ред. совет: В.Н. Челомей (пред.). М.: Машиностроение, 1978. Т. 1. Колебания линейных систем / Под ред. В.В. Болотина, 1978. – 352 с.

13. Drozdenko, Y.V. Formation auger equipment reliability / Chinese Coal in the XXI Century: Mining, Green and Safety Taishan Academic Forum – Project on Mine Disaster Prevention and Control. Сер. "Advances in Engineering Research". – 2014. – P. 171-176.

14. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. / Под общ.ред. В.В. Клюева. Т. 7: Кн.2: Вибродиагностика. / Ф.Я. Балицкий, А.В. Барков, Н.А. Баркова и др. – М.: Машиностроение, 2005. – 829 с.

15. Ширман, А.Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А.Р. Ширман, А.Б. Соловьев. – М.: 1996. – 276 с.

16. Йориш, Ю.И. Виброметрия. М.: Машгиз, 1963. – 772 с.

17. Диагностика горных машин и оборудования: Учеб.пособие / Б.Л. Герике, П.Б. Герике, В.С. Квагинидзе [и др.]. – М.: ИПО «У Никитских ворот», 2012. – 400 с.

18. Барков, А.В. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации / А.В. Барков, Н.А. Баркова: Учеб. пособие // СПб.: Изд-во СПбГМТУ. – 2004. – 156 с.

19. Попков, В.И. Виброакустическая диагностика в судостроении / В.И. Попков, Э.Л. Мышинский, О.И. Попков. 2-е изд., перераб. и доп. // Л.: Судостроение, 1989. – 253 с.

20. Глухоманюк, Г.Г. Влияние факторов взаимодействия на жизнеобеспечение механического оборудования // Контроль. Диагностика. – 2001. – №8. – С.24-33.

21. Kovalev V. Preventive maintenance of mining equipment based on identification of its actual technical state. / Gerike B., Khoreshok A., Gerike P. // Chinese Coal in the XXI Century: Mining, Green and Safety Taishan Academic Forum – Project on Mine Disaster Prevention and Control. Cep. "Advances in Engineering Research". – 2014. – P. 184-189.

22. Sokolova, A.G. New noise-immune incipient failure detection methods for machinery monitoring and protection systems // The Fifth International Conference on Vibration Problem. ICO VP-2001.

23. Сушко, А.Е. Разработка математической модели оптимального технического обслуживания и ремонта промышленного оборудования // Науч. сессия МИФИ-2007: Сб. науч. тр. В 17 т. – М.: МИФИД007. – Т.2. – С.153-154.

24. Краковский, Ю.М. Математические и программные средства оценки технического состояния оборудования. – Новосибирск: Наука, СО, 2005. – 200 с.

25. ГОСТ ИСО 10816-1-97. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть I. Общие требования. М.: Издательство стандартов, 1998. – 18 с.

REFERENCES

1. Zhironkin S.A. Strukturno-otraslevye problemy razvitiya ekonomiki Kuzbassa // Ugol'. - 2009. - № 5 (997). - S. 18.

2. Zhironkin S.A. Teoreticheskie osnovy i napravleniya strukturnogo regulirovaniya ekonomiki Rossii // Zhurnal ekonomicheskoy teorii. - 2011. - № 1. - S. 74-80.

3. Tyulenev M.A. Perenos zagryaznyayushchikh veshchestv pri fil'tratsii stochnykh kar'ernykh vod vo vskryshnykh porodakh / M.A. Tyulenev, S.Yu. Luk'yanova, A.V. Papin, E.A. Makarevich // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2011. – № 2. – S. 22-30.

4. Tyulenev M.A. Tekhnologiya ochistki stochnykh vod na deystvuyushchikh razrezakh Kuzbassa / M.A. Tyulenev, Yu.V. Lesin // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (na-uchno-tekhnicheskiy zhurnal). – 2012. – № 6. – S. 104-109.

5. Astaf'eva V.G. Izmenenie soderzhaniya zagryaznyayushchikh primesey v kar'ernykh stoch-nykh vodakh razreza «Taldinskiy» / V.G. Astaf'eva, M.A. Tyulenev // V sbornike: Perspek-tivy innovatsionnogo razvitiya ugol'nykh regionov Rossii Sbornik trudov IV Mezhduna-rodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Prokop-'evsk, 2014. – S. 118-120.

6. Zhironkina O.V. Formirovanie professional'no znachimykh kachestv budushchikh eko-nomistov v protsesse izucheniya obshcheobrazovatel'nykh distsiplin: Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni kandidata pedagogicheskikh nauk / Kemerovskiy gosudarstvennyy universitet. Kemerovo, 2003. – 16 s.

7. Zhironkin S.A. Tekhnopark kak strukturopreobrazuyushchaya forma razvitiya ekonomiki Kuzbassa / S.A. Zhironkin, M.Yu. Zhuravskiy. - EKO. - 2009. - №7. - S. 33-42.

8. Zhironkin S.A. Kontseptsiya strukturnykh preobrazovaniy ekonomiki Rossii / S.A. Zhironkin, E.Yu. Dotsenko // Vestnik ekonomiki, prava i sotsiologii. - 2014. - № 2. - S. 35-37.

9. Dotsenko E.Yu. // Usloviya neoindustrializatsii rossiyskoy ekonomiki / E.Yu. Do-tsenko, S.A. Zhironkin, O.V. Zhironkina // Vestnik ekonomiki, prava i sotsiologii. 2015. № 2. S. 23-27.

10. Klishin V. I., Pisarenko M. V. Nauchnoe obespechenie innovatsionnogo razvitiya ugol'noy otrasli // Ugol'. - №9. – 2014. – S. 42-46.

11. Gerike B.L. Metodologiya postroeniya spektral'nykh masok dlya dinamicheskogo oborudovaniya gornykh mashin / B.L. Gerike, P.B. Gerike // Vestnik KuzGTU. № 4, 2014. – S. 20-22.

12. Vibratsii v tekhnike: Spravochnik: V 6 t. / Red. sovet: V.N. Chelomey (pred.). M.: Mashinostroenie, 1978. T.1. Kolebaniya lineynykh sistem / Pod red. V.V. Bolotina, 1978. – 352s.

13. Drozdenko Y.V. Formation auger equipment reliability / Chinese Coal in the XXI Cen-tury: Mining, Green and Safety Taishan Academic Forum – Project on Mine Disaster Prevention and Control. Ser. "Advances in Engineering Research" 2014. – P. 171-176.

14. Nerazrushayushchiy kontrol': Spravochnik: V 7 t. / Pod obshch. red. V.V. Klyueva. T. 7: Kn.2: Vibrodi-agnostika. / F. Ya. Balitskiy, A. V. Barkov, N. A. Barkova i dr. – M.: Mashi-nostroenie, 2005. – 829 s.

15. Shirman A. R. Prakticheskaya vibrodiagnostika i monitoring sostoyaniya mekhaniche-skogo oborudo-vaniya /A. R. Shirman, A. B. Solov'ev. – M.: 1996. – 276 s.

16. Yorish Yu. I. Vibrometriya. M: Mashgiz, 1963. – 772 s.

17. Diagnostika gornykh mashin i oborudovaniya: Ucheb.posobie / B. L. Gerike, P. B. Ge-rike, V.S. Kvagi-nidze [i dr.]. M.: IPO «U Nikitskikh vorot», 2012. – 400 s.

18. Barkov A. V. Vibratsionnaya diagnostika mashin i oborudovaniya. Analiz vibratsii. / A. V. Barkov, N.

A. Barkova: Ucheb. posobie. // SPb.: Izd-vo SPbGMTU. – 2004. – 156 s.

19. Popkov V. I. Vibroakusticheskaya diagnostika v sudostroenii / V. I. Popkov, E. L. Myshinskiy, O. I. Popkov. 2-e izd., pererab. i dop. // L.: Sudostroenie, 1989. – 253 s.

20. Glukhomanyuk G. G. Vliyanie faktorov vzaimodeystviya na zhizneobespechenie mekha-nicheskogo oborudovaniya // Kontrol'. Diagnostika. – 2001. – №8. – S.24-33.

21. Kovalev V. Preventive maintenance of mining equipment based on identification of its actual technical state // Gerike B., Khoreshok A., Gerike P / Chinese Coal in the XXI Century: Mining, Green and Safety Taishan Academic Forum – Project on Mine Disaster Prevention and Control. Ser. "Advances in Engineering Research" 2014. P. 184-189.

22. Sokolova, A.G. New noise-immune incipient failure detection methods for machinery monitoring and protection systems // The Fifth International Conference on Vibration Problem. ICO VP-2001.

23. Sushko A. E. Razrabotka matematicheskoy modeli optimal'nogo tekhnicheskogo ob-sluzhivaniya i re-monta promyshlennogo oborudovaniya // Nauch. sessiya MIFI-2007: Sb. nauch. tr. V 17 t. M.: MIFID007. T.2. S.153-154.

24. Krakovskiy Yu. M. Matematicheskie i programmnye sredstva otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya obo-rudovaniya. Novosibirsk: Nauka, SO, 2005. – 200 s.

25. GOST ISO 10816-1-97. Vibratsiya. Kontrol' sostoyaniya mashin po rezul'tatam iz-mereniy vibratsii na nevrashchayushchikhsya chastyakh. Chast' I. Obshchie trebovaniya. M.: Izdatel'stvo standartov, 1998. – 18 s.

Поступило в редакцию 07.09.2016
Received 7 September 2016