

УДК 622.276

А.А. Мякотных¹, В.И. Князькина¹, Д.А. Шибанов²**A.A. Myakotnykh¹, V.I. Knyazkina¹, D.A. Shibanov²**¹Санкт-Петербургский горный университет¹Saint Petersburg Mining University²ООО «ИЗ-КАРТЭКС им. П.Г. Коробкова»²LLC «IZ-KARTEKS named after P.G. Korobkova»

К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ МАСЛА ПО ВЕЛИЧИНЕ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО СИГНАЛА

ON THE POSSIBILITY OF ASSESSING OIL CONTAMINATION BASED ON THE ACOUSTIC EMISSION SIGNAL

В процессе эксплуатации горных машин большое количество отказов оборудования приходится на трансмиссии. Это связано с влиянием загрязненной продуктами износа и абразивными частицами рабочей среды. Существующие на сегодняшний день способы оценки загрязненности рабочей жидкости не позволяют осуществлять контроль загрязненности по фактическому состоянию, поэтому следует рассмотреть возможность оценки загрязненности рабочей жидкости по величине акустико-эмиссионного сигнала.

Ключевые слова: акустический сигнал, трансмиссия, загрязненность масла, абразив, рабочая жидкость, кинематическая пара, шестеренный насос, редуктор.

In the process of operation of mining machines a large number of equipment failures are in transmissions, which is affected by contaminated by wear products and abrasive particles in the working environment. Current methods of assessing contamination of working fluid do not allow to control contamination by the actual state, so we should consider the possibility of assessing the contamination of working fluid by the value of acoustic-emission signal.

Keywords: acoustic signal, transmission, oil contamination, abrasive, working fluid, kinematic coupling, gear pump, gearbox.

В процессе эксплуатации горных машин большое количество отказов оборудования приходится на трансмиссии, это связано с влиянием загрязненной продуктами изнашивания и абразивными частицами рабочей среды. По статистике, загрязненная рабочая жидкость вызывает свыше 70 % отказов оборудования [1]. Для снижения рисков отказов осуществляют периодический контроль технического состояния оборудования без ее остановки и разборки [2, 3]. Сегодня основу контроля загрязненности жидкости составляют

отбор проб, который осуществляется только при остановке машины, и дальнейшие исследования отобранных проб, которые требуют большого количества времени [4, 5]. Научные исследования [6, 7, 8] подтверждают возможность диагностирования рабочей жидкости в процессе эксплуатации без остановки машины, т.е. осуществлять мгновенный контроль чистоты рабочей среды по ее фактическому состоянию.

Данная работа посвящена экспериментальной проверке принципиальной возможности проведения мгновенной оценки загрязненности жидкости трансмиссии по изменению величины в акустико-эмиссионном диапазоне частот. На основании этого определить степень загрязненности масла и принять решение о возможности продолжения его использования. Идея основана на том, что абразивные частицы, попадая в область зацепления роторов шестеренного насоса вместе с перекачиваемой жидкостью, с ростом ее загрязненности будут вызывать и повышенный уровень акустико-эмиссионного сигнала в точке зацепления кинематической пары из-за появления процессов микрорезания рабочих поверхностей зубьев и повышенного трения скольжения. Акустико-эмиссионный сигнал зависит от вида частиц загрязнения, это может быть как промышленная пыль, так и продукта изнашивания рабочих органов или частицы кварца, окислов алюминия. Последние имеют твердость выше твердости материалов, из которых изготовлены детали трансмиссии, поэтому они являются наиболее опасными загрязнителями рабочей жидкости [9, 10, 11].

Совместно с ООО «ИЗ-КАРТЭКС» была проведена серия экспериментов на стенде принципиальной гидравлической трансмиссии, который включал мотор-редуктор модели UDD 1050M фирмы Hammer с электронным регулятором скорости вращения, масляный бак, гидравлические каналы, шестеренный насос НШ-10, дроссель-регулятор, манометр, датчики и прибор для измерения акустико-эмиссионного сигнала АРП-11. Эксперименты проводились на трансмиссионном масле ТАД-17И. Предварительно была выполнена градуировка, позволяющая оценить фактические затраты мощности при изменении скоростного режима на предварительно выбранных угловых скоростях выходного вала мотора-редуктора на холостом ходу в рад/с: 30,89; 35,34; 40,97; 47,12; 53,8; 60,2.

Для градуировки был создан отдельный стенд, включающий треногу ТП-500М, трос, мерные грузы, барабан, установленный на выходном валу мотора-редуктора, и энергомер МТ4014. Градуировка осуществлялась следующим образом: с помощью мотора-редуктора, на выходном валу которого был закреплен барабан с тросом, вертикально вверх перемещался груз, процесс перемещения которого фиксировался на видео. Параллельно с процессом видеофиксации перемещения груза осуществлялся контроль значений тока, напряжения и активной мощности.

Сам эксперимент по оценке акустического сигнала от работающего шестеренного насоса включал в себя четыре серии опытов – на чистом масле, на

загрязненном масле с массовой долей загрязнения 1, 2 и 3 %, для чего на второй и третьей серии экспериментов в трансмиссионное масло добавляли абразив разного размера (40 мкм для второй серии эксперимента и 100 мкм для третьей) в виде электрокорунда. Эксперименты проводили на холостом ходу и дроссельной нагрузке 20–40 МПа, на каждой из указанной выше скорости. Полученные значения при загрязненной рабочей среде сравнивались с эталонными значениями (эксперимент на чистом масле). Учитывая, что результаты экспериментов имели хорошую повторяемость, за истинное значение принималось среднее арифметическое трех измерений на каждой скорости во всех сериях опытов.

На рис. 1 показаны изменения акустико-эмиссионного сигнала в зависимости от величины угловой скорости ведущего вала шестеренного насоса при разной степени загрязнения рабочей среды абразивом размером 40 мкм на холостом ходу и при давлении дросселирования (рис. 2).

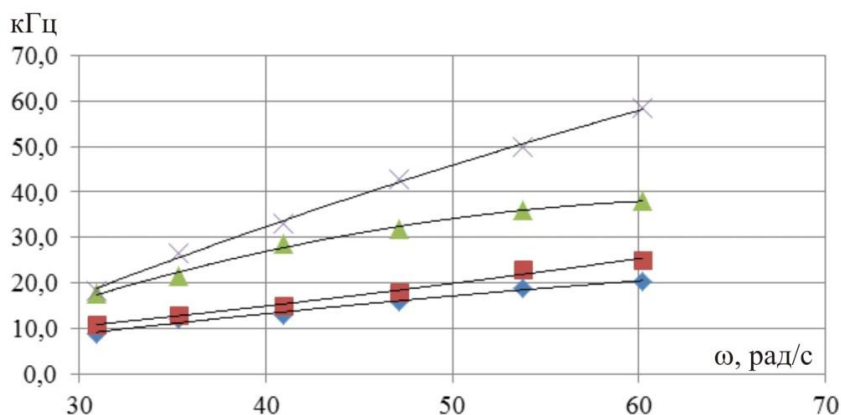


Рис. 1. Изменение акустико-эмиссионного сигнала в зависимости от загрязненности рабочей жидкости на холостом ходу (снизу вверх: чистое масло, 1%-ное загрязнение, 2%-ное загрязнение, 3%-ное загрязнение)

Представленные зависимости показывают, что с повышением загрязненности рабочей жидкости появляется тенденция к возрастанию и звукового сигнала, фиксируемого на внешней поверхности шестеренного насоса, при этом имеется существенная разница в величине сигнала между чистым маслом и различной степенью загрязнения. Также заметим, что показатели звукового сигнала по своей величине при работе на чистом масле практически одинаковы как на холостом ходу, так и под нагрузкой. Что касается степени загрязненности, то под нагрузкой уровень звукового давления в акустико-эмиссионном диапазоне частот при увеличении степени загрязненности начинает снижаться, как это видно для массовой концентрации загрязнения 2 и 3 %.

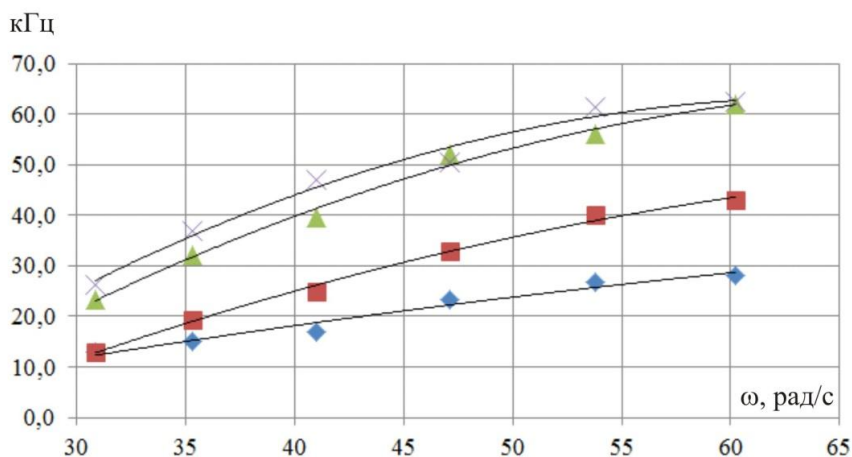


Рис. 2. Изменение акустико-эмиссионного сигнала в зависимости от загрязненности рабочей жидкости при нагрузке (снизу вверх: чистое масло, 1%-ное загрязнение, 2%-ное загрязнение, 3%-ное загрязнение)

Следует также представить графическую зависимость акустико-эмиссионного сигнала от размера абразивных частиц (рис. 3) и при нагрузке (рис. 4).

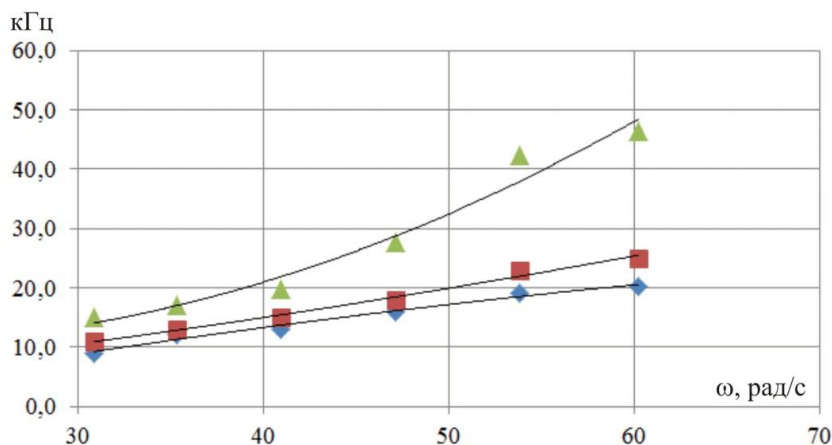


Рис. 3. Влияние размера частиц абразива на холостом ходу (снизу вверх: чистое масло, 1%-ное загрязнение при размере 40 мкм, 1%-ное загрязнение при размере 100 мкм)

Анализируя представленные графики, отметим, что чем больше размер абразивных частиц, тем выше значения акустико-эмиссионного сигнала, что обусловлено интенсификацией проявления процесса трения в зацеплении зубчатых роторов, между зубьями которых оказываются абразивные частицы в процессе перекачивания загрязненной жидкости.

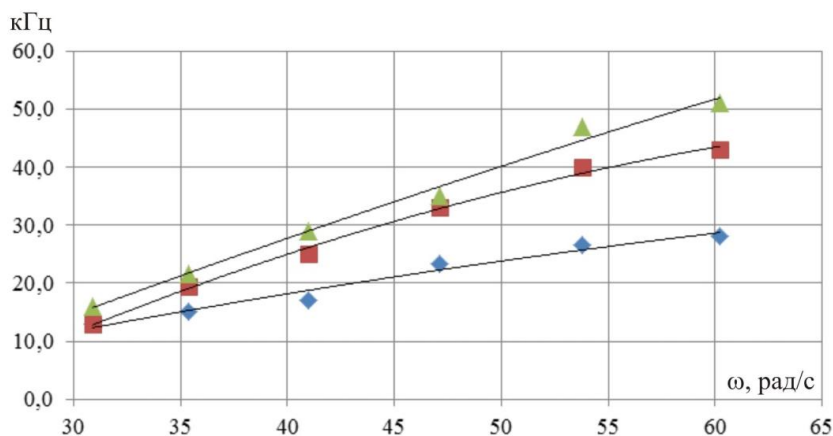


Рис. 4. Влияние размера частиц абразива при нагрузке (снизу вверх: чистое масло, 1%-ное загрязнение при размере 40 мкм, 1%-ное загрязнение при размере 100 мкм)

Таким образом, предположение о возможности оценки загрязненности рабочей жидкости по величине и характеру акустико-эмиссионный сигнала подтверждены экспериментально, что делает возможным проводить диагностику и мониторинг состояния рабочей жидкости трансмиссии [12] как гидравлической, так и механической, в автоматическом режиме и включать данный вид контроля в бортовое оборудование, корректировать перечень мероприятий по техническому обслуживанию и смазочно-заправочных работ при переходе на обслуживание по фактическому состоянию.

Список литературы

1. Мякотных А.А., Князькина В.И., Шибанов Д.А. Экспериментальная оценка загрязнения рабочей жидкости трансмиссии и влияния на изменение акустического сигнала насоса при его работе // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. – 2020. – Т. 1. – С. 369–375.
2. Пираматов У.А., Пугин К.Г. Повышение эффективности существующих методов диагностирования гидропривода строительно-дорожных машин // Техника и технология транспорта. – 2019. – № 2 (13). – С. 20.
3. Князькина В.И., Иванов С.Л. Диагностика и продление срока службы трансмиссий карьерных экскаваторов // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2019. – Т. 25, № 2. – С. 141–148. DOI: 10.18721/JEST.25211
4. Bley T., Pignanelli E., Schutze A. Multi-channel IR sensor system for determination of oil degradation // J. Sens. Sens. Syst. – 2014. – Vol. 3. – P. 121–132.
5. Мякотных А.А., Князькина В.И., Падучин Д.А. К оценке загрязненности рабочих сред трансмиссий по их акустическому сигналу // Актуальные

проблемы современной науки, техники и образования: программа 78-й Международ. науч.-техн. конф. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогор. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2020. – 141 с.

6. Вавилов А.В., Яцкевич В.В., Максименко А.Н. Методы оценки технического состояния при диагностировании механических и гидромеханических трансмиссий строительно-дорожной и транспортной техники / Вестник Белорусско-Российского университета. – 2012. – №1 (34) – С. 5–12.

7. Григоров А.Б. Диэлектрический контроль загрязненности автомобильных трансмиссионных масел // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. – №11 (93). – С. 18–22.

8. Knyazkina V.I., Safronchuk K.A., Ivanov S.L. About possibility of immediate evaluation of technical condition of mining equipment using signal value of acoustic emission friction // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 560 (2019) 012068 IOP Publishing. DOI:10.1088/1757-899X/560/1/012068.

9. Князькина В.И., Сафрончук К.А., Иванов С.Л. Повышение надежности горных машин совершенствованием смазки элементов трансмиссии при ее техническом обслуживании // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. тр. XVIII междунар. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека», проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. горн. ун-та. – 2020. – С. 297–300.

10. Пунин А.В. Рылякин Е.Г. Влияние высокодисперсных частиц на эксплуатационные свойства рабочих жидкостей // Электрон. науч. журн. Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 1. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2835 (дата обращения: 28.01.2021).

11. Толубаев А.В., Сафронов П.А., Пасечник П.В. Анализ влияния загрязненности масла на ресурс двигателей военной автомобильной техники, а также методов и средств контроля качества технических жидкостей // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева. – 2017. – № 1 (9). – С. 57–60.

12. Ivanov S.L., Shishkin P.V. Integral criterion of mining machines technical condition level at their operation // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 87 (2017) 022009. DOI:10.1088/1755-1315/87/2/022009

Получено 27.01.2021

Мякотных Алина Алексеевна – магистрант кафедры «Машиностроение», Санкт-Петербургский горный университет, e-mail: alinamyakotnyh@yandex.ru.

Князькина Валерия Ивановна – аспирантка кафедры «Машиностроение», Санкт-Петербургский горный университет, e-mail: knyazkina.valeriya.94@mail.ru.

Шибанов Даниил Александрович – доцент ООО «ИЗ-КАРТЭКС им. П.Г. Коробкова», e-mail: dan11|88@yandex.ru.