

DOI: 10.26730/1999-4125-2017-5-79-84

УДК 622

ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВОК ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

EVALUATION OF THE ENERGY EFFICIENCY OF THE TRANSPORT UNITS BY THE RESULTS OF TECHNICAL DIAGNOSTICS

Хорешок Алексей Алексеевич¹,

заведующий лабораторией технической диагностики, e-mail: haa.omit@kuzstu.ru,

Khoreshok Alexey A1., head of laboratory of technical diagnostics

Кузин Евгений Геннадьевич¹,

доцент, e-mail: kuzinevgen@gmail.com

Kuzin Evgeny G., Assistant professor

Шальков Антон Владимирович,

старший преподаватель, e-mail: prk-s@yandex.ru,

Shalkov Anton V, senior lecturer

Мамаева Мария Сергеевна,

инженер-исследователь, e-mail: mamaeva-mariya2012@yandex.ru,

Mamaeva Mariya S, engineer-researcher

Лупий Михаил Григорьевич²,

директор шахтоуправления «Талдинское-Западное» e-mail: LupiyMG@suek.ru

Lupiy Mihail G., director of the mine Taldinskaya-Zapadnaya

¹Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Филиал в г. Прокопьевске, 653033, Кемеровская обл., г. Прокопьевск, ул. Ноградская, 19а

¹T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Prokopievsk branch, Nogradskaya str. 19a, Prokopievsk, 653039.

² Шахтоуправление "Талдинское Западное" , АО "СУЭК-Кузбасс", г. Киселевск, ул. Ленина 28, индекс 652700

² Mine "Taldinskaya-Zapadnaya", SUEK-Kuzbass", Kiselevsk, Lenina street 28, index 652700

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы применения неразрушающих методов контроля редукторов ленточных конвейеров, как средств транспорта. Особое внимание уделено таким видам диагностики технического состояния как тепловизионный контроль и анализ состояния смазочных материалов. Актуальность проведения представленных в статье видов неразрушающего контроля обуславливается повышением энергоэффективности транспортных систем предприятий угольной и горно-рудной промышленности, в частности редукторов ленточных конвейеров. Периодическая углубленная спектрально-эмиссионная диагностика и отслеживание температурного режима работы масла в процессе эксплуатации оборудования для контроля его технического состояния и предупреждения работки на отказ позволяет проводить мониторинг фактического технического состояния редуктора ленточного конвейера. В свою очередь, тепловизионная диагностика выявляет дефекты на самой ранней стадии их образования и развития, что позволяет планировать объёмы и сроки ремонта оборудования. Представленные виды диагностики технического состояния позволяют проводить своевременный контроль технического состояния оборудования и избежать его преждевременного выхода из строя, тем самым повысить энергоэффективность работы, как транспортной системы, так и предприятия в целом, а также избежать необоснованного роста расходов на эксплуатацию и содержание оборудования.

Abstract. The article reviews the application of nondestructive methods of control on gearcases of belt conveyors as means of transportation. Particular attention is paid to such types of diagnostics of the technical state as thermal imaging control and analysis of the state of lubricants. The urgency of carrying nondestructive control of the types presented in the article is determined by the increase of energy efficiency of transport systems at coal and mining enterprises, in particular, for belt conveyors gearcases. Periodic in-depth spectral-emission diagnostics and monitoring of a temperature mode of oil operation in the process of equipment operation to con-

trol its technical condition and prevent failures allow the monitoring of the actual technical condition of the gearbox of a belt conveyor. In turn, the thermal imaging diagnostics reveals defects at the earliest stage of their formation and development, which allows planning the scope and terms of equipment repair. The presented types of diagnostics of the technical condition will make it possible to carry out timely control of the technical condition of the equipment and to prevent its premature failure. Thereby it will increase the energy efficiency of both the transport system and the enterprise as a whole, eliminating unreasonable increases in operating and maintenance costs.

Ключевые слова: энергоэффективность, техническая диагностика, кинематическая вязкость, тепловой контроль, спектральный анализ, редуктор ленточного конвейера.

Keywords: energy efficiency, technical diagnostics, kinematic viscosity, thermal control, spectral analysis, belt conveyor gearbox.

Введение.

В Российской Федерации, как и во многих других развитых странах, транспорт является одной из крупных отраслей хозяйства, а также важнейшей частью производственной инфраструктуры. Транспортная система объединяет все регионы страны, что является необходимым условием ее территориальной полноты. В свою очередь, широкое применение транспортных коммуникаций, как в масштабах страны, так и в масштабе предприятия заставляет задуматься об энергоэффективности в транспортной системе в целом в виду ежегодного роста энергопотребления, негативного влияния на окружающую среду и количества выбросов вредных веществ, необоснованного роста расходов на эксплуатацию и содержание оборудования [1].

Одним из наиболее распространенных средств перемещения сыпучих и штучных материалов являются системы непрерывного транспорта, в том числе ленточные конвейеры. Особо широкое распространение последние получили в угольной и горно-рудной промышленности в качестве промежуточных и магистральных конвейерных систем высокой производительности, обеспечивающих транспортирование грузов на большие расстояния.

Проблема повышения энергоэффективности и обеспечения сбережения энергоресурсов является приоритетной как для экономики страны в целом, так и для горно-добывающего комплекса в частности. В настоящее время развивается новое научное направление, в котором разрабатываются теоретические основы энергосбережения и энергоэффективности, а также накапливается опыт их практического внедрения [4, 9, 10]. Одним из методов диагностирования технического состояния транспортной единицы (например, ленточного конвейера или карьерного самосвала) как средств транспорта является метод неразрушающего контроля [5]. При этом одним из немаловажных элементов неразрушающего контроля является тепловизионный контроль и анализ состояния смазочных материалов.

Теория.

Температурный режим работы смазочных материалов, который соответствует ГОСТ 28549.9-

90, имеет огромное значение для энергоэффективной эксплуатации транспортной единицы. При превышении соответствующих температурных нормативов смазочные материалы ухудшают свои смазывающие свойства, что приводит к повышенному износу рабочих трущихся поверхностей и подшипниковых узлов. На практике нагрев редуктора определяется «вручную», и чаще всего это не даёт достоверной информации. По этой причине целесообразно использовать комплексный подход: непрерывный контроль температурного режима работы и периодическая углубленная спектрально-эмиссионная диагностика работающего масла. Спектральным анализом механических примесей, содержащихся в трансмиссионном масле, определяется концентрация продуктов износа. При диагностике масла определяются следующие параметры: кинематическая вязкость, температура вспышки в открытом тигле, содержание воды и продукты износа [1, 2]. Частицы металлов, сигнализирующих о техническом состоянии трущихся рабочих поверхностей и подшипниковых узлов, служат железо, медь, хром, никель и кремний. При постоянном превышении содержания какого-либо из этих металлических элементов в смазочном материале необходимо выполнить диагностику зубчатых колес, шлицевых соединений и подшипников. При превышении содержания в масле только кремния, говорит о том, что масло выработало свой ресурс и необходимо произвести полную его замену. Замену масла следует произвести и в случае постепенного накопления в нём металлических частиц, концентрация которых близка или превышает предельные значения. Наличие небольшого количества частиц меди в масле – нормально, это обусловлено использованием подшипников с латунными сепараторами.

Рост концентрации содержания частиц меди в смазочном материале свидетельствует о начале интенсивного изнашивания сепаратора подшипника, а при превышении предельных значений содержания эти частички латуни можно визуально наблюдать в масле, налитом в стеклянную пробирку, в виде золотистого блеска. В подобных случаях масло необходимо заменить, произвести диагностику подшипниковых узлов и при необходимости их также заменить [2, 3, 8]. Такое обслуживание позволяет сократить затраты на ремонт,

предупредить аварийные простои оборудования, повысить энергоэффективность как транспортной единицы в частности, так и предприятия в целом [9-12].

Результаты и обсуждения.

Основными источниками метановыделения в атмосферу выемочного участка являются разрабатываемый пласт и пласты-спутники. Представления о процессах поступления метана в горные выработки развиты в достаточной степени и отражены в нормативных документах, определяющих порядок, параметры и схемы проветривания угольных шахт и дегазации угольных пластов, и в общем виде сводятся к следующему. Перед забоем при отбойке угля формируется зона опорного горного давления. В этой области интенсивно развиваются трещины, по которым в очистной забой поступает метан из разрабатываемого пласта. Область опорного давления также оказывает влияние на пласты-спутники. В процессе посадки кровли метан по трещинам поступает в зону разгрузки от

горного давления и затем в выработки выемочного участка [1-6]. В инженерных расчетах метанобильности выемочного участка учитываются надрабатываемые пласты, залегающие на удалении до 35 м, и подрабатываемые пласты - до 300 м по нормали от разрабатываемого пласта. Вместе с тем, очевидно, что газоносность пластов-спутников может существенным образом меняться в зависимости от свойств угля, глубины их залегания, расстояния до разрабатываемого пласта (межпластья), что может оказывать существенное влияние на формирование газового баланса. В связи с этим поставлена задача оценивания источников и объемов метановыделения в горные выработки выемочного участка на основе измерения изотопного состава углерода шахтного метана.

На практике, при периодическом анализе технического состояния трансмиссионного масла в редукторах ленточных конвейеров горнодобывающего предприятия, было выявлено его несоответствие нормативным значениям (ГОСТ 23652-79) основных физико-химических показателей.

Таблица 1 – Органолептические исследования

| Параметры | Образец от 15.05.15 | Образец от 18.09.15 | Образец от 4.12.15 | Образец от 17.06.16 | Образец от 20.10.16 |
|---|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| Внешний вид | Темно-коричневый | Темно-коричневый | Темно-коричневый | Темно-коричневый | Темно-коричневый |
| Наличие воды | Не выявлено | Не выявлено | Не выявлено | Не выявлено | Не выявлено |
| Наличие нерастворимых частиц на фильтровальной бумаге | Присутствуют | Присутствуют | Присутствуют | Не выявлено | Не выявлено |

Таблица 2 – Кинематическая вязкость

| Температура, °С | Норма (DIN EN ISO 3104) | Образец от 15.05.15 | Образец от 18.09.15 | Образец от 04.12.15 | Образец от 17.06.16 | Образец от 20.10.16 |
|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | КВ, мм ² /с | КВ, мм ² /с | КВ, мм ² /с | КВ, мм ² /с | КВ, мм ² /с | КВ, мм ² /с |
| 40 | 320 | 346,50 | 348,92 | 371,61 | 373,85 | 359,46 |
| 100 | 24,1 | 26,17 | 21,17 | 23,17 | 25,33 | 25,50 |

Таблица 3 – Продукты износа, г/т

| Элементы | Допустимые пределы | Образец от 15.05.15 | Образец от 18.09.15 | Образец от 04.12.15 | Образец от 17.06.16 | Образец от 20.10.16 |
|----------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Fe | 126-200 | 132,47 | 29,20 | 63,39 | 136,00 | 299,16 |
| Si | 21-30 | 35,05 | 35,68 | 39,81 | 42,24 | 51,24 |
| Cu | 100-150 | 3,09 | 6,25 | 1,09 | 7,81 | 7,13 |
| Al | 4-7 | 1,19 | 1,29 | 1,71 | 2,15 | 2,95 |
| Cr | 2-5 | 0,83 | 1,19 | 1,43 | 1,39 | 1,69 |
| Pb | - | 3,73 | 1,33 | 3,49 | 4,44 | 4,03 |
| Sn | - | 7,00 | 4,89 | 7,54 | 7,32 | 12,11 |

Таблица 4 – Температура вспышки в открытом тигле

| Параметры | Норма (DIN ISO 2592) | Образец от 15.05.15 | Образец от 18.09.15 | Образец от 4.12.15 | Образец от 17.06.16 | Образец от 20.10.16 |
|-----------------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| Температура, °С | 255 | 238 | 236 | 228 | 216 | 235 |

Полученные результаты исследования представлены в таблицах 1 – 4.

По данным, приведенным в таблицах 1 – 4, можно сказать, что состояние редуктора критическое, наблюдается нарастание механических примесей в масле до предельных значений и превышение нормы по содержанию кремния (Si) и железа (Fe), присутствует незначительное отклонение вязкости масла от нормативных значений, а также изменение температуры вспышки в открытом тигле масла. По полученным результатам анализа масла необходимо произвести замену масла, обра-

тить внимание на тепловой режим работы редуктора и исключить попадание угольной пыли в редуктор.

При таком режиме обслуживания не применяется индивидуальный подход к каждой единице оборудования. Объясняется это тем, что в процессе работы масло претерпевает целый ряд изменений, некоторые из которых могут способствовать снижению надёжности и долговечности механизма. Чтобы этого не произошло, завод-изготовитель положением по техническому обслуживанию регламентирует перечень примени-

Таблица 5 – Результаты тепловизионной диагностики редуктора ленточного конвейера

| Наименование узла | Допустимая температура, °С | Фактическая температура поверхности, °С | Фактическая температура смазки, °С |
|--------------------|----------------------------|---|------------------------------------|
| Редуктор D3RST82XO | 106 | 79,7 | 97,7 |

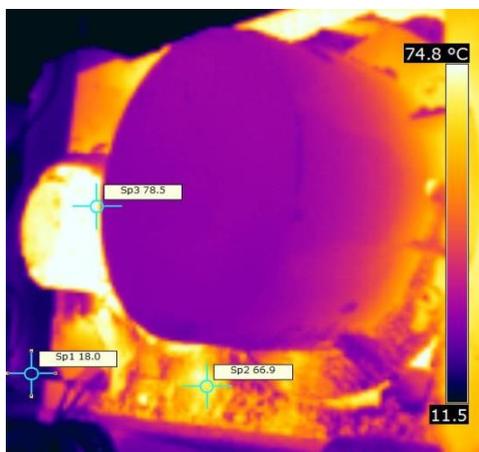


Рис. 1. Результаты тепловизионной диагностики редуктора ленточного конвейера

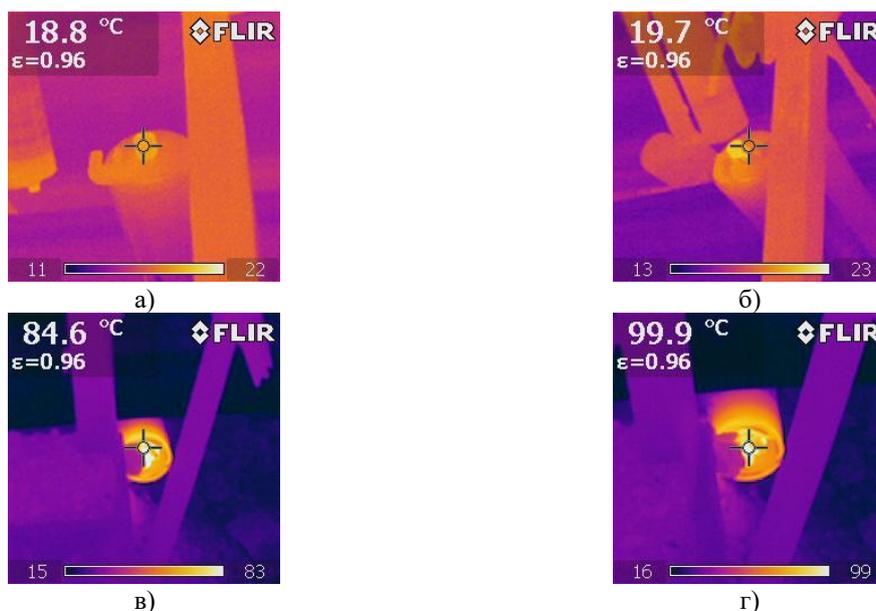


Рис.2. Результаты тепловизионной диагностики роликов редуктора

мых смазочных материалов и периодичность их замены, что, однако, не даёт гарантий от снижения эксплуатационных характеристик масла, поскольку его изменение в каждом механизме протекает индивидуально. Более того, часто ухудшение качества работающего масла происходит из-за не соответствующего качества обслуживания транспортной единицы.

Отсюда возникает необходимость отслеживания температурного режима работы масла в процессе эксплуатации оборудования для контроля его технического состояния и предупреждения наработки на отказ. Применение температуры как

его полного отказа, значительно повышает надёжность и безопасность эксплуатации транспортных коммуникаций, существенно сокращает потери энергоресурсов. Результаты теплового контроля редуктора ленточного конвейера представлены в таблице 5 и на рисунке 1.

Результаты тепловизионной диагностики роликов редуктора представлены на рисунке 2 (а, б, в, г).

Критерии оценки по результатам теплового контроля представлены в таблице 6.

Работа других вращающихся элементов оборудования (например, ролик ленточного конвейера)

Таблица 6 – критерии оценки по результатам теплового контроля

| Температурная аномалия, ΔT , °C | Фактическая температура смазки, °C | Критерии оценки |
|---|------------------------------------|--|
| 0-5 | Не более 80 | Категория А – хорошее состояния |
| 5-10 | 80 - 90 | Категория В – ограниченно работоспособное, требуется дополнительная диагностика |
| 10-15 | 90 - 100 | Категория С – критическое состояние, требуется оперативное вмешательство, дополнительная диагностика |
| Более 15 | Более 100 - 110 | Категория D – недопустимое состояние, возможна авария, требуется оперативное вмешательство, возможно ремонт. |

диагностического параметра рабочего масла позволяет проводить мониторинг фактического технического состояния редуктора ленточного конвейера.

Одной из наиболее прогрессивных методик диагностирования температурного режима на сегодняшний день признана тепловизионная диагностика [4, 6]. Её применение основано на том, что наличие практически всех видов дефектов оборудования вызывает изменение температуры дефектных элементов и, как следствие, изменение интенсивности инфракрасного излучения, регистрирующегося тепловизионными приборами. Дефект обнаруживается путём сравнения температуры аналогичных (соседних) участков поверхности деталей и агрегатов, работающих в одинаковых условиях нагрева и охлаждения. Тепловизионная диагностика выявляет дефекты на самой ранней стадии их образования и развития, что позволяет планировать объёмы и сроки ремонта оборудования. Вывод из эксплуатации дефектного оборудования по результатам его диагностики, до

так же влияет на энергосбережение при транспортировании горной массы. От того как легко вращается ролик зависит долговечность ленточного конвейера и его основных конструктивных элементов [8]. Чем больше на конвейере невращающихся (заклинивших) роликов, тем выше сила трения между дефектным роликом и ленточным полотном (что ускоряет их износ), при этом увеличивается нагрузка на приводные станции и выносной барабан, что также влечёт за собой повышенный износ этих элементов и увеличение энергопотребления.

Выводы.

Диагностика эксплуатационных характеристик смазочного материала и температурного режима работы элементов оборудования позволяет производить своевременный контроль технического состояния оборудования и избежать его преждевременного выхода из строя, повышает энергоэффективность работы, как транспортной системы, так и предприятия в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Rastegaev I.A. *Primeneniye metodiki spektralnogo analiza akusticheskikh signalov dlya issledovaniya tribologicheskikh svoystv smazochnykh i kontaktiruyushchikh materialov*. Application of the method of spectral analysis of acoustic signals for investigating the tribological properties of lubricating and contacting materials. PhD in physical and mathematical sciences. <http://www.dissercat.com/> Content / primeneniye-metodiki-

spektralnogo-analiza-akusticheskikh-signalov-dlya-issledovaniya-tribolog # ixzz4m1jpR6tm.(accessed 25.05.2017)

2. Sroka, Z. (2014) Thermal Analysis of Combustion Engine in Accordance to Temperature at the Outside Surfaces of the Engine. Open Access Library Journal, 1, 1-5. doi: 10.4236/oalib.1100816.

3. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 7, Issue 12, December-2016 / Thermal Analysis of Piston of IC engine / Dr.H.C.Thakur.

4. Automatic Diagnosis System of Electrical Equipment using Infrared Thermography / Ying-Chieh Chou Leehter Yao Dept. of Electrical Engineering National Taipei University of Technology Taipei, Taiwan, R.O.C 2010.

5. Spectroscopy: Between Modeling, Simulation and Practical Investigation Tawfik A. Saleh Spectral Analysis Review Vol.2 No.1 (2014), Article ID:43252,2 pagesDOI:10.4236 / sar.2014.21001

6. Efimenko L.I., Tichanskiy M.P. Pruncupu pobudovu avtomatuzovanoi sistemu diagnostiku technichnogo stanu conveyera / L.I. Efimenko, M.P. Tichanskiy // Visnik KTU. – Vup.25, 2010. – S.163-167.

7. Novel Techniques of Diagnostic Data Processing for Belt Conveyor Maintenance. Proceedings of the 12th International Symposium Continuous Surface Mining - Aachen 2014, Edition: Lecture Notes in Production Engineering, Publisher: Springer International Publishing, Editors: Christian Niemann-Delius, pp.31-40.

8. Zimroz R., Bartelmus, W., Barszcz, T., Urbanek, J. Diagnostics of bearings in presence of strong operating conditions non-stationarity-A procedure of load-dependent features processing with application to wind turbine bearings (2013) Mechanical Systems and Signal Processing doi: 10.1016/j.ymsp.2013.09.010.

9. Zimroz R., Krol R., Hardygora M., Gorniak-Zimroz J., Bartelmus W., Gladysiewicz L., Biernat S., A maintenance strategy for drive units used in belt conveyors network 22nd World Mining Congress & Expo, 11-16 September, Istanbul-2011. Vol. 1 / ed. Şinasi Eskikaya. Ankara : Aydoğdu Ofset, 2011. pp. 433-440.

10. Bartelmus W. Gearbox damage process 2011 J. Phys.: Conf. Ser. 305/1 paper no 012029 doi:10.1088/1742-6596/305/1/012029.

11. Bartelmus W., Chaari F., Zimroz R., Haddar M.: Modelling of gearbox dynamics under timevarying nonstationary load for distributed fault detection and diagnosis. European Journal of Mechanics. A, Solids. 2010, vol. 29, nr 4, s. 637-646.

12. Bellino A, Fasana A., Garibaldi L., Marchesiello S., PCA-based detection of damage in timevarying systems Mechanical Systems and Signal Processing 24/7 2010, pp 2250-2260.

Поступило в редакцию 12.10.2017

Received 12.10.2017