**Исследование теплового метода неразрушающего контроля узлов и деталей тягового подвижного состава**

Тепловой вид неразрушающего контроля основан на регистрации изменений тепловых или температурных полей контролируемых объектов. Он применим к объектам из любых материалов. По характеру взаимодействия поля с объектом контроля различают методы: пассивный или собственного излучения (на объект не воздействуют внешним источником энергии) и активный(объект нагревают или охлаждают от вешнего источника). Измеряемым информативным параметром служит температура или тепловой поток.

При контроле пассивным методом измеряют тепловые потоки или температурные поля работающих объектов с целью определения неисправностей, проявляющихся в виде мест повышенного нагрева. Таким образом выявляют места утечки теплоты в зданиях, проверяют участки электрических цепей с повышенным нагревом, находят трещины в корпусах двигателей, проверяют температуру нагрева подшипниковых узлов и обмоток тяговых электродвигателей.

При контроле активным методом объект обычно нагревают и измеряют температуру или тепловой поток с одной из сторон объекта. Это позволяет обнаруживать несплошности (трещины, пористость, инородные включения) в объектах, изменения в структуре и физико-химических свойствах материалов по изменению теплопроводности, теплоемкости, коэффициенту теплоотдачи.

Измерения температур или тепловых потоков выполняют контактным или бесконтактным способами. В последнем случае передача теплоты происходит в основном за счет радиации, т.е. излучения электромагнитных волн в инфракрасной или видимой части спектра в зависимости от температуры тела. Наиболее эффективными средствами бесконтактного наблюдения, регистрации температурных полей и тепловых потоков являются сканирующие тепловизоры и пирометры.

Спектр излучения, его мощность и пространственные характеристики зависят от температуры тела и его излучающей способности (например, шероховатые поверхности излучают сильнее, чем зеркальные).

Подвижной состав железных дорог генерирует собственное (инфракрасное) излучение за счет работы дизелей, электрических машин, торможения локомотивов и вагонов, трения пары колесо-рельс при движении в кривых (особенно малого радиуса), нагрева буксовых узлов, при взаимодействии токоприемника с контактным проводом. Спектр излучения железнодорожных транспортных систем днем имеет минимум три характерных масштаба:

- первый – 0,5 мкм, обусловлен отраженной солнечной радиацией;

- второй – 3 ÷ 6 мкм, определяется собственным тепловым излучением;

- третий – 9 ÷ 10 мкм, за счет теплового излучения поверхности Земли.

Таким образом, для получения дистанционной информации о техническом состоянии транспортной системы исключительную важность приобретает использование радиофизических методов измерения тепловых полей ближней зоны инфракрасного излучения с диапазоном длин волн 0,8 ÷ 0,9 мкм, собственного инфракрасного излучения с длиной волн 10 ÷ 14 мкм, а также оптических полей видимого диапазона с длиной волн 0,4 ÷ 0,7 мкм.

Для количественного описания энергетического состояния объекта контроля используют естественную меру – температуру.

К средствам контроля температуры относятся:

- термометры жидкостные, манометрические, сопротивления, термоэлектрические, волоконно-оптические;

- термоиндикаторы термохромные, жидкокристаллические, плавящиеся, люминофорные, изооптические, действие которых основано на изменении агрегатного состояния, яркости и цвета свечения некоторых веществ;

- пирометры яркостные, цветовые, радиационные, действие которых основано на фотоэлектрической, визуальной и фотографической регистрации интенсивности теплового излучения нагретых тел, пропорционально их температуре;

- тепловизоры с оптико-механическим сканированием, матричные.

В тепловом виде неразрушающего контроля реализуется множество методов в зависимости от условий работы узлов машин и механизмов и поставленных задач.

Вибротепловизионный метод применяется для анализа тепловых полей изделий, работающий в условиях вибрации. В материалах с дефектами структуры под действием вибрации возникают температурные поля, связанные с рассеянием энергии колебаний на дефектах и превращением ее в теплоту за счет внутреннего перегрева в материале. В областях нарушения однородности структуры возникают локальные зоны перегрева объекта. Этот метод позволяет выявить дефекты типа расслоений, несплошностей и т.п. Вибрационное возбуждение объекта контроля реализуется с помощью пьезоакустических и других стандартных средств, позволяющих получить колебания различной частоты с использованием имитаторов дефектов (искусственных дефектов).

Метод тепловой томографиизаключается в визуализации внутренних сечений объекта с помощью тепловых эффектов. Его реализуют импульсным облучением объекта контроля плоским равномерным пучком излучения и последовательной регистрацией «тепловых отпечатков» дефектов или неоднородностей теплофизических параметров контролируемой структуры на противоположной стороне изделия с помощью быстродействующего тепловизора.

Вихретоковый метод основан на радиоимпульсном возбуждении металлических объектов полем индуктора, приеме теплового отклика приповерхностным преобразователем во время и после теплового воздействия и анализе амплитудно-временной информации. С помощью данного метода возможна тепловая толщинометрия ферромагнитных и тонкостенных изделий, изделий с грубой поверхностью. Нагрев изделия целесообразно регистрировать с помощью бесконтактного пирометрического датчика.

Методы теплового контроля на основе термофотоупругости используются в современных лазерных технологиях с применением высокопрозрачных оптических кристаллов. Реализация методов осуществляется с помощью измерителей слабого оптического поглощения, в которых использован эффект фототермоупругости. Луч СО2 лазера в течение 3÷5 с направляется через исследуемый участок кристалла. За счет поглощения излучения в материале возникают температурные градиенты, которые, в свою очередь, становятся источниками температурных напряжений, наводящих в объекте контроля двулучепреломление, измеряемое с помощью фотоэлектрического инфракрасного полярикона. Сигнал полярикона при соответствующей калибровке пропорционален значению показателя поглощения.

Тепловизионные методы контроля влажности позволяют дистанционно, наглядно и оперативно определять места скопления влаги в объектах по термографическому изображению. Наличие влаги в пористых объектах с развитой поверхностью обусловливает интенсивный процесс испарения за счет инфильтрации воды из подповерхностных областей материала. Процесс испарения сопровождается уменьшением температуры поверхности объекта, что отображается на термограмме.

Как правило, используют тепловизионные методы в сочетании с традиционными методами измерения влажности или с инфракрасной рефлектометрией, реализуемой с помощью инфракрасных лазеров или других источников.

Фазовая термография применяется для контроля тонких пленок, различных покрытий. Сущность ее заключается в следующем: при сканировании объекта сфокусированным лазерным пучком, перемещение которого синхронизировано с разверткой инфракрасной камеры тепловизора, регистрируют фазовые термограммы, т.е. зависимость от времени изменения температуры в каждой точке термограммы. Обычно используют быстродействующие тепловизоры в сочетании с быстродействующими процессами, буферными запоминающими устройствами и персональными компьютерами. Для нагрева используют лазеры на СО2, СО, аргоновые лазеры.

Фототермоакустические методы основаны на регистрации температурных и акустических полей, возникающих под воздействием лазерного излучения на поверхности исследуемого образца, по которым можно судить о структуре и параметрах изделия. Поглощение лазерного импульса приводит к нестационарному повышению температуры поверхностного слоя как поглощающей, так и прозрачной среды. При этом возбуждаются акустические волны в обеих средах.

Для реализации методов фототермоакустики используются светорассеивающие, радиоактивные порошки, термопары, термисторы, пироэлектрические пленки, инфракрасные радиометры.

Существенно повысить безопасность движения и сократить затраты на тех­ническое обслуживание и ремонт локомотивов по­зволяет использование термодиагностики с применением термоиндикаторов (обратимой и необратимой краски), встроенных термодатчиков, пирометров и особенно инфракрасной (ИК) термографии.

Инфракрасная термография (ИК) играет все более важную роль при обслуживании энергетического и теплового технологического оборудования. Этот метод получения изоб­ражения (термограмм) в невоспринимаемом глазом тепловом излучении, испускаемом объектами, целесообразно использовать и при контроле оборудования локомотивов, так как позволяет без соприкосновения с объектом выявлять чрезмерно нагретые механические и электрические компоненты, что нередко предшествует отказам [4].

В основном, ИК освидетельствование электрооборудования выявляет нарушения электрического контакта в цепи. Современные термографические системы на основе пор­тативных ИК камер обладают функциями записи изображений, сбора, хранения и обработки данных. Новые версии программного обеспечения фирм-производителей данного оборудования позволяют нормализовать несколько термограмм, приводя к общему температурному уровню все цветоучастки различных сегментов «мозаики». Это дает возможность сравнивать результаты текущих съемок с ранее накопленными данными.

Чрезмерное выделение тепла в механических узлах может вызываться трением в неисправных подшипниках, неудовлетворительной смазкой, разрегулировкой, неправильной эксплуатацией и просто нормальным износом. В электрических цепях горячие пятна, как правило, возникают из-за плохого контакта, замыканий, перегрузки, плохой изоляции, окисления или коррозии соединений. С увеличением нагрузки разность температуры горячего пятна и других элементов электрических цепей увеличивается. Если перегрев будет выглядеть как равномерное повышение температуры по всей длине проводника, то это связано с изменением тока и не свидетельствует о дефекте.

Особое преимущество ИК термографии заключается в существенном сокращении времени контроля, так как этот метод позволяет за одно измерение получать интегральное распределение температуры в определенной области. Для объективной оценки необходимо установить предельные значения температур, по крайней мере, два сиг­нальных уровня: «поставить под наблюдение» и «принять незамедлительные меры».

Программное обеспечение современных термографов позволяет знать максимальную, минимальную и среднюю температуры в поле кадра, записывать отдельные термограммы, измерять температуры в заданных точ­ках, выбирать различные палитры и строить изотермы, график температурных изменений во времени, распечаты­вать термограммы и отчеты.

Средства инфракрасной термографии позволяют выявлять следующие повреждения локомотивов:

*1 по крышевому оборудованию:*

1.1 разрушение и пробой изоляции опорных изоляторов;

1.2 перекрытие и нагрев витков дросселей помехоподавления;

1.3 плохой контакт шин и шунтов на крыше и в межкузовном пространстве;

*2 по аккумуляторным батареям:*

2.1 слабое крепление перемычек между элементами;

2.2 нарушение изоляции элемента относительно «земли»;

*3 по тяговым трансформаторам:*

3.1 недостаточное охлаждение масла в радиаторах;

3.2 межвитковое замыкание;

3.3 ослабление соединений;

*4 по тяговым двигателям:*

4.1 межвитковые замыкания в обмотках возбуждения;

4.2 коллекторно-щеточный узел;

4.3 внутренние соединения двигателей;

4.4. эффективность охлаждения;

4.5 качество насадки малой шестерни и большого зубчатого колеса методом «тепловой волны»;

4.6 моторно-осевые и моторно-якорные подшипники;

4.7 задевание зубчатыми колесами кожухов зубчатой передачи;

*5 по сглаживающим реакторам:*

5.1 витковые замыкания;

5.2 эффективность охлаждения;

5.3 соединения шинного монтажа;

5.4 выпрямительные установки;

5.5 потери классности тиристоров и диодов;

5.6 эффективность охлаждения;

*6 по буксовым узлам, низковольтному оборудованию, цепям управления:*

6.1 состояние подвижных и неподвижных контактов (прилегание, нажатие, крепление);

6.2 потери классности диодов;

6.3 витковые замыкания, нарушение контактов выводов трансформаторов малой мощности.

Анализ порч электровозов показывает, что до 70 % общего числа обусловлены выходом из строя электрической аппаратуры, тяговых двигателей, вспомогательных машин, буксовых узлов и моторно-осевых подшипников. Практически во всех случаях выход из строя узла сопровождается повышением его температуры или составляющих деталей, т.е. они могут быть выявлены до развития необратимых последствий. Таким образом, тепловой контроль оборудования в процессе эксплуатации позволит существенно повысить безопасность движения, уменьшив одновременно случаи неплановых ремонтов.

Так как термоизмерения с применением ИК камер относительно дороги в связи с высокой стоимостью термокамер (15÷20 тыс. долларов − отечественные камеры, 25÷60 тыс. долларов − зарубежные), наиболее рационально проводить измерения централизованно, в рамках службы технической диагностики.

По результатам предварительного анализа обследований локомотивов можно выделить следующие возможные направления применения тепловизора при изучении состояния локомотивов в условиях депо:

- сплошной контроль на выходе с текущего ремонта всего электромашинного оборудования;

- сплошная проверка после поступления на ПТОЛ − обследование силовой части электрооборудования и элементов системы управления;

- сплошной контроль локомотивов в основном депо − проверка подшипниковых узлов (совместная вибро- и термодиагностика);

- контроль топливной системы тепловозов (работа насосов высокого давления, форсунок, температура выхлопных коллекторов);

- обследование силовой части электрооборудования и элементов системы управления после проведения обкаточной поездки;

- периодический (сезонный) контроль локомотивов − проверка секций водяного охлаждения при осеннем комиссионном осмотре тепловозов;

- контроль масляных секций охлаждения тяговых трансформаторов и дизелей при весеннем комиссионном осмотре;

- одноразовый контроль отдельных элементов оборудования в связи с повышением уровня их отказов.

Результаты экспериментальных работ показали, что наиболее эффективно тепловизионную диагностику можно использовать при осмотре локомотивов на пунктах технического обслуживания перед постановкой их на техническое обслуживание и при испы­таниях на выходе после ремонта. Для этого необходим миниатюрный переносной прибор сравнительно невысокой стоимости, информация с которого может передаваться в компьютерную базу данных.

В последующем должны быть автоматизированы обработка и анализ при использовании современных программных средств. Необходимо разработать также техно­логию тепловизионного контроля, регламентирующую маршруты и позиции контроля, а также режимы испыта­ния локомотивов при обслуживании и после ремонта. В рамках создания технологии тепловизионного контроля следует обобщить сведения о допустимых температурных режимах элементов электромашинного оборудования, влиянии на них эксплуатационных факторов.

В процессе экспериментальных тепловизионных измерений открываются новые направления термографии при диагностике различных узлов локомотивов. Кроме того, весьма перспективным является ее применение для контроля объектов деповского хозяйства, анализа теплопотерь в цехах и их коммуникациях, для диагностики состояния станочного парка и иного оборудования, проверки электрокаров, электропогрузчиков, электрокранов, контроля электрической проводки и распределительных щитов, коммутационной аппаратуры хозяй­ственного назначения в цехах и др.

Информационное обеспечение

1 Исмаилов Ш.К., Смирнов В.П., Худоногов А.М. [Электронный ресурс]: Диагностирование изоляции тяговых электродвигателей локомотивов и обеспечение оптимального температурно-влажностного режима ее эксплуатации: учеб. пособие − ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. − 270 с.ISBN 978-5-89035-609-3.-Режим доступа: [<http://e.lanbook.com/>.](http://znanium.com)

2 Зеленченко, Алексей Петрович. Диагностические комплексы электрического подвижного состава [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов , обучающихся по специальности "Подвижной состав железных дорог" / А. П. Зеленченко, Д. В. Федоров. - М. : ФГБОУ "Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2014. - 112 с. : рис., табл. - 1000 экз. - ISBN978-5-89035-749-6 (в пер.) -Режим доступа: [<http://e.lanbook.com/>.](http://znanium.com)

3 Четвергов, В.А. Техническая диагностика локомотивов [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов / В.А. Четвергов, С.М. Овчаренко, В.Ф. Бухтеев. − Электрон. дан. − М. : УМЦ ЖДТ (бывший Маршрут), 2014. − 372 с. − Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\_id=59135

4 В мире неразрушающего контроля [Электронный ресурс]: ежеквартальное журнальное обозрение. – С-Пб.: ЗАО «Свен»,2009 - (С-Пб.) . - Выходит ежеквартально. - ISSN 1609-3178 Режим доступа: <http://ronktd.ru/information-policy/v-mire-nk/>

5 Локомотив [Электронный ресурс]: ежемесячный производственно-технический и научно-популярный журнал. - М.: ОАО "Российские железные дороги", издается с января 1957 г. - (М.) . - Выходит ежемесячно. - ISSN 0869-8147. - Режим доступа: <http://elibrary.ru>

6 Вестник ВНИИЖТ [Электронный ресурс]: научно-технический журнал. - М.: Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта, 1942 - (М.) . - Выходит ежемесячно. - ISSN 0869-8163 Режим доступа: http://www.vniizht.ru/

**Лапицкий Василий Николаевич, преподаватель**

**Черданцев Артём Владимирович, обучающийся**

**Тайгинский институт железнодорожного транспорта - филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный университет путей сообщения»**