

**Как правильно выбрать средства
для мониторинга
промышленного оборудования**



Издано компанией "SKF Condition Monitoring"

Краткое начальное руководство по средствам и методам Мониторинга Состояния (Condition Monitoring)

В данном руководстве разъясняются следующие вопросы:

- * Как используется Мониторинг Состояния
- * Экономические преимущества Мониторинга Состояния
- * Основы вибрационного анализа
- * Различные виды средств, используемых для Мониторинга Состояния, в частности,
 - Ручные виброметры, анализаторы и сборщики данных
 - Стационарные системы виброконтроля
 - Программное обеспечение Мониторинга Состояния
 - Датчики вибрации

Содержание

1. Предисловие.....	3
2. Что такое Мониторинг Состояния.....	3
3. Преимущества проектов с использованием Мониторинга Состояния.....	3
4. Как используется Мониторинг Состояния.....	4
5. Какие оперативные параметры можно измерять.....	5
6. Как выбрать и классифицировать мониторируемое оборудование.....	6
7. Как выбрать типы измерений и интервалы между ними.....	6
8. Выбор средств Мониторинга Состояния.....	7
9. Какие существуют датчики.....	8
10. Что такое вибрационный анализ.....	9
11. Существуют ли другие методы анализа сигналов.....	10
12. Краткие итоги.....	10
13. Вопросы и ответы.....	11
14. О компании SKF.....	12
15. Глоссарий.....	12

1. Предисловие

Мы движемся по драматическому и невероятному пути, ведущему к революционным изменениям. Новое постоянно, подобно тонким нитям, пронизывают все сферы нашего бытия. В банке, при включении автомобиля, делая покупки в бакалее или оплачивая счёт за газ, мы чувствуем, что век высоких технологий наступает нас.

Делать больше и лучше, с меньшими усилиями...

Именно этого мы добиваемся, делая выбор на рынке средств высокой технологии.

Для людей, несущих ответственность за техническое обслуживание промышленного оборудования, высокие технологии означают огромные преимущества, связанные с экономичностью, качеством и безопасностью в современных реалиях индустриального рынка.

Постепенно мы осознали важность анализа операций по обслуживанию машин с точки зрения опасности отказа. Для такого “анализа” могут быть использованы даже наши органы чувств: зрение, осязание, слух и обоняние способны уловить определённые изменения, указывающие на предстоящие неприятности. Когда мы слышим странные шумы и чувствуем, например, увеличение вибрации корпуса домашнего холодильника, мы с достаточной уверенностью можем предположить, что чуть раньше или чуть позже ему неминуемо может потребоваться некоторый ремонт.

Опыт такого рода мы можем распространить и на промышленные механизмы. В какой-то момент времени кто-то заметит что-то неладное (будем надеяться, что это произойдёт до наступления серьёзной аварии). Суть происходящего, его значимость и степень опасности являются параметрами для принятия решения о том, надо ли и когда останавливать машину и завод для ремонта.

Обычно решение принимается на основе сопоставления стоимости ремонта с ущербом в случае отказа.

2. Что такое Мониторинг Состояния

Исторически так и сложилось, что персонал, осуществляющий техническое обслуживание машинного оборудования, регулярно контролирует его состояние “на глазок”, “на ощупь”: нет ли утечек масла, масляных пятен, повышенной вибрации, шума или чего-нибудь подобного. Поскольку такой анализ предполагает определённый объём операций по машинному мониторингу, подобные усилия должны быть жёстко связаны с надёжным заблаговременным выявлением проблем, с точной оценкой момента времени для ремонта, заведомо предшествующего отказу оборудования.

Современный Мониторинг Состояния учитывает это существенное обстоятельство наряду с информацией, фактами и зависимостями, необходимыми для принятия хорошо обоснованных решений. Он обеспечивает пользователю прогноз, требующийся для заблаговременного ремонта, пока отказ ещё не произошёл !

Машины служат человеку с тех пор, как было изобретено колесо. Техническое обслуживание машин появилось вместе с первыми машинами. С течением времени принципы технического обслуживания эволюционировали в следующем порядке:

- **Эксплуатация до отказа**
- **Предупредительное обслуживание**
- **Мониторинг Состояния**

Эксплуатация до отказа заключается в том что ремонтные мероприятия осуществляются лишь вследствие отказа машины. Это часто является причиной дорогостоящих вторичных повреждений, влекущих за собой большие потери из-за дополнительного обслуживания и внепланового простоя.

Предупредительное обслуживание состоит в том, что машина или её узлы регулярно ремонтируются. Такая стратегия является более эффективной, нежели эксплуатация до отказа, однако приводит к существенному увеличению времени простоя и затрат, обусловленных заменой исправных узлов наряду с неисправными.

Мониторинг состояния представляет собой процесс определения состояния механизмов во время их работы. Если выявлено какое-либо отклонение, средства Мониторинга Состояния формируют информацию, позволяющую выяснить, что именно произошло и, что гораздо более важно, что является причиной отклонения. Это позволяет нам увязать момент проведения ремонта со спецификой отказа механизма.

3. Преимущества проектов с использованием Мониторинга Состояния

Современный Мониторинг Состояния не только помогает производственному персоналу уменьшить вероятность аварийного отказа, но и позволяет правильно упорядочить замену узлов, соблюдать график обеспечения мощности, уменьшить расходы на запасные части, планировать на время простоя замену целой группы деталей и оптимизировать операции по техническому обслуживанию, часто превзойдя при этом характеристики, указанные в спецификациях на обслуживаемое оборудование.

Потери из-за простоя на промышленном предприятии могут составить от сотен до десятков тысяч долларов в час. Опыт свидетельствует, что предприятия, на которых внедрён Мониторинг Состояния, могут обеспечить:

- **Предотвращение аварийных простоев**
Благодаря эффективному Мониторингу Состояния Вы можете исключить неожиданные отказы машины и тем самым предотвратить аварийные простои.
- **Увеличенный срок службы подшипников и деталей**
Мониторинг Состояния является важным средством для выявления и идентификации дефектов подшипников. Как только симптом выявлен, причина может быть установлена и устранена. Если это произошло достаточно рано, то удаётся сохранить средства благодаря своевременному ремонту до появления расцентровки, ухудшения режима смазки или наступления других неблагоприятных для подшипника условий.
- **Продление работоспособности машины**
Хорошо обслуживаемая машина работает дольше той, которая обслуживается плохо.
- **Минимизация количества ремонтных мероприятий типа “вскрыть, обследовать и в случае необходимости отремонтировать”**
Мониторинг Состояния позволяет непосредственно определить необходимость осмотра и ремонта при известных симптомах. Следует учитывать, что каждая разборка агрегата приводит к уменьшению его долговечности.
- **Снижение времени на ремонт**
Так как Вы можете планировать обслуживание машины, ремонт и обслуживание машины производятся быстрее.
- **Оптимизация момента остановки на ремонт**
Вы имеете возможность планировать ремонты на период времени, когда плановая загрузка оборудования ниже пиковой.
- **Безопасное увеличение межремонтных интервалов**
Мониторинг Состояния позволяет Вам планировать техобслуживание в реально необходимых случаях.
- **Экономия средств на обслуживание**
Крупные заводы экономят от 250 000 до 2 000 000 в год на ремонтных работах благодаря Мониторингу Состояния.
- **Улучшение качества продукции**
Часто результатом улучшенного обслуживания становится улучшение качества продукции. Например, в бумагоделательном производстве вибрация оказывает непосредственное влияние на качество бумаги.
- **Уменьшение себестоимости продукции**
Сокращение простоев, уменьшение стоимости ремонтов, увеличение межремонтных интервалов снижает себестоимость продукции. С помощью Мониторинга Состояния вы можете увеличить нагрузку на машину или её скорость и уменьшить стоимость изготовления.
- **Повышение безопасности производства**
Оптимальный режим работы машины повышает технику безопасности на производстве. Автоматическая защита оборудования отключает его в случае достижения опасного уровня технологического параметра.

4. Как используется Мониторинг Состояния

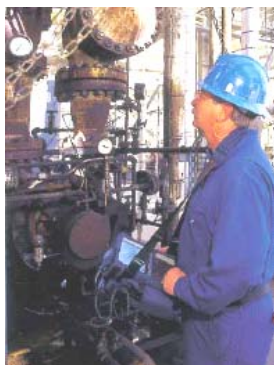
Мониторинг Состояния представляет собой процесс измерения физических характеристик машины (например, вибрации, параметров состояния подшипника, температуры) во время её работы. Изменение физических характеристик машины указывает на изменение её рабочего состояния. Для идентификации и оценки подобных изменений в помощь оператору разработано большое количество типов аппаратных и программных средств.

АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА

Чтобы измерения было возможно осуществить, в “стратегических точках” должны быть установлены датчики, обеспечивающие мониторинг состояния механического оборудования.

Датчик представляет собой устройство, воспринимающее и преобразующее механическую энергию в электрический сигнал, который может быть измерен, записан, отображён и проанализирован.

Датчик формирует сигнал, отвечающий заданному оперативному параметру. Этот сигнал поступает в соответствующую микросхему или микропроцессорный модуль устройства мониторинга.



Сбор информации с помощью ручного датчика и портативного сборщика данных

В большинстве приборов отсчёт значения этого сигнала отображается на жидкокристаллическом дисплее передней панели. Оператор фиксирует измеренное значение и может записать его вручную либо ввести в компьютер для хранения и будущего использования. Датчик может устанавливаться постоянно либо переноситься в процессе обхода контролируемого оборудования.

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА

Измеренные значения параметров механического оборудования могут выгружаться из приборов, обеспечивающих Мониторинг Состояния, в компьютер с помощью программного обеспечения для длительного хранения и анализа данных. Одной из самых важных функций программных средств Мониторинга Состояния является графическое отображение измеренных данных.

Графики тренда показывают изменение рабочего состояния машины за определённый период времени.

Трендрование состояния машины позволяет Вам легко осуществить сравнение текущего измеренного значения с предшествующими значениями, а так же с уровнем уставки. Изменение измеренного значения указывает на изменение состояния машины. Такие графики используются для своевременного выявления проблем (до наступления критической ситуации) и для правильного планирования ремонтного обслуживания машин и их узлов.

Некоторые программные средства Мониторинга Состояния формируют диагностические графики (спектры), которые несут информацию о сути проблемы в работе эксплуатируемой машины. Характер изменения оперативного параметра также может указывать на причину изменения (подробнее об этом будет сказано позже).

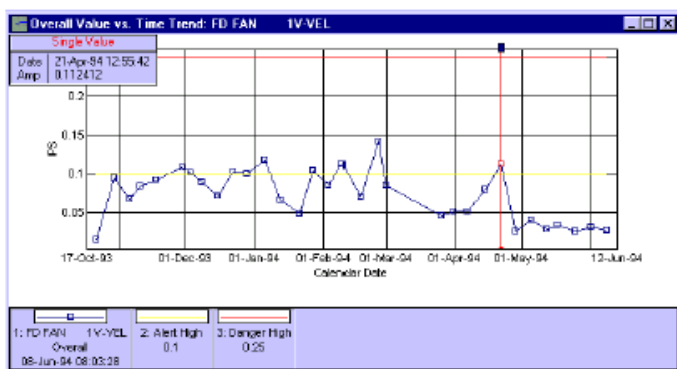


График тренда, показывающий изменение вибрации

5. Какие оперативные параметры можно измерять ?

Чтобы наилучшим образом осуществить Мониторинг Состояния машины или подшипника, необходимо знать, что измерять, а так же где и как это делать. Обычно перечень измеряемых оперативных параметров включает:

ВИБРАЦИЯ

В роликовых элементах подшипников вибрация возникает вследствие соударений при прохождении ролика через дефект. Анализ результатов систематических измерений вибрации может дать ценные указания о появлении дефекта в подшипнике. В действительности вибрация считается наилучшим оперативным параметром для оценки состояния роторных механизмов с точки зрения балансировки, соосности, дефектов подшипников.

Измерение общего уровня вибрации машины и сравнение результата с нормативным значением или предыдущим измерением позволяет оценить текущее состояние “здоровья” машины.

ТЕМПЕРАТУРА

Измерение температуры является типичным способом определения механического состояния или величины нагрузки на определённый узел, например, на подшипник. При наличии дефекта в подшипнике повышенное трение обуславливает рост температуры. Установка термодары на корпусе подшипника и измерение его температуры позволяет своевременно выявить проблемы и запланировать проведение ремонта до наступления серьёзной и дорогостоящей аварии.

АНАЛИЗ МАСЛА

Мониторинг состояния масла позволяет выявить увеличение посторонних примесей, таких как вода, которые ухудшают качество масла и могут привести к повреждению подшипника. Такой мониторинг выявляет так же наличие металлических частиц в масле. Эти металлические частицы могут быть подвергнуты анализу с целью определить, какая часть машины изнашивается и насколько интенсивно происходит износ.

АКУСТИКА

Очень высокочастотный акустический сигнал, сопровождающий иногда вибрацию, измеряется с помощью специального высокочастотного пьезоэлектрического датчика (SEE-датчика). Этот датчик регистрирует высокочастотные сигналы, возникающие на ранних стадиях повреждения подшипника, при наличии дефектов смазки и появлении контакта металл-металл (при нормальной работе подшипника при правильном режиме смазывания металлический контакт между кольцами и телами качения отсутствует – поверхности разделены масляной плёнкой).

ДРУГИЕ ПАРАМЕТРЫ

Информация, формируемая системами контроля оборудования, например, величины давления, расхода, скорости или других параметров машины, может быть включена в Вашу систему Мониторинга Состояния для анализа и построения трендов. Эти дополнительные данные помогут Вам при анализе состояния машины.

6. Как выбрать и классифицировать оборудование для Мониторинга ?

Внедрение эффективного проекта Мониторинга Состояния требует предварительного изучения оборудования предприятия. Критическими являются машины, у которых уже имеются проблемы, или машины, у которых проблемы могут вскоре возникнуть. Машины, дефекты которых могут создать опасность для персонала, требуют *непрерывного* мониторинга. Оборудование, не имеющее резервного агрегата, так же требует *непрерывного* мониторинга. Менее критичны машины, где заблаговременное выявление повреждений позволяет осуществить ремонт до наступления аварии, они обычно являются объектом *периодического* мониторинга.

- **Непрерывный Мониторинг** основан на непрерывно осуществляемых измерениях. В системах непрерывного мониторинга данные автоматически измеряются с помощью стационарно установленных датчиков. Непрерывный мониторинг требует относительно высоких начальных затрат, но после установки подобной системы расходы на её эксплуатацию невелики.
- **Периодический Мониторинг** основан на проведении измерений через регулярные интервалы времени. Измерения обычно выполняются вручную с помощью переносного прибора. Периодический мониторинг характеризуется меньшими начальными затратами, но требует интенсивного участия человека.

Мониторинг машинного оборудования следует начинать, соблюдая определённый приоритет. В первую очередь Мониторингом Состояния должны быть охвачены машины, для которых известны присущие им проблемы или история возникновения проблем. Другими факторами являются:

- **Стоимость и последствия неплановой остановки или аварии**
Если стоимость и последствия возникновения неожиданной проблемы велики, то внедрение Мониторинга Состояния легко обосновывается.
- **Степень автоматизации оборудования**
Если оборудование управляется дистанционно, то, как правило, требуется непрерывный мониторинг.
- **Безопасность персонала**
Оборудование, которое должно работать в строго заданных условиях или выпускает агрессивные продукты, должно контролироваться более тщательно, чем оборудование с более лёгким, обычным режимом работы.

7. Как выбрать типы измерений и интервалы между ними ?

После того как Вы выбрали и классифицировали своё оборудование с точки зрения организации мониторинга, Ваш следующий шаг – определить, какие именно измеряемые параметры наиболее точно отражают состояние машин. Вибрация и температура являются наилучшими характеристиками состояния роторных машин. Часто полезной является информация о состоянии масла. Такие параметры как давление или расход рабочей жидкости так же могут характеризовать состояние машины.

После выбора измеряемых параметров необходимо выбрать периодичность измерений.

Для оборудования, в котором неисправности могут развиваться очень быстро и чреваты серьёзными авариями, требуется *непрерывный защитный Мониторинг Состояния*, в котором циклический опрос параметров осуществляется через промежутки времени в десятые доли секунды.

При выборе *периодического Мониторинга Состояния* общий принцип заключается в следующем: для оборудования, с которым ранее уже возникали проблемы, или где возможно быстрое развитие отказа, требуются короткие интервалы времени. Для надёжного оборудования интервалы времени могут быть увеличены.

8. Выбор средств Мониторинга Состояния

Мониторинг Состояния требует выбора средств из числа следующих:

- ручные измерительные приборы – виброметры
- переносные сборщики/анализаторы данных
- стационарные системы мониторинга, работающие в режиме реального времени
- программное обеспечение Мониторинга Состояния

Ручные измерительные приборы – виброметры

Ручной виброметр представляет собой недорогой и простой в использовании прибор, который следовало бы включать в любой проект системы технического обслуживания оборудования. Прижав виброметр к установке, оператор измеряет цифровое значение вибрации и на месте определяет, выходит ли вибрация за допустимые пределы.



Типичный ручной виброметр имеет батарейное питание и используется для измерения общего уровня виброскорости или виброускорения. Некоторые виброметры обладают возможностями для запоминания данных и выгрузки в дальнейшем этих данных в компьютер при помощи программного обеспечения Мониторинга Состояния.

Виброметры должны быть небольшими по размерам и лёгкими, а их корпус должен обеспечивать максимальную защиту от повреждений. Достоинством виброметра является универсальность и простота использования, однако, разнообразие измерений, которые можно выполнить с его помощью, ограничено, а возможность запоминать измеренные данные отсутствует.

Переносные сборщики/анализаторы данных

Переносные сборщики/анализаторы данных собирают и запоминают результаты измерений вибрации оборудования, а так же с высоким разрешением отображают на жидкокристаллическом дисплее графики (осциллограммы сигнала и спектры).



Такие графики вибрационных сигналов широко распространены при анализе аномалий в работе машинного оборудования. Переносные сборщики/анализаторы поддерживают все функции, необходимые для периодического Мониторинга Состояния машинного оборудования. Собранные результаты измерений могут быть проанализированы непосредственно на месте или загружены в компьютерную базу данных для анализа и долгосрочного трендирования. С помощью переносных сборщиков/анализаторов данные регистрируются быстро и с высокой точностью. Сбор данных выполняется для заранее определённого списка точек (мест измерения) по ходу предписанного маршрута обхода оборудования. Маршрутизация процедуры сбора данных позволяет оптимизировать её выполнение.

Сбор данных с помощью переносного сборщика/анализатора данных

Сборщик данных переносится оператором в нужную точку перед каждым измерением, измерение вибрации осуществляется в течение некоторого времени, когда датчик прижимается к соответствующей точке машины. Измерение других типов параметров, например, давления, температуры и расхода могут быть считаны с измерительных приборов и вручную введены в сборщик с клавиатуры. Таким же образом могут быть введены результаты визуальных измерений, например, информация об утечках масла. Результаты измерений отображаются в графическом и цифровом виде на дисплее и могут быть проанализированы непосредственно на месте, либо оператор после завершения маршрута может установить соединение с компьютером и переслать результаты измерений в компьютерную базу данных для длительного хранения и анализа.

Переносные сборщики/анализаторы представляют собой эффективное и мощное средство вибрационного анализа для периодического Мониторинга Состояния. Они имеют следующие преимущества:

- упорядоченность сбора данных
- способность отображать графики на месте измерения

- возможность связи с программным обеспечением Мониторинга Состояния
- автоматическое формирование отчёта при наличии аномальных результатов

Сбор данных с помощью систем непрерывного мониторинга

Машины, в работе которых уже имеются аномалии, либо те, в которых дефекты могут быстро развиваться и привести к большим потерям или к опасным для персонала авариям, требуют непрерывного мониторинга. Непрерывный мониторинг осуществляется с помощью Систем Предупредительного Мониторинга (СПМ) и Систем Защитного Мониторинга (СЗМ).



В Системах Предупредительного Мониторинга датчики закрепляются стационарно в ответственных точках оборудования. Эти датчики подсоединяются к Модулям Предупредительного Мониторинга, которые, в свою очередь, подсоединяются либо к портативному сборщику/анализатору, либо к компьютеру с программой Мониторинга Состояния. Измерения проводятся автоматически, данные загружаются в компьютер для дальнейшего анализа. Поскольку датчики закреплены стационарно на оборудовании, интервал между измерениями может быть достаточно коротким (например, 0,125 сек).



В Системах Защитного Мониторинга датчики так же закрепляются стационарно в ответственных точках оборудования. Эти датчики подсоединяются к Модулям Защитного Мониторинга, которые самостоятельно обеспечивают полный анализ данных и защиту оборудования. Данные могут быть отображены и проанализированы непосредственно на Модуле Защитного Мониторинга или могут быть переданы на компьютер с программой Мониторинга Состояния для анализа и хранения.

Основным преимуществом систем Непрерывного Мониторинга является возможность раннего обнаружения неисправности и защитные функции.

Передача информации в центральный компьютер является удобным при мониторинге машин, расположенных в разных местах. С компьютера может быть задана конфигурация модулей Непрерывного Мониторинга, что облегчает управление ими.

Программное обеспечение Мониторинга Состояния

Предназначено для сбора, управления, анализа и хранения информации об оборудовании.

Графические изображения собранных данных позволяют легко сопоставлять текущие измерения с предшествующими и заданными уставками (уровнями предупреждения и защиты). Для анализа неисправностей используются графики общего уровня вибрации, спектры и временной сигнал вибрации.

Программное обеспечение Мониторинга Состояния автоматически формирует «отчёты об отклонениях» для машин с аномальными уровнями вибрации, фокусируя внимание обслуживающего персонала на проблемном оборудовании. Программы используются для создания маршрутов, которые затем загружаются в переносной сборщик данных.

Программное обеспечение Мониторинга Состояния может быть установлено на нескольких компьютерах в сетевом варианте, облегчая работу по мониторингу одновременно нескольким пользователям.

Информационные системы с базами знаний используют механизм логического вывода следствий из правил, содержащих опыт экспертов в области вибрации и учитывающих информацию о конструкции и характеристиках машин. Программы осуществляют автоматический анализ и оценивают состояние оборудования, формируют диагнозы состояния машин. Подобный подход обеспечивает моментальный доступ к опыту и знаниям экспертов.

Информационные системы с базами знаний, часто именуемые «экспертными системами», требуют конкретных сведений, относящихся к анализируемой машине. Новейшие версии систем позволяют оператору ввести характеристики оборудования для построения модели машины. Такая модель хранится в базе знаний и используется совместно с собираемыми текущими данными для быстрого выявления симптомов, формирования диагнозов и рекомендаций.

Заключение

При выборе средств Мониторинга Состояния наилучшим является многопараметрический подход. Это подразумевает как измерение многих параметров (например, вибрации, температуры, расхода, скорости и т. п.), так и разнообразие видов измерений и обработки одного параметра – вибрации (общий уровень, различные спектры, тренды). Мониторинг по нескольким параметрам обеспечивает Вам наилучшие возможности для выявления отклонений оборудования от «нормы».

9. Какие существуют датчики ?

Одним из первых шагов в реализации Мониторинга Состояния является сбор вибросигналов с помощью датчиков, которые «воспринимают» эту вибрацию и преобразуют её в электрический сигнал, который может быть измерен, отображён и записан средствами Мониторинга Состояния.

В соответствии с тремя основными параметрами колебательного движения, которым является вибрация, (перемещение, скорость и ускорение) существуют три основных типа датчиков вибрации.

- **Датчик перемещения** измеряет расстояние (например, зазор между вращающимся валом и корпусом крупногабаритной турбины)
- **Датчик виброскорости** измеряет скорость изменения перемещения
- **Датчик виброускорения** измеряет ускорение.

Все три параметра вибрации математически связаны между собой, но с физической точки зрения методы их измерения отличаются, так что они не являются всего лишь тремя разными наименованиями одной и той же величины.

Датчик перемещения (бесконтактный токовихревой датчик) представляет собой устройство, которое измеряет расстояние между торцом датчика и проводящей (металлической) поверхностью. Такие датчики используются, например, в машинах с подшипниками скольжения, турбоагрегатах, где они измеряют величину зазора и перемещение ротора относительно корпуса. Датчики перемещения применяются при измерении низких частот. При этом если машина и ротор вибрируют вместе как единое целое, перемещение окажется нулевым, хотя на самом деле может иметь место сильная вибрация машины. С другой стороны, вибрацию вала относительно корпуса подшипника можно измерять только с помощью датчика перемещения.

Датчики перемещения используются так же для измерения углового положения вала (фазы вибрации). Под фазой понимают угол между некоторым исходным положением вала, отвечающим заданной отметке, и его текущим положением, соответствующим мгновенному значению вибросигнала. Измерение фазы необходимо при балансировке и измерении орбиты вала. Для одновременного измерения величины и фазы вибрации применяют два датчика перемещения, установленных под углом 90° относительно друг друга.

Недостатками датчиков перемещения являются ограниченный низкочастотный диапазон (0 – 1000 Гц), трудности при установке и калибровке, необходимость внешнего источника питания.

Датчик виброскорости конструктивно является пьезоэлектрическим и аналогичен пьезоакселерометру. Пьезодатчики скорости состоят из массивного элемента и пьезокристалла, в котором формируется сигнал, пропорциональный виброускорению, который затем интегрируется в виброскорость.

Недостатками датчиков виброскорости является генерация шума на низких частотах, необходимость в дополнительных электронных цепях для снижения выходного импеданса и преобразования сигнала. Диапазон измерений от 3 до 3500 Гц.

Датчик виброускорения состоит из массивного элемента и пьезокристалла. При колебательном движении, возникающем от контакта с машиной, массивный элемент воздействует на пьезокристалл с силой, которая по второму закону динамики пропорциональна ускорению.



Пьезокристалл вырабатывает электрический сигнал, пропорциональный виброускорению. Акселерометры измеряют сигнал в очень широком диапазоне - почти от 0 до 100 000 Гц. Однако, поскольку виброскорость является наиболее значимым параметром при вибромониторинге, приборы математически интегрируют измеренное виброускорение для получения виброскорости. При этой операции возможно генерирование шума на низких частотах. При использовании акселерометров необходимы электронные схемы для уменьшения высокого импеданса кристалла в выходной сигнал с низким импедансом и преобразования сигнала.

10. Что такое вибрационный анализ

Различные аномалии в работе машинного оборудования порождают различные виды вибрации. Например, дисбаланс является источником иной вибрации, нежели изношенный подшипник. В общем случае это различие нельзя определить на ощупь или на глазок. Однако, с помощью датчиков и микропроцессоров приборы Мониторинга Состояния преобразуют вибросигналы в различные графические представления, пригодные для запоминания и анализа с целью диагностики аномалий в работе машин.

Вибрационный анализ как раз и представляет собой анализ представленных в графической форме вибросигналов с целью диагностики причин аномальной вибрации. Вибрационный анализ представляется наиболее эффективным подходом к анализу состояния роторного оборудования.

Наиболее часто используются графики тренда общего уровня вибрации, осциллограммы вибросигнала и БПФ-спектры.

Общий уровень вибрации характеризует полную энергию, ассоциированную со всеми частотами вибрации, измеренной в заданной точке машины. Значения общего уровня вибрации сравниваются с более ранними виброизмерениями, отвечающими заведомо исправному состоянию, а так же с аварийными уставками, чтобы определить текущее состояние машины. Строится так же график тренда общего уровня вибрации, который в наглядной форме показывает изменения в состоянии с течением времени. Большинство систем Мониторинга Состояния предусматривает использование ручных виброметров и анализ общего уровня вибрации.

Хотя измерение общего уровня вибрации и является наиболее употребительным способом оценки состояния оборудования, этот подход позволяет получить минимум диагностической информации. Вибросигнал с небольшой

амплитудой может быть задавлен «вибрационным шумом», приходящим из других мест, например, шумом от зубчатых передач и т. п.

С измерения общего уровня вибрации следует начинать. При сравнении с прошлыми значениями и аварийными уставками общий уровень вибрации покажет, нет ли на машине повышенной вибрации.

Анализ формы (осциллограмма) вибросигнала отображает короткий фрагмент исходного сигнала. Она показывает изменение амплитуды вибрации во времени. Осциллограммы сравниваются с прошлыми, а так же с «эталонными» с целью анализа изменения амплитуды и частоты. Анализ формы вибросигнала даёт ключ к определению состояния машины, не всегда поддающийся с помощью спектра частот и должен быть по возможности включён в общий план анализа.

Анализ БПФ спектров.

Поскольку различные аномалии порождают чаще всего разные частоты вибрации, то полезно подвергать измеренную вибрацию частотному анализу. Многие портативные сборщики, а так же системы непрерывного мониторинга используют для этой цели Быстрое Преобразование Фурье (БПФ), позволяя математическим путём перейти от осциллограммы вибросигнала к его частотному представлению. Составляющая сигнала, соответствующая определённой частоте, называется амплитудой вибрации для этой частоты. График амплитуды в функции частоты называется БПФ - спектром. Спектры являются очень полезными при анализе аномалий в работе машинного оборудования. Если такие аномалии имеют место, то БПФ-спектр несёт информацию, которая может помочь в определении источника и причины аномалии.

Анализ спектров основывается на изменениях в текущих спектрах по сравнению с эталонными (полученными ранее при заведомо исправном состоянии машины). Отличия в амплитудах и частотах на графике текущего спектра указывает на определённые аномалии в работе машины. Регулярный анализ спектров является эффективным способом раннего распознавания ухудшения механического состояния и помогает правильно спланировать ремонтные мероприятия до наступления критического момента.

Опорный профиль БПФ-спектра представляет собой «воображаемую» границу, на заданную величину превышающую заранее определённый базовый спектр. Если изменение вибросигнала приводит к выходу какой-либо составляющей спектра за опорный профиль, формируется предупреждение, указывающее на наличие аномалии.

11. Существуют ли другие методы анализа сигналов ?

Осциллограммы вибросигналов и их спектры могут подвергаться дальнейшей обработке с помощью других методов с целью наилучшего анализа специальных проблем или состояния специфических видов машинного оборудования. Некоторыми из таких специальных видов обработки являются следующие:

Фазовые измерения

Под фазой понимают угол между фиксированным положением вала, отвечающим заданной отметке, и его текущим положением, соответствующим мгновенному значению вибросигнала. /этот параметр несёт существенную информацию при анализе величины вибрации, орбиты вала. Положение вала необходимо контролировать при балансировке.

Высокочастотное детектирование

Этот метод позволяет получить численные значения высокочастотных компонент вибросигнала с небольшой амплитудой, возникающих при зарождении дефектов в подшипниках.

Анализ огибающей сигнала

Целью этого метода является выделение низкочастотных компонент из высокочастотного вибросигнала. Это общепринятый подход при анализе состояния элементов зубчатых передач или подшипников, где имеют место повторяющиеся соударения небольшой амплитуды, возбуждающие серии высокочастотных затухающих резонансных колебаний с большой начальной амплитудой.

SEE технология

Эта технология позволяет выявлять дефекты подшипников в широком диапазоне приложений, особенно на ранней стадии повреждения при нарушении масляной плёнки и возникновении контакта металл-металл.

12. Краткие итоги

Средства Мониторинга Состояния позволяют весьма эффективно контролировать и анализировать изменение состояние машинного оборудования. Определяя качество работы оборудования, планируя ремонтное обслуживание и управляя ремонтом в соответствии с установленными причинами аномалий, производственные организации могут значительно снизить время простоев и расходы на техническое обслуживание.

При выборе наиболее подходящих средств Мониторинга Состояния важно учитывать следующее:

1. для какого оборудование следует проводить мониторинг,
2. какие параметры следует измерять,
3. какими средствами и с какой периодичностью следует проводить измерения (ручной виброметр, портативный сборщик/анализатор, системы непрерывного мониторинга).

Наилучшая, наиболее эффективная система Мониторинга Состояния заключается в организации периодического и/или непрерывного мониторинга в сочетании с визуальными осмотрами и плановой заменой узлов.

При внедрении Вашего проекта Мониторинга начинайте с малого и затем развивайте его. Наилучшим является многопараметрический подход. Подвирайте средства Мониторинга, которые обеспечивают несколько методов обработки (общий уровень виброскорости, спектр виброскорости, спектр виброускорения, спектр огибающей ускорения и т. д.).

13. Вопросы и ответы

Вопрос: Как и с чего начать ?

Ответ: Прежде всего определите перечень мониторируемого оборудования. Какое именно оборудование даст максимальный эффект от внедрения системы мониторинга ? Мониторинг оборудования для обеспечения технологического процесса, например, бумагоделательных машин, обычно требует некоторой комбинации непрерывной системы мониторинга и портативных сборщиков данных.

Если же Вы собираетесь осуществлять мониторинг состояния отдельных машин, насосов или вентиляторов, то может быть вполне достаточно ручных приборов или коллекторов «карманного» размера.

Другим важным фактором является периодичность мониторинга и обеспеченность персоналом. Как часто Вы собираетесь проводить измерения на каждой машине и потребуются ли для этого дополнительные сотрудники ?

Вопрос: Как я мог бы начать быстро и без значительных расходов ?

Ответ: Простейший путь внедрения Мониторинга Состояния состоит в использовании ручного индикатора вибрации. Это самый дешёвый способ начать, который в то же время даст Вам возможность впервые увидеть выгоды проекта. Тщательно ведя записи, Вы можете подготовить почву для развития проекта путём демонстрации экономии, полученной благодаря ручным приборам. Ручные приборы позволяют любому новичку, не знакомому с технологиями мониторинга, сразу начать внедрение проекта и постепенно развивать его по мере роста требований к удобству технического обслуживания.

Вопрос: Какие преимущества даёт использование компьютера ?

Ответ: Компьютер с программным обеспечением, подходящим для Ваших приборов, позволит Вам визуализировать информацию, собранную различными способами, сравнивать текущие данные с прошлыми и поможет выявить изменения в состоянии машины. Важной функцией является трендирование, которое позволит Вам наблюдать развитие изменений с течением времени в графической форме. Некоторые программы дополнительно указывают Вам время, в течение которого Вы должны провести ремонт до наступления возможного отказа.

Важным обстоятельством является способность обеспечить автоматическую выгрузку данных из сборщика непосредственно в компьютер (эта возможность обеспечивается подходящим программным обеспечением).

Ключевым обстоятельством является наличие дружественного интерфейса. Наиболее совершенные приборы и наиболее дружественное программное обеспечение освободят Вас от необходимости самому быть «экспертом».

Вопрос: Как мне определить стоимость наиболее эффективного проекта для имеющегося оборудования ?

Ответ: Стоимость варьируется от нескольких сотен до сотен тысяч долларов. При эффективных затратах отдача от расходов, как это документально засвидетельствовано, превышает первоначальные затраты не менее чем в пять раз. Статистика показывает, что после внедрения системы Мониторинга Состояния уже через полгода снижаются затраты на техническое обслуживание. Это обусловлено тем, что немедленно выявляются и идентифицируются проблемы, о существовании которых в противном случае не было бы известно. Как только это происходит, расходы немедленно начинают значительно снижаться.

Вопрос: Я готов начать. Каковы мои первые шаги ?

Ответ:

1. Просмотрите перечень оборудования на Вашем предприятии. Составьте список приоритетов при внедрении системы мониторинга.
2. Оцените численность персонала. Кто будет назначен ответственным за мониторинг и как много времени потребует эта нагрузка ?
3. Как часто Вы планируете собирать данные для каждой машины - ежедневно, еженедельно, ежемесячно или раз в два месяца ?
4. Обратитесь к специалистам, которые посоветуют Вам, какие именно средства окажутся наиболее эффективными с точки зрения Ваших конкретных требований. Специалист поработает вместе с Вами над тем, чтобы добиться реализации Ваших целей с минимальными затратами и максимальной эффективностью.

14. О компании SKF

Компания SKF является крупнейшим в мире производителем высококачественных роликовых и шариковых подшипников. Обладая 80-ти летним опытом разработок и исследований в области подшипников, компания SKF накопила большой багаж экспертных знаний, обеспечивающих возможности для максимального продления срока службы подшипников.

Изделия компании «SKF Condition Monitoring» включают широкий ряд средств, обеспечивающих правильное и оптимальное обслуживание роторных и поршневых машин. Разработаны средства от приборов размером с карандаш, ручных и портативных сборщиков данных и анализаторов до систем защиты и сопряжённого программного обеспечения, которые дают эффект во многих сферах использования производственного оборудования.

15. Глоссарий

АКСЕЛЕРОМЕТР (ACCELEROMETER) - Датчик, выходной сигнал которого прямо пропорционален ускорению.

АМПЛИТУДА (AMPLITUDE) – Максимальная величина динамического перемещения или вибрации. Может выражаться в терминах двойного размаха $-2A$ (от минимума до максимума, *peak-to-peak*), пикового значения $-A$ (от нуля до максимума, *zero-to-peak*) или среднеквадратичного значения $-0,707A$ (RMS).

АНАЛИЗ СИГНАЛОВ (SIGNAL ANALYSIS) – Процесс извлечения информации из сигнала, представленного во временной и/или частотной области. Сюда включается так же фильтрация, выборка, дискретизация, цифровые вычисления и отображения результатов в подходящем формате.

АНАЛИЗАТОР ДИНАМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ, АДС (DYNAMIC SIGNAL ANALYZER, DSA) – Вибрационный анализатор, использующий процессорную обработку сигнала и Быстрое Преобразование Фурье для отображения частотных компонент вибрации. АДС обеспечивают так же отображение осциллограмм сигнала во временной области и спектра фазы и имеют интерфейс с компьютером.

АНАЛИЗАТОР СПЕКТРОВ (SPECTRUM ANALYZER) – Прибор, обеспечивающий отображение частотного спектра входного сигнала.

АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ (ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER) – Устройство или подсистема, преобразующая исходный аналоговый сигнал реального времени (например, с выхода датчика) в формат, пригодный для цифровой (дискретной) обработки).

АСИНХРОННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ (FREE RUNNING) – Это термин описывает режим, при котором анализатор или процессор регистрирует данные непрерывно с постоянной частотой, без синхронизации с внешним сигналом.

БАЗОВЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ (BASELINE SPECTRUM) – Спектр вибрации, измеренный для машины, пока она находится в заведомо исправном состоянии. Используется в дальнейшем как эталон мониторинга и анализа.

БАЛАНСИРОВКА (BALANCING) – Процедура для корректировки радиального распределения массы ротора таким образом, чтобы центральная ось массы вала по возможности совпала с его геометрической осью симметрии.

БОКОВЫЕ ЧАСТОТЫ (SIDE BANDS) – Дополнительные частоты, возникающие вследствие частотной модуляции.

БЫСТРОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ, БПФ (FAST FOURIER TRANSFORMATION, FFT) – Вычислительная процедура, позволяющая преобразовать обычное представление сигнала как функции времени в частотное представление, при котором амплитуда отображается как дискретная функция частоты.

ВЕРХНЯЯ ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНАЯ УСТАВКА (ALERT HIGH) – Значение, ограничивающее сверху зону нежелательных значений параметра.

ВЕРХНЯЯ УСТАВКА ЗАЩИТЫ (DANGER HIGH) – Значение, ограничивающее сверху зону опасных значений параметра, попадание в которую приводит к отключению оборудования.

ВИБРАЦИЯ (VIBRATION) – Амплитуда циклического движения. Может быть выражена в единицах ускорения, скорости или перемещения. Определена компонентами в частотной и временной области.

ВНЕШНЯЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ (EXTERNAL SAMPLING) – В анализаторах динамического сигнала управление регистрацией данных осуществляется внешними сигналами, формируемыми тахометром. Обеспечивает стационарное отображение при изменяющейся скорости вращения.

«ВОДОПАДНЫЙ ГРАФИК» (WATERFALL PLOT) – Трёхмерный график вибрации, на котором вертикальная ось отвечает мгновенному значению вибрации, горизонтальная ось – частоте, а третья ось (перпендикулярная плоскости графика) – времени или переменной скорости вращения.

ВЫГРУЗКА (UPLOAD) – Передача информации в компьютер из прибора, обеспечивающего мониторинг.

ВЫСОКОЧАСТОТНОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ, ВЧД (HIGH FREQUENCY DETECTION, HFD) – Метод обработки вибросигнала, при котором определяется численное значение высокочастотного сигнала малой величины, генерируемого при возникновении небольшого дефекта в роликовом элементе подшипника.

ГЛОБАЛЬНЫЙ ДЕФЕКТ ПОДШИПНИКА (GLOBAL BEARING DEFECT) – Относительно крупное и опасное повреждение элемента подшипника.

Гц (HZ) – Герц, единица, равная количеству циклов в секунду. $HZ=CPM/60$.

ДИСБАЛАНС (IMBALANCE) – Состояние вала, при котором его центральная ось массы не совпадает с осью геометрической симметрии.

ДАТЧИК – Источник измеренного сигнала. В английском оригинале приводятся различные термины:
PROBE – обычно токовихревой датчик, но иногда любой датчик вибрации,
SENSOR – Чувствительный элемент,
TRANSDUCER – Преобразовательный элемент, устройство, воспринимающее и преобразующее механическую энергию в аналоговый электрический сигнал.

ДАТЧИК ЗАЗОРА (PROBE GAP) – см. зазор.

ДАТЧИК ПЕРЕМЕЩЕНИЯ (DISPLACEMENT PROBE) – Датчик, измеряющий относительное расстояние между двумя поверхностями. Используется так же название “токовихревой датчик”.

ДАТЧИК СКОРОСТИ (VELOCITY SENSOR) - Электромеханический преобразователь, измеряющий скорость вибрации.

ДАТЧИК ТОКОВИХРЕВОЙ (EDDY PROBE) – см. ДАТЧИК ПЕРЕМЕЩЕНИЯ.

ЗАГРУЗКА (DOWNLOAD) – Передача информации из компьютера в прибор, обеспечивающий мониторинг.

ЗАЗОР (GAP) – Физическое расстояние между торцом токовихревого датчика и контролируемой поверхностью. Расстояние может быть выражено в единицах перемещения (мм, мкм) или электрического потенциала (мВ).

ИЗМЕРЕНИЕ (MEASUREMENT) – Значение, полученное в определённый момент времени при помощи преобразования механической энергии датчика в электрический сигнал.

КАНАЛ (CHANNEL) – Датчик с соответствующим аппаратным обеспечением, необходимым для отображения его выходного сигнала.

КРИТИЧЕСКИЕ СКОРОСТИ (CRITICAL SPEEDS) – В общем случае некоторые скорости вращения, при которых имеет место повышение вибрации. Часто имеются в виду скорости вращения ротора, соответствующие собственным резонансным частотам системы.

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ (CONDITION MONITORING) – Определение состояния машины путём анализа измерений, выполняемых периодически или непрерывно на работающей машине.

НИЖНЯЯ ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНАЯ УСТАВКА (ALERT LOW) – Значение, ограничивающее снизу зону опасных значений параметра, попадание в которую приводит к отключению оборудования.

ОГИБАЮЩЕЙ МЕТОД (ENVELOPING) – Выделение низкочастотной компоненты вибрации из высокочастотного сигнала. Общепринятый метод при анализе состояния зубчатых передач и роликовых элементов подшипников.

ОРБИТА (ORBIT) – Траектория перемещения оси вала при его вращении.

ОСЕВАЯ ВИБРАЦИЯ (AXIAL VIBRATION) – Вибрация в направлении, совпадающим с осью вала.

ОСЦИЛЛОГРАММА (WAVEFORM) – Отображение мгновенных значений сигнала в функции времени.

РАДИАЛЬНАЯ ВИБРАЦИЯ (RADIAL VIBRATION) – Вибрация в направлении, перпендикулярном оси вала.

РЕЗОНАНС (RESONANCE) – Состояние, при котором амплитуда и фаза вибрации изменяются из-за чувствительности соответствующей системы к определённой частоте воздействующей вынуждающей силы. Типичным признаком резонанса является значительное увеличение амплитуды и появление запаздывающего сдвига фазы.

СИГНАЛ ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ (TIME DOMAIN) – График исходного сигнала (амплитуды в функции времени).

СИГНАЛ В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ (FREQUENCY DOMAIN) – График БПФ сигнала (амплитуды в функции частоты).

СИНХРОНИЗИРУЮЩИЙ СИГНАЛ (TRIGGER) – Какое-либо событие, которое может быть использовано в качестве точки отсчёта времени. В анализаторах динамических сигналов синхронизирующий сигнал может быть использован для запуска процесса регистрации данных измерения.

СПЕКТР (SPECTRUM) – График дискретного множества амплитуд для соответствующих частот.

СПЕКТРАЛЬНАЯ ИЗЛУЧЕННАЯ /ЭНЕРГИЯ, СИ (SPECTRAL EMITTED ENERGY, SEE) – Метод обработки вибросигнала, обеспечивающий раннее выявление контакта металл-металл вследствие разрушения масляной плёнки при зарождении дефекта в подшипнике.

СОБСТВЕННАЯ ЧАСТОТА (NATURAL FREQUENCY) – Частота вибрации системы в отсутствии вынуждающей силы. Частота, с которой будет колебаться система с одной степенью свободы при её одномоментном отклонении от состояния покоя.

ТРЕНД (TREND) – График изменения параметра в функции времени.

УСТАВКА ЗАЩИТЫ (ALARM SETPOINT) – Значение, превышение которого считается недопустимым или опасным для эксплуатации машины.

ФАЗА (PHASE) – Результат изменения сдвига во времени между двумя сигналами или между определённым моментом процесса вибрации и синхронизирующим импульсом.

ФАЗОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА (PHASE REFERENCE) – Разность фаз (в градусах) между входным и выходным сигналами фильтра в функции частоты. Обычно называется опережением или задержкой выходного сигнала по отношению ко входному.

ФАЗОВЫЙ ОТМЕТЧИК (PHASE REFERENCE) – Сигнал, используемый при измерениях на роторном оборудовании и формируемый специальным датчиком один раз за каждый оборот.

ФАЗОВЫЙ СПЕКТР (PHASE SPECTRUM) – График зависимости фазы от частоты, представляющий собой часть результата Преобразования Фурье измеренного сигнала.

ФИЛЬТР (FILTER) – электронное устройство, обеспечивающее пропускание или подавление сигнала в определённой полосе частот.

ЦИКЛ (CYCLE) – Одна полная последовательность значений, повторение которой образует весь периодический процесс.

ЧАСТОТА (FREQUENCY) – темп повторения периодического события, выраженный обычно в циклах в секунду (Гц, CPS), циклах в минуту (CPM), оборотах в минуту (об/мин, RPM) или в виде коэффициента кратности по отношению к основной частоте (порядок гармоники, order). Основной частоте отвечает порядок 1X, двойной – 2X и т. д.

ЧАСТОТНЫЙ ДИАПАЗОН (FREQUENCY RANGE) – полоса частот, в которой действительны результаты измерений. Часто соответствует верхнему значению частоты, поскольку нижний предел принят равным нулю.

