

УДК 621.821:621.316

РАЗРАБОТКА СХЕМ И МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Н. А. АЛЕШКЕВИЧ, кандидат физико-математических наук, доцент¹

С. О. БОБОВИЧ²

С. В. КОРОТКЕВИЧ, кандидат технических наук²

В. Г. ПИНЧУК, доктор технических наук, профессор¹

В. В. КРАВЧЕНКО¹

¹Учреждение образования «Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины», Республика Беларусь

²РУП «Гомельэнерго», Республика Беларусь

На основе анализа существующих технических решений предложены принципиальные схемы стендов для определения эксплуатационных характеристик узлов трения энергетического оборудования, содержащих подшипники качения и подшипники скольжения. Показано, что использование методов электрофизического зондирования граничных смазочных слоев позволяет регистрировать наступление аварийного режима эксплуатации энергетического оборудования на ранней стадии до наступления задира, схватывания и выхода узлов трения из строя.

Ключевые слова: граничный смазочный слой, гидродинамическая опора, подшипник
эксплуатационные свойства, триботехнические параметры.

Введение

В сфере энергетики весьма актуальными являются вопросы улучшения показателей надежности, экономичности, маневренности и ремонтпригодности роторного оборудования. Увеличение сроков службы механизмов во многом определяется функциональным состоянием подшипников различного назначения, используемых в узлах трения энергетического оборудования. При нестационарном или переходном режимах работы энергоемкого оборудования (остановка и разгон турбины) безопасный режим эксплуатации турбин может нарушаться, при этом особую опасность вызывают температурные изменения в узлах трения [1]. Поэтому задачи разработки новых методов и средств неразрушающего контроля узлов трения энергетического оборудования, позволяющих на ранней стадии обнаруживать отклонения их эксплуатационных параметров, являются первостепенными. Среди методов исследования процессов трения и износа интенсивно развивающимися являются электрофизические методы, в основу которых заложено использование различных оценок электрических параметров флуктуирующих процессов и явлений в узлах трения. Это связано с возможностью получения объективной информации о состоянии триботехнических сопряжений непосредственно из зон трения в форме электрического сигнала, что позволяет создавать практически безынерционные, по отношению к процессу трения, высокочувствительные, автоматизированные методы контроля.

Основная часть

Ранее мы уже говорили о возможностях использования метода электрофизического зондирования для диагностики подшипниковых узлов трения. В работе [2] показано, что метод электрофизического зондирования позволяет оценивать эксплуатационные свойства смазочных материалов, изучать кинетику формирования и разрушения граничных смазочных слоев (ГСС) в подшипниковых узлах трения. Отмечено, что достаточно информативным параметром для оценки эксплуатационных свойств смазочных материалов, является значение контактного сопротивления граничного смазочного слоя, которое коррелирует с механической прочностью и триботехническими параметрами ГСС.

Для диагностики жидких смазочных материалов, используемых в гидродинамических опорах скольжения, нами разработан стенд, имитирующий работу подшипников скольжения энергетического оборудования (рисунок 1).

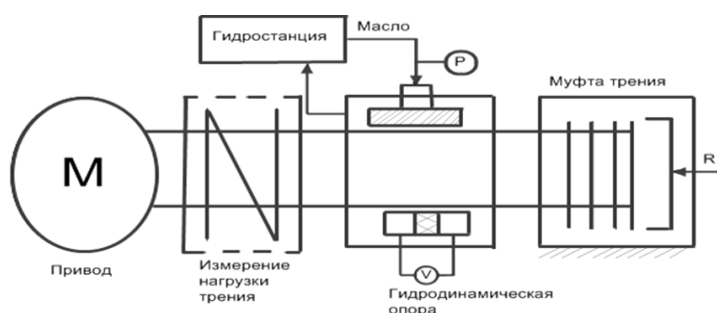


Рисунок 1 – Принципиальная схема стенда для диагностики подшипников скольжения и турбинных масел

Стенд состоит из регулируемого электрического привода, устройства измерения энергетических затрат, реального узла трения, оснащенного схемой электрофизического контроля состояния граничного смазочного слоя (гидродинамический или гидростатический подшипник скольжения), регулируемая гидростанция для подачи смазочного материала в узлы трения, регулируемой нагрузки.

Для диагностики свойств смазочных материалов, используемых в гидродинамических опорах, в частности, их прочностных, антифрикционных и противозадирных характеристик используется анализ параметров контактного сопротивления сопряженных тел по схеме, приведенной на рисунке 2.

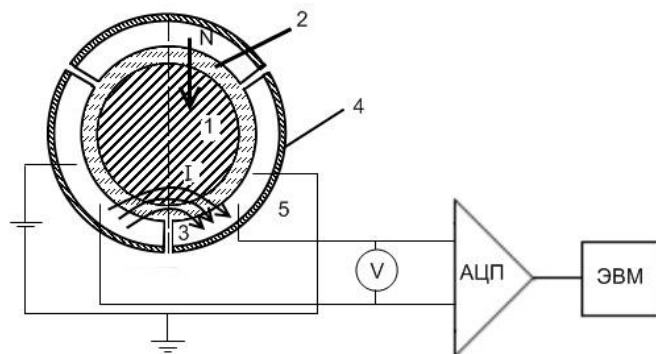


Рисунок 2 – Схема электрофизического зондирования подшипников:
1 – вал; 2 – смазка; 3 – вкладыш; 4 – изоляция вкладыша;
5 – корпус опоры скольжения гидродинамических опор

Метод заключается в регистрации величины туннельного тока, протекающего между неподвижными электродами через металлический вал. В случае «сухого» контакта благородных материалов контактное сопротивление определяется сопротивлением стягивания линий тока из объема образца к пятну контакта. При наличии в зоне контакта сплошной смазочной прослойки его сопротивление определяется туннельной проводимостью. Снижение регистрируемых в эксперименте значений контактного сопротивления до уровня сопротивления стягивания означает разрушение ГСС.

При уменьшении толщины смазочного слоя и появлении туннельной проводимости, ток (обозначенный на рисунке через «I») проходит от одной электрически изолированной части опоры, на которую подается плюс от стабилизированного источника напряжения 50 мВ, через металлический вал к другой части опоры, которая заземлена.

Анализ состояния ГСС проводится на основании моделей поверхности раздела, которые могут иметь место в контакте [2]. Методика оценки состояния ГСС состоит из нескольких этапов.

Вначале проводится теоретический расчет сопротивления стягивания между ротором и опорой скольжения. Известно, что поверхность контакта является источником сопротивления стягивания R_s :

$$R_s = \rho / 2a, \quad (1)$$

где ρ – приведенное удельное электрическое сопротивление вала и опор скольжения; a – фактический радиус пятна контакта.

Сопротивление в контакте определяется согласно теории Р. Хольма суммой R_s (сопротивление стягивания линий тока из объема материала к контурной площади) и сопротивлением пятен кластеров R_α , обусловленным стягиванием линий тока к фактическим пятнам контакта:

$$R_\alpha = \rho / 2n\alpha, \quad (2)$$

где n – число фактических микропятен; α – фактический размер металлических микропятен.

При наличии в зоне контакта сплошной смазочной прослойки его сопротивление определяется в основном туннельной проводимостью:

$$R_t = (10^{-14} d / a^2 \varphi^{1/2}) \exp(10,24(\varphi)^{1/2} d), \quad (3)$$

где φ – эффективная работа выхода электрона; d – толщина граничного смазочного слоя; a – радиус фактического пятна контакта.

При наличии на поверхности металла оксидных пленок контактное сопротивление определяется суммой сопротивлений стягивания (R_s) ситочного (через пятна фактического контакта – R_α) и оксидной пленки (R_f):

$$R_f = \sigma / \pi a^2; \quad (4)$$

$$R_{с\text{ теор}} = R_f + R_s. \quad (5)$$

На следующем этапе осуществляем экспериментальное измерение контактного сопротивления $R_{с\text{кр}}$, когда ротор лежит на опоре скольжения при отсутствии смазки между ними.

Дальнейшая диагностика осуществляется посредством сравнения теоретически рассчитанного контактного сопротивления $R_{с\text{ теор}}$ с измеренными на практике значени-

ями R_c . Достижение критического значения $R_{c\text{кр}}$ означает задевание ротора об опору скольжения и разрушение турбины.

Данный метод позволяет в динамике отслеживать критические состояния узлов трения энергетического оборудования. На предварительной стадии разрушения ГСС, когда измеренное сопротивление R_c становится меньше значения нижней границы регистрируемого сопротивления и наблюдается переход от гидродинамического режима трения к граничному, может сработать сигнализация в системе управления турбиной, что позволит предотвратить ее выход из строя.

При аварийном режиме регистрируемое по четырехпроводной схеме R_c превышает $R_{c\text{кр}}$ на некоторую величину R_b , рассчитанную по формуле (3). Дальнейшее снижение регистрируемого значения контактного сопротивления до уровня сопротивления стягивания означает разрушение ГСС. Снижение значений контактного сопротивления до уровня, рассчитанного нижнего предела туннельного сопротивления, означает начало разрушения мономолекулярного слоя смазочного материала.

Контроль состояния ГСС позволяет управлять режимом эксплуатации роторной машины при критических режимах (пуск, остановка, масляное голодание, критические нагрузки). При наступлении аварийного режима эксплуатации должна быть реализована система обратной связи – включаются насосы, обеспечивающие подачу смазочного материала в зону трения под большим давлением, либо изменяется нагрузка на валу ротора или его скорость, а возможна реализация сразу всех возможных вариантов.

Для диагностики и определения эксплуатационных характеристик узлов трения, содержащих подшипники качения, разработана принципиальная схема стенда (рисунок 3).

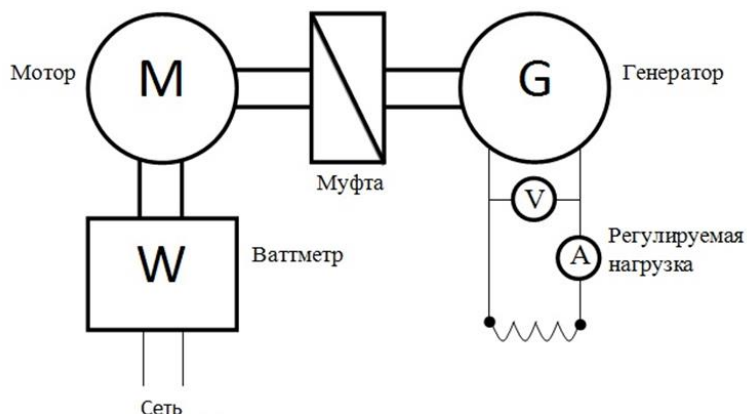


Рисунок 3 – Принципиальная схема стенда для определения эксплуатационных характеристик узлов трения, содержащих подшипники качения

Стенд для определения эксплуатационных характеристик пластичных смазочных материалов содержит узел трения, представляющий собой серийный электрический мотор 4A225M6У3, оснащенный подшипниками качения, заполненными исследуемым пластичным смазочным материалом. Соосно с испытываемым мотором на станине закреплена через муфту машина постоянного тока (генератор). Нагрузкой машины постоянного тока является регулируемый реостат (рисунок 3). Стенд оснащен приборами контроля температуры и вибрации узлов трения, ваттметром потребляемой и расходуемой электрической энергии. Для контроля состояния ГСС методом электрофизического зондирования вал мотора оснащен токосъемником в виде медно-графитовой щетки, подключенной в электрическую цепь для контроля туннельного тока, протекающего через

граничный смазочный слой. Эффективность работы подшипников качения оценивается по величине потребляемой электрической энергии и температуре в узле трения.

Разработанный нами стенд для исследования эксплуатационных характеристик узлов трения, содержащих подшипники качения, был реализован в виде макета на Гомельской ТЭЦ-2 РУП «Гомельэнерго», там же были проведены его первичные испытания. Подшипник качения промывался в ацетоне и керосине, высушивался, а затем заполнялся исследуемым смазочным материалом. В качестве смазочных материалов использовались: «Итмол-105Н» (ТУ РБ 100029077.005–2006) с добавкой 3 мас. % фторопласта ФТ-3М (ТУ-6-05-1812–77); Циатим-201 (ГОСТ 6267–59) + 3 мас. % ФТ-3М; Литол-24 (ГОСТ 21150–87); Литол-24 (ГОСТ 21150–87) + 3 мас. % ФТ-3М; смазка 1-13 Ж (ГОСТ 1631–61) + 3 мас. % ФТ-3М.

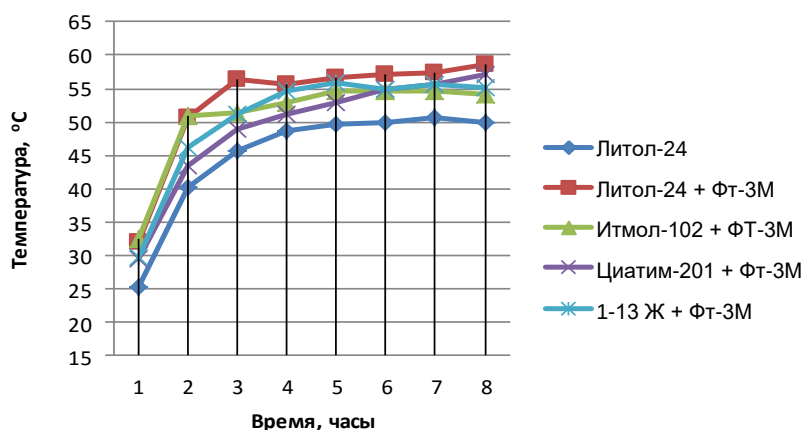


Рисунок 4 – Изменение температуры в узле трения во времени (°C).

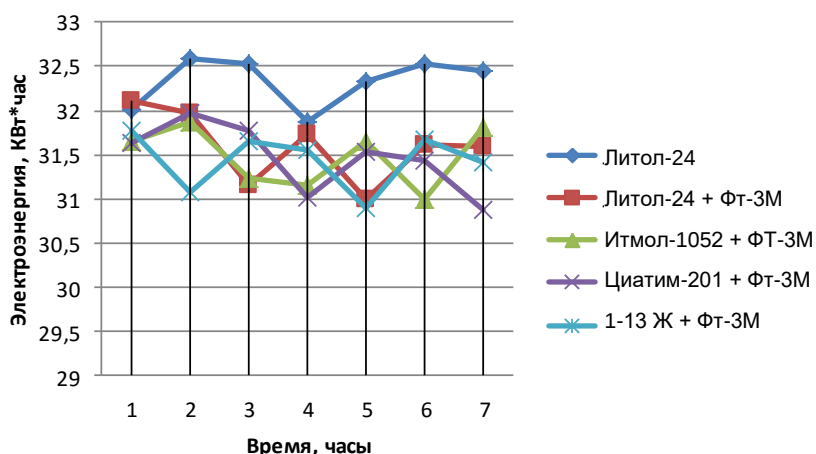


Рисунок 5 – Потребление электроэнергии во времени, кВт · ч

Предварительные испытания проводились на холостом ходу, без загрузки в течение восьми часов. Регистрировались значения температуры в узле трения, количество потребляемой электроэнергии и вибропараметры. Результаты испытаний представлены на рисунках 4 и 5.

В результате экспериментальных испытаний установлено, что добавка модифицированного фторопласта марки ФТ-3М незначительно увеличивает температуру подшипниковых узлов, однако снижает на 2–3 % потребление электрической энергии и

значительно снижает уровень вибрации. Для Литол-24 и Литол-24 с добавкой фторопласта затраты электрической энергии за период испытаний составили 226,303 кВт · ч и 221,151 кВт · ч соответственно. В дальнейшем, после приработки подшипников без нагрузки будут проведены стендовые испытания различных смазочных композиций в эксплуатационном режиме со ступенчатым увеличением нагрузки.

Заключение

Таким образом, разработанные стенды позволяют определять эксплуатационные характеристики узлов трения энергетического оборудования, содержащих подшипники качения и подшипники скольжения (гидродинамические опоры). Реализуемый в данных установках метод электрофизического зондирования состояния ГСС позволяет регистрировать наступление аварийного режима эксплуатации энергетического оборудования на ранней стадии до наступления задира, схватывания и выхода узлов трения из строя, оценивать триботехнические параметры работы энергоемких узлов трения при различных нагрузочных и скоростных режимах.

Литература

- 1 Ханович, М. Г. Опоры жидкостного трения и комбинированные / М. Г. Ханович. – Л. : Машгиз, 1960. – 272 с.
- 2 Диагностика смазочных материалов в подшипниковых узлах трения / С. В. Короткевич [и др.] // Чрезвычайн. ситуации: образование и наука. – 2010. – Т. 5, № 2. – С. 59–63.
- 3 Кончиц, В. В. Электрическая проводимость точечного контакта при граничной смазке / В. В. Кончиц // Трение и износ. – 1991. – № 3. – С. 465–475.

Поступила в редакцию 14.10.2014

N. A. Aleshkevich, S. O. Bobovich, S. V. Korotkevich, V. G. Pinchuk, V. V. Kravchenko DEVELOPMENT SCHEMES AND METHODS OF DIAGNOSIS FRICTION UNITS POWER EQUIPMENT

Based on the analysis of existing technical solutions proposed concepts stands to determine the performance of the friction units of power equipment, comprising rolling bearings and plain bearings. It is shown that the use of methods of electro sounding boundary lubricant layers allows you to register the onset of emergency mode operation of power equipment at an early stage before the bully, setting and output nodes of the friction system.