

Е.Г. Кузин, Б.Л. Герике

# ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕДУКТОРОВ ШАХТНЫХ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

Показана важная роль повышения надежности ленточного конвейера в обеспечении эффективности работы современных горных предприятий. Приводятся условия эксплуатации подземных ленточных конвейеров и их влияние на развитие дефектов механического оборудования. Дано обоснование создания системы интеллектуального обслуживания оборудования с учетом его фактического технического состояния. Представлены возможные дефекты редуктора и сложность их детализации в оговоренных условиях работы. Приведены результаты технической диагностики редукторов Moventas Santasalo по параметрам смазочного масла, вибрации и тепловому контролю. Показано изменение содержания механических примесей в масле в зависимости от наработки и места установки привода в контуре конвейера. Определены фактические значения вязкости масла в режиме эксплуатации. Обоснована возможность разработки прогностических моделей для обеспечения безаварийной эксплуатации редукторов ленточных конвейеров.

Ключевые слова: ленточный конвейер, частотно-регулируемый привод, техническая диагностика, вибродиагностика, анализ смазочных материалов, инфракрасная термография.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-8-0-47-55

Основной транспортной машиной для выдачи угля от комплексно-механизированных забоев является ленточный конвейер. В целях обеспечения высокой эффективности и бесперебойности работы подземного горного предприятия ставится задача создания надежных энергосберегающих транспортных систем. Другой, не менее актуальной задачей, является сокращение затрат на техническое обслуживание и ремонт конвейерных линий [1, 2].

Большинство подземных ленточных конвейеров работают в тяжелых условиях, таких как: запыленность атмосферы, стесненность пространства, деформация горных выработок, переменный характер нагрузки, постоянно или периодически

изменяющаяся длина конвейера, частые пуски под нагрузкой и т.п. Указанные факторы оказывают существенное влияние на скорость развития дефектов механического оборудования. Применяемая система технического обслуживания, состоящая на 70% из планово-предупредительных ремонтов, и на 30% из наработки «до отказа» не обеспечивает требуемую эффективность производства [6].

На основании оценки фактического состояния механического оборудования и скорости его изменения, проводимого средствами технической диагностики, возможно построение системы интеллектуального обслуживания. Указанная система позволит: минимизировать ве-

роятность опасных поломок, сократить количество ненужных вмешательств в оборудование, тем самым уменьшая время простоев. В то же время, обнаружение дефектов на ранней стадии, позволит своевременно принять меры для снижения скорости их развития, таким образом продлить срок службы оборудования и снизить затраты на обслуживание.

Анализ поломок механического оборудования приводов ленточных конвейеров, включая редуктор, проведенный на шахтах Кузбасса, показывает их долю от 4,7 до 18% от общего числа поломок. Среднее время на устранение поломок составляло от 12 до 48 ч. Остановка хотя бы одного конвейера в транспортной линии приводит к остановке всего комплекса, и помимо недополученного угля может привести к серьезному осложнению работы оборудования очистного забоя, возрастанию деформации кровли, сложности управления горным давлением и т.д.

Повышая надежность ленточного конвейера, учитывая специфику работы, производители пошли по пути введения избыточности, устанавливая большее количество приводных блоков, чем требуется по тяговому расчету. Для снижения динамических усилий и обеспечения энергосбережения приводы конвейера управляются частотными преобразователями. Большую часть времени работы конвейера частота вращения приводных двигателей не превышает 85% от номинальной.

Оценка технического состояния редуктора и привода в целом по параметрам вибрации позволяет распознавать различные виды дефектов подшипников, зубчатых передач, муфт, крепления к фундаменту и т.д. Все возможные дефекты можно разделить на три большие группы: погрешности изготовления; дефекты монтажа; износ элементов в процессе эксплуатации [6].

К основным погрешностям изготовления относятся [8]:

- погрешности изготовления профиля зубчатого венца, такие как погрешность шага зубов и профиля эвольвенты;
- погрешность изготовления геометрических размеров валов, осей, зубчатых колес;
- погрешности изготовления корпусов и крышек редуктора.

К дефектам монтажа можно отнести несоосность валов двигателя и редуктора, неуравновешенность валов привода, нарушение жесткости крепления.

Основными причинами возникновения вибрации подшипников могут служить: овальности и разноразмерности тел качения, наличие радиального и осевого зазора между телами качения и кольцами, дефекты поверхности дорожки качения, а также зазоры в гнездах сепаратора. Однако даже идеально изготовленный подшипник качения является источником вибрации из-за упругих деформаций деталей [7].

Важным моментом является то, что колебания, связанные с дефектом подшипника качения имеют много меньшую амплитуду, чем колебания, связанные со многими другими повреждениями, такими как дисбаланс, несоосность или дефекты зубчатой передачи. Большое разнообразие конструкций подшипника и условий их использования, рабочих скоростей и нагрузок сильно затрудняет использование общего уровня допустимой вибрации, который бы удовлетворительно работал в большинстве случаев [8].

Указанные замечания, определили совокупность методов технической диагностики редукторов шахтных ленточных конвейеров по параметрам вибрации и смазочного масла. В качестве дополнительного метода технической диагностики использовался метод инфракрасной термографии.

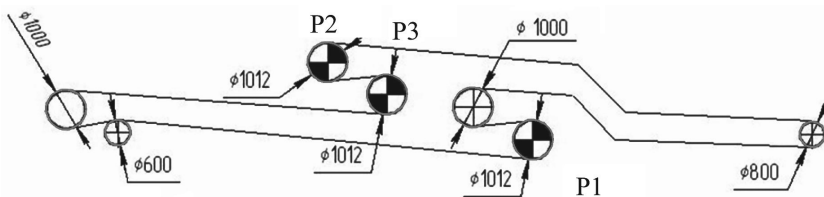


Рис. 1. Схема запасовки конвейера лентой и расположение приводных блоков

Погрешности изготовления и дефекты монтажа привода, как правило, определяются при первом диагностическом замере в начале эксплуатации конвейера. В то же время, наблюдающийся в начале эксплуатации в некоторых приводах дисбаланс не превышает предупредительных значений, и балансировкой валов привода в шахте никто не занимается. Однако даже небольшой начальный дисбаланс приводит к более интенсивному износу подшипников, в первую очередь двигателя и первичного вала редуктора.

В работе приведены результаты проведения технической диагностики шахтного ленточного конвейера ЗЛЛ1600 (длина транспортирования  $L = 850$  м, техническая производительность  $Q = 3500$  т/ч, скорость движения ленты  $v = 0-4$  м/с) по параметрам смазочного масла и вибрации и тепловому контролю.

В приводах конвейеров используют редукторы Moventas Santasalo:

- тип — коническо-цилиндрический D3RST82X0;

- передаточное число,  $i = 20,6128$ ;
- номинальная механическая мощность редуктора при сервис факторе  $FS = 1$   $P_{M,НОМ} = 995$  кВт;
- номинальная термическая мощность редуктора при сервис факторе  $FS = 1$  и температуре окружающей среды  $t_{окр} = 20$  °C  $P_{T,НОМ} = 779$  кВт;
- допустимая температура масла  $t_M = 90$  °C;
- установленная мощность двигателя  $P = 500$  кВт;
- частота вращения быстроходного вала  $n = 1500$  об/мин (25 Гц).

Частотно-преобразовательная станция шахтная типа ЧПСШ-1250/6-0,69-2-УХЛ5 предназначена для бесступенчатого электрического регулирования скорости и крутящего момента одно или многодвигательного привода ленточного конвейера и подачи напряжения питания на все вспомогательные устройства станции и конвейера в подземных горных выработках шахт, опасных по газу (метан) и угольной пыли в соответствии с требованиями [7].

Таблица 1

**Продукты износа в пробах масла редуктора P1, г/т**

Элементы	Максимально допустимое значение	Проба от 29.08.14	Проба от 19.02.15	Проба от 12.03.15	Проба от 06.07.15	Проба от 20.11.15
Fe	200	40,34	160,12	204,8	171,52	326,32
Si	35	37,64	33,88	44,55	39,83	43,29
Cu	150	5,53	0,48	8,96	1,65	2,16
Al	7	1,52	1,54	2,38	2,00	2,09
Cr	5	0,68	1,30	1,07	1,15	1,62
Pb	—	2,55	3,45	4,23	2,48	3,44
Sn	—	5,78	9,34	7,90	6,98	10,52

Таблица 2

**Продукты износа в пробах масла редуктора P2, г/т**

Элементы	Максимально допустимое значение	Проба от 29.08.14	Проба от 19.02.15	Проба от 12.03.15	Проба от 06.07.15	Проба от 20.11.15
Fe	200	26,85	30,5853	32,3602	32,50	55,04
Si	35	33,11	31,0649	37,1218	39,42	39,64
Cu	150	7,07	2,8362	2,1811	6,42	14,75
Al	7	1,10	1,2960	1,7622	1,79	1,67
Cr	5	0,95	0,5097	0,7743	1,03	1,34
Pb	—	2,63	2,5013	2,8376	4,14	2,60
Sn	—	7,94	6,0796	7,0574	5,68	7,65

Таблица 3

**Продукты износа в пробах масла редуктора P3, г/т**

Элементы	Максимально допустимое значение	Проба от 29.08.14	Проба от 19.02.15	Проба от 12.03.15	Проба от 06.07.15	Проба от 20.11.15
Fe	200	73,17	314,64	384,1	322,45	876,71
Si	35	36,07	34,49	38,66	40,81	40,77
Cu	150	13,67	11,98	15,7125	9,81	30,63
Al	7	1,43	1,76	2,4578	2,50	2,48
Cr	5	0,87	2,54	3,1097	2,19	10,50
Pb	—	1,75	3,69	1,7229	3,46	2,28
Sn	—	6,89	10,99	12,88	13,31	27,97

Дата ввода конвейеров в эксплуатацию — 10.06.2014.

На рис. 1 приведена схема обводки приводных барабанов и расположение редукторов с условными названиями P1—P3.

В табл. 1—3 приведены данные о накоплении продуктов износа в масле редукторов P1—P3 и основные из них представлены на диаграммах (см. рис. 2—4). Анализируя термограммы (см. рис. 5)

можно сделать вывод, что наибольший нагрев отмечается в нижней части крышки выходного вала и температуры редукторов отличаются. Построив график изменения вязкости масла в зависимости от температуры [13, 15], и отметив на нем фактические температуры масла, равные максимальной температуре корпуса редуктора снятые с термограмм, можно получить эксплуатационную вязкость масла (см. рис. 6).

Таблица 4

**Показатели температуры, вязкости масла и общего уровня вибрации**

№ редуктора	Температура корпуса, °С		Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с (при 40 °С, по ГОСТ 6258-85)	Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с (при температурах масла $T_{max}$ , °С, по графику рис. 6)	Общий уровень вибрации, мм/с
	$T_{max}$	$T_{cp}$			
P1	47,0	35,6	345	290	5,9
P2	50,7	42,0	353	270	7,2
P3	44,2	37,4	329,7	300	4,2

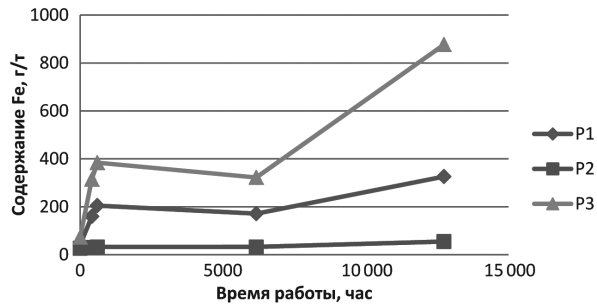


Рис. 2. График изменения содержания железа от наработки

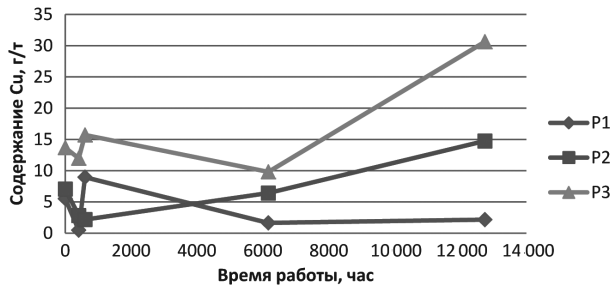


Рис. 3. График изменения содержания меди от наработки

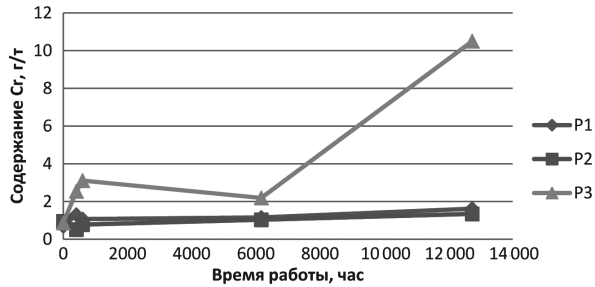


Рис. 4. График изменения содержания алюминия от наработки

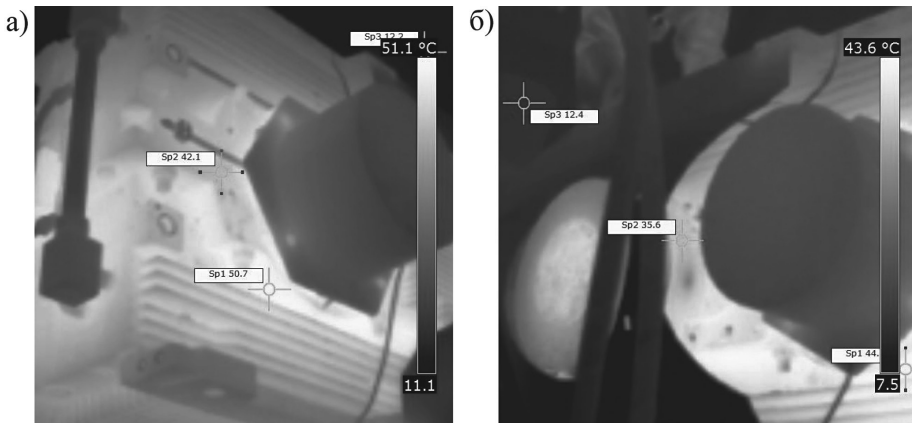


Рис. 5. Термограммы редукторов ленточного конвейера: редуктор P2 (а); редуктор P3 (б)

Данные о температуре, вязкости и общего уровня вибрации представлены в табл. 4.

Согласно общему уровню вибрации редукторы P1, P3 находятся в удовлетворительном состоянии, редуктор P2 в предупредительном, у него же самая высокая температура и самая низкая эксплуатационная вязкость масла. Нормированное значение вязкости масла самое высокое в редукторе P2, что говорит об испарении легко кипящих фракций. При этом анализируя данные о механических примесях в масле (см. табл. 1–3 и

рис. 2–4) заметно, что больше всего механических примесей в редукторе P3.

Сравнение спектров вибрации редукторов P1–P3 приведено на рис. 7, 8 для наиболее характерных направлений по одной и той же точке. Анализ спектров показывает, что в редукторе P3 имеется более выраженный износ элементов подшипников быстроходного вала, что подтверждается большим количеством механических примесей.

Завод изготовитель редукторов Montventas Santasalo рекомендует производить первую замену масла через 800–

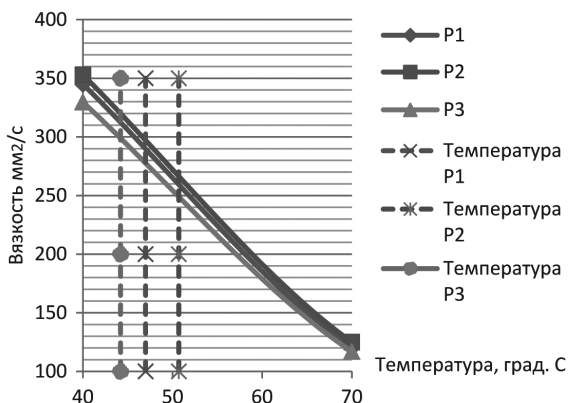


Рис. 6. Кинематическая вязкость проб масла редукторов в зависимости от температуры и фактические значения температур редукторов

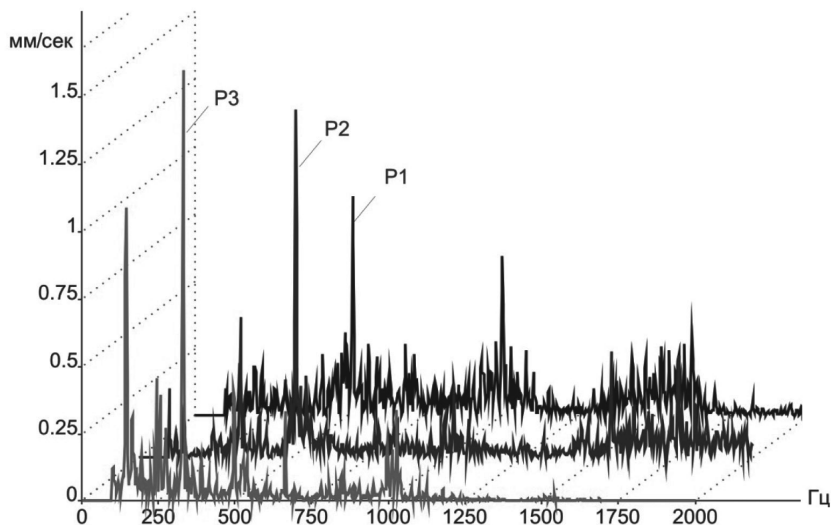


Рис. 7. Сравнение спектров вибрации в диапазоне от 200 до 2000 Гц в осевом направлении

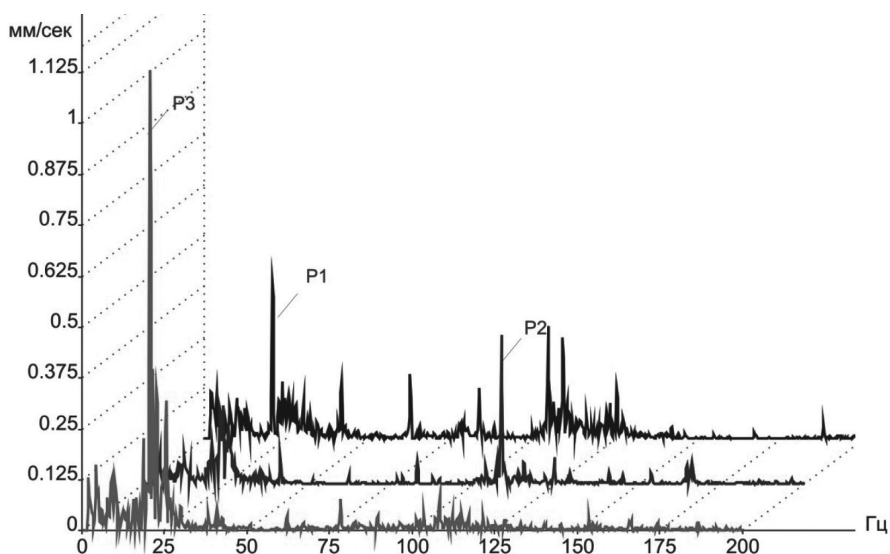


Рис. 8. Сравнение спектров вибрации в диапазоне от 2 до 200 Гц в вертикальном направлении

1000 ч работы, а далее через каждые 10 000 ч работы или один раз в год. Фактически первая замена масла не производилась, была произведена только доливка масла через 5000 ч работы. Состояние масла в данный момент неудовлетворительное, кроме редуктора Р2. Службе главного механика шахтоуправления выданы рекомендации по необходимости замены масла в редукторах Р1 и Р3.

Таким образом, результаты оценки технического состояния с начала эксплуатации конвейеров на основе мониторинга параметров работающего масла,

механических колебаний, показателей температуры позволяют отследить изменение состояния элементов редуктора в зависимости от его наработки.

В настоящее время продолжается работа по накоплению информации по нескольким конвейерам, что позволит организовать работу по созданию нормативно-методической базы, разработке прогностических моделей, на основе значительного объема накопленной статистической информации, развития дефектов, служащие основой для безаварийной эксплуатации редукторов ленточных конвейеров.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаммершмидт А. А. Состояние и перспективы развития угольной промышленности Кузбасса // Уголь. — № 5. — 2015. — С. 14–15.
2. Клишин В. И., Писаренко М. В. Научное обеспечение инновационного развития угольной отрасли // Уголь. — № 9. — 2014. — С. 42–46.
3. Галкин В. И. и др. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий. — М.: Изд-во «Горная книга», 2005. — 543 с.
4. Галкин В. И., Шешко Е. Е. Транспортные машины: Учебник для вузов. — М.: Изд-во «Горная книга», 2010. — 588 с.
5. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 7: В 2 кн. Кн. 1: Иванов В. И., Власов И. Э. Метод акустической эмиссии. Кн. 2: Балицкий Ф. Я., Барков А. В., Баркова Н. А. и др. Вибродиагностика. 2-е изд., испр. — М.: Машиностроение, 2006. — 829 с.: ил.

6. *Герике Б.Л. и др.* Диагностика горных машин и оборудования. — М.: ИПО «У Никитских ворот», 2012. — 400 с.

7. *Литвинов С. И.* Метод и устройство вибродиагностики зубчатых редукторов // Современная техника и технологии. 2014. № 7 [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.snauka.ru/2014/07/4115> (дата обращения: 13.11.2015).

8. *Daniel Lynn.* Выявление дефектов подшипников качения с помощью анализа вибрации / Пер. с англ. И. Р. Шейняк, под ред. В. А. Смирнова. — [http://www.vibration.ru/v\\_defekt.shtml](http://www.vibration.ru/v_defekt.shtml)

9. *Конвейер шахтный ленточный грузопассажирский ЗМ 1600.* Руководство по эксплуатации. — Кемерово: ООО «Центр транспортных систем», 2011.

10. *Васильев К.А., Николаев А.К., Сазонов К.Г.* Транспортные машины и оборудование шахт и рудников: учебное пособие. — СПб.: Изд-во «Лань», 2012. — 544 с.

11. *ГОСТ ИСО 10816-1-97* Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях.

12. *ГОСТ 6258-85* Нефтепродукты. Метод определения условной вязкости.

13. *ГОСТ 26378.4-84* Нефтепродукты отработанные. Метод определения температуры вспышки в открытом тигле.

14. *ГОСТ Р 52659-2006* Нефть и нефтепродукты. Методы ручного отбора проб.

15. *ГОСТ 25371-97* Нефтепродукты. Расчет индекса вязкости по кинематической вязкости.

16. *ГОСТ 6370-83* Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей. **ИПАБ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Кузин Евгений Геннадьевич* — научный сотрудник, филиал Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева в г. Прокопьевске, e-mail: [kuzinevgen@gmail.com](mailto:kuzinevgen@gmail.com),

*Герике Борис Людвигович* — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт угля СО РАН; Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева (КузГТУ), e-mail: [gbl\\_42@mail.ru](mailto:gbl_42@mail.ru).

---

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 8, pp. 47–55.

UDC 681.518

**E.G. Kuzin, B.L. Gerike**

## TECHNICAL DIAGNOSIS OF MINE BELT CONVEYOR GEARBOX

The important role of improving the reliability of belt conveyor in ensuring the efficiency of modern mining. Given that the operating conditions of underground conveyor belts and their influence on the development of defects in mechanical equipment. Given the rationale for creating a system for intelligent maintenance based on its actual technical condition. Presents possible defects of the reducer and the complexity of detail within specified operating conditions.

The results of technical diagnostics of gearboxes Moventas Santasalo in the parameters of lubricating oil, vibration and heat control. Shows the change in the content of mechanical impurities in the oil, depending on developments and the place of installation of the actuator in the conveyor circuit. Determined actual values of the oil viscosity during operation.

Substantiates the possibility of developing predictive models to ensure trouble-free operation of the gearboxes for belt conveyors.

Key words: conveyor system, variable frequency drive, technical diagnostics, vibration diagnostics, analysis of lubricants, infrared thermography.

---

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-8-0-47-55

## AUTHORS

Kuzin E.G., Researcher, e-mail: kuzinevgen@gmail.com,  
Prokopyevsk branch of Kuzbass State Technical University,  
653033, Prokopyevsk, Russia,  
Gerike B.L., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher,  
Institute of Coal of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,  
650065, Kemerovo, Russia,  
Kuzbass State Technical University named after T. Gorbachev,  
650000, Kemerovo, Russia.  
e-mail: gbl\_42@mail.ru

## REFERENCES

1. Gammershmidt A.A. *Ugol'*, no 5. 2015, pp. 14–15.
2. Klishin V.I., Pisarenko M.V. *Ugol'*, no 9. 2014, pp. 42–46.
3. Galkin V.I. *Sovremennaya teoriya lentochnykh konveyerov gornyykh predpriyatiy* (Modern theory of belt conveyors in mines), Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2005, 543 p.
4. Galkin V.I., Sheshko E.E. *Transportnye mashiny: Uchebnik dlya vuzov* (Transport machines: Textbook for high schools), Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2010, 588 p.
5. *Nerazrushayushchiy kontrol': Spravochnik: v 8 t. Pod red. V.V. Klyueva. T. 7: V 2 kn. Kn. 1: Ivanov V.I., Vlasov I.E. Metod akusticheskoy emissii. Kn. 2: Balitskiy F.Ya., Barkov A.V., Barkova N.A. Vibrodiagnostika. 2-e izd. (Non-destructive testing: Handbook in 8 vol. Klyuev V.V. (Ed.). Vol. 7, in 2 books. Book 1: Ivanov V.I., Vlasov I.E. Acoustic emission method. Book 2: Balitskiy F.Ya., Barkov A.V., Barkova N.A. Vibration diagnostics, 2nd edition)*, Moscow, Mashinostroenie, 2006, 829 p.
6. Gerike B.L. *Diagnostika gornyykh mashin i oborudovaniya* (Diagnostics of mining machines and equipment), Moscow, IPO «U Nikitskikh vorot», 2012, 400 p.
7. Litvinov S.I. *Sovremennaya tekhnika i tekhnologii*. 2014, no 7 (available at: <http://technology.snauka.ru/2014/07/4115> (accessed 13.11.2015)).
8. Daniel Lynn. Vyyavlenie defektov podshipnikov kacheniya s pomoshch'yu analiza vibratsii. Per. s angl. I.R. Sheynyak, pod red. V.A. Smirnova (Rolling bearing trouble-shooting by vibration analysis. Sheynyak I.R. (English–Russian translation), Smirnov V.A. (Ed.)), available at: [http://www.vibration.ru/v\\_defekt.shtml](http://www.vibration.ru/v_defekt.shtml)
9. Konveyer shakhtnyy lentochnyy gruzopassazhirskiy 3LL 1600. Rukovodstvo po ekspluatatsii (Goods-passenger mine belt conveyor ZLL 1600. User manual), Kemerovo, OOO «Tsentr transportnykh sistem», 2011.
10. Vasil'ev K.A., Nikolaev A.K., Sazonov K.G. *Transportnye mashiny i oborudovanie shakht i rudnikov: uchebnoe posobie* (Transport machinery and equipment mines: Educational aid), Saint-Petersburg, Izd-vo «Lan'», 2012, 544 p.
11. *Kontrol' sostoyaniya mashin po rezul'tatam izmereniy vibratsii na nevrashchayushchikhsya chastyakh. GOST ISO 10816-1-97* (Machine condition monitoring based on measurement data on vibration of nonrolling parts. State Standart ISO 10816-1-97).
12. *Nefteprodukty. Metod opredeleniya uslovnnoy vyazkosti. GOST 6258-85* (Method to determine relative viscosity. State Standart 6258-85).
13. *Nefteprodukty otrabotannye. Metod opredeleniya temperatury vspyshki v otkrytom tigle. GOST 26378.4-84* (Spent oil products. Method to determine open-cut flash-point. State Standart 26378.4-84).
14. *Neft' i nefteprodukty. Metody ruchnogo otbora prob. GOST R 52659-2006* (Manual sampling methods. State Standart P 52659-2006).
15. *Nefteprodukty. Raschet indeksa vyazkosti po kinematicheskoy vyazkosti. GOST 25371-97* (Calculating viscosity index by kinematic viscosity. State Standart 25371-97).
16. *Neft', nefteprodukty i prisadki. Metod opredeleniya mekhanicheskikh primesey. GOST 6370-83* (Oil, oil products and dopes. Method for revealing mechanical impurities. State Standart 6370-83).

