

Обеспечение надежной и безопасной эксплуатации оборудования

В.П. ЛЯНЗБЕРГ, В.И. ХАРЧЕНКО,
В.Г. АТАМАНЮК,
Фирма «Сервис технологических машин»,
г. Киев



Настоящей публикацией мы начинаем цикл статей, посвященных вопросам контроля технического состояния, ремонта и наладки оборудования при эксплуатации. Мы постараемся предоставить вам информацию о современных методах и средствах контроля текущего технического состояния оборудования, передовых системах (технологиях) обслуживания, методах устранения наиболее распространенных дефектов. Надеемся, что эта информация поможет сократить эксплуатационные затраты, повысить ресурс и надежность технологического оборудования, избежать убытков, связанных с авариями и простоями оборудования. Первая публикация из этой серии рассматривает вопросы организации обслуживания и контроля технического состояния оборудования во время эксплуатации без его разборки.

В различных отраслях промышленности затраты на техническое обслуживание оборудования составляют от 6 до 18 % стоимости выпускаемой продукции (услуг), что сравнимо с прибылью предприятия. Поэтому совершенствование системы технического обслуживания с целью снижения затрат является важнейшим резервом.

Рассмотрим применяемые в настоящее время виды технического обслуживания.

Реактивное техническое обслуживание («до поломки») — ремонт или замена оборудования — производится после выхода из строя или выработки ресурса. Имеет следующие недостатки: риск внеплановых простоев, дорогостоящий и продолжительный ремонт из-за серьезности и обширности дефектов. Кроме того, есть вероятность внезапного отка-

за одновременно нескольких агрегатов, при этом необходимость в ремонтных работах может превысить возможности ремонтных служб.

Планово-профилактическое техническое обслуживание (ППР) — работы по профилактическому ремонту различного объема (текущий, средний, капитальный) выполняются через строго определенные интервалы времени, согласно календарного плана. Сегодня самым распространенным видом является ТО, в первую очередь потому, что этот вид появился давно и наиболее обеспечен методически. Несомненным достоинством ППР, по сравнению с реактивным обслуживанием, является более высокий уровень управления обслуживанием и снижение количества внезапных отказов оборудования. Исследования и опыт работы в промышленности показали, что

успешная программа ППР может обеспечить, по сравнению с реактивным обслуживанием, более чем 30 %-е снижение эксплуатационных затрат. Основным недостатком ППР является проведение «излишних» ремонтов, т.е. ремонтов фактически исправного оборудования, что ведет к росту эксплуатационных затрат. Основная идея ППР, состоящая в том, что остаточный ресурс механизма определяется только временем его эксплуатации, не находит подтверждения на практике, носит явно выраженный затратный характер, а в сочетании со сдельной оплатой труда ремонтников просто разорительна.

Развитие микропроцессорной и компьютерной техники, разработка на их базе методов и средств контроля обеспечили возможность не только определять текущее состояние агрегатов путем



измерения ряда технических параметров, но и на основе их анализа прогнозировать остаточный ресурс узлов и деталей. Планировать сроки проведения и объемы ремонтных работ, т.е. проводить ремонт только тех агрегатов и узлов, где он необходим. Данный метод обслуживания называется «предупредительным» или обслуживанием по фактическому техническому состоянию (ОФС). Достоинством этого метода является снижение объемов ремонтных работ (исключается ремонт бездефектных узлов) и увеличение на 25–40 % межремонтного ресурса по сравнению с ППР.

Наиболее прогрессивным видом обслуживания является проактивное техническое обслуживание (ПАО) — оно направлено на минимизацию требуемых объемов технического обслуживания и достижение максимально возможного межремонтного ресурса путем систематического устранения источников возникновения дефектов. В результате анализа наиболее часто встречающихся дефектов определяются причины их возникновения и влияние на межремонтный интервал, а затем принимаются меры по недопущению возникновения этих дефектов. В частности, проводится анализ работы ремонтных бригад с целью выявления недостатков, проявляющихся на группе агрегатов (например, некачественная сборка, центровка или балансировка), анализ оснащенности (например, оснастка для монтажа и демонтажа подшипников), анализ используемых ремонтных технологий, входной контроль используемых покупных изделий, конструктивные изменения (например, применение износостойких материалов) и др.

Каждому этапу экономического и технического развития предприятия соответствует свой вид обслуживания.

Предприятие, где основным орудием труда ремонтников является кувалда, обречено на использование технологии «по регламенту» (ППР), которая обычно плавно трансформируется в технологию «до поломки», что как ни странно, устраивает как изготовителей данного оборудования, так и службы предприятий, занимающиеся его обслуживанием.

Изготовитель при формировании эксплуатационной документации имеет возможность и естественно закладывает известный только ему «запас», как по срокам, так и по объемам необходимых работ по обслуживанию, защищая себя тем самым от рекламаций. В свою очередь ремонтные службы имеют гарантии

рованные объемы работ и минимум ответственности. В большинстве случаев при поломке механизма к ним нет никаких обоснованных претензий — они во время и в полном объеме делают все, что положено по регламенту. Однако механизм как всегда «не вовремя» ломается, причины остаются невыясненными, виновных нет, ждем, что у нас поломается завтра.

С целью снижения эксплуатационных затрат на передовых предприятиях начинают применять комбинированный

по устраниению причин возникновения дефектов. Заранее планируется приобретение запчастей, материалов и т.д.

3. ОФС («предупредительное») — ответственное технологическое оборудование, остановка которого влечет за собой простой всего предприятия.

Основой системы обеспечения надежной и безопасной эксплуатации является информация о реальном текущем техническом состоянии оборудования, на базе контроля и анализа соответствующих параметров.



вид обслуживания, который можно назвать обеспечением надежности оборудования (ОНО). На базе информации о текущем техническом состоянии и в зависимости от категории (важности) данного оборудования применяются элементы того вида обслуживания, который обеспечивает достижение максимально возможного межремонтного ресурса при условии обеспечения безопасной эксплуатации, например:

1. Реактивное («до поломки») — вспомогательное или основное технологическое оборудование, имеющее резерв, остановка которого не влечет за собой простоя.

В процессе эксплуатации контролируется текущее техническое состояние, но мер не принимается, т.е. дают механизму выработать максимально возможный межремонтный ресурс, при этом резервное оборудование заранее находится в хорошем техническом состоянии.

2. ППР («по регламенту») — 1) оборудование, эксплуатация которого без выполнения регламентных работ запрещена; 2) технологией предусмотрена периодическая остановка предприятия, цеха или участка для производства ремонтных работ.

В межремонтный период контролируется текущее техническое состояние, к моменту плановой остановки корректируются объемы ремонтных работ (текущий, средний, капитальный), при этом разрабатываются и внедряются меры

Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации

Вибрация — это механические колебания тела около положения равновесия. Идеальная машина не должна создавать механических колебаний, т.к. в ней вся энергия должна превращаться в полезную работу. На практике при работе любых механических и электромагнитных систем возникают колебания, вызванные остаточным дисбалансом, расцентровкой, отклонениями в элементах зацепления, зазорами и т.д., что приводит к рассеянию энергии в виде механических колебаний. Поэтому вибрация — один из самых информативных параметров, который может быть применен для контроля текущего технического состояния механизмов роторного типа без их разборки в процессе изготовления (испытаний), эксплуатации, ремонта и наладки.

Мы уже привыкли к тому, что контролируем, например состояние двигателей внутреннего сгорания по давлению, температуре, расходу масла, компрессии и т.д. т.е. по определенным диагностическим признакам, и только после этого принимаем решение об их техническом состоянии, производстве определенных наладочных или ремонтных работ.

Для механизмов роторного типа (турбин, турбокомпрессоров, электродвигателей, генераторов, насосов, вентиляторов и т.д.) сигналы вибрации являются основными источниками диагностической информации, характеризующими ➤

текущее техническое состояние механизмов. Это обусловлено тем, что вибрация, являясь следствием взаимодействия различных сил в самом механизме, несет в себе информацию о состоянии как механизма в целом, так и его отдельных кинематических связей, узлов и деталей. При этом теория и практика анализа вибrosигналов к настоящему времени столь отработана, что можно получить достоверную информацию практически по любому дефекту монтажа, изготовления или износа (табл. 1).

При появлении каких-либо факторов, вызывающих отклонения от нормально-го состояния механизма, мы наблюдаем реакцию на их воздействия по изменению соответствующих вибрационных параметров, которые в силу своей высокой чувствительности отражают происходящие с механизмом перемены. На базе контроля и анализа соответствующих вибрационных параметров, решаются две основные задачи технической диагностики:

1. Мониторинг — распознавание текущего технического состояния механизма;

2. Диагностика — выявление причин и условий, вызывающих неисправности, и принятие обоснованных решений по их устранению.

Первая из задач долгие годы успешно решается на базе развития средств измерения основных параметров вибрации. Это обычно достаточно простые приборы для наблюдения за изменениями определенной группы вибрационных параметров во времени и сравнение полученных результатов с пороговыми значениями. При этом объединение их в стационарные системы мониторинга с использованием средств автоматизации позволяет создавать системы автоматического мониторинга. Основные задачи мониторинга — это контроль общего уровня (категории) технического состояния машин и достоверное обнаружение аварийных ситуаций, поэтому системы мониторинга обычно включают в состав средств аварийной защиты машин, отключающие их при возникновении аварийной ситуации.

Решению второй задачи способствовало бурное развитие микропроцессорной и компьютерной техники и технологий, развитие на их базе методов и средств диагностики, создание специализированных программ по хранению, обработке и анализу результатов измерений. Задачей систем вибрационной диагностики как стационарных, так и переносных является обнаружение

Табл. 1. Дефекты, выявляемые вибродиагностическими методами контроля

Тип дефекта	Механизм и последствия влияния дефекта
Дисбаланс	Ротора, рабочего колеса, системы «ротор электродвигателя—муфта—рабочее колесо» и т.д.
Несоосность валов	Излом и смещение валов. Изогнутый вал.
Нежесткое крепление	Трешины в раме или корпусе. Ослабление затяжки фундаментных или крепежных болтов. «Мягкая лапа».
Дефекты электродвигателей	Неравномерный воздушный зазор между статором и ротором. Повреждение обмоток статора или изоляции. Эксцентризитет ротора. Обрыв или ослабление крепления стержней в беличьей клетке.
Дефекты приводных муфт	Ослабление посадки на вал. Неравномерная передача крутящего момента элементами зацепления.
Дефекты компрессора, насоса, вентилятора	Кавитация. Помпаж. Срыв потока. Помолка лопаток и т.д.
Дефекты зубчатых передач	Износ зуба. Помолка зуба. Ударное зацепление. Несоосность валов.
Дефекты ременных передач	Износ ремня. Ослабление натяжения. Несоосность шкивов. Эксцентризитет шкива. Резонанс ремня и т.д.
Дефекты подшипников скольжения	Износ. Задир. Эллипсность шейки вала.
Дефекты подшипников качения	Продавливание масляной пленки, автоколебания и т.д. Дефекты тел качения, сепаратора, внутреннего и наружного кольца. Все дефекты изготовления, монтажа и износа. Качество смазки.

и идентификация дефектов на ранней стадии развития, их можно назвать системами мониторинга развития дефектов. Система отслеживает все дефекты, возникающие в процессе эксплуатации машин от момента их зарождения (когда они еще не представляют опасности для работы), контролирует скорость их развития во времени и на основе анализа полученных данных прогнозирует остаточный ресурс, т.е. достаточно точно можно планировать работы по ремонту, наладке или замене изношенных деталей.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что внедрение средств диагностирования является одним из важнейших факторов повышения экономической эффективности использования оборудования в промышленности.

Поэтому переносные системы технической диагностики на многих предприятиях становятся основой для перехода от технологии планово-профилактических ремонтов (ППР) к технологии обслуживания по фактическому состоянию (ОФС).

Данная технология коренным образом меняет систему обслуживания оборудования на предприятии и позволяет:

- ❑ избавиться от «внезапных» поломок механизмов и остановок производства;
- ❑ контролировать реальное текущее техническое состояние механизмов;
- ❑ технически обоснованно определять сроки и содержание ремонтных и наладочных работ, контролировать качество их выполнения;
- ❑ уменьшить финансовые и трудовые затраты на эксплуатацию оборудования;
- ❑ продлить межремонтный период и срок службы ваших механизмов;
- ❑ сократить потребность в запасных частях, материалах и оборудовании;
- ❑ повысить общую культуру производства и квалификацию персонала.

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, контроля качества подшипников и их монтажа.

Для внедрения современных видов технического обслуживания необходимо достаточно точное приборное и методическое обеспечение.

Фирма «Сервис технологических машин» совместно с НПП «Контест» производит автономный, микропроцессорный, вибродиагностический прибор — анализатор спектра вибрации 795М. Основные технические характеристики прибора ставят его в ряд современных диагностических средств, высокая разрешающая способность позволяет выявить любой дефект на месте эксплуатации механизма. Возможности выполнения многоплоскостной динамической балансировки в собственных опорах, измерения амплитудо-фазочастотных характеристик (АФЧХ) на режимах разгона/выбега, контроль подшипников по огибающей и методу ударных

**Табл. 2. Оснащение ремонтных бригад на фирме «Сервис технологических машин»**

Приборы, инструмент	Работы
Анализатор спектра вибрации 795М	Контроль текущего технического состояния и определение дефектов
Индикатор вибродиагностический 77Д11	Контроль состояния подшипников Балансировка в собственных опорах на эксплуатационных режимах Контроль качества ремонтных работ
Лазерный центровщик ТМЕА 1	Центровка валов в рабочем тепловом режиме (с учетом поправки на тепловую расцентровку) Контроль и устранение дефектов фундамента Устранение «мягкой лапы»
Индукционные нагреватели Съемники с гидроусилителем до 8 т	Монтаж, демонтаж подшипников и соединительных муфт

импульсов существенно расширяют возможности использования прибора при ремонте и наладке. Фирма поставляет прибор и устанавливает программное обеспечение к нему на компьютере заказчика, обучает основам вибродиагностики, работе с прибором и программным обеспечением персонал заказчика. Осуществляет гарантийное (18 месяцев) и послегарантийное обслуживание.

Обслуживание насосного и компрессорного оборудования

Данные агрегаты являются классическим примером проявления широко распространенных дефектов, возникающих в процессе эксплуатации оборудования, которые невозможно устранить традиционными методами.

Кинематика агрегатов на первый взгляд очень проста — это установленные на подшипниках качения два ротора, соединенные муфтой. Однако за этой простотой скрывается множество проблем. В первую очередь это касается устранения дисбаланса рабочих колес, неизбежно возникающего в процессе эксплуатации, точности центровки валов, качества монтажа подшипников. Вызванные дисбалансом или расцентровкой валов, центробежные силы существенно повышают нагрузки на подшипниковые опоры, корпусные детали, фундамент и приводят к резкому сокращению ресурса агрегатов. Технология планово-предупредительных ремонтов, основанная на том, что ресурс механизма определяется только временем его эксплуатации, не находит подтверждения на практике, как правило, создает множество проблем и в конечном итоге ведет к аварийным ситуациям с серьезными последствиями.

Например, на одном из предприятий водоочистки выход из строя подшипника турбовоздуховушки, не отработавшего еще

свой ресурс согласно требований документации, привел к аварии, в результате чего были: повреждены лабиринтные уплотнения ротора и думмиса; разбиты корпус и крышки подшипниковой опоры со стороны муфты; задрана шейка на валу ротора под подшипником; изогнут вал ротора в районе соединительной муфты. Понесенные предприятием затраты по восстановительному ремонту несоизмеримы с расходами по контролю и своевременной замене подшипника.

Анализ данных и опыт производства работ по ремонту и наладке свидетельствует о том, что основными причинами преждевременного выхода их строя подшипниковых узлов и аварий являются:

- ❑ Неудовлетворительная центровка валов. Не учитывается тепловая (технологическая) расцентровка, возникающая из-за разности температур в рабочем режиме.
 - ❑ Дисбаланс рабочего колеса вследствие износа или коррозии.
 - ❑ Неравномерная передача крутящего момента элементами зацепления соединительных муфт.
 - ❑ Дефекты монтажа/демонтажа подшипников при ремонте. Несвоевременная замена дефектных подшипников.
 - ❑ Перекос опорных поверхностей фундаментных рам, как неравномерное крепление лап к фундаменту — «мягкая лапа».
- Практически все перечисленные дефекты невозможно устраниТЬ, а тем более определить без соответствующего приборного и методического обеспечения.
- Фирма «Сервис технологических машин» на основе технологии обслуживания и ремонта оборудования «по фактическому состоянию» разработала и внедряет в жизнь систему «Бездефектное обслуживание», включающую в себя: контроль текущего технического состоя-

ния, определение причин, вызывающих отклонения в работе, принятие мер по устранению выявленных дефектов, контроль после ремонта. А главное, опираясь на личный опыт и данные независимых экспертов о том, что около 70 % дефектов механизмов вызвано производством работ по обслуживанию, мы особое внимание уделяем вопросам обучения персонала и его оснащения приборами и инструментом, обеспечивающим высокое качество обслуживания. Ремонтные бригады оснащены — см. табл. 2.

Приборы обеспечивают объективный контроль текущего технического состояния и дают возможность производить динамическую балансировку роторов в собственных опорах на эксплуатационных режимах, а также совместную балансировку систем «ротор электродвигателя — муфта — рабочее колесо».

При выверке опорных поверхностей фундаментов и центровке валов используются передовые технологии, что в сочетании с применяемой лазерной измерительной системой обеспечивает точность центровки до 0,001 мм.

Все работы по ремонту и наладке проводятся по результатам технической диагностики в сроки и объемах, необходимых для поддержания механизма в категории технического состояния «Хорошее». В результате увеличен межремонтный цикл, ресурс подшипников увеличился в 1,5–2 раза, исключены аварийные ситуации и поломки. Заказчик имеет возможность:

- ❑ контролировать реальное текущее техническое состояние механизмов;
- ❑ контролировать качество выполненных ремонтных и наладочных работ;
- ❑ технически обоснованно планировать сроки и содержание ремонтных и наладочных работ;
- ❑ планировать сроки приобретения запасных частей по мере их необходимости;
- ❑ сократить потребность в запасных частях, материалах и их запасах на складе;
- ❑ повысить ресурс, надежность и срок службы оборудования, избавиться от «внезапных» поломок и остановок производства;
- ❑ повысить общую культуру производства и квалификацию персонала. □

Фирма производит вибродиагностические приборы, имеет специалистов в данной области, располагает необходимыми средствами контроля и методами диагностики, инструментом и опытом проведения работ по обслуживанию.