

Сопиужук Александр Николаевич

преподаватель

ФГБОУ ВПО «Омский государственный
университет путей сообщения»

г. Омск, Омская область

ЭКСПЕРТНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

***Аннотация:** в данной статье рассмотрены способы диагностики состояния оборудования железнодорожного транспорта. Автором описаны дистанционные способы мониторинга за состоянием оборудования, приведен анализ тепловизионного дистанционного контроля.*

***Ключевые слова:** экспертно-информационные системы, тепловизионная диагностика, контроль, железнодорожный транспорт.*

Появление систем контроля и диагностики связано с необходимостью обнаружения дефектов и отклонений в работе машин. Первые системы контроля и диагностики основывались на слуховых и зрительных ощущениях обслуживающего технического персонала, качество такой диагностики определялось квалификацией и опытом работника. Появление первых измерительных приборов привело к качественному изменению направления контроля механизмов и развитию различных методов.

Дальнейшее становление контроля и диагностики оборудования связано с развитием микроэлектроники, что привело к применению в диагностике большого числа измерительных средств. Совершенствование систем диагностики определилось в дальнейшем созданием математического и программного обеспечения. В настоящее время наблюдается процесс модернизации имеющихся систем и расширения их возможностей, а также развитие систем разнообразного исполнения и различных ценовых категорий.

Определение технического состояния оборудования железнодорожного транспорта осуществляется с помощью систем контроля, диагностики или мониторинга.

Основной задачей контроля согласно является проверка соответствия объекта установленным техническим требованиям в процессе эксплуатации путем измерения рабочих, а также вторичных параметров оборудования железнодорожного транспорта.

Мониторинг состояния представляет слежение за параметрами рабочих процессов в пределах норм и допусков, при выходе за установленные пределы осуществляется, как правило, взаимосвязь систем мониторинга с системами сигнализации и защиты.

Диагностика предназначена для предупреждения отказов и неисправностей, поддержания значений эксплуатационных показателей в установленных пределах, прогнозирования состояния в целях эффективного использования ресурсов оборудования железнодорожного транспорта. Системы контроля, мониторинга и диагностики могут применяться совместно, либо в виде отдельных подсистем [1, с. 32].

В настоящее время выпускается большое количество средств контроля, диагностики и мониторинга оборудования железнодорожного транспорта от простейших портативных систем мониторинга до стационарных систем глубокой диагностики.

Простейшие системы мониторинга предназначены для обнаружения выхода параметров рабочих и вторичных процессов за пределы допустимых значений или прогнозирования выхода этих параметров за установленные пределы. В соответствии с регламентирующей документацией к параметрам вторичных процессов относят температуру и уровень низкочастотной вибрации в стандартной полосе частот. Следовательно, простейшей переносной системой мониторинга может являться вибромметр или мультиметр для измерения технологических параметров и база данных периодических измерений в бумажном или цифровом

виде. Подобная система позволяет лишь следить за уровнем вибрации или выходных параметров контролируемого оборудования железнодорожного транспорта и возможными превышениями значений определяющих параметров пределов пороговых величин без возможности прогнозирования состояния оборудования железнодорожного транспорта.

В простейших стационарных системах мониторинга реализуется возможность увеличения числа контролируемых параметров по сравнению с портативными системами мониторинга, возможность аварийной сигнализации и регистрации выходов контролируемых параметров за допустимые пределы с целью определения нежелательных режимов работы и исключения ошибок персонала при управлении. Для повышения эффективности таких систем вводят каналы измерения вторичных процессов без удорожания самой системы, при этом увеличивается вероятность обнаружения дефектов задолго до наступления возможной аварийной ситуации.

Любая система мониторинга может быть сопряжена с внешним программным обеспечением, позволяющим не только контролировать значения параметров в регламентированных пределах, осуществлять аварийную сигнализацию, но и выполнять глубокую диагностику оборудования железнодорожного транспорта. К задачам глубокой диагностики относят: выявление зарождающихся дефектов, слежение за развитием конкретного дефекта и прогнозирование срока безаварийной работы оборудования железнодорожного транспорта. При создании программного обеспечения систем мониторинга используют различные языки программирования, позволяющие максимально расширить возможности проектируемых систем.

Переносные системы глубокой диагностики по вторичным процессам не требуют частого применения, так как в соответствии с нормативными документами интервал между применением таких систем составляет 1–3 месяца в зависимости от типа оборудования железнодорожного транспорта в случае обслуживания оборудования.

Стационарная система мониторинга с возможностью глубокой диагностики способна решать следующие задачи:

- аварийная защита объекта или аварийная сигнализация;
- фиксация роста вторичных параметров;
- обнаружение неисправностей на ранних стадиях развития;
- автоматизация процесса сбора и обработки диагностической информации;
- контроль переменных режимов работы оборудования железнодорожного транспорта (пуск, останов);
- оперативная диагностика состояния.

Систем, выполняющих первую из перечисленных задач, среди внедренных систем мониторинга на российских предприятиях – большинство, при этом базируются они, как правило, на имеющихся системах управления. Использование систем, выполняющих вторую и последующие задачи используют в случае все-сторонней защиты оборудования железнодорожного транспорта и обеспечения максимального экономического эффекта, хотя стоит отметить, что разработка и внедрение таких систем требует значительных финансовых вложений.

Развитие отечественного рынка по созданию систем мониторинга с различными возможностями и появления предложений по модернизации уже имеющихся систем аварийной защиты или управления связано с введением стандартов ИСО.

На сегодняшний день в промышленности имеется опыт внедрения систем мониторинга и диагностики, но вместе с этим до сих пор на многих предприятиях для обеспечения надежности оборудования железнодорожного транспорта применяется планово-предупредительное техническое обслуживание по назначенному ресурсу, заключающееся в полной или частичной разборке оборудования железнодорожного транспорта, проведении планового или капитального ремонта.

Время назначенного ресурса зависит от времени жизни наиболее подверженных износу компонентов. К недостаткам планово-предупредительного ремонта (ППР) стоит отнести износ узлов и внесение дополнительных дефектов

при переборке агрегата. Подобные дефекты возникают из-за перекоса осей, изменения величины зазора и т. д. Таким образом, ППР снижает вероятность аварии, но не гарантирует отсутствие внезапных дефектов в межремонтный период. Проведение ППР до последнего времени являлось одним из основных методов технической диагностики вращающегося оборудования железнодорожного транспорта [2, с. 32].

Согласно международным стандартам ИСО проведение контроля, мониторинга и диагностики оборудования по рабочим и вторичным процессам, к которым относят вибрацию, температуру, электромагнитные взаимодействия без демонтажа оборудования является обязательной составляющей эффективности эксплуатации машин и оборудования железнодорожного транспорта.

Использование визуальных осмотров оборудования железнодорожного транспорта является одним из первых методов контроля и диагностики, который основывался на субъективных оценках персонала, при этом не потерявшим своей актуальности и на сегодняшний день. Данный метод позволяет выявить достаточно крупные для невооруженного глаза дефекты материалов и конструкций. Визуальный контроль оборудования железнодорожного транспорта может применяться, как на стадиях производства оборудования, так и в процессе эксплуатации.

Стоит разделять прямой и косвенный визуальный контроль. Для последнего характерно прерывание светового луча, связывающего глаз и контролируемую область, т. е. подразумевается использование автоматических роботов, фотографий, видеосистем. Прямой визуальный контроль может выполняться как с использованием специализированного оборудования (линзы, лупы, микроскопа, эндоскопа, роботизированной системы), так и без него, основываясь на оценке состояния оборудования с помощью невооруженного глаза. В задачи визуального контроля оборудования входит: выявление трещин; поверхностных дефектов; механических повреждений поверхности; наружный износ изделия [3].

Использование визуального контроля в качестве самостоятельного метода диагностики в условиях современного развития парка оборудования является

мало эффективным в силу своей субъективности. Но, несмотря на это, метод используется, как отдельный этап в комплексной диагностике. Периодические осмотры оборудования даже без использования специализированной аппаратуры регламентированы нормативно-технической документацией или локальными актами конкретного предприятия.

Использование специализированного оборудования при визуальном осмотре позволяет диагностировать вращающееся оборудование без демонтажа ротора. В настоящее время широкое применение находят видеоэндоскопы, позволяющие осматривать внутренние поверхности разного рода узлов и механизмов без их демонтажа и с минимальной предварительной подготовкой. Использование видеоэндоскопов в авиации иногда является единственно возможным средством диагностики. Для исследования сердечника статора без вывода ротора может использоваться малогабаритная роботизированная система, осуществляющая визуальный осмотр статора и ротора, дефекты поверхности сердечника статора, тестирования изоляции пластин сердечника статора. Лидером среди таких систем можно рассматривать модель RIV-702 фирмы Iris power LP, Canada.

Любая система контроля или мониторинга состояния оборудования железнодорожного транспорта основывается на измерении рабочих (технологических) параметров оборудования, сравнения их с номинальными или предельными значениями и принятия решения о дальнейшей эксплуатации оборудования или вывода его в ремонт.

Системы контроля должны иметь датчики для измерения рабочих параметров (температуры, давления, расхода масла, частоты вращения и т. д.), в качестве диагностических определяются параметры, при выходе которых за допустимые пределы, может произойти отказ оборудования железнодорожного транспорта. Полученная информация с датчиков должна быть сохранена на электронном или регистрирующем носителе. Сигналы, поступающие с датчиков, имеют нестационарный флуктуационный характер. Особенностью таких систем контроля является создание баз данных, содержащих номинальные и предельные значения

всех диагностических параметров, определяющих достоверность определения режима работы оборудования железнодорожного транспорта [4].

Данный тип систем является системами контроля, так как предназначены для отслеживания тренда рабочих параметров и, как правило, аварийной сигнализации. Для проведения диагностики системы должны быть снабжены блоком анализа полученных данных, но в этом случае рассматривают не только значения рабочих, но и вторичных параметров. Соответственно, метод контроля по рабочим параметрам применяется в совокупности с другими методами диагностики.

Тепловизионное обследование оборудования применяется для качественной диагностики двигателей, насосного и вращающегося оборудования. Текущее тепловое изображение сравнивается с изображением исправного оборудования или сделанным ранее.

Тепловизионная диагностика является эффективной при анализе электродвигателей, чувствительных к дефектам, связанным с перегревом, причем изменение внутренних температур двигателя не сразу проявляется на поверхности оборудования. Таким образом, нарушение соосности вращающихся частей или дисбаланс обычно приводят к перегреву узлов вращающейся машины, слежение за тепловым состоянием двигателя позволит обнаружить дефект на стадии возникновения. В диагностике используется тепловизионное изображение подшипников, превышение температуры подшипника температуры двигателя говорит о существовании возможных проблем, подлежащих детальному анализу [5].

К достоинствам тепловизионного обследования следует отнести:

- 1) достоверность, объективность полученных данных;
- 2) отсутствие вывода оборудования из рабочего режима;
- 3) отсутствие специальной подготовки рабочего места или установки датчиков;
- 4) определение дефектов на ранней стадии развития.

Как правило, тепловизионный контроль также используется в совокупности методов диагностики, его распространение связано с высокой достоверностью анализа и чувствительностью.

При диагностике с помощью тепловизора могут быть выявлены следующие виды дефектов электрооборудования:

- 1) наличие дефектов изоляции;
- 2) дефекты монтажа;
- 3) нарушение работы систем охлаждения;
- 4) нарушения паяк лобовых частей обмоток.

Тепловизором принято считать оптико-электронную систему, предназначенную для получения видимого изображения объектов, испускающих невидимое тепловое (инфракрасное) излучение.

В настоящее время на мировом рынке имеется большое количество моделей тепловизоров. Для определения теплотерь и оценки сопротивления теплопередаче необходимо применять современные измерительные тепловизоры, обеспечивающие температурные отсчеты во всех пикселях.

В диагностике на железнодорожном транспорте применяют как коротковолновые (рабочий диапазон длин волн 2,0–5,5 мкм), так и длинноволновые (рабочий диапазон длин волн 7–14 мкм) тепловизоры [6].

Длинноволновые тепловизоры лучше соответствует спектру излучения тел при температуре окружающей среды, кроме того, в этом диапазоне влияние отраженного солнечного излучения слабее. В общем, допустимо использовать тепловизоры обоих типов с учетом особенностей их применения в указанных спектральных диапазонах для контроля. При настройке тепловизора, а также при получении неоднозначных результатов, следует использовать контактные средства измерения температур как более точные.

Абсолютная погрешность измерения температуры при обнаружении дефектов – не более $\pm 2^{\circ}\text{C}$ или $\pm 2\%$ от измеряемой величины. При определении теплотерь и оценке показателей энергоэффективности рекомендуется применять тепловизоры с абсолютной погрешностью не более $\pm 1^{\circ}\text{C}$ или $\pm 1\%$ от измеряемой величины.

Рекомендуемая температурная чувствительность тепловизоров должно быть не хуже $0,1^{\circ}\text{C}$, а мгновенный угол зрения – не хуже 1,3 мрад. Возможно

применение тепловизоров с большим мгновенным углом зрения при соответствующем уменьшении расстояния до объекта съемки.

Температурное разрешение тепловизора должно быть в 3–5 раз меньше величины температурного сигнала, подлежащего регистрации. Например, регистрация температурной аномалии величиной $0,5^{\circ}\text{C}$ требует применения тепловизора с температурной чувствительностью $0,1\text{--}0,16^{\circ}\text{C}$.

Формат изображения (количество пикселей, или количество чувствительных элементов матричного детектора ИК излучения) не лимитируется и зависит от угла поля зрения (объектива) тепловизора, расстояния до объекта съемки и требуемого размера зоны контроля. В настоящее время типовой формат изображения равен $320 \times 240 = 76800$ пикселей, однако в последние годы идет переход к формату ИК термограмм на уровне 640×480 [7].

Аналогичная рекомендация относится к выбору пространственного разрешения: для уверенного выявления минимального дефекта по площади необходимо, чтобы его изображение формировалось, по крайней мере, $3 \times 3\text{--}5 \times 5$ элементами изображения.

Частота смены тепловизионных изображений должна составлять от 1 Гц и выше. Для повышения производительности контроля рекомендуется использовать тепловизоры с частотой смены изображений более 7 Гц.

Температурный диапазон эксплуатации тепловизора обеспечивается производителем, и его выбор зависит от климатических условий в конкретной местности. Типичные значения данного параметра -15°C до $+50^{\circ}\text{C}$ или от -20°C до $+50^{\circ}\text{C}$.

Размеры зоны тепловизионного контроля определяются углом поля зрения тепловизора и расстоянием до объекта съемки и могут изменяться от 3 до 30 м в зависимости от требуемой детальности анализа и используемого формата тепловизионного кадра. Расстояние до объекта контроля может составлять от 1 до 100 м в зависимости от объекта, типа и размеров контролируемого объекта, цели и условий съемки.

Основная погрешность измерения температуры по абсолютно черному телу для современных тепловизоров составляет не более $\pm 1\%$ ($\pm 2\%$) от измеренного значения шкалы или $\pm 1^\circ\text{C}$ ($\pm 2^\circ\text{C}$), однако это может быть недостаточным для надежной оценки сопротивления теплопередаче [8].

Тепловизоры включают в себя следующие основные узлы:

1. ИК детектор. Важными параметрами ИК детектора являются: область спектральной чувствительности, детектирующая способность по Джонсу, постоянная времени и рабочая температура.
2. ИК объектив. Важными параметрами ИК объектив являются: угол зрения, связанный также с фокусным расстоянием объектива.
3. Сканер.
4. Устройства охлаждения ИК приемника.
5. Встроенный эталон температуры и температурные датчики для компенсации дрейфа теплового режима внутри оптической головки тепловизора.
6. Электронный блок с устройствами записи термограмм.
7. Монитор.

Средства теплового контроля (ТК), внесенные в Государственный реестр средств измерений, проходят метрологическую поверку в организациях, аккредитованных Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандартом).

Однако для проведения комплексного ТК помимо тепловизора также необходимы дополнительные устройства: ИК термометр, измеритель плотности теплового потока, анемометр, ртутный термометр, манометр, воздушный насос, термоанемометр, влагомер, психрометр.

Для расчета количественных теплотехнических характеристик НОК и параметров дефектов используют персональные компьютеры, стандартное и специализированное программное обеспечение для обработки измерительной информации, анализа термограмм, проведения необходимых расчетов и составления отчетов с результатами обследований.

Список литературы

1. Баркова Н.А. Неразрушающий контроль технического состояния горных машин и оборудования: Учебное пособие / Н.А. Баркова, Ю.С. Дорошев. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2009. – 157 с.
2. Вавилов В.П. Тепловидение для инженеров: Учебное пособие / В.П. Вавилов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 129 с.
3. Вавилов В.П. О роли тепловидения при составлении энергопаспортов зданий [Текст]: определение трансмиссионных теплопотерь и технико-экономическое обоснование усиления теплозащиты / В.П. Вавилов, И.А. Лариошина, А.О. Чулков // Контроль. Диагностика. – 2013. – №13. – С. 67–69.
4. Вавилов В.П. Тепловизионная оценка сопротивления теплопередаче строительных конструкций в нестационарных условиях / В.П. Вавилов, С. Маринетти, Д.А. Нестерук // Дефектоскопия. – 2009. – №7. – С. 50–61.
5. Герике Б.Л. Основы динамической диагностики машинных агрегатов / Б.Л. Герике, П.Б. Герике, В.Н. Шахманов // Горный информационно-аналитический бюллетень. Научно-технический журнал. – 2011. – №12. – Т. 3. – С. 37.
6. Изосимова Т.А. Стенд для исследования системы автоматического регулирования магнитным подвесом ротора высокоэнергетической установки / Ю.К. Евдокимов, С.А. Тогузов // Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-214, 16–19 июня 2014. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 114.
7. Лариошина И.А. Тепловизионная диагностика / И.А. Лариошина, В.П. Вавилов // Современные исследования в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности: Сборник научных статей по материалам I Международной научно-практической конференции, Курск, 16 Апреля 2012. – Курск: Издательство Юго-западного государственного университета, 2012. – С. 112.
8. Мельников А.С. Тепловидение как инструмент энергоаудита // Энергетик. – 2012. – №8. – С. 38–39.