

Нормирование “чистых” показателей надежности (без привязки безопасности) основывается исключительно на экономических подходах, когда критерием нормативного уровня выступает экономическая цена его достижения. При нормировании показателей безопасности допустимые уровни устанавливаются по критериям социальным, оценивающим риск в человеческих жизнях, и экономические вопросы вторичны. В качестве перспективной исходной базы для нормирования требований безопасности при проектировании проведенная ИМИНМ НАНБ международная конференция по надежности (2001 г.) рекомендовала не превышение реально признанного, определенного по многочисленным статистическим данным в разных странах мира объективно существующего индивидуального риска  $10^{-4}$ , т. е. гибели в течение года от несчастных случаев в среднем одного человека из каждых 10000 населения.

Для поддержания надежности и безопасности уже реально эксплуатируемых ТС на уровне гарантированных нормативных показателей предлагается метод разбивки эксплуатационного цикла системы на фазы интенсивной, умеренной и мягкой по уровню нагрузок и внешних воздействий эксплуатации. Границами фаз может быть принят уровень интенсивности отказов, при достижении которого режим эксплуатации ТС “смягчается” на 15–20 %, что приводит к снижению интенсивности отказов до первоначального уровня. В системах, где недопустимо или невозможно снижение интенсивности эксплуатации (уровня эксплуатационных нагрузок), устанавливаются “планочные” нормы (например, ресурс) для ответственных составных частей, при достижении которых производится восстановление нормативного уровня надежности и безопасности системы заменой узла новым. ИМИНМ НАНБ также развивает направление по созданию эффективных контрольно-моделирующих комплексов (КМК) для решения задач обеспечения безопасности ТС. Наряду с текущим контролем за реальными параметрами функционирования ТС и периодическим диагностированием ее состояния инструментальными методами КМК призван моделировать в реальном масштабе времени с учетом получаемых данных реально ведущегося мониторинга неявные процессы утраты работоспособности “критическими” элементами (по описанной выше методологии), а также прогнозировать возможные варианты развития нежелательных событий при выходе за пределы допуска любого контролируемого параметра.

Приведенная выше методология прогнозирования и нормирования надежности и безопасности технических систем, развиваемая в ИМИНМ НАНБ в рамках ГПФИ “Надежность и безопасность машин” при научно-методическом взаимодействии с ИМАШ РАН, НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси и другими организациями, уже на этом этапе может быть использована в практических целях для разработки методических рекомендаций по прогнозной оценке и обеспечению безопасности технических систем различного функционального назначения.

УДК 621.891:539.621

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ТЕПЛОЙ ДИАГНОСТИКИ УЗЛОВ ТРЕНИЯ

*П. Н. БОГДАНОВИЧ,*

*Белорусский государственный университет транспорта*

*Д. В. ТКАЧУК*

*Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАНБ*

Фрикционное взаимодействие твердых тел – диссипативный процесс, в котором большая часть работы по преодолению сил трения превращается в тепловую энергию. В высокоскоростных и тяжело нагруженных трибосопряжениях фрикционный нагрев протекает особенно интенсивно и может привести к таким нежелательным последствиям, как, например, изменение структуры и свойств, плавление или деструкция материала поверхностных слоев сопрягаемых элементов. Это, в свою очередь, нарушает нормальную работу, снижает ресурс и повышает риск выхода из строя механизмов [1]. Поэтому совершенствование аппаратуры и методик тепловой диагностики узлов трения является актуальной проблемой с точки зрения повышения работоспособности машин и оборудования.

Для решения задач регистрации температурных полей в зоне трения наиболее распространены методы прямого измерения температуры (термопары, фотодатчики, термоиндикаторы) [2, 3]. Недостаток этих методов состоит в том, что они либо усредняют измеряемую величину по площади

контакта, либо вносят значительные погрешности в результат измерения. Выполненные нами исследования [4] показали, что для тепловой диагностики фрикционных сопряжений целесообразно использовать устройства, принцип действия которых основан на детектировании излучения зоны контакта (в видимом и инфракрасном диапазонах).

Цель данного исследования – разработка устройства и методики определения температурных полей на поверхностях трения и в поверхностных слоях элементов пар трения.

**Метод исследования и его реализация.** Экспериментальный комплекс, реализующий метод оптико-электронного сканирования, состоит из двух основных блоков – высокоскоростной машины трения и системы регистрации температурного поля (рисунок 1). Машина трения позволяет плавно изменять скорость скольжения в диапазоне 1–100 м/с.

Система регистрации температурного поля включает оптико-электронный преобразователь (ОЭП), монитор (М), видеоманитофон (ВМ), усилитель (У), устройство формирования осциллограмм яркости изображения (УФО) и цифровой запоминающий осциллограф С9-8 (ЦО).

В состав оптико-электронного преобразователя входят поворотная головка с дополнительными объективами увеличением  $4^{\times}$ – $25^{\times}$  и телевизионная камера КТП-62, оптическая ось которой совпадает с оптической осью объектива. Преобразователь крепится на специальной стойке с возможностью перемещения в вертикальном и горизонтальном направлениях. Допускается также поворот оптической оси преобразователя на  $90^{\circ}$ .

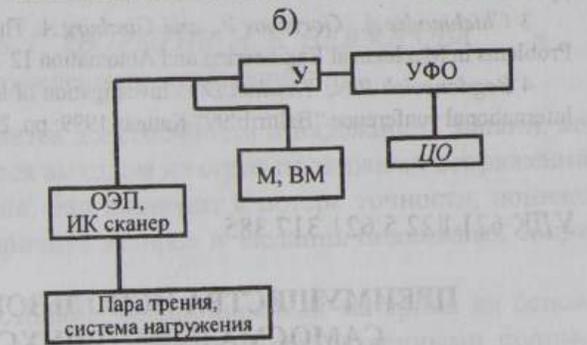
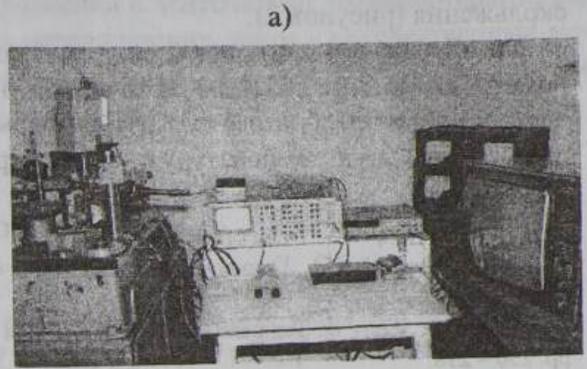


Рисунок 1 – Общий вид (а) и блок-схема (б) экспериментальной установки

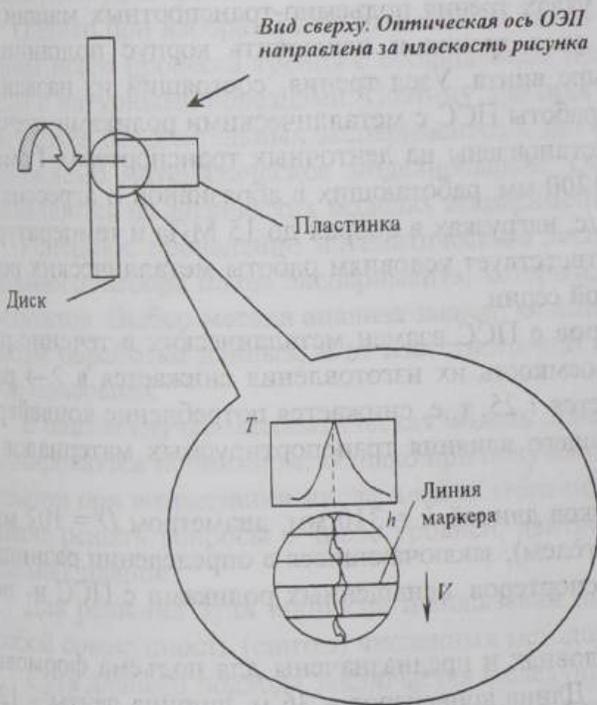


Рисунок 2 – Схема измерения температуры под поверхностью элементов пар трения

Монитор представляет собой телевизионный приемник с низкочастотным уровнем входного сигнала, подключенный к оптико-электронному преобразователю через усилительно-коммутирующий блок.

Возникающее в зоне трения тепловое излучение проходит через линзу и попадает на видикон телекамеры, которая генерирует электрический сигнал. Этот сигнал преобразуется в высокочастотный сигнал и подается на монитор, формирующий телевизионное изображение зоны контакта. Изображение записывается видеоманитофоном. Устройство формирования осциллограмм яркости изображения, соединенное с выходом видеоманитофона, формирует распределение яркости изображения в двух сечениях (вдоль направления скольжения и в перпендикулярном ему направлении). Это распределение отображается цифровым осциллографом как сигнал в милливольтках.

При использовании схемы торцевого трения возможна регистрация температуры под поверхностью как неподвижного, так и движущегося образца. Температура измеряется вдоль линии маркера, расположенной на экране монитора перпендикулярно направлению скольжения. Линия маркера может перемещаться по изображению исследуемого участка зоны контакта вдоль вектора скорости скольжения (рисунок 2).

Калибровка измерительной системы проводится с использованием оптического пирометра. Пирометр служит эталонным источником излучения и устанавливается в поле зрения оптико-электронного преобразователя взамен пары трения. Яркостная температура источника пересчитывается в реальную температуру с учетом отражательной способности исследуемых материалов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Завистовский В.Э., Холодилов О.В., Богданович П.Н. Физика отказов механических систем. – Минск: Технопринт, 1999. – 212 с.
- 2 Quinn T., Winer W. Temperatures of "hot spots" in a sliding contact Transactions of ASME. Journal of Tribology 109 1987. pp. 290 – 298.
- 3 Chichinadze A., Goryunov V., and Ginzburg A. The use of a pyrometer to determine the temperature of rubbing surfaces Problems in Mechanical Engineering and Automation 12 1990: pp. 40–46.
- 4 Bogdanovich P.N., Tkachuk D.V. Investigation of temperature field in friction units by optical-electron scanning technique International conference "Baltrib'99" Kaunas 1999: pp. 250–256.

УДК 621.822.5:621.317.385

### ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В УЗЛАХ ТРЕНИЯ КОНВЕЙЕРОВ САМОСМАЗЫВАЮЩИХСЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ПО ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЮ

*В. И. ВРУБЛЕВСКАЯ, А. Б. НЕВЗОРОВА, В. О. МАТУСЕВИЧ*  
*Белорусский государственный университет транспорта*

Подшипники скольжения самосмазывающиеся (ПСС) на основе древесины торцево-прессового деформирования нашли широкое применение в узлах трения подъемно-транспортных машин. Их конструкция позволяет значительно упростить узел трения и исключить корпус подшипника, крышку подшипника, шарикоподшипник и четыре винта. Узел трения, состоящий из названных деталей, заменяется одним ПСС. Для сравнения работы ПСС с металлическими роликами отечественного и импортного производства они были установлены на ленточных транспортерах Гомельского стеклозавода с шириной ленты от 400 до 1200 мм, работающих в абразивной и агрессивной средах при скоростях скольжения ленты до 1,0 м/с, нагрузках в опорах до 15 МПа и температуре в контактной зоне трения до плюс 100 °С, что соответствует условиям работы металлических роликов с узлами трения на шарикоподшипниках легкой серии.

Эксплуатация роликов ленточных транспортеров с ПСС взамен металлических в течение ряда лет показала следующие их преимущества: трудоемкость их изготовления снижается в 2–4 раза; коэффициент сопротивления вращению уменьшается 1,25, т. е. снижается потребление конвейером электроэнергии; за счет исключения коррозирующего влияния транспортируемых материалов на ПСС повышается долговечность роликов в 2–5 раз.

Были проведены специальные испытания роликов длиной  $L = 310$  мм, диаметром  $D = 102$  мм с ПСС, пропитанными загущенной смазкой (пластигелем), заключающиеся в определении разницы в потреблении энергии приводами ленточных транспортеров, оснащенных роликами с ПСС и подшипниками качения.

Ленточные конвейеры работают в тяжелых условиях и предназначены для подъема формовочной смеси с отметки + 3,0 м на отметку + 11,5 м. Длина конвейеров – 36 м, ширина ленты – 1200 мм. Мощность электродвигателей 17 кВт. Производственные испытания проводились в течение 8 месяцев. Сравнительные результаты замеров потребляемого тока показали, что на холостом ходе они практически находятся на одном уровне и составляют 10–11 А. В то же время потребление тока конвейером при полной нагрузке имеет существенную разницу. Наименее экономичными и энергозатратными являются металлические подшипники отечественного производства (22 А). Конвейер с