

кладок соответственно тормозного механизма передней оси и тормозного механизма задней оси;  $\rho=1,2,\dots,n$ ;  $n$  – количество торможений;  $t$  – время трения тормозных накладок.

Определив экспериментально на стенде работу трения, соответствующую предельно допустимому износу тормозных накладок, запишем математические зависимости, которые позволяют определить степень износа тормозных накладок при бортовом диагностировании:

- переднего левого тормозного механизма

$$L_1 = \int_0^t M_{T1} \omega_{k1} dt, \quad (9)$$

$$\Delta_1 = \frac{\sum_{\rho=1}^n L_{1\rho}}{L_{оо}} \cdot 100\%, \quad (10)$$

- переднего правого тормозного механизма

$$L_2 = \int_0^t M_{T1} \omega_{k2} dt, \quad (11)$$

$$\Delta_2 = \frac{\sum_{\rho=1}^n L_{2\rho}}{L_{оо}} \cdot 100\%, \quad (12)$$

- заднего левого тормозного механизма

$$L_3 = \int_0^t M_{T2} \omega_{k3} dt, \quad (13)$$

$$\Delta_3 = \frac{\sum_{\rho=1}^n L_{3\rho}}{L_{ок}} \cdot 100\%, \quad (14)$$

- заднего правого тормозного механизма

$$L_4 = \int_0^t M_{T2} \omega_{k4} dt, \quad (15)$$

$$\Delta_4 = \frac{\sum_{\rho=1}^n L_{4\rho}}{L_{ок}} \cdot 100\%, \quad (16)$$

где  $L_1, L_2, L_3, L_4$  – текущие значения работ трения тормозных накладок соответственно переднего левого, переднего правого, заднего левого и заднего правого тормозных механизмов;  $\omega_{k1}, \omega_{k2}, \omega_{k3}, \omega_{k4}$  – текущие значения угловых скоростей соответственно переднего левого, переднего правого, заднего левого и заднего правого колес;  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$  – степень износа тормозных накладок соответственно переднего левого, переднего правого, заднего левого и заднего правого тормозных механизмов;

Из выражений (10,12,14,16) видно, что степень износа накладок тормозных механизмов можно определить после каждого торможения.

Использование работы трения как интегрального показателя при определении степени износа тормозных накладок позволяет оперативно, в любой период эксплуатации автомобиля, определить остаточный ресурс накладок каждого колеса, а также прогнозировать время их замены. Указанный метод может быть использован также для обеспечения равномерности износа тормозных накладок автомобиля или автопоезда при разработке электронного привода тормозов.

#### Список использованных источников

1. Грузовые автомобили. М.С.Высоцкий, Ю.Ю. Беленький, Л.Х. Гилелес и др.-М.: Машиностроение, 1979.-384с.,ил.
2. Способ прогнозирования износа тормозных накладок каждого колеса транспортных или тяговых машин и устройство для его осуществления. О.А. Маханьков, М.С. Лебедев, Ю.Д. Карпиевич и др. Положительное решение на выдачу патента Российской Федерации по заявке №5015522/11 (062183) от 06.04.93.

## ВИБРОДИАГНОСТИКА НА ПРОИЗВОДСТВЕ. ЗАДАЧИ И ВОЗМОЖНОСТИ

*Гончарик А.Г., директор ОДО "Интерподшипник", г. Лида*

Проблема определения состояния и работоспособности машин и агрегатов приобретает все большую актуальность. В последние годы вывод в ремонт оборудования осуществляется тремя основными способами: работа до отказа; ремонт по результатам экспертных (субъективных) оце-

нок; ремонт по результатам диагностики и прогноза технологического состояния.

Наибольший экономический эффект дает третий способ. Его использование позволяет: сократить время, объем ремонта и количество запасных частей не менее чем на треть; уменьшить





число внезапных отказов в десятки раз; сократить упущенную прибыль из-за простоев в несколько раз.

Для последнего способа необходима полная диагностика объекта, причем желательно обнаруживать все дефекты, влияющие на ресурс, задолго до отказа, чтобы подготовиться к ремонту. Це-

ального текущего технического состояния механизма, контролируемого в процессе эксплуатации без каких-либо разборок и ревизий на базе измерений соответствующих параметров.

Экономический эффект от перехода на обслуживание "по техническому состоянию" в странах ЕС составил:

Энергетический сектор (затраты на тех. обслуживание)	\$18 на л.с. – при работе оборудования до выхода из строя \$13 на л.с. – при обслуживании по регламенту \$9 на л.с. – при обслуживании по техническому состоянию
Химкомбинат (машины с вращающимися элементами)	Снижение числа проводимых тех. обслуживаний с 274 до 14
Нефтеперерабатывающий комбинат (электродвигатели)	Снижение затрат на обслуживание на 75%
Бумажная фабрика	Снижение затрат на \$250 000
Железнодорожный транспорт	Снижение числа проводимых обслуживаний колесно-моторных блоков с 216 до 17
Коэффициент окупаемости вложенных средств	Более 10 раз

лю являются ответы на вопросы - можно ли оставить оборудование в работе, каков объем мероприятий по приведению его в работоспособное состояние, рационально ли вкладывать в это оборудование средства на ремонт. Сравнительный анализ различных методов обслуживания оборудования роторного типа, по данным Ассоциации Открытых Систем Управления Информацией о Состоянии Машин "MIMOSA", показал, что не менее 50% обслуживаний выполняется без фактической их необходимости; для большинства машин при этом не снижается частота выхода их из строя. Более того, надежность работы машин после обслуживания с разборкой и заменой деталей, часто снижается; около 70% дефектов вызвано производством работ по обслуживанию.

*Даже в случае, когда мы просто вскрыли подшипниковый узел, убедились, что нет оснований для какого-либо вмешательства, и опять закрыли, остаточный ресурс механизма уже уменьшится. Связано это с тем, что любое "вмешательство", нарушает качество кинематических взаимосвязей в механизме, достигнутое естественной приработкой сопрягаемых узлов и деталей в процессе эксплуатации. А если эти процедуры периодически повторять, то наша забота о техническом состоянии механизма будет иметь прямо противоположный результат.*

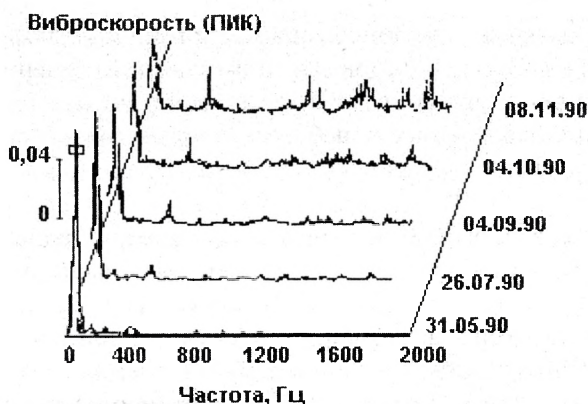
Суть технологии обслуживания "по техническому состоянию" состоит в том, что обслуживание и ремонт производятся в зависимости от ре-

Очевидно, что для повышения ресурса и надежности оборудования, сокращения затрат связанных с ремонтом и простоями, необходимо переходить от регламентированных по времени профилактических и ремонтно-восстановительных работ к обслуживанию по "техническому состоянию".

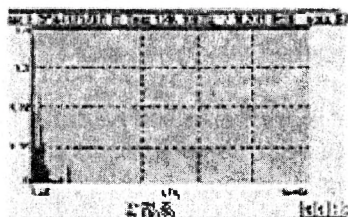
Для данного перехода необходима достаточно точная система диагностирования текущего технического состояния оборудования. В механике и электромеханике, как показала практика, эффективная диагностика машин возможна, в основном, по вибрации. Общеизвестным инструментом, позволяющим успешно решать данную задачу, является вибродиагностика (сигналы вибрации работающего оборудования несут в себе всю необходимую информацию о техническом состоянии).

Вибрация это поведение механических компонентов машин вследствие реакции на воздействие внешних и внутренних сил. Элементы машины взаимодействуют друг с другом, и через конструкцию происходит рассеивание энергии в виде механических колебаний. По мере износа машины, оседания фундамента и деформации деталей в динамических свойствах машины начинают происходить изменения. Нарушается центровка валов, нарушается балансировка роторов, увеличиваются зазоры. Причины и следствия усиливают друг друга, в результате чего, в конце концов, машина выходит из строя. Поскольку боль-

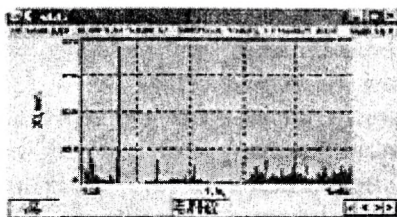
большинство неисправностей машин выражается в повышении вибрации, анализ вибросигнала представляет хорошее средство для их диагностики. При этом каждая неисправность или дефект имеет свой почерк в смысле вибрации. При анализе вибрации рассматриваются два компонента вибросигнала – амплитуда и частота. ЧАСТОТА, на которой происходит вибрация, определяет тип дефекта. Определённые типы неисправностей проявляются на определённых частотах. Определив частоту вибрации можно определить её причину. АМПЛИТУДА вибрации на данной частоте определяет степень развития дефекта. Амплитуда зависит от типа машины (размера и мощности) и должна всегда сравниваться с каким-то уровнем, который для данного типа машин является нормальным (ГОСТ ИСО 10816-1-97). Помимо колебаний по координате (смещение), вибрирующий объект испытывает также колебания скорости и ускорения (ГОСТ 24346-80). Скорость представляет собой быстроту изменения координаты и обычно измеряется в м/с. Ускорение есть скорость изменения скорости и обычно измеряется в м/с<sup>2</sup> или в единицах g (ускорение свободного падения). На приведенном рисунке один и тот же вибрационный сигнал представлен в виде виброперемещения, виброскорости и виброускорения.



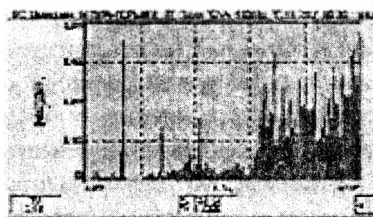
Существует разница между определением вибрации на машине и анализом причин ее возникновения. Вибрационный контроль и вибрационная диагностика - разные практические задачи. В диагностике дефект определяется колебательной силой, действующей в зоне дефекта, а сила связана линейно с колебательным ускорением, а не со скоростью. Поэтому в диагностике часто пользуются измерениями виброускорения, а для вибрационного контроля машин дополнительно измеряют и виброскорость, причем лишь в ограниченном низкочастотном диапазоне. Для успешного применения методов вибродиагностики на предприятиях необходимо достаточно точное и мобильное приборное обеспечение. При этом та-



Виброперемещение



Виброскорость



Виброускорение

Следует обратить внимание, на то, что график виброперемещения очень трудно анализировать на высоких частотах, зато высокие частоты хорошо видны на графике ускорения. Кривая скорости наиболее равномерно по частоте среди этих трех. Это типично для большинства роторных машин, однако в некоторых ситуациях самыми равномерными являются кривые виброперемещения или ускорения. Лучше всего выбирать такие единицы измерения, для которых частотная кривая выглядит наиболее плоской: тем самым обеспечивается максимум визуальной информации для наблюдателя. Для диагностики машин наиболее часто применяют виброскорость и виброускорение. Ниже приведён пример развития дефекта на подшипнике, который определяется по росту амплитуды вибросигнала.

кие общепризнанные методы как контроль температуры, анализ смазки и другие при правильном подходе практически не требуются - их заменяет анализ вибрации.

Контроль за состоянием технологического оборудования, в зависимости от важности объектов, можно разделить на три способа :

1. Мониторинг-контроль вибрационных параметров агрегата, таких как виброскорость или виброперемещение, проводимый простейшими приборами, замеряющими как правило один параметр.
2. Вибродиагностика посредством переносных систем, позволяющих контролировать параметры вибрации и определять наличие и вид неисправности, присущей конкретному агрегату в определенный временной промежуток.



3. Вибродиагностика агрегатов посредством стационарно установленных систем, позволяющих наиболее достоверно определять изменение технического состояния объекта, выявлять причину отклонений, в любой момент иметь информацию как об параметрах вибрации, так и о неисправностях, присущих этому объекту.

Первый способ контроля самый распространенный на производстве. Он не требует больших материальных затрат, спецобучения персонала. С его помощью в большинстве случаев, при отсутствии высококвалифицированных специалистов, можно лишь оценить возможность продолжения работы обследуемого агрегата. Этот подход чрезвычайно полезен в качестве первого этапа контроля за оборудованием.

Наиболее дорогостоящими являются стационарные системы. Их необходимо использовать на жизненно важных объектах, для которых очень важны безопасность работы либо непомерно дороги простои производства: турбоагрегаты, газовые компрессоры, специальные дымососы, бумагоделательные машины и т.п. Удельная стоимость их высока из-за того, что эти системы охватывают небольшое количество объектов. При этом постоянно контролируются не только вибрационные характеристики, но и параметры технологического контроля. Производится сравнение диагностических характеристик с эталонными, характеризующими нормальное состояние агрегата, и определение начальной стадии развития дефекта. Исследование вибрационных характеристик в переходных процессах на стадии пусков и остановок позволяет выбрать более безопасные и щадящие режимы работы, что уменьшает вероятность появления дефектов. Этой цели может служить также совместный анализ технологических и вибрационных характеристик и разработка управляющих программ, оптимизирующих режимы работы агрегата. И все же, несмотря на полезность систем, они обладают избыточностью информации, которая зачастую остается невостребованной. Окупаемость стационарных систем составляет примерно 5 лет.

В последние 5-7 лет широкое распространение получают переносные диагностические комплексы, позволяющие не только контролировать вибрационные параметры, но и выявлять дефекты отдельных узлов в процессе работы.

Система мониторинга в любом ее исполнении должна иметь четыре основных подсистемы: спектроанализатор - сборщик виброакустической

информации; пьезоакселерометр - датчик, первичный преобразователь; персональный компьютер с принтером (средства хранения данных и их отображения); программа диагностирования.

Если система мониторинга должна выполнять диагностические функции, она должна включать в себя подсистему принятия диагностических решений. Это может быть: эксперт-аналитик; оператор, использующий экспертные подсистемы.

Остановимся на принципах и преимуществах использования переносной системы диагностирования. Их отличают универсальность, компактность, многофункциональность, быстрдействие, большой объем памяти, многоканальность, надежность и современный дизайн. Переносной анализатор вибрации может быть использован как независимый виброанализатор, так и в качестве сборщика данных в системе мониторинга технического состояния. Базой данных в этом случае является программное обеспечение, например, "ДИАМАНТ 2". Используемые при этом технические средства, как правило, позволяют не только контролировать состояние механизмов, но и обеспечивают решение задач по оперативной наладке в процессе эксплуатации и ремонта. В первую очередь это касается динамической балансировки роторов, контролю качества подшипников и их монтажа. Основной отличительной характеристикой переносной системы мониторинга и диагностики можно считать работу оператора по подключению первичных датчиков вибрации к переносным устройствам ее измерения и анализа. Эта работа выполняется вручную и перед каждым измерением. Как правило, использование переносных систем связано с установкой датчиков на объекте на время измерения. Но в недоступных местах датчики могут устанавливаться стационарно, а линии связи - выводиться в доступное оператору место. Преимущество переносной системы диагностики заключается в возможности увеличивать количество точек контроля вибрации до необходимого (на каждом узле), за счет увеличения интервалов между измерениями. Эти интервалы определяются длительностью долгосрочного прогноза и, как правило, составляют несколько дней или недель.

Ниже приведен приблизительный перечень дефектов, которые может определить квалифицированный специалист с помощью переносных анализаторов вибрации (в комплексе с программным обеспечением).

1. Дисбаланс вращающихся масс, вызываемый некачественной обработкой подшипниковых шеек ротора, эксцентричной посадкой на роторе колес, изгибом ротора, поломкой лопаток на роторе.

2. Резонанс ротора.

3. Касание ротора о статор.

4. Ослабление (люфт) механического крепления (фундамент-опорная плита, болты крепления корпуса подшипника, посадка подшипник-вал).

5. Несоосность (угловая, осевая) сочлененных валов.

6. Масляная вибрация, вызываемая несоответствием динамических качеств ротора и смазывающих свойств в подшипниках скольжения.

7. Неправильная установка вкладышей в подшипниках скольжения.

8. Износ вкладышей в подшипниках скольжения.

9. Дефекты подшипников качения: износ внешнего кольца, дефект внешнего кольца (трещины, раковины); износ внутреннего кольца, дефект внутреннего кольца; износ сепаратора; износ тел качения, дефекты на телах качения; нарушение смазки (отсутствие масляной плёнки); ослабление посадки наружного кольца в корпусе; перекос наружного или внутреннего кольца;

10. Дефекты зацепления зубчатых передач (трещина, скол на зубе; поломка зуба, износ зубьев; несоосность шестерён).

11. Дефекты ременных передач (эксцентриситет шкивов, несоосность шкивов, износ и провисания ремня, резонанс ремня).

12. Дефекты сборки агрегатов.

13. Дефекты муфт.

14. Электромагнитные источники вибрации в электродвигателях (повреждение стержней ротора, витковые замыкания, обрыв и замыкание обмоток, пробой изоляции, ослабление листов сердечника и др.).

15. Гидравлические и пневматические источни-

ки вибрации (вихреобразование, кавитация, турбулентная пульсация давления, помпаж).

Как видно – спектр возможностей таких приборов очень широк.

С чего же начинать внедрение систем диагностики на предприятии? Эту работу лучше всего разделить на три этапа.

На первом этапе следует добиваться максимального экономического эффекта при минимальных затратах. Для этого необходимо приобрести переносную систему автоматической диагностики высокой производительности (два-три десятка машин в сутки), и начать диагностику со вспомогательного оборудования. В течение одного-двух месяцев такая система позволяет перейти на обслуживание и ремонт по фактическому состоянию две-три сотни машин, реально сократить число отказов в десятки раз, полностью окупить все расходы и дает возможность приобрести опыт операторам.

На втором этапе необходимо решать два основных вопроса - подготовка специалистов и установка датчиков вибрации в недоступных оператору узлах диагностируемых машин.

На следующем этапе можно увеличить число переносных систем до оптимального количества (одна система на 100-400 машин с числом точек контроля вибрации 2000-5000), и лишь после этого начинать внедрение стационарных систем мониторинга и диагностики. Последнее объясняется тем, что если стоимость переносных систем не превышает 1-2% от стоимости диагностируемых машин, и такая же сумма уходит на приобретение и установку датчиков вибрации в недоступных местах, то стоимость стационарных систем мониторинга может доходить до 10-20% от стоимости машины. Именно по этой причине стационарные системы мониторинга чаще всего ставятся на наиболее ответственное оборудование.

## КОРОТКО О РАЗНОМ

Необычный мировой рекорд установила малолитражка "Лупо" германской фирмы "Фольксваген": она проделала путь в ~33,5 тыс. км вокруг Земли за 80 сут., расходуя в среднем 2,4 л дизельного топлива на 100 км пути. В 2000 г. выпущено 10 тыс. этих автомобилей, которые пользуются спросом в Европе.

