



# ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

## технического диагностирования механического оборудования

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

Несмотря на большое количество современных методов диагностирования и контроля работы оборудования, органолептические методы, 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, особое значение имеют обобщение и систематизация накопленного ранее опыта в области органолептических методов контроля технического состояния.

### Английская аннотация

Решение данной задачи возможно при субъективном восприятии информации о техническом состоянии механического оборудования или путем анализа объективной информации (значений диагностических параметров), полученных приборными методами. Оптимальным является рациональное сочетание субъективного мнения и объективных данных о состоянии оборудования. И в том и в другом случае необходима высокая квалификация специалиста, принимающего решение о необходимости проведения ремонта.

Практический опыт показывает, что невозможно заменить механика с его субъективизмом, основанном на знании особенностей эксплуатации и ремонта оборудования. Субъективное восприятие информации о техническом состоянии механического оборудования, базируется на использовании органолептического метода. Этот метод является первым уровнем решения задач диагностирования и позволяет повысить точность диагноза в случае использования приборных методов.

**Органолептический** (органо- + греч. *leptikos* — способный взять, воспринять) метод — основан на анализе информации, воспринимаемой органами чувств (зрения, обоняния, осязания, слуха, вкуса) без применения технических измерительных или регистрационных средств. Эта информация не может быть представлена в численном выражении, а основывается на ощущениях генерируемых органами чувств человека. Решение относительно

объекта контроля принимается по результатам анализа чувственных восприятий.

Поэтому точность метода зависит от квалификации, опыта и способностей лиц, проводящих диагностирование. При органолептическом контроле могут использоваться технические средства, повышающие разрешающие способности или восприимчивость органов чувств (лупа, микроскоп, слуховая трубка и т.п.), не являющиеся измерительными.

Принятие решения имеет характер «соответствует — не соответствует» и определяется диагностическими правилами типа «если — то», имеющими конкретную реализацию для узлов механизма. Практически, происходит оценка состояния оборудования по двухуровневой шкале — продолжать эксплуатацию или необходим ремонт. Объем информации о техническом состоянии — минимально необходимый.

Основная цель — обнаружение отклонений от работоспособного состояния механизма. Решение о техническом состоянии механизма принимает технологический или ремонтный персонал, обслуживающий оборудование на основании опыта и производственной ситуации. Принимается решение об остановке оборудования для визуального осмотра и последующего ремонта или продолжения эксплуатации.

**Основные органолептические методы**, используемые при оценке технического состояния механического оборудования.

#### 1. Анализ шумов механизмов

Происходит по двум направлениям:

Современное механическое оборудование, работающее в составе технологических линий промышленных предприятий, должно удовлетворять высоким требованиям надежности, в первую очередь показателям безотказности. Отказ одного из элементов приводит к остановке или нарушению технологического процесса. Поэтому, возникновение повреждения, предваряющее ускоренный износ элементов оборудования должно быть обнаружено и устранено на самых ранних стадиях.

1.1 Акустическое восприятие, позволяющее оценивать наиболее значимые повреждения, меняющие акустическую картину механизма. Весьма эффективно при различении повреждений муфт, определении дисбаланса или ослабления посадки деталей, обрыве стержней ротора, ударах деталей. Диагностические признаки — изменение тональности, ритма и громкости звука.

1.2 Анализ колебаний механизмов. В этом методе механические колебания корпусных деталей преобразуются в звуковые колебания при помощи технических или электронных стетоскопов. Предпринимаются попытки расширить возможности человеческого восприятия, используя электронные средства.

### 2. Контроль температуры

Позволяет оценить степень нагрева корпусных деталей по уровням «холодно», «тепло», «горячо». «Холодно» — температура менее +20°C, «тепло» — температура +30...40°C, «горячо» — температура свыше +50°C. Возможно расширение диапазонов воспринимаемых температур.

### 3. Восприятие вибрации

Основано на тактильном анализе, как и контроль температуры. Значения параметров вибрации субъективно оценить затруднительно. При возможности сравнительного анализа точность оценки амплитуды вибрации не превышает 20%. Абсолютная оценка практически всегда содержит грубые ошибки из-за нераспознанного спектрального состава вибрации. В высокочастотном диапазоне возможности человека по восприятию вибрации ограничены. Надежным виброметром человек служить не может.

### 4. Визуальный осмотр механизма

Предоставляет большую часть информации о техническом состоянии. Осмотр может проводиться в динамическом режиме (при работающем механизме) и в статическом (при остановленном механизме).

### 5. Методы осязания

Используются при оценке вязкости, пластичности, наличия посторонних включений в смазочном материале, для оценки шероховатости поверхности поврежденных деталей.

## 1. АНАЛИЗ ШУМОВ МЕХАНИЗМОВ

В механических устройствах, степень повреждения определяется по характеру взаимодействия контактирующих деталей. Физическое проявление соударения деталей во время работы реализуется в виде распространения упругих волн акустического диапазона, возникновения механических колебаний (вибраций) и ударных импульсов. Несмотря на единую физическую природу, каждое из этих проявлений имеет свои особенности и различным образом отображает происходящие процессы.

Упругие волны, порождающие акустические колебания имеют частотный диапазон 20–16000 Гц и прослушиваются специалистом,

находящимся рядом с оборудованием. Все слышимые звуки разделяются на шумы и музыкальные звуки. Первые представляют собой непериодические колебания с переменной частотой и амплитудой, вторые — периодические колебания. Между музыкальными звуками и шумами нет четкой границы. Акустическая составная часть шума часто носит ярко выраженный музыкальный характер и содержит разнообразные частоты (тоны), которые легко улавливаются опытным ухом.

### Основными свойствами звука являются: громкость, высота и тембр.

1. **Громкость** зависит от амплитуды колебаний звуковой волны. Сила звука и громкость — неравнозначные понятия. Сила звука объективно характеризует физический процесс, а громкость определяет качество воспринимаемого звука. Сила звука может меняться от слухового порога (порога слышимости) до болевого порога. Для низких частот, громкость воспринимается в большей степени, чем для высоких, при одинаковой амплитуде колебаний звуковой волны. Можно оценивать изменения громкости в 2, 3, 4 раза, оценить увеличение громкости более чем в 4 раза точно не удается.

2. **Высота звука** отражает частоту колебаний звуковой волны. Нижняя граница слуха у человека составляет 15–19 Гц; верхняя — 15000–20000 Гц. Чувствительность уха имеет индивидуальные отклонения. Частоты 200–3500 Гц соответствуют спектру человеческой речи. Минимальная длительность звука, при которой можно оценить спектральный состав акустических колебаний — 20–50 мс. При меньшей длительности звук воспринимается как щелчок.

При воздействии частот выше 15000 Гц ухо становится менее чувствительным, теряется способность различать высоту тона. При 19000 Гц предельно слышимыми оказываются звуки, более интенсивные, чем при 14000 Гц. При повышении интенсивности высоких звуков возникает осязание звука, а затем чувство боли. Область слухового восприятия ограничена: сверху — порогом осязания, снизу — порогом слышимости. Наиболее воспринимаемы звуки в диапазоне 1000 до 3000 Гц. В этой области ухо является наиболее чувствительным. Повышенная чувствительность в области 2000–3000 Гц объясняется собственными частотами барабанной перепонки.

3. **Под тембром** понимают характер или окраску звука, зависящую от взаимоотношения составляющих частот. Тембр отражает акустический состав звука — число, порядок и силу составляющих (гармонических и негармонических). Тембр зависит от того, какие гармонические частоты складываются с основной частотой и от амплитуды составляющих частот. В слуховых ощущениях тембр сложного звука играет значительную роль.

Скорость распространения звуковых волн зависит от плотности среды-проводника. Скорость звука в воздушной среде составляет 340 м/с; в воде — 1500 м/с; в стали — 5000 м/с.

### Основные наблюдаемые отклонения акустических шумов.

Глухие толчки при изменении направления вращения валов механизма соответствуют износу шпоночных или шлицевых соединений, элементов муфт, повышенному зазору в зубчатой передаче.

Слабые стуки низкого тона соответствуют сколам шлицев, ослаблению шпоночного соединения, несоосности соединительных муфт.

Резкий металлический звук сопровождает повреждение соединительных муфт.

Свистящий звук возникает при проскальзывании ремней ременной передачи.

Частые резкие удары соответствуют биениям муфт, а также неправильной сборке карданных валов.

Прослушивание механических колебаний, возникающих при работе механизма, является самым распространенным методом определения состояния работающего оборудования. Механические колебания низкой и средней частоты легко распространяются по корпусным деталям механизма. Для прослушивания механических колебаний используется технический стетоскоп, состоящий из металлической трубки и деревянного (а лучше текстолитового) наушника (рис. 1). Металлическая трубка, установленная на корпусе механизма, позволяет преобразовать механические колебания в акустические, распространяемые по стенкам трубки к наушнику. Этот метод настолько доказал свою надежность, что требования по прослушиванию шумов механизмов включены во все правила технического обслуживания и инструкции по эксплуатации оборудования.

Появление технического стетоскопа последовало после изобретения медицинского стетоскопа — инструмента для выслушивания звуковых явлений, сопровождающих функции органов тела человека. Первым стетоскоп ввел во врачебную практику французский врач Рене Лазнек (1819 г.). Простой твердый стетоскоп — это трубка с двумя воронками на концах, изготовленная из дерева, пластмассы, или металла. Меньшая воронка (рис. 2, верхняя часть устройства) прикладывается к определенному точкам поверхности тела обследуемого человека. К большей (плоской) воронке (рис. 2, нижняя часть устройства) исследователь прикладывает ухо. При этом колебания упругих сред, обусловленные функцией органа, передаются к уху исследователя столбом воздуха, твердой частью стетоскопа и височной костью исследователя (костная проводимость).



**Рис. 1. Технический стетоскоп**  
а) схема; б) общий вид



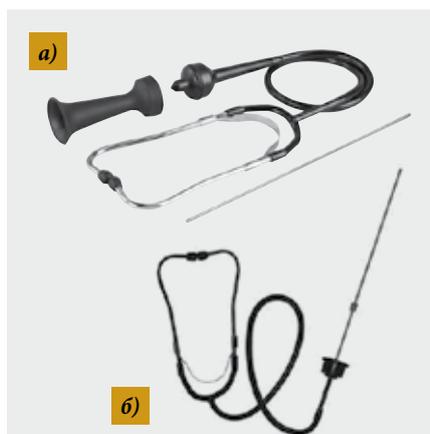
**Рис. 2. Медицинский стетоскоп**

Как всякий инструмент, преобразующий механические колебания в звуковые, технический стетоскоп имеет свои индивидуальные звуковые особенности. Характер преобразования звука техническим стетоскопом зависит от длины, диаметра трубки, толщины стенки, материала, формы наушника. Все это влияет на частоту собственных колебаний стетоскопа. Прослушиваемые шумы, имея свои отличия, в тоже время едины в отображении звуковых картин повреждений механизма. Возможные реализации технических стетоскопов весьма разнообразны (рис. 3). Это оборудование часто используется для прослушивания двигателей внутреннего сгорания автомобилей.

Сейчас при прослушивании шумов, используют электронные стетоскопы (рис. 4). Щуп прибора устанавливается на корпусе механизма. Электрический сигнал, снимаемый с пьезоэлектрического датчика, подается на усилитель звуковой частоты, а затем — в звукозащитные наушники. По частоте и силе звука судят о наличии повреждений в контролируемом механизме и об их характере. Электронные стетоскопы выпускаются многими фирмами, в качестве примера используется продукция фирмы SKF.

К преимуществам электронных стетоскопов следует отнести: высокое качество звука и возможность сосредоточиться на распознавании повреждения благодаря звукозащитным наушникам. Есть и недостатки: регулировка громкости лишает оператора основного преимущества — оценки степени повреждения, кроме того, высококачественные звукозащитные наушники не позволяют услышать предупреждение об опасности в производственном цехе.

Утверждение о возможности использования стетоскопа без подготовки необоснованно. Наиболее сложной задачей является процесс



**Рис. 3. Примеры исполнения технических стетоскопов:**

а) технический стетоскоп GA111C для прослушивания машинных шумов и стуков, имеет диафрагму звукового усиления; б) технический стетоскоп КА-6323 для прослушивания шумов в механической части двигателя, трансмиссии.

распознавания шумов и определения видов повреждений. Этот процесс трудно формализовать. Многое зависит от квалификации и опыта человека, использующего этот метод. Очень трудно заменить квалифицированного механика с его субъективным мнением.

Предпринимаются попытки расширить возможности человеческого восприятия, используя электронные средства. Например, ультразвуковые стетоскопы позволяют прослушивать не воспринимаемый слухом диапазон ультразвуковых колебаний, связанный с повреждениями подшипников качения, искровыми разрядами, утечками газа (рис. 5).

Любой газ, просачиваясь из области высокого давления в область низкого давления,

приводит к образованию турбулентности. Турбулентность, в свою очередь, создает высокочастотный звук, который можно определить с помощью электронного стетоскопа преобразующего неслышимый ультразвук (20–100 кГц) в акустический. Аналогичным образом можно услышать электрические разряды, кавитацию в трубопроводах, повреждения подшипников и зубчатых передач, избежать случаев недостаточного смазывания. Однако следует помнить, что данный метод в большей степени индикаторный и не позволяет получить точной количественной оценки степени повреждения.

**Шумы механизма**

Сигналы, возбуждаемые колебаниями работающих механизмов, носят импульсный характер. Увеличение зазора между сопрягаемыми деталями приводит к перераспределению энергии по частотным диапазонам, повышению уровня сигнала на более высоких частотах. Амплитуда колебаний характеризует динамику работы кинематической пары, степень повреждения, а частота — источник колебаний. Значительные повреждения сопровождаются нарушением стабильности звучания, появлением высоких частот и возрастанием силы звука. Следует помнить, что легче заменить поврежденный подшипник, чем восстанавливать разбитые посадочные места корпусных деталей.

Решение задачи распознавания шумов и видов повреждений основывается на знании характерных шумов элементов механизма.

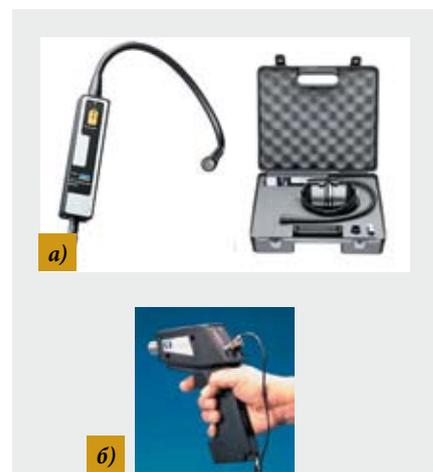
Характерные шумы подшипников качения:

1. Незначительный ровный шум низкого тона свидетельствует о нормальном состоянии подшипника качения;
2. Глухой прерывистый шум — о загрязненности смазки;



**Рис. 4. Электронные стетоскопы выпускаемые фирмой SKF:**

а) TMST2; б) TMST3; в) применение TMST3



**Рис. 5 — Ультразвуковые стетоскопы производства фирмы SKF:**

а) ультразвуковой детектор утечек TMSU 1; б) CMIN 400-K Inspector 400

3. Звенящий (металлический) шум — о недостаточной смазке, возникает также при повышенном радиальном зазоре;

4. Свистящий шум указывает на взаимное трение скольжения деталей подшипникового узла;

5. Скрежет, резкое частое постукивание возникает при повреждениях сепаратора или тел качения;

6. Глухие периодические удары — результат ослабления посадки подшипника, дисбаланса ротора;

7. Воющий звук, скрежетание, гремящий шум, интенсивный стук указывают на повреждение элементов подшипника.

#### Шумы зубчатых передач:

1. Ровный жужжащий шум низкого тона характерен для нормальной работы зубчатой передачи. Косозубая передача в этом случае имеет ровный воющий шум низкого тона;

2. Шум высокого тона, переходящий с увеличением частоты вращения в свист и вой, и непрерывный стук в зацеплении происходит при искажении формы работающих поверхностей зубьев или при наличии на них местных дефектов;

3. Дребезжащий металлический шум, сопровождающийся вибрацией корпуса, возможен вследствие малого бокового зазора или несоосности, непараллельности колес;

4. Циклический (периодический) шум, появляющийся с каждым оборотом колеса, то ослабевающий, то усиливающийся, указывает на эксцентричное расположение зубьев относительно оси вращения. Устранить такой шум в редукторе практически невозможно.

5. Циклические удары, грохот, глухой стук — излом зубца.

#### Шумы, характерные для подшипников скольжения:

1) нормальной работе соответствует монотонный и шелестящий шум;

2) отсутствию смазки соответствует свист высокого тона, скрежет;

3) задирам на поверхности подшипников скольжения, несоосности валов и выкрашиванию соответствуют периодические удары, резкое металлическое постукивание;

При смазке кольцом: отсутствию смазки соответствует звенящий металлический шум; повышенной вязкости масла — циклические удары низкого тона.

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Звон металлических деталей при ударе, например, молотком, используется для определения наличия дефектов. Звук, издаваемый стальной деталью, содержащей дефект, дре-

безжащий, более низкий и глухой по сравнению со звуком бездефектной детали, имеющий чистый, высокий звук. Данный метод достаточно эффективен применительно к контролю затяжки резьбовых соединений, целостности деталей простой формы. В более сложных случаях его использование ограничено.

Каждый механизм содержит две причины шумов: механического и электрического характера. Воющий звук, исчезающий при отключении питания электродвигателя, указывает на повреждения в электрической части мотора.

Степень повреждения определяется интенсивностью шума. Шум, вызывающий болевые ощущения при прослушивании техническим стетоскопом, является пределом эксплуатации деталей. Использование электронного стетоскопа предполагает сравнение интенсивности шума однотипных элементов.

Указанные виды шумов в истинном виде проявляются редко. Акустическая картина механизма составляется из совокупности шумов всех элементов, определяется размерами, характером смазывания, нагрузками, температурой и другими факторами. Поэтому, приведенная классификация служит исходной информацией при расшифровке конкретной акустической картины механизма. Качество расшифровки и правильность постановки диагноза зависит от квалификации, подготовленности и опыта механика. 📌

#### ВЫСТАВКА