

DOI: 10.25558/VOSTNII.2020.41.54.005

УДК 622.831.325

© И.Л. Абрамов, 2020

И.Л. АБРАМОВ

канд. техн. наук, доцент,
старший научный сотрудник
ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово
e-mail: ilabramov@rambler.ru



ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРОХОДЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Разработана методика оценки виброакустических помех, образующихся при работе проходческого комбайна, для реализации непрерывного контроля напряженного состояния призабойного пространства с применением спектрально-акустического метода.

Ключевые слова: ПРОХОДЧЕСКИЙ КОМБАЙН, РЕДУКТОР ПРИВОДА, ПОДШИПНИК КАЧЕНИЯ, ВИБРОАКУСТИЧЕСКИЕ ПОМЕХИ, НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, СПЕКТРАЛЬНО-АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД.

Подземные горные работы сопровождаются опасными геодинамическими явлениями: выбросами угля, породы и газа, горными ударами, выдавливанием, стрелянием, обрушением и высыпанием угля и породы, горно-тектоническими ударами и толчками, прорывами воды, глины и пульпы из затопленных выработок, плавунных пород [1–3]. Важным физическим свойством горного массива, определяющим его динамическую опасность, являются прочностные свойства слагающих его горных пород, залежей и различных включений. Наиболее склонными к выбросам являются участки в зоне влияния тектонических нарушений. Опасные пласты, в сравнении с неопасными, характеризуются низкой проницаемостью углей в массиве и более высокой проницаемостью при их интенсивной разгрузке и разрушении [4].

Изменение напряженно-деформированного состояния призабойной области пласта, оцениваемое на основе анализа его акустических свойств в процессе разрушения горных пород рабочим органом комбайна, является основой спектрально-акустического метода прогноза выбороопасности [5].

Основная доля геодинамических явлений приходится на подготовительные выработки. При реализации современных схем подготовки шахтного поля к выемочным работам применяются схемы проходки двумя и тремя выработками. Акустическое излучение в проходческом забое формируется работающими машинами и оборудованием.

Для анализа высокочастотных составляющих спектров акустического излучения, характерных для работы подшипников качения, выполнен анализ кинематической схемы привода исполнительного органа комбайна П110-01, широко применяемого на шахтах Кузбасса (рис. 1).

В процессе работы режущий орган проходческого комбайна излучает упругие (акустические) колебания в достаточно широком частотном диапазоне. Поскольку коэффициент затухания упругих волн зависит от частоты и напряженного состояния горного массива, по которому они распространяются, анализ спектрального состава «шумов» режущего органа комбайна позволяет оценить напряженное состояние призабойного пространства. Для его реализации в борт выработки на

некотором расстоянии от забоя бурят шпур длиной до 1,5 м, в который устанавливают приемник акустических колебаний. Упругие колебания от источника распространяются по горному массиву и достигают приемника.

Спектральный анализ регистрируемого приемником «шума» по определенному алгоритму позволяет оценить напряженное состояние призабойного пространства [6–10].

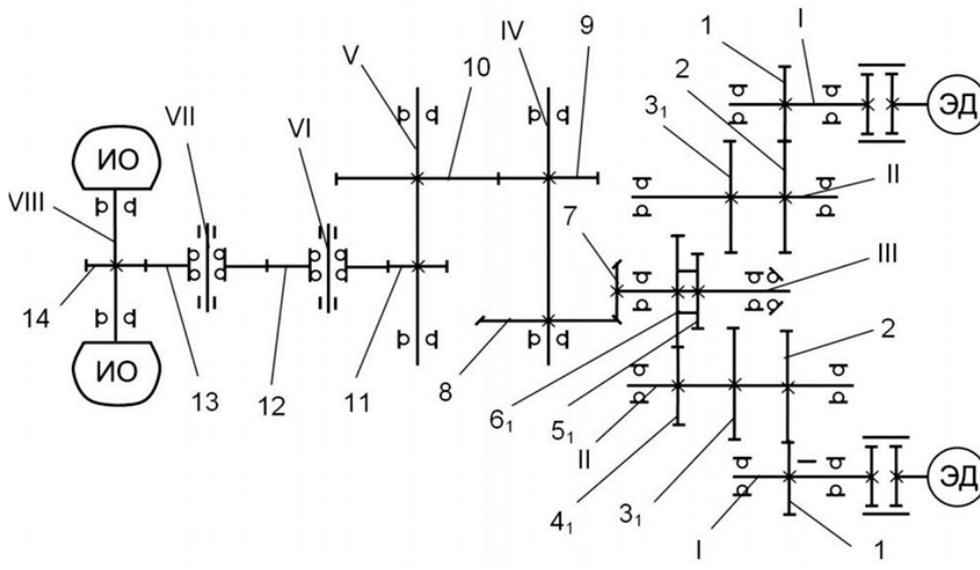


Рис. 1. Кинематическая схема привода исполнительного органа комбайна П110-01:
 ЭД — электродвигатель; ИО — исполнительный орган; I, II, II, IV, V, VI, VII, VIII — валы редуктора;
 1, 2, 3, 31, 4, 41, 51, 61, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 — шестерни редуктора

Источником шума и вибрации редуктора являются механические колебания, связанные с конструктивными особенностями редуктора, наличием и степенью развития эксплуатационных дефектов. При эксплуатации оборудования частотные диапазоны излучения отдельных элементов остаются неизменными, однако по мере износа и развития

дефектов будут увеличиваться амплитуды сигналов на соответствующих частотах. Характерные частоты акустического излучения редуктора привода исполнительного органа проходческого комбайна П110-01 определяются частотами вращения элементов привода редуктора (табл. 1) [11].

Таблица 1

Частоты вращения редуктора исполнительного органа проходческого комбайна П110-01

№ п/п	Элементы исполнительного органа	Число зубьев шестерни/колеса	Частота вращения, об/мин	Частота вращения, Гц	Частота вращения, об/мин	Частота вращения, Гц
1.	Электродвигатель, 2ЭДКОФВ250ЛВ4		1500	25	1500	25
2.	Вал I		1500	25	1500	25
3.а.	Вал II	18/39	692	11,5		
3.б.	Вал II	29/37			1176	19,6
4.	Вал III	19/48	274	4,6	594	9,9
5.	Вал IV	17/35	133	2,2	288	4,8
6.	Вал V	17/37	61	1	132	2,2

№ п/п	Элементы исполнительного органа	Число зубьев шестерни/колеса	Частота вращения, об/мин	Частота вращения, Гц	Частота вращения, об/мин	Частота вращения, Гц
7.	Вал VI	16/35	28	0,5	60	1
8.	Вал VII	35/33	30	0,5	64	1,1
9.	Вал VIII	33/32	30	0,5	65	1,1
10.	Исполнительный орган		30	0,5	65	1,1

Динамические силы в машинах возбуждают вибрацию либо непосредственно, либо силы возбуждают шум, а шум — вибрацию корпуса. Вибрация, в зависимости от природы возбуждающих ее сил, может быть либо детерминированной (чаще периодической), либо случайной. Простейший пример детерминированного сигнала вибрации — гармоническое колебание.

Механические колебания роторного оборудования связаны с наличием следующих видов дефектов: дисбалансы, несоосности, механические ослабления, дефекты подшипников и зубчатых зацеплений. Каждому виду дефектов соответствуют определенные частоты, на которых они проявляются. Параметры вибрации агрегатов с подшипниками качения в значительной мере определяются конструктивными особенностями подшипникового

узла (радиальные, радиально-упорные, спаренные подшипники) и самого агрегата (с горизонтальным и вертикальным положением ротора, соотношением статических нагрузок и др.).

Основным методом определения дефектов подшипников качения является частотный анализ. Вибрация подшипников качения характеризуется широким спектром частот. В спектре имеются гармоники оборотной скорости и гармоники несинхронных пиков, подшипниковых частот (табл. 2). Характерной особенностью спектров подшипников качения являются низкие амплитуды вибрации на ранней стадии развития дефекта, а при его развитии — появление широкополосных спектров. По мере износа подшипников возрастают вибрации с оборотной частотой [12–15].

Таблица 2

Характерные акустические частоты подшипников качения

Название	Уравнение	Обозначение, примечание
1. Частота вращения сепаратора	$f_{cen} = \frac{f_1}{2} \cdot \left(1 \pm \frac{d_u}{D_0} \cdot \cos \gamma \right)$	f_1 — частота вращения ротора; d_u — диаметр тела качения (шарика, ролика); «+» используется, если вращается наружная обойма, «-» — если вращается внутренняя обойма
2. Частота прохождения шариков по внутреннему кольцу	$f_{ок} = f_1 \cdot \frac{z_T}{2} \cdot \left(1 \pm \frac{d_u}{D_0} \cdot \cos \gamma \right)$	z_T — число шариков, роликов (тел качения), γ — угол контакта тела качения с дорожкой качения обоймы подшипника
3. Частота прохождения шариков по наружному кольцу	$f_{нк} = f_1 \cdot \frac{z_T}{2} \cdot \left(1 - \frac{d_u}{D_0} \cdot \cos \gamma \right)$	D_0 — диаметр, делительной окружности подшипника, проходящей через центры тел качения
4. Частота вращения шарика	$f_u = f_1 \cdot \frac{D_0}{2d_u} \cdot \left[1 \pm \left(\frac{d_u}{D_0} \cdot \cos \gamma \right)^2 \right]$	«+» используется, если вращается наружная обойма, «-» — если вращается внутренняя обойма

Определение характерных частот подшипников качения позволяет рассчитать значения частот дефектов подшипников: расцентровка, износ, увеличенные радиальные зазоры, перекосы наружного или внутреннего кольца, повреждение тел качения, нарушение формы тел качения, нарушение внутренних зазоров, нарушение посадки, ослабления в корпусе, неуравновешенность, несоосность,

неравномерный износ и др. Для автоматизации расчета акустических характеристик оборудования проходческого забоя разработана программа для ЭВМ [16]. С ее помощью выполнен расчет характерных частот дефектов подшипников качения редуктора исполнительного органа проходческого комбайна П110-01 (табл. 3).

Таблица 3

Подшипники редуктора исполнительного органа проходческого комбайна П110-01

№	Вал	Номер подшипника	Кол-во	Тип подшипника
1	Вал I	3520H	2	Подшипник роликовый радиальный сферический двухрядный с цилиндрическим отверстием внутреннего кольца
2	Вал I	3613H	2	
3	Вал II	53614H	4	
4	Вал III	53528H	1	
5	Вал III	53618H	1	
6	Вал III	9039417	1	Подшипник упорно-радиальный роликовый сферический однорядный
7	Вал IV	3622H	1	Подшипник роликовый радиальный сферический двухрядный с цилиндрическим отверстием внутреннего кольца
8	Вал IV	7318A	2	Подшипник роликовый радиально-упорный однорядный с коническими роликами
9	Вал V	53530H	1	Подшипник роликовый радиальный сферический двухрядный с цилиндрическим отверстием внутреннего кольца
10	Вал V	3536	1	
11	Вал VI	3536	2	
12	Вал VII	3536	2	
13	Вал VIII	8164Л	2	Подшипник шариковый упорный
14	Вал VIII	3003164	2	Подшипник роликовый радиальный сферический двухрядный с цилиндрическим отверстием внутреннего кольца

Для систематизации и обработки результатов расчета параметров акустических сигналов разработана, сформирована и зарегистрирована «База данных акустических характеристик проходческого комбайна» [17].

Анализ результатов распределения характеристик акустического излучения редуктора рабочего органа проходческого комбайна П110 представлен на рис. 2.

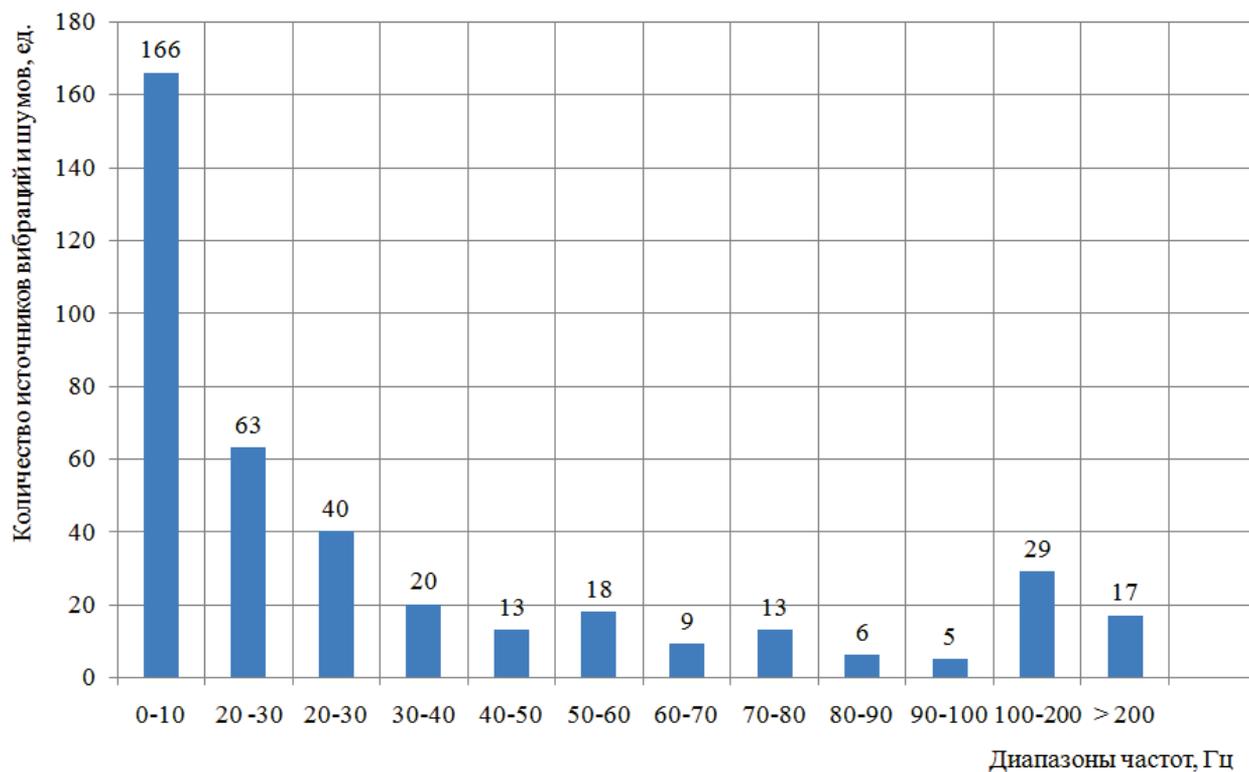


Рис. 2. Распределение характеристик акустического излучения редуктора рабочего органа проходческого комбайна П110

ВЫВОДЫ

Установленные характеристики высоко-частотных составляющих акустического излучения редуктора рабочего органа проходческого комбайна П110 позволяют решить

задачу фильтрации акустических помех при реализации метода непрерывного контроля напряженного состояния призабойного пространства с помощью спектрально-акустического метода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 58150-2018 Горное дело. Динамические явления в угольных шахтах. Термины и определения.
2. Зыков В.С., Абрамов И.Л. Уточнение классификации динамических явлений в угольных шахтах // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2015. № 3. С. 74–84.
3. Зыков В.С. Внезапные выбросы угля и газа и другие газодинамические явления в шахтах. Кемерово: НТЦ «Восточный», 2010. 333 с.
4. Шкуратник В.Л., Николенко П.В. Методы определения напряженно-деформированного состояния массива горных пород. Москва: изд-во МГГУ, 2012. 112 с.
5. Николенко Н.В. Аппаратурное и методическое обеспечение контроля сложного напряженного состояния массива с использованием эффекта памяти в упругих композиционных датчиках // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 2. С. 97–104.
6. Шадрин А.В., Дюк Ю.А., Телегуз А.С. Применение акустических методов для управления параметрами гидрообработки горного массива и оценки ее эффективности // Горная промышленность. 2018. № 2. С. 79–82.

7. Шадрин А.В., Зыков В.С. Акустическая эмиссия выбросоопасных пластов: Обзорная информация. М.: ЦНИЭИуголь, 1991. 43 с.
8. Мирер С.В., Хмара О.И., Шадрин А.В. Спектрально-акустический прогноз выбросоопасности угольных пластов. Кемерово: Кузбассвуиздат, 1999. 92 с.
9. Шадрин А.В., Коноваленко В.А. Основы автоматизированного непрерывного ГДЯ-мониторинга в угольных шахтах Кузбасса // Вестник КузГТУ. 2001. № 3. С. 28–31.
10. Шадрин А.В., Контримас А.А. Акустическое поле, формируемое в призабойном пространстве режущим органом проходческого комбайна // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Кемерово, 2016.
11. Комбайн проходческий П110. ТУ У12.00174065.116-96. Руководство по эксплуатации. Ч. 1 Устройство и эксплуатация. ЗАО «НКМЗ». 2012. 123 с.
12. Герике Б.Л., Абрамов И.Л., Герике П.Б. Вибродиагностика горных машин и оборудования. Кемерово: КузГТУ, 2007. 167 с.
13. Герике Б.Л., Абрамов И.Л., Герике П.Б., Мещерина Ю.А. Спектральный состав нагрузки в приводе резания проходческого комбайна // Вестник КузГТУ. 2007. № 5. С. 9–12.
14. Shadrin A.V., Abramov I.L. Researching acoustic radiation spectrum of the mining equipment used for controlling stress state of a face space// IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 377 (2019) 012002 (doi:10.1088/1755-1315/377/1/012002).
15. Шадрин А.В., Абрамов И.Л. Исследование спектров акустического излучения горного оборудования, используемого для контроля напряженного состояния призабойного пространства // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2019. № 5. С. 22–29.
16. Свидетельство № 2019662278 Российская Федерация. Программа расчета акустических характеристик оборудования проходческого забоя: свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / Абрамов И.Л.; заявитель и правообладатель ФИЦ УУХ СО РАН. — № 2019619066; заявл. 23.07.19; зарегистр. в Реестре баз данных 20.09.2019. – [1] с.
17. Свидетельство № 2019621476 Российская Федерация. База данных акустических характеристик проходческого комбайна: свидетельство об официальной регистрации базы данных / Абрамов И.Л.; заявитель и правообладатель ФИЦ УУХ СО РАН. — № 2019621055; заявл. 21.06.2019; зарегистр. в Реестре баз данных 19.08.19. – [1] с.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2020.41.54.005

UDC 622.831.325

© I.L. Abramov, 2020

I.L. ABRAMOV

Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor, Senior Researcher
FRC CCC SB RAS, Kemerovo
e-mail: ilabramov@rambler.ru

CHARACTERISTICS OF ACOUSTIC RADIATION OF PASSING EQUIPMENT

A method for evaluating vibroacoustic noise, produced during operation of heading machine, for implementation of tension continuous monitoring of bottomhole region using spectral-acoustic method has been developed.

Keywords: HEADING MACHINE, GEARHEAD, ROLLING-CONTACT BEARING, VIBROACOUSTIC NOISE, TENSION, SPECTRAL-ACOUSTIC METHOD.

REFERENCES

1. GOST R 58150-2018 Mining. Dynamic phenomena in coal mines. Terms and Definitions. [In Russ.].
2. Zykov V.S., Abramov I.L. Clarification of the classification of dynamic phenomena in coal mines // Bulletin of the scientific center for industrial safety in the coal industry [Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennost]. 2015. No. 3. P. 74–84. [In Russ.].
3. Zykov V.S. Sudden outbursts of coal and gas and other gas-dynamic phenomena in mines. Kemerovo: STC «Vostochny», 2010. 333 p. [In Russ.].
4. Shkuratnik V.L., Nikolenko P.V. Methods for determining the stress-strain state of a rock mass. Moscow: MGGU publishing house, 2012. 112 p. [In Russ.].
5. Nikolenko N.V. Hardware and methodological support for monitoring a complex stress state of a rock mass using the memory effect in elastic composite sensors. Mining information and analytical bulletin [Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten]. 2019. No. 2. P. 97–104. [In Russ.].
6. Shadrin A.V., Diyuk Yu.A., Teleguz A.S. Application of acoustic methods to control the parameters of hydroprocessing of a rock mass and assess its effectiveness // Mining industry [Gornaya promyshlennost]. 2018. No. 2. P. 79–82. [In Russ.].
7. Shadrin A.V., Zykov V.S. Acoustic emission of outburst-hazardous seams: Review information. M.: «TsNIEIugol», 1991. 43 p. [In Russ.].
8. Mirer S.V., Khmara O.I., Shadrin A.V. Spectral-acoustic forecast of outburst hazard of coal seams. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 1999. 92 p. [In Russ.].
9. Shadrin A.V., Konovalenko V.A. Fundamentals of automated continuous GDYa-monitoring in coal mines of Kuzbass // Bulletin of KuzSTU [Vestnik KuzGTU]. 2001. No. 3. P. 28–31. [In Russ.].
10. Shadrin A.V., Kontrimas A.A. The acoustic field formed in the bottomhole space by the cutting body of the roadheader // Natural and intellectual resources of Siberia. Kemerovo, 2016. [In Russ.].
11. Heading combine P110. TU U12.00174065.116-96. Manual. Part 1 Design and operation. NKMZ CJSC. 2012. 123 p. [In Russ.].
12. Gerike B.L., Abramov I.L., Gerike P.B. Vibration diagnostics of mining machines and equipment. Kemerovo: KuzSTU, 2007. 167 p. [In Russ.].
13. Gerike B.L., Abramov I.L., Gerike P.B., Meshcherina YU.A. Spectral composition of the load in the cutting drive of the roadheader // Bulletin of KuzSTU [Vestnik KuzSTU]. 2007. No. 5. P. 9–12. [In Russ.].
14. Shadrin A.V., Abramov I.L. Researching acoustic radiation spectrum of the mining equipment used for controlling stress state of a face space // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 377 (2019) 012002 (doi:10.1088/1755-1315/377/1/012002).
15. Shadrin A.V., Abramov I.L. Investigation of the spectra of acoustic radiation of mining equipment used to control the stress state of the bottomhole space // Science-intensive technologies for the development and use of mineral resources [Naukoyemkiye tekhnologii razrabotki i ispolzovaniya mineralnykh resursov]. 2019. No. 5. P. 22–29. [In Russ.].
16. Certificate No. 2019662278 Russian Federation. Program for calculating the acoustic characteristics of tunneling face equipment: certificate of official registration of the computer program / Abramov I.L.; applicant and copyright holder FRC CCC SB RAS. — No. 2019619066; declared 07/23/19; register in the Registry of Databases on 09/20/2019. — [1] p. [In Russ.].
17. Certificate No. 2019621476 Russian Federation. Database of acoustic characteristics of the roadheader: certificate of official registration of the database / Abramov I.L.; applicant and copyright holder FRC CCC SB RAS. — No. 2019621055; declared 06/21/2019; register in the Registry of databases on 08/19/19. — [1] p. [In Russ.].