



ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ технического диагностирования механического оборудования

Несмотря на большое количество современных методов диагностики и контроля работы оборудования, органолептические, основанные на анализе информации, воспринимаемой органами чувств человека, до сих пор имеют широкое распространение. Вопреки кажущейся примитивности, они являются достаточно эффективными (даже в сравнении с приборными методами) и не требуют серьезных вложений средств. Но в случае их применения большое влияние имеет субъективный фактор и, прежде всего, квалификация персонала. Поскольку в настоящий момент существует проблема преемственности в передаче знаний,

Сидоров В.А., к.т.н., доцент кафедры «Механическое оборудование заводов черной металлургии»,
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

2. КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ

Является важным аспектом оценки технического состояния механического оборудования. До 95 % всех форм энергии, создаваемой и передаваемой машинами прямо или частично, превращается в тепловую энергию. Параметром теплового диагностирования является температура, отражающая протекание рабочего процесса и развитие целого ряда неисправностей.

Температура нагрева корпусов механизмов, как диагностический параметр, имеет две особенности: появление некоторых видов неисправностей вызывает повышение температуры корпуса механизма; инерционность нагрева металлических деталей, корпусов и опор не позволяет использовать данный параметр для определения внезапных отказов и зарождающихся повреждений. Правила технической эксплуатации регламентируют предельную температуру корпусов подшипников, которая не должна превышать температуру окружающей среды более чем на 40 °С и быть не выше 60–80 °С. Для некоторых механизмов, имеющих циркуляционную систему смазки или охлаждения, оценивают разницу температур масла или воды на выходе и входе. Это позволяет контролировать тепловые процессы, общее состояние оборудования, а также степень его ухудшения. Обычно разница температур на выходе и входе не должна превышать 5–10 °С.

Пределом для непосредственного восприятия является температура 60 °С — выдерживаемая тыльной стороной ладони без болевых ощущений в течение 5 с. Использование дополнительных средств — брызг воды позволяет контролировать значения 70 °С — видимое испарение пятен воды и 100 °С — кипение воды внутри капли на поверхности корпусной детали.

ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ, ВЫЗЫВАЮЩИЕ ПОВЫШЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ:

- 1) дефекты системы смазывания: недостаточное или избыточное количество смазки; загрязнение смазки; неверно выбран смазочный материал;
- 2) повреждения подшипников качения: износ или повреждение колец или тел качения, разрушение сепаратора, проворачивание подшипника на валу или в корпусе;
- 3) дефекты изготовления и сборки: отсутствие осевых зазоров, малый радиальный зазор, дефекты корпусных деталей, защемление наружного кольца подшипника;
- 4) дефекты регулировки: подшипник сильно зажат, перекос подшипника или вала, неправильное центрирование электродвигателя с приводом;
- 5) повреждения уплотнительных устройств;
- 6) повреждения системы охлаждения: недостаточная подача охлаждающей воды, высокая температура воды на входе.

Расширить диапазон субъективно воспринимаемых температур возможно при помощи зрительного восприятия используя **цвета каления и цвета побежалости** (рис. б).

Степень нагрева детали или заготовки при термической обработке, например, во время закалки, может быть определена по цвету каления. Цвета каления и соответствующие температуры (°С) для стальных изделий: темно-коричневый, слабое свечение в темноте — 530–580; коричнево-красный — 580–650; темно-красный — 650–730; темно-вишневый-красный — 730–770; вишнево-красный — 770–800; светло-вишнево-красный — 800–830; светло-красный — 830–900; оранжевый — 900–1050; темно-желтый — 1050–1150; светло-желтый — 1150–1250; ярко-желтый — 1250–1300. Указанные цвета могут несколько изменяться по отношению к конкретным маркам сталей, однако характер изменения цветности остается неизменным.

Цвета побежалости предоставляют информацию о степени нагрева детали во время поломки, перед отпуском или о перегреве детали во время сборки. Цвета побежалости углеродистой стали не совпадают с цветами побежалости коррозионностойких и жаропрочных сталей. Это следует учитывать при различении температуры (табл. 1).

Оборудованием, позволяющим повысить точность определения температуры контролируемого объекта при субъективном

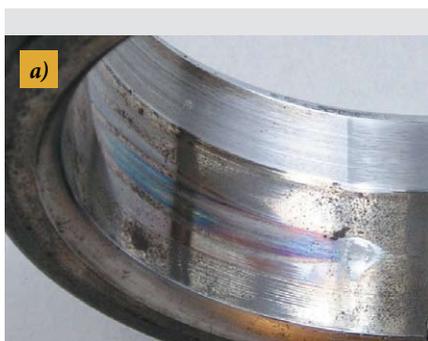


Рис. 6 Цвета побежалости на посадочной поверхности внутреннего кольца подшипника при схватывании и провороте (а); изменение цветов каления при охлаждении непрерывно-литой заготовки на холодильнике МНЛЗ (б)

восприятию являются термоиндикаторы (жидкокристаллические и плавящиеся) и термосвидетели.

Жидкокристаллические термоиндикаторы — органические соединения, обладающие свойствами жидкости (текучесть) и твердого кристаллического тела (анизотропия, двойное лучепреломление). При изменении температуры жидкий кристалл меняет цвет. Выпускаются в виде пленок или жидких растворов.

Плавящиеся термоиндикаторы выпускают в виде термокарандашей, термолаков, термopорошков. Изготавливаются на основе воска, стеарина, парафина или соединений серы, цинка, свинца (для высоких температур). На поверхности изделия термокарандашом наносят риску, которая плавится и меняет цвет при достижении заданной температуры. Действие термолаков аналогично.

Термосвидетели — комплект пластинок из металлов, плавящихся при различных температурах.

3. ВОСПРИЯТИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Наибольшая чувствительность при воздействии вибрации на человека наблюдается при частоте 100–300 Гц. Распознать частоту колебаний практически невозможно, если это колебания происходят с частотой свыше 5 Гц. Однако, человек ощущает дискомфорт,

Цвета побежалостей сталей

Температура, °С	Цвет побежалости			
	Углеродистая сталь	12Х18Н9Т	ХН75МВТЮ	ХН77ТЮР
220	Светло-желтый			
240	Темно-желтый			
255	Коричнево-желтый			
265	Коричнево-красный			
275	Пурпурно-красный			
285	Фиолетовый			
295	Васильково-синий			
300		Светло-соломенный		
315	Светло-синий			
330	Серый			
400		Соломенный	Светло-желтый	
500		Красно-коричневый	Желтый	Светло-соломенный
600		Фиолетово-синий	Коричневый	Фиолетовый
700		Синий	Синий	Синий
800			Голубой	Голубой

находясь рядом с машиной, генерирующей частоты, совпадающие с резонансными частотами частей человеческого тела. При повреждениях, из-за нарушения гармоничности колебаний, появления диссонанса эта чувствительность усиливается.

Каждая часть тела человека имеет диапазоны резонансных частот: глаза — 12–27 Гц, грудная клетка — 2–12 Гц, горло — 6–27 Гц, ноги и руки — 4–27 Гц, поясничная часть позвоночника — 4–14 Гц, живот — 4–12 Гц. Кожа имеет наибольшую чувствительность при частоте вибрации 100–300 Гц. Эти резонансные зоны меняют свои диапазоны при изменении положения тела человека.

Если колебания настолько редки, что глаз различает каждое из них в отдельности, то частота определяется подсчетом полных колебаний за некоторый промежуток времени. С уменьшением размаха колебаний точность глазомерного восприятия уменьшается. Частота колебаний в диапазоне 25–100 Гц позволяет различить малые амплитуды до 0,1 мм.

Часто используются различные **методы визуализации механических колебаний**.

Практически можно определить размах больших колебаний (5 мм и выше) по отбрасываемой объектом тени на экран в пучке параллельных либо расходящихся лучей.

Характер прямой линии, проведенной по бумаге, лежащей на корпусе механизма, позволяет качественно оценить частоту и интенсивность колебаний (рис. 7). При этом регистрируются колебания в направлении, перпендикулярном направлению движения карандаша. Скорость перемещения карандаша должна быть как можно более постоянной.

Для сравнения размаха колебаний различных узлов механизма, колеблющихся в вертикальной плоскости возможно использование мелких вспомогательных предметов. Различное поведение монет, гаек, шайб, песка в различных местах механизма поможет выявить

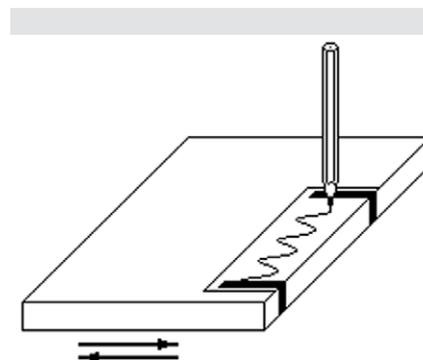


Рис. 7 Пример «ручной» записи механических колебаний

узлы с наибольшей вибрацией. Характерный пример — установка монет на ребро. Однако данный индикатор нечувствителен к высокочастотным колебаниям.

В случае необходимости регистрации относительно больших амплитуд колебаний (0,5–10 мм) с точностью до 0,5 мм при малой частоте (10–20 Гц) возможно применение мерного клина. При вибрации, происходящей с частотой 8 Гц и выше в направлении перпендикулярном колебаниям (рис. 8), глаз сохраняет способность зрительного восприятия всех положений клина и четко видит точку пересечения крайних положений клина на расстоянии l от начала треугольника. Если размах колебаний s , высота клина h и основание L , то из подобия треугольников:

$$l = s \cdot L / h.$$

Основание клина должно быть отградуировано и оцифровано в миллиметрах размаха или амплитуды механических колебаний, (размах колебаний соответствует двойной амплитуде колебаний). Чем больше высота h , тем большие амплитуды можно измерять клином. Наименьшие амплитуды (около 0,1 мм)

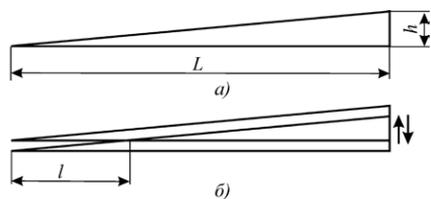


Рис. 8 Измерение амплитуды колебаний мерным клином

можно измерять мерным клином с высотой $h = 5$ мм и основанием $L = 100$ мм. Выбирать h еще меньше нецелесообразно.

Мерный клин (рис. 9) наклеивается на исследуемый объект. Наличие пространственных компонентов вибрации, действующих перпендикулярно к измеряемой плоскости, может исказить результат. Поэтому мерный клин применяется главным образом для измерения прямолинейной вибрации, в частности колебаний: сит, грохотов, вибростендов.

Жидкостные виброскопы. Поверхность жидкости, в резервуаре, установленном или соединенном с вибрирующим объектом, приобретает заметную волнистость. Характер волн определяется частотой колебаний, а высота волны зависит от амплитуды колебаний. Иногда такие наблюдения позволяют сделать предварительные выводы о параметрах вибрации. Например, при боковом освещении поверхности воды можно обнаружить наличие вибрации при амплитудах менее 10 мкм без дополнительного увеличения.

4. ВИЗУАЛЬНЫЙ ОСМОТР

Такой метод контроля состояния оборудования широко используется при проведении осмотров и ревизий машин и механизмов. Этот метод позволяет, как прямым путем обнаружить неисправность, так и косвенным подтвердить наличие повреждения или дефекта. Необходимо отметить отсутствие приборов и средств, способных реализовать функции, выполняемые человеком при визуальном осмотре. Отличительной особенностью визуального осмотра являются трудности при формализации процесса и решения задачи распознавания.

Визуальный осмотр проводится исходя из возможностей человеческого зрения. Основным недостатком человеческого глаза является то, что при малой освещенности ему не помогают лучшие оптические приборы. Чаще всего осмотр проводится в условиях худшей освещенности, чем при дневном свете. Значения освещенности для выполнения визуального осмотра — 1000–2000 лк. Человеческий глаз эффективно приспособляется к различной освещенности, глазу требуется от 10

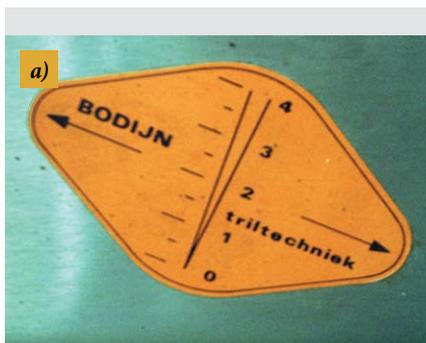


Рис. 9 Установка мерного клина (а) для измерения амплитуды колебания вибрационного дозатора (б)

до 15 минут для адаптации к изменению освещенности. Зрение позволяет воспринимать форму, цвет, яркость и движение предметов. Человек около 90 % информации получает благодаря зрению.

На расстоянии наилучшего зрения (25 см) нормальный человеческий глаз способен различить две точки, отстоящие одна от другой на 0,07 мм. В условиях оптимального освещения при хорошей контрастности человек способен оценить размер порядка 40 мкм. Порог остроты зрения при нормальной яркости объекта соответствует примерно 1'. Оптимальное условие различения объекта происходит при 30–40'. Наибольшую чувствительность глаз имеет по отношению к волнам, лежащим к волнам в середине спектра видимого света — 500–600 нм. Этот диапазон соответствует излучению желто-зеленого цвета.

Необходимо отметить субъективность восприятия зрительной информации. Человек видит то, что знает. Незнакомые, неопознанные мозгом предметы остаются вне поля зрения. Поэтому важнейшим вопросом является определение диагностических, различаемых особенностей осматриваемой поверхности. По отношению к металлическим деталям таким диагностическим признакам соответствуют: цвет, форма, сплошность, шероховатость поверхности.

Трещины — это разрывы, преимущественно двухмерного характера. Ограничивающие поверхности трещин часто располагаются перпендикулярно к поверхности

детали. **Абразивный износ** — участки с повышенной шероховатостью вдоль направления действия абразива. **Цвета побежалости** — дефект поверхности в виде пятнистой (от желтого до синевато-серого цвета) окисной пленки. **Пятна ржавчины** — дефект поверхности в виде пятен или полос с рыхлой структурой окисной пленки. **Вмятины** — дефект поверхности в виде произвольно расположенных углублений различной формы, образовавшихся вследствие повреждений и ударов поверхности. **Риска** — дефект поверхности в виде канавки без выступа кромок с закругленным или плоским дном, образовавшийся от царапания поверхности металла. Могут быть тонкими и широкими.

При трении и изнашивании возникает ряд явлений и процессов, повреждающих и разрушающих поверхности деталей. **Схватывание при трении** — явление местного соединения материалов сопряженных поверхностей вследствие взаимодействия молекулярных сил. **Перенос металла** — явление, состоящее в местном соединении материалов сопряженных поверхностей, последующем его отрыве и переходе материала на другую поверхность. **Заедание** — процесс возникновения и развития повреждений поверхностей трения вследствие схватывания и переноса материала. **Задир** — повреждение поверхности в виде широких и глубоких борозд в направлении скольжения. **Царапание** — образование углублений на поверхности трения в направлении скольжения при воздействии выступов твердого тела или твердых частиц с рабочей поверхностью детали. **Отслаивание** — отделение с поверхности трения материала в форме чешуек. **Выкрашивание** — отделение с поверхности трения материала, приводящее к образованию углублений на поверхности трения. Сложным является не только распознавание характера повреждения, но и построение логических причинно-следственных цепочек появления повреждений.

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ ПРИ ВИЗУАЛЬНОМ ОСМОТРЕ:

определение причин и характера разрушения и износа деталей по виду поверхности износа или излома; обнаружение трещин корпусных деталей, опор или основания; контроль поступления смазочного материала либо отсутствие подтеканий масла; контроль биений валов, муфт, затяжки резьбовых соединений.

Операции по контролю поступления смазки зависят от способа подачи смазочного материала к узлам механизма. При этом контролируется и отсутствие подтеканий масла — признака определяющего избыток смазки, неисправность уплотнений или ослабление резьбовых соединений. Биения вала возникают при повреждениях подшип-

ников, а биения муфт свидетельствуют либо об их повреждениях или о неправильной центровке валов.

Колебания масляной или водной пленки, появление пузырей в местах соединений деталей — результат ослабления резьбовых соединений. На это указывает и появление порошка красного цвета (окиси железа), появляющегося в местах относительного перемещения деталей из-за насыщения поверхностных слоев металла кислородом, при воздействии растягивающих напряжений. Наличие четкой разделительной линии между корпусом механизма и фундаментом, определяет необходимость затяжки резьбовых соединений.

К визуальным методам может быть отнесен и метод диагностирования редукторов по значению мертвого хода. При неподвижном выходном вале проворачивают входной до выбора зазоров в зубчатых передачах и по значению угла поворота входного вала судят о степени износа зубьев.

К недостаткам визуальных методов можно отнести: малую вероятность обнаружения мелких поверхностных дефектов, зависимость результатов осмотра от субъективных факторов и условий контроля. Тем не менее, простота методов контроля, малая трудоемкость, возможность осмотра больших площадей и достаточная информативность делает их незаменимыми при контроле технического состояния оборудования. Данные методы предваряют оценку технического состояния, использование методов неразрушающего контроля, являясь основным аргументом наличия повреждений либо дефектов.

Визуальный контроль с использованием оптических приборов называют визуально-оптическим. Эти методы наиболее доступны и просты при обнаружении поверхностных дефектов и осмотра внутренних поверхностей. Разборка механизмов для осмотра требует значительных затрат средств и ресурсов. Для обнаружения повреждений в труднодоступных местах применяют специальные оптические приборы — технические эндоскопы.

Использование эндоскопов позволяет повысить эффективность ремонтных воздействий при общем снижении затрат на ремонт. Данный прибор поможет избежать излишней разборки и замены узлов и деталей, позволяя определить участки, где это необходимо. С помощью эндоскопа возможно получение предварительных сведений о времени и объеме требуемых работ. Эндоскоп в переводе с греческого: endon — внутри и skopeo — рассматривать. Эндоскопы разделяются на гибкие и жесткие. Бороскоп (borescope) в иностранной литературе это жесткие эндоскопы. Фиброскоп, флексоскоп — англоязычные названия гибких эндоскопов от fiber — волокно, flexible — гибкий.



Рис. 10 Технические эндоскопы: а) бороскоп; б) фиброскоп

Основа эндоскопа — оптическая система, состоящая из рабочей части с оптическими волокнами или линзами, с помощью которых изображение передается от объекта к окуляру прибора. Чтобы сделать изображение видимым, изучаемый объект необходимо осветить. Для этого применяют осветительную систему — осветитель с источником света и световодный кабель для передачи света от осветителя к объекту (рис. 10). Диапазон возможных исполнений эндоскопов весьма широк. Рассмотрение технических характеристик этого оборудования может составить тему отдельной статьи.

Основной областью применения эндоскопов является осмотр внутренних полостей механизмов: редукторов, трубопроводов, гидро- и пневмоцилиндров, двигателей внутреннего сгорания, турбин, компрессоров, газотурбинных, электрических двигателей, турбогенераторов, котлов, теплообменников. Диагностическими признаками деталей данных механизмов являются: трещины, задиры, следы схватывания поверхности, коррозия. Количество выявляемых с помощью эндоскопов дефектов и повреждений увеличивается в несколько раз по сравнению с традиционными методами.

Для осмотра в динамическом режиме используется, стробоскопический эффект для «остановки» вращающейся осматриваемой поверхности. Известны механические и электронные стробоскопы.

Человеческий глаз сохраняет зрительное восприятие в течение приблизительно 0,1 секунды. Поэтому, при наблюдении быстровращающихся или колеблющихся тел глаз не может уловить последовательность изменения фаз процесса. Наблюдатель в этом случае «видит» как одно целое всю область пространства, ограниченную крайними положениями

тела. Если колеблющееся или вращающееся тело освещать очень короткими (по сравнению с периодом обращения тела) вспышками так, чтобы зрительное восприятие за промежутки между вспышками не успевало пропадать, то глаз будет воспринимать процесс не в реальной последовательности фаз, а в той последовательности, в которой он наблюдает процесс в моменты времени, «остановленные» светом.

Например, при освещении периодическими вспышками вращающегося предмета точно через промежутки времени, равные периоду вращения, глаз будет фиксировать предмет всегда в одном и том же положении, и наблюдателю предмет покажется остановившимся. Это явление используется для осмотра быстровращающихся деталей, определения истинной частоты вращения, для различения биений муфт, валов.

Аппарат, создающий периодические вспышки, называется стробоскопом. Конструкция стробоскопа представляет собой газосветную лампу, помещенную в центре светоотражательного рефлектора. Включение лампы происходит от генератора электрических импульсов с регулируемой частотой (рис. 11). Стробоскоп позволяет проводить измерения сдвига фаз колебаний относительно отметки на вращающемся неуравновешенном роторе. Такое использование стробоскопа находит широкое применение при балансировке роторов на балансировочных станках и в собственных подшипниках.



Рис. 11 Стробоскоп TMRS 1 производства фирмы SKF

Электронные стробоскопы (рис. 12) выдают яркие вспышки, дающие возможность освещать inspected устройство на расстоянии, обеспечивая широкую видимую область. Диапазон до 12500 вспышек в минуту обеспечивает широкий диапазон использования. Частота вспышек настраивается оператором. Наличие функции сдвига фазы позволяет «замораживать» движение в положении, рекомендованном для инспектирования оборудования, совершающего возвратно-поступательное или вращательное движение, без остановки машины.

В качестве стробоскопа может использоваться вращающийся диск с секториаль-



Рис. 12 Электронные стробоскопы

ной прорезью (рис. 13). Стробоскопический эффект достигается за счет совпадения скорости вращения изучаемого объекта и скорости вращения диска, позволяющего осматривать объект через равные промежутки времени.

Увеличители и вспомогательное оборудование. Визуальный осмотр можно производить при небольшом увеличении ($\times 2$, $\times 4$, $\times 6$, $\times 10$) с использованием широко распространенных приборов — измерительных луп с фиксированным фокусным расстоянием и осветителем, переносных измерительных микроскопов с увеличением $\times 20$, $\times 40$, $\times 80$, $\times 100$.

Таким образом, мы рассмотрели основные направления и диагностические признаки органолептических методов распознавания технического состояния. Действительный арсенал возможностей человека как диагностического «прибора» гораздо шире. К сожалению, данный опыт, накопленный многими поколениями механиков, может исчезнуть. Сейчас прерывается преемственность в передаче знаний, что должно быть восполнено обобщением ранее используемых методов контроля технического состояния в статьях,

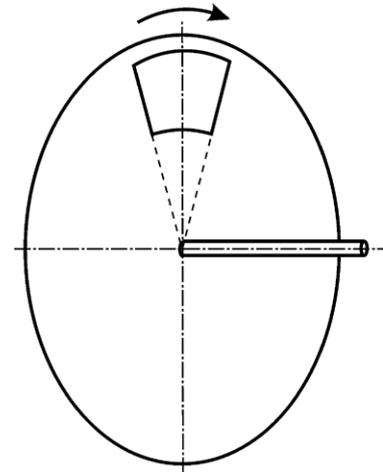


Рис. 13 Диск стробоскопа с секториальной прорезью

наставлениях, инструкциях, учебниках. Эффективность органолептических методов сравнима с эффективностью приборных методов диагностирования и определяется степенью использования полученной информации о техническом состоянии. 

ВЫСТАВКА