

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТА РОТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОПАСНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

В настоящей статье рассматриваются практические аспекты повышения надежности и эффективности технического обслуживания и ремонта роторного оборудования опасных промышленных производств путем внедрения оптимального сочетания ресурсосберегающих технологий на базе комплекса методов и средств вибрационной диагностики и балансировки.

This article demonstrates like resource-saving technologies complex application based on condition monitoring and balancing methods and firmware solutions resulted in rotary machines maintenance increasing reliability and efficiency in dangerous petrochemical manufactures.

Последние годы во всем мире на промышленных предприятиях и в первую очередь на опасных производствах самое пристальное внимание уделяется вопросам повышения надежности и эффективности эксплуатации и ремонта роторного оборудования. Подобный интерес объясняется целым рядом объективных причин. Изменяются подходы к эксплуатации оборудования, изменяется и усложняется само оборудование, ужесточаются требования промышленной безопасности. Большое количество агрегатов, скрытый характер зарождения и развития неисправностей, накопленная за долгие годы усталость оборудования нередко являются причинами аварийных ситуаций, которые сопровождаются значительными экономическими потерями и загрязнением окружающей среды. Ряд аварий и техногенных катастроф различного масштаба последних лет заставляют по-новому переосмысливать требования к достоверности оценки текущего состояния оборудования и определению его остаточного ресурса с учетом последних достижений науки в области технической диагностики [1, 2].

В настоящее время ни у кого не вызывает сомнений высокая эффективность внедрения ресурсосберегающих технологий на базе методов неразрушающего контроля для успешного решения всех этих задач. Анализ отечественного и зарубежного опыта контроля технического состояния роторных агрегатов показывает, что для выявления возможных отказов и обнаружения дефектов механической и электромагнитной природы наиболее информативен (до 77 %) контроль оборудования по различным параметрам вибрации. На сегодняшний день накоплен значительный статистический материал, свидетельствующий о высокой эффективности практического применения методов вибрационной диагностики при решении задач по оптимизации затрат на техническое обслуживание и ремонт роторного оборудования. При этом суммарный эффект от внедрения достигается за счет сочетания целого ряда факторов, таких как исключение внеплановых и сокращение плановых остановов, продление остаточного ресурса, увеличение межремонтных интервалов, уменьшение затрат на ремонт, повышение производительности, улучшение качества выпускаемой продукции и т.д.[3].

Существует несколько основных подходов, позволяющих на практике оценить эффективность внедрения методов и средств вибрационной диагностики для отдельной группы либо всего парка промышленного оборудования на предприятии. В общем случае, экономическая эффективность складывается из прямой и косвенной экономии. К прямой экономии можно отнести снижение затрат на ремонт оборудования,

увеличение реального межремонтного периода за счет исключения необоснованных плановых ремонтов (по существующей статистике необоснованные ремонты сокращают реальный межремонтный период на 15 -30 %). Кроме того, это и снижение стоимости ремонта за счет выявления дефектов, устранение которых не требует демонтажа оборудования (расцентровки и дисбалансы), а также сокращение резервного оборудования в отдельных технологических процессах и минимизация объема ремонтных работ. По оценкам независимых экспертов, прямая экономия может привести к сокращению затрат от 2 до 10% в зависимости от типа оборудования. Косвенная экономия средств, складывается за счет снижения расходов, несвязанных напрямую с производственными затратами. Это, прежде всего, потери, возникшие в результате внеплановых простоев оборудования, выпуска брака, а также затраты на ликвидацию аварий. По ряду объективных причин, доступ к статистической информации, характеризующей косвенную экономию, существенно затруднен. Однако по сведениям западных источников, данные затраты могут достигать 6% от годового объема производства предприятия. Рассмотрим ряд практических примеров, свидетельствующих о высокой эффективности практического внедрения технологий вибрационной диагностики, а также выдержки из статистических исследований ряда коммерческих и некоммерческих организаций.

По данным американского исследовательского центра ARC Advisory Group, 1 час незапланированного простоя обходится в 25 000 долларов США для химической промышленности. Нетрудно оценить, что предотвращение только одного часа простоя позволит полностью окупить затраты на приобретение двух-трех комплектов переносной виброизмерительной аппаратуры.

По статистике одного из производителей виброизмерительной аппаратуры, внедрение технологий вибрационной диагностики на одном из газотермических предприятий в США позволило повысить выработку электроэнергии на 14%, снизить с 3,2 до 1 миллиона долларов США расходы на замену приводов и на 40% сократить затраты на техническое обслуживание в течение первых пяти лет.

По результатам исследований, проведенных другой компанией-производителем, внедрение вибрационных технологий на химическом производстве позволило за 1 год снизить количество ремонтов с 274 до 14, а также на 75% сократить затраты на обслуживание электродвигателей на нефтеперерабатывающем заводе. Аналогичные результаты получены и на ряде российских предприятий.

Так, за первые семь месяцев внедрения технологий вибрационной диагностики на одном нефтехимическом предприятии по сравнению с предыдущим аналогичным периодом времени удалось снизить количество попавших в ремонт агрегатов на 30 %. По материалам отраслевой региональной конференции внедрение стационарной системы мониторинга на одной из технологических установок (всего 22 агрегата) другого нефтехимического производства позволило за 1 год сэкономить около 8 млн. рублей при сроке окупаемости системы – 0,5 года.

Опыт перевода насосных агрегатов (свыше 300 единиц) нескольких установок одного из отечественных нефтеперерабатывающих заводов с системы планового обслуживания на обслуживание по фактическому состоянию свидетельствует о ежегодном сокращении количества ремонтов по этому оборудованию более чем в 3 раза на протяжении последних двух лет.

По статистике одной из сервисных организаций, специализирующихся на оказании услуг, эффективность химического производства при использовании средств виброконтроля в целом возрастает от 2 до 10%. Другой пример успешного внедрения вибрационной диагностики - организация входного контроля подшипников качения. Подобное мероприятие, по данным этой организации, позволяет увеличить межремонтный интервал оборудования на 10 – 12 % и продлить срок службы подшипников в 2-3 раза, что приводит к сокращению затрат на обслуживание на 5-7 %.

Еще один немаловажный практический аспект, свидетельствующий о высокой эффективности внедрения методов и средств вибрационной диагностики – политика

энергосбережения. В условиях устойчивого роста цен на энергоносители и повышения конечной стоимости электроэнергии для потребителя вопросам энергосбережения уделяется повышенное внимание. Многочисленные исследования с убедительностью показали эффективность использования средств вибрационной наладки для сокращения потребляемой электроэнергии. Так, качественная центровка четырех опорного агрегата позволяет в среднем снизить потребляемую мощность от 1 до 3% во время работы и от 5 до 12 % в режиме холостого хода в зависимости от конструкции агрегата и номинальной мощности привода. Еще более впечатляющей выглядит статистика по экономии электроэнергии на оборудовании до и после балансировки.

В ходе практических исследований, проведенных одним из университетов, было установлено, что качественная балансировка четырех опорного тягодутьевого агрегата приводит к снижению потребляемой электроэнергии на 4...6 %, что составляет в денежном эквиваленте экономию средств порядка 50 тыс. рублей в год для одного электродвигателя мощностью 100 кВт (по ценам 2009 года). Основными причинами снижения потребляемой электроэнергии после балансировки являются уменьшение нагрузок на элементы механизма и снижение момента сопротивления в подшипниковых опорах. Кроме того, общее снижение виброактивности после уравнивания роторов и других вращающихся узлов приводит к увеличению срока службы подшипников в среднем в 5 – 7 раз [4].

Представленный выше статистический материал наглядно демонстрирует высокую эффективность практического внедрения ресурсосберегающих технологий на базе методов и средств вибрационной диагностики. Однако важно понимать, что залог высоких экономических показателей – методически грамотная проработка стратегии обслуживания и ремонта, комплексный подход к решению вопросов достоверной оценки технического состояния оборудования на всех этапах его жизненного цикла (входной контроль, приемосдаточные испытания, эксплуатация, предремонтный контроль, ремонт, послеремонтный контроль), а также оптимальный выбор средств измерений, в максимальной степени соответствующих специфике диагностируемого оборудования. Рассмотрим более подробно основные аспекты практического внедрения концепции комплексного подхода на производстве.

Основная идея комплексного подхода - контроль оборудования на всех этапах его жизненного цикла. Новое оборудование нуждается в высококвалифицированном монтаже, а роль технологий вибрационной диагностики на этом этапе заключается в организации тщательного входного контроля вводимого в эксплуатацию оборудования и проверке его виброактивности на соответствие существующим нормам. На стадии эксплуатации оборудования аппаратные и программные средства вибрационной диагностики призваны осуществлять контроль его вибрационных характеристик и своевременно информировать о возникающих неисправностях. Залогом надежной и продолжительной эксплуатации оборудования является качественный ремонт, который невозможен без контроля всех основных вибрационных параметров перед выводом в ремонт и после ремонта. Любой ремонт, включающий в себя демонтаж отдельных узлов агрегата, не может быть завершен без балансировки и центровки. Еще один немаловажный фактор успешного ремонта – организация стендовых испытаний. В настоящее время наибольшее распространение получили стенды входного контроля подшипников качения, которые способны произвести отбраковку некачественного изделия до его монтажа, а, следовательно, принести существенную экономию средств за счет исключения незапланированных простоев по вине некачественных подшипников. В условиях широкого распространения контрафактных изделий подобная экономия может внести существенный вклад в общее увеличение прибыльности производства. Только неукоснительное соблюдение изложенных выше положений способно действительно повысить эффективность производства и надежность оборудования и привести к появлению положительного экономического эффекта от внедрения технологий вибрационной диагностики [5, 6]. На рис. 1 представлена диаграмма, описывающая область применения методов и средств

вибрационной диагностики и балансировки на все этапах жизненного цикла роторного оборудования в рамках описанного комплексного подхода.



Рис. 1. Область применения технологий вибрационной диагностики на различных этапах жизненного цикла роторного оборудования.

Другим важным практическим аспектом, во многом определяющим успех внедрения технологий вибрационной диагностики в рамках описанного комплексного подхода, является квалифицированный выбор измерительных средств для контроля состояния оборудования на этапе его эксплуатации. Действительно, любое опасное производство – это огромное количество единиц самого разнообразного оборудования, существенно различающегося по сложности конструктивного исполнения, режимам работы, выполняемым функциям и т.д. Очевидно, что не может существовать единого аппаратного решения, позволяющего с максимальной эффективностью обеспечивать достоверную диагностику и предотвращать аварийные выходы из строя всего парка оборудования. Поэтому для комплексного оснащения предприятия системами вибромониторинга необходим достаточно широкий спектр технических решений. Какое именно из этих решений будет использоваться в каждом конкретном случае, зависит, как правило, от специфики решаемых задач. Для особо ответственного высокоскоростного оборудования, например турбин, компрессоров и т.д., на первый план выходят задачи защиты в режиме реального времени. Дефекты таких агрегатов могут иногда развиваться за очень короткие отрезки времени, а последствия аварий часто бывают непредсказуемыми. Тихоходные вспомогательные агрегаты, имеющие дублирование, напротив, достаточно контролировать с определенной периодичностью, а время между замерами в отдельных случаях может достигать нескольких месяцев.

Специалисты НПО «ДИАТЕХ» (Россия, г. Москва), опираясь на огромный опыт практических работ на предприятиях различных отраслей промышленности, предложили оригинальную классификацию роторного оборудования, в максимальной степени ориентированную на выбор оптимального технического решения для контроля его текущего состояния. При проведении этой классификации учитывались такие параметры как критичность оборудования (его стоимость, затраты на обслуживание, затраты на ремонт, стоимость простоя и аварийного ремонта и т.д.) и время развития дефекта (периодичность обновления данных, достаточная для принятия решения по

дальнейшему обслуживанию и своевременному безаварийному выводу в ремонт). В результате анализа все вращающееся оборудование было разделено по приоритетности контроля на три основные группы: оборудование, дефекты которого развиваются достаточно медленно (годы - недели), а его критичность минимальна, промежуточная группа – более критичное оборудование с более быстроразвивающимися (недели - часы) дефектами и группа особо ответственного оборудования, дефекты которого могут развиваться за часы и даже минуты [7].

Очевидно, что подходы к контролю состояния и диагностике оборудования различных групп должны существенно различаться. Для первой группы наиболее оправдан периодический контроль вибрации с использованием переносных сборщиков данных. Для безаварийной эксплуатации оборудования второй группы необходим постоянный контроль вибрации при помощи стационарных систем, однако допускается последовательный сбор данных с определенной периодичностью. Особо ответственное оборудование третьей группы необходимо контролировать непрерывно, причем помимо мониторинга (отслеживания параметров во времени) необходимо осуществлять и защиту (оперативная сигнализация или отключение в случае превышения заданных уставок). Используемые технические решения могут также отличаться в зависимости от степени критичности оборудования, согласно принятой классификации. Например, для контроля состояния ответственного оборудования, дефекты которого развиваются достаточно медленно, оправдано использование многоканальных переносных либо стендовых исследовательских комплексов, более простое оборудование может контролироваться при помощи виброанализаторов, а вспомогательное оборудование – при помощи простейших виброметров. На рис. 2 приведена обобщенная диаграмма, наглядно иллюстрирующая процедуру выбора оптимального технического решения для контроля состояния оборудования различных групп.



Рис. 2. Обобщенная диаграмма выбора оптимального технического решения.

Рассмотрим более подробно практические особенности внедрения указанных технических решений для различных групп промышленного оборудования. Любое современное промышленное предприятие включает в себя большое количество основных и вспомогательных производств, на которых эксплуатируется огромное количество самого разнообразного оборудования. Внезапный выход из строя одного из агрегатов может стать причиной нарушения всего технологического цикла, поэтому

первостепенной задачей является организация вибрационного мониторинга состояния всего парка оборудования для обеспечения его безаварийной работы. Как показала практика, в силу целого ряда объективных причин, привлечение инженерного персонала предприятия для решения этой задачи малоэффективно. Малочисленность инженерных работников не позволяет обеспечить необходимую для безаварийной работы оборудования периодичность контроля параметров вибрации. По статистике при периодичности проведения обследований агрегата реже 1/10 его межремонтного интервала велика вероятность пропуска дефекта. Кроме того, развитие некоторых дефектов, например, разрушение подшипников, обычно происходит лавинообразно. С другой стороны, при диагностике большого количества единиц оборудования бывает крайне сложно выполнить сбор необходимых дополнительных сведений, таких как, контроль температуры, режимных параметров, а также формализовать результаты визуального осмотра [8].

Наиболее эффективный способ решения этой проблемы, успешно практикуемый на многих предприятиях за рубежом в течение последних десятилетий, - передача функций мониторинга состояния большинства единиц оборудования службам цехов. Обходчики или эксплуатационный персонал цеха, оснащенные простейшими приборами для измерения вибрации – виброметрами, требующими минимальных практических навыков оператора, с заданной периодичностью измеряют уровни вибрации поднадзорного оборудования. Помимо измерений вибрации оцениваются уровни шумов, температура, другие необходимые параметры, производится визуальный осмотр. При непосредственном контроле руководства цехов за отчетный период формируются и передаются в службу диагностики сводные таблицы вибрационного состояния оборудования и заявки на проведение диагностических работ. На основании поданных заявок специалисты лаборатории вибрации производят дополнительные обследования проблемного оборудования, определяют, а в ряде случаев и устраняют причины повышенной вибрации, выдают рекомендации по срокам и объемам ремонтных работ. Реализация подобного подхода позволяет максимально эффективно использовать имеющиеся на предприятии людские ресурсы и обеспечивать безотказную работу всего оборудования.

Для проведения детальной диагностики проблемных агрегатов, периодического мониторинга основного оборудования, балансировки в собственных подшипниках, осуществления входного контроля и приемосдаточных испытаний необходимо использовать виброанализаторы, позволяющие хранить в памяти результаты измерений, осуществлять обмен данными с компьютером, выполнять спектральный и другие виды анализа вибрации. Применение подобных приборов требует определенных знаний и навыков, а, их операторы, как правило, – специально обученные специалисты бюро технической диагностики. Для проведения более детальной диагностики и дополнительных исследований - определения резонансов агрегата в различных точках (замеры разгона/выбега), выявления особенностей его работы при изменении нагрузки (временные характеристики) должна быть использована специальная многоканальная виброизмерительная аппаратура с возможностью измерения вибрации одновременно во многих точках.

Одним из основных инструментов вибрационной диагностики является периодический мониторинг – отслеживание изменений различных параметров вибрации во времени, который наряду со сравнительным анализом вибрационных характеристик, обеспечивает максимальную достоверность заключений. Кропотливый анализ и сравнение больших массивов разнородных данных не могут быть выполнены вручную, поэтому для хранения, отображения и оценки результатов вибрационных измерений всех контролируемых агрегатов необходимо специализированное программное обеспечение. Требования к такому программному обеспечению крайне высоки. Помимо простоты работы и высочайшей надежности, программа должна обеспечивать возможность хранения больших объемов структурированных данных, оперативного обмена информацией, иметь мощный инструментарий для наглядного

отображения различных сравнительных характеристик, а также иметь функции автоматического составления протоколов измерений и отчетов. В дополнение к основным возможностям программное обеспечение достаточно часто комплектуется расширительными модулями. В настоящее время наибольшее распространение получили экспертные модули, позволяющие автоматизировать процедуру диагностики основного и вспомогательного оборудования и повысить достоверность распознавания технического состояния отдельных узлов и механизмов.

В ряде случаев отсутствует необходимость постоянного контроля различных параметров вибрации, т.е. сбор данных можно осуществлять при помощи переносной виброизмерительной аппаратуры, однако, доступ к точкам измерения на работающем оборудовании невозможен по соображениям техники безопасности. В этом случае проблема контроля вибрации и диагностики оборудования в труднодоступных местах может быть решена при помощи полустационарных систем. В таких системах датчики смонтированы стационарно, а блоки коммутации выведены в безопасное место. Специалисты, проводящие диагностику, с необходимой периодичностью осуществляют последовательный сбор вибрационных данных по всем каналам при помощи переносного виброанализатора, подключаемого к коммутирующему блоку. Такой подход обеспечивает необходимую достоверность диагностики и является хорошим компромиссом по сочетанию факторов «цена-качество».

Другой важной составляющей безопасной работы оборудования являются стационарные и полустационарные системы контроля вибрации, которые существенно расширяют возможности периодического мониторинга. Для оценки работоспособности ответственного оборудования бывает необходимо осуществлять постоянный контроль различных параметров - режимных, электрических, механических, вибрационных. Очевидно, что даже самые совершенные переносные приборы не могут справиться с этой задачей. В этих случаях оборудование оснащается стационарными системами контроля. Современная стационарная система не только выполняет автоматический сбор различных вибрационных характеристик по многим каналам, но и осуществляет оперативный контроль других заданных параметров, а также сбор, хранение и архивацию всех поступающих данных. В случае необходимости стационарные системы могут быть легко интегрированы в существующие АСУ ТП. Системы нового поколения «обрастают» диагностическими функциями, некоторые имеют встроенную балансировочную программу и позволяют проводить балансировку агрегата в собственных опорах [9].

Примером компании, выпускающей полный спектр программно-аппаратных средств для оценки технического состояния роторного оборудования на всех этапах его жизненного цикла и предлагающей наиболее разнообразный арсенал индивидуальных технических решений для агрегатов различных групп, является НПО «ДИАТЕХ». На протяжении последних лет компанией достигнуты существенные успехи и в вопросах разработки, производства, методического обеспечения и адаптации технических средств для контроля различных видов оборудования на этапе эксплуатации и ремонта. На сегодняшний день НПО «ДИАТЕХ» поставляет широкую линейку переносных виброизмерительных приборов (виброметры семейства YAL, виброанализаторы – Brig, Corvet, Clipper), переносные многоканальные комплексы семейства UMS, высокоточные балансировочные станки серии БМ, стенды входного контроля электродвигателей UM_ED и насосов UMS_Pump, с также стационарные системы (UMS, CMS и MPS) и единое программное обеспечение SAFE PLANT с функциями автоматизированной диагностики роторного оборудования.

Подводя итоги рассмотрения основных аспектов повышения надежности эксплуатации и ремонта роторного оборудования на опасных промышленных производствах путем комплексного внедрения ресурсосберегающих технологий на базе методов и средств вибрационной диагностики, необходимо подчеркнуть ряд тезисов, имеющих важное практическое значение. В настоящее время не вызывает сомнений высокая эффективность использования методов и средств вибрационной диагностики

при решении задач повышения надежности эксплуатации и оптимизации затрат на техническое обслуживание и ремонт роторного оборудования. Однако для достижения высоких экономических показателей при внедрении вибрационных технологий необходима квалифицированная методологическая проработка стратегии оптимального технического обслуживания и ремонта, базирующейся на описанных положениях комплексного подхода к контролю оборудования на всех этапах его жизненного цикла и выборе технических средств для контроля эксплуатируемого оборудования с учетом его индивидуальных особенностей.

Список литературы

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 7: Кн.2: Вибродиагностика. / Ф.Я. Балицкий, А.В. Барков, Н.А. Баркова и др. М.: Машиностроение, 2005. 829с.: ил.
2. Ширман А.Р, Соловьев А.Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. – М: 1996.
3. Вибродиагностика в системах технического обслуживания по фактическому состоянию оборудования металлургических производств / Сушко А.Е., Демин М.А. – Вибрация машин: измерение снижение защита -2005. - №1 – С. 6- 9.
4. Сидоров В.А., Сотников А.Л., Сушко А.Е., Цыба С.А. Методика оценки экономической эффективности балансировки роторов в производственных условиях // Вибрация машин: измерение снижение защита. 2009. №2 С. 38 - 43.
5. Сушко А.Е. Комплексный подход к вопросам повышения надежности работы оборудования // Вибрация машин: измерение снижение защита. 2006. №3. С. 42-47.
6. Сушко А.Е. Современные подходы к формированию системы оптимального технического обслуживания и ремонта компрессорного оборудования // Компрессорная техника и пневматика. 2007. №1. С. 33-37.
7. Сушко А.Е. Практические аспекты внедрения систем вибрационной диагностики в условиях современных промышленных производств // Вибрация машин: измерение снижение защита. 2007. №4 С. 24 - 30.
8. Радчик И.И., Рябков В., Сушко А.Е. Комплексный подход к вопросам надежности работы основного и вспомогательного оборудования современного металлургического производства // Оборудование. Технический альманах. 2006. №1. С. 24 – 28.
9. Тараканов В.М., Скворцов О.Б., Сушко А.Е. Системы непрерывного контроля по вибрационным параметрам // Вибрация машин: измерение снижение защита. 2006. №3 С. 48- 54.