Мониторинг состояния и диагностика компрессорного оборудования в реальном времени

В.Н. Костюков, А.П. Науменко (на фото)

НПЦ «Динамика», Москва

Основным условием, определяющим качество эксплуатации и обслуживания насосно-компрессорного оборудования (НКО) различного назначения, является использование его максимального ресурса при обеспечении безопасности в случае аварийных и непредсказуемых остановок с заданным уровнем последствий и потерь, с одной стороны, а также затрат на ремонт и восстановление работоспособного состояния НКО, с другой.

Основным средством поддержания в рабочем состоянии существующего парка НКО является планово-предупредительный ремонт. Интервалы между обслуживаниями и ремонтами, их объем и содержание формируются на основе статистических данных. При этом не учитываются особенности конкретной конструкции, реальные условия эксплуатации, в частности стохастический характер нагрузок на НКО и качество обслуживания, а рассматриваются тип, модификация НКО, характер эксплуатации и т.п. Основанная на таком подходе система обслуживания и ремонта НКО и другого динамического оборудования имеет ряд недостатков:

— ремонтно-регулировочным работам подвергается оборудование, находящееся в удовлетворительном состоянии и не нуждающееся в них;
— наступивший в период эксплуатации скрытый отказ устраняется только во время регламентных работ;
— не удается полностью устранить внезапные отказы, а на их количество и тяжесть существенное влияние оказывают не только условия эксплуатации, но и качество ремонтных работ, а также замененных деталей и узлов;
— отсутствие на объектах и производствах качественных средств диагностики текущего технического состояния и качества ремонтных и регулировочных работ НКО, что приводит к снижению эффективности его функционирования, так как оборудование после ремонтно-регулировочных работ часто имеет характеристики, которые не соответствуют его паспортным данным;
— отсутствие наблюдаемости текущего технического состояния (ТС) НКО приводит к непредсказуемым, часто — аварийным остановкам машин, последствием которых нередко являются не только экономические потери, но и существенные технические и экологические проблемы.

Существует достаточно большая сфера применения НКО, где безопасность его эксплуатации является первостепенным и определяющим фактором. Это оборудование опасных производственных объектов (ОПО) предприятий нефтегазохимического комплекса (НГХК), для которого важным является получение не только достоверного, но и своевременного диагноза, обеспечивающего безаварийную эксплуатацию с максимальным использованием ресурса заменяемых узлов и деталей. Достичь этого можно только путем обеспечения постановки диагноза с интервалом времени меньшим, чем продолжительность развития неисправности. Для оборудования НГХК этот интервал может составлять от нескольких минут до часов, дней, недель, месяцев.

Из вышеизложенного следует, что безопасная и надежная эксплуатация производственных комплексов является одной из важнейших проблем, разрешить которую можно только путем обеспечения наблюдаемости технического состояния оборудования (объектов) этих производств, существенным образом влияющих на технико-экономические показатели производства и возникновение техногенных инцидентов.

Наблюдаемость технического состояния производственного комплекса обеспечивается путем мониторинга, т.е. наблюдения за техническим состоянием входящих в него объектов мониторинга. Термин «техническое состояние» включает в себя 5 видов состояний: исправное, неисправное, работоспособное, неработоспособное и предельное.

Однако сегодня условия эксплуатации требуют другой оценки возможностей эксплуатации, использования по назначению машинного оборудования и степени опасности дальнейшей работы оборудования.

В понимании специалистов служб эксплуатации и ремонта техническое состояние — это состояние объекта, при котором он способен выполнять свои функции в допустимых пределах отклонений

функциональных количественных и качественных показателей, при заданном риске возникновения отказа, приводящего к прекращению выполнения своих функций. Как правило, используются 4 категории таких состояний [1—3]:

• ХОРОШО (**Х**) — допустимо при приемочных испытаниях после монтажа или капитального (среднего) ремонта. Соответствует исправному состоянию объекта и характеризует высокое качество ремонтных, монтажных работ и обкатки под нагрузкой.

• ДОПУСТИМО (**Д**) — допустимо при длительной эксплуатации. Характеризует полностью работоспособное состояние объекта при малой вероятности отказа. При достижении уровня Д, контролируется скорость изменения измеряемых параметров.

• ТРЕБУЕТ ПРИНЯТИЯ МЕР (**ТПМ**) — допустимо при непродолжительной эксплуатации. Техническое состояние объекта соответствует ТПМ, если величина измеряемого параметра или скорость его роста превышает уровень ТПМ при абсолютном значении показателя, превышающем уровень Д. Предупреждает о приближении технического состояния к предельному, наличии развивающихся дефектов, устойчивой постепенной утрате работоспособности и росте вероятности отказа. Служит основанием для проведения более частого текущего обслуживания и/или планомерного вывода агрегата в ремонт.

• НЕДОПУСТИМО (**НДП**) — недопустимо при эксплуатации. Техническое состояние объекта соответствует НДП, если величина измеряемого параметра или скорость его роста превышает уровень НДП при абсолютном значении параметра, превышающем уровень Д. Характеризует наличие развитых дефектов либо высокую скорость их развития и достижение объектом предельного или опасного состояния с высокой вероятностью отказа. Служит для немедленного останова агрегата и вывода его в ремонт. Продолжительность работы агрегата в состоянии НДП должна быть минимальна и определяется регламентом по выводу его из этого состояния.

Каждая оценка технического состояния ОПО определяет соответствующую совокупность действий персонала по управлению этим состоянием.

Сегодня в задачи систем мониторинга входит не только определение вида ТС, но и выявление неисправного механизма, узла, детали, т.е. элемента технического объекта, а также прогнозирование технического состояния, что является общей целью диагностики.

Решение столь сложной задачи, как мониторинг технического состояния, возможно на основе адекватного выбора методологии диагностирования и параметров, не только определяющих ТС, но и позволяющих осуществлять диагностику.

Существующий уровень развития методов технической диагностики и неразрушающего контроля дает возможность реализовать оценку технического состояния и выявление причин неисправностей достаточно большего количества типов оборудования. Однако реализация автоматизированных и автоматических алгоритмов диагностирования, как правило, в большинстве случаев требует проведения научно-исследовательских работ и изысканий, которые могут проводиться на протяжении нескольких лет для одного типа оборудования и требуют привлечения значительного научного потенциала.

Другой проблемой безопасной ресурсосберегающей эксплуатации производственных комплексов являются выбор и обоснование объектов мониторинга, которая решается на основе анализа технологической схемы производства с учетом их влияния на технологический процесс и взрывопожароопасность комплекса, а также матрицы риска [4]. В результате определяются категории опасности объектов [4, 5], которые и подлежат оснащению системами мониторинга ТС. Конечным итогом анализа производства является разработка программы оснащения предприятия системами мониторинга и перехода на эксплуатацию оборудования по фактическому техническому состоянию.

Следующей проблемой мониторинга состояния оборудования современных производств является выбор системы мониторинга. Технологическое оборудование современных производственных комплексов, как правило, включает динамическое оборудование (насосы, компрессоры, воздуходувки и т. п.) и статическое (колонны, резервуары, трубопроводы и т п.). Для диагностики и мониторинга их технического состояния сегодня часто используют различные технические средства. Мировая тенденция к узкопрофильной специализации организаций по разработке технологий и стационарных и переносных средств диагностики конкретного типа оборудования приводит к появлению систем, которые произведены различными фирмами. Многие из них практически оказываются несовместимыми между собой ни по электрическим, ни по информационным параметрам, что не позволяет интегрировать их в единое информационное пространство АСУ ТП предприятия. В то же время важнейшим фактором, определяющим надежность мониторинга, является представление и хранение результатов мониторинга в едином информационном пространстве, что обеспечивается путем стандартизации номенклатуры, формата и представления результатов мониторинга.

Системы комплексного мониторинга (СКМ) АСУ БЭР КОМПАКС® — предназначены для обеспечения безопасной ресурсосберегающей эксплуатации оборудования опасных производственных объектов путем получения в реальном времени оперативной информации о прошлом, текущем и прогнозируемом технических состояниях оборудования, которая используется в системе принятия решений [5—7]:

— по контролю и оценке технического состояния оборудования при приемочных испытаниях и в процессе эксплуатации различными видами (методами) неразрушающего контроля (виброакустический, акустико-эмиссионный, тепловизионный и др.);
— выявлению дефектных узлов оборудования и причин возникновения дефектов и неисправностей;
— ведению технологического режима объекта мониторинга с учетом его технического состояния;
— необходимости регулирования параметров технологического процесса для минимизации деструктивных нагрузок, действующих на объект мониторинга с целью обеспечения максимального ресурса безопасной эксплуатации оборудования ОПО;
— изменению периодичности проведения регламентных работ (для оборудования, находящегося в эксплуатации);
— эксплуатации оборудования ОПО по фактическому состоянию, подразумевающей, что объемы и содержание штатных периодических осмотров и обследований объектов, снабженных СКМ, могут быть изменены;
— условиям дальнейшей эксплуатации оборудования ОПО сверх нормативного срока эксплуатации.

Одним из основных из условий применения СКМ на оборудовании ОПО является соответствие систем мониторинга требованиям, отвечающим условиям их применения на опасных производственных комплексах. Данные требования изложены в государственном и отраслевом стандартах [5, 7].

Впервые в нормативных документах [5] дано полное, не имеющее двусмысленной интерпретации определение понятия «мониторинга технического состояния», под которым подразумевается наблюдение за техническим состоянием агрегата или комплекса агрегатов (конструкции, машины, узла, механизма) для определения и предсказания момента их перехода в предельное состояние. Результат мониторинга представляет собой совокупность диагнозов составляющих его агрегатов, субъектов агрегатов, получаемых на неразрывно примыкающих

друг к другу интервалах времени, в течение которых состояние комплекса или агрегата существенно не изменяется.

Система мониторинга должна обеспечивать получение информации о состоянии оборудования (объекта мониторинга) в необходимых количестве и качестве для обеспечения наблюдаемости его технического состояния. По результатам наблюдения СКМ должны заблаговременно вырабатывать управляющие воздействия, которые обеспечивают необходимый запас устойчивости технологической системы, качество ее функционирования, создают необходимый запас ее техногенной, экологической и экономической безопасности.

В стандартах [5, 7] впервые приведена классификация систем и определены требования к системам, осуществляющим мониторинг оборудования различных категорий опасности:

— системы 1-го класса предназначены для мониторинга оборудования 1-й категории, которое занимает ключевые позиции в технологическом процессе и определяет безопасность производства. Его внезапный может привести к техногенной аварии (взрыву, пожару) и/или существенному снижению технико-экономических показателей производства. Системы 1-го класса обеспечивают эксплуатацию оборудования всех категорий по фактическому техническому состоянию;
— системы 2-го класса предназначены для мониторинга оборудования 2-й категории, которое занимает второстепенные позиции в технологическом процессе и влияет на безопасность производства. Внезапный его отказ может привести к снижению безопасности и технико-экономических показателей производства. Системы 2-го класса обеспечивают эксплуатацию оборудования 2-й и 3-й категорий по фактическому техническому состоянию;
— системы 3-го класса предназначены для мониторинга оборудования 3-й категории, решающего вспомогательные задачи, и обеспечивают его эксплуатацию по фактическому техническому состоянию;
— системы 4-го и более низких классов носят вспомогательный характер.

Для реализации автоматизированных систем управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования необходимо построение СКМ с использованием ряда принципов и учетом наиболее важных свойств и характеристик [5, 7].

Эти факторы положены в основу классификации систем, предлагаемых производителями для внедрения на ОПО, с целью определения

классов оборудования, на которых они могут быть полезны. Совокупность этих взаимосвязанных факторов определяет суть каждой конкретной системы и не допускает произвольных вариаций. Внутри каждого фактора ($R_1 ... R_{13}$) выделяется несколько уровней, оцениваемых в баллах от 2 до 4.

Для каждого класса системы устанавливаются границы применения при оснащении ОПО [5, 7] в соответствии с риском пропуска отказов. Классификация оборудования основана на матрице риска [4], учитывающей вероятность возникновения отказа и его экономические, экологические и техногенные последствия.

В [5, 7] впервые определены требования к системам мониторинга с точки зрения риска пропуска внезапного отказа (r). Риск обусловлен совокупностью статической (S), динамической (d) ошибок и ошибки (h) из-за влияния человеческого фактора, связанного с несвоевременным выполнением персоналом предписаний системы мониторинга по устранению обнаруженного системой опасного состояния оборудования.

Статическая ошибка распознавания S есть пропуск своевременного распознавания опасного состояния оборудования, вызванный тем, что неисправное состояние оборудования система воспринимает (диагностирует) как исправное.

Под динамической ошибкой распознавания d понимают пропуск своевременного определения опасного состояния оборудования, вызванный тем, что период мониторинга (диагностирования) соизмерим с интервалом времени развития неисправности от момента ее обнаружения до предельного состояния оборудования. Период мониторинга может достигать нескольких секунд у стационарных систем и нескольких дней и даже лет у переносных. Следует отметить, что быстродействие систем мониторинга должно быть существенно выше скорости развития дефектов защищаемого оборудования.

Таким образом, оценка ошибки СКМ (η) является суммой статической (S) и динамической (d) ошибок при (S, r, h) < 0,1, а риск (r) оценивается с учетом человеческого фактора h:

$$\eta \cong S + d,$$

$$r \cong \eta + h \cong S + d + h.$$

Необходимо отметить, что ошибка из-за влияния человеческого фактора аналогична динамической ошибке, поскольку увеличивает интервал запаздывания адекватной реакции персонала на предупреждения СКМ. Опасное состояние оборудования может быть предотвращено персоналом, если предупреждения СКМ доводятся неукоснительно, без задержеке независимо от его воли и желаний, а иногда, если необходимо, то и принудительно — через управляющее воздействие руководителя более высокого уровня управления.

Именно для этого СКМ должны содержать встроенную экспертную систему поддержки принятия решений о техническом состоянии объекта и дальнейшем управлении ($R_2 = 1$), выявлять широкий класс неисправностей ($R_3 = 1$) быть автоматическими ($R_{13} = 1$), обладать комплексным индикатором состояния с речевым предупреждением ($R_{11} = 1$) и автоматической диагностической сетью ($R_{12} = 1$), представляющей руководству объективную картину технического состояния оборудования в реальном времени. Без выполнения этих условий иметь приемлемый риск ($r < 5$ %) невозможно.

Одним из важнейших параметров, определяющих техническое состояние НКО, является вибрация. В России впервые в мире приняты нормативные документы [1, 2], которые определяют совместное использование таких параметров вибрации, как виброускорение, виброскорость, виброперемещение, и нормативные значения скоростей их изменения. Данные документы распространяются на центробежные насосные и компрессорные агрегаты с приводом от электродвигателей и/или паровых турбин с редукторами и другие виды оборудования и устанавливают нормы вибрации для оценки технического состояния при эксплуатации и приемочных испытаниях после монтажа и ремонта.

На трендах (рис. 1 и 2) приведены практические примеры изменения различных вибропараметров при возникновении различных невзаимосвязанных неисправностей. Первый тренд отражает полезность ремонта подшипника, однако некачественное крепление агрегата привело к развитию несоосности, а второй — показывает быстрое разрушение подшипника, но персонал вовремя среагировал, заменив его, и агрегат продолжил свою работу в нормальном вибросостоянии. Понятно, что никакой периодический мониторинг не «спасет» от такой неисправности — только мониторинг в реальном времени позволяет предотвратить внезапные отказы оборудования.

Центробежные компрессоры (ЦК), как правило, оснащаются системами противоаварийной защиты, которая использует данные с датчиков относительной вибрации по амплитуде радиальных биений и осевому сдвигу валов. Безусловно, данная информация является необходимой для безаварийной эксплуатации ЦК, но, как показывает

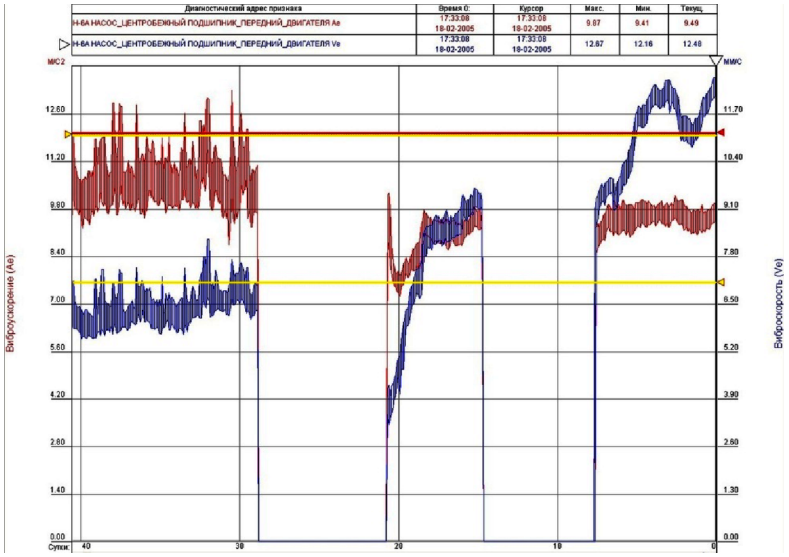

Рис. 1. Некачественный ремонт (замена подшипника) привел к возникновению несоосности

Рис. 2. Тренд быстрого разрушения подшипника

практика, далеко не достаточной в реальных условиях эксплуатации предприятий НХК. Мониторинг абсолютной вибрации различных узлов ЦК, включая подшипники привода (например, электродвигателя), мультипликатора, компрессора, позволяет обнаруживать не только неисправности, возникающие в этих узлах, и нетиповые режимы их работы, но и влияние на параметры абсолютной вибрации технологических режимов эксплуатации ЦК.

Механические проблемы ЦК, связанные как с состоянием подшипников, так и с рабочими колесами, также проявляются в спектре виброакустического сигнала. Так, приведенный на рис. 3 спектр свидетельствует о проблемах с рабочим колесом, которые требуют немедленного решения, поскольку уровень виброускорения превышает величину «Недопустимо» согласно [1, 2]. При этом установленная на компрессоре система «Bently Nevada» этот дефект не обнаружила.

Весьма важным является чувствительность абсолютной вибрации к изменению режима компримирования компрессора. Тренд на рис. 4

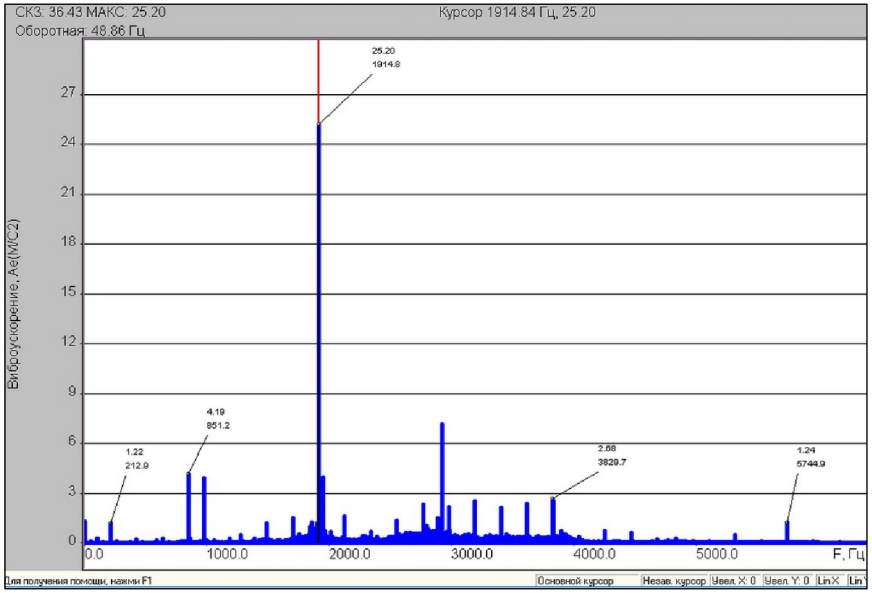

Рис. 3. Дефект рабочих колес ротора компрессора

212.9Гц – 1-я гармоника оборотной частоты компрессора, 1914.8 Гц – лопаточная частота ротора компрессора и ее гармоники (3929.7 Гц, 5744.9 Гц). Штатная система, измеряющая относительную вибрацию и осевой сдвиг вала, дефект не обнаружила

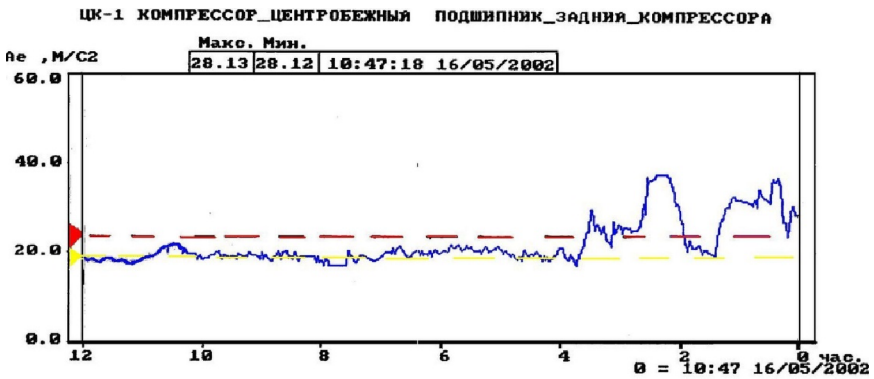

Рис. 4. Тренд абсолютной вибрации центробежного компрессора при изменении технологического режима компримирования

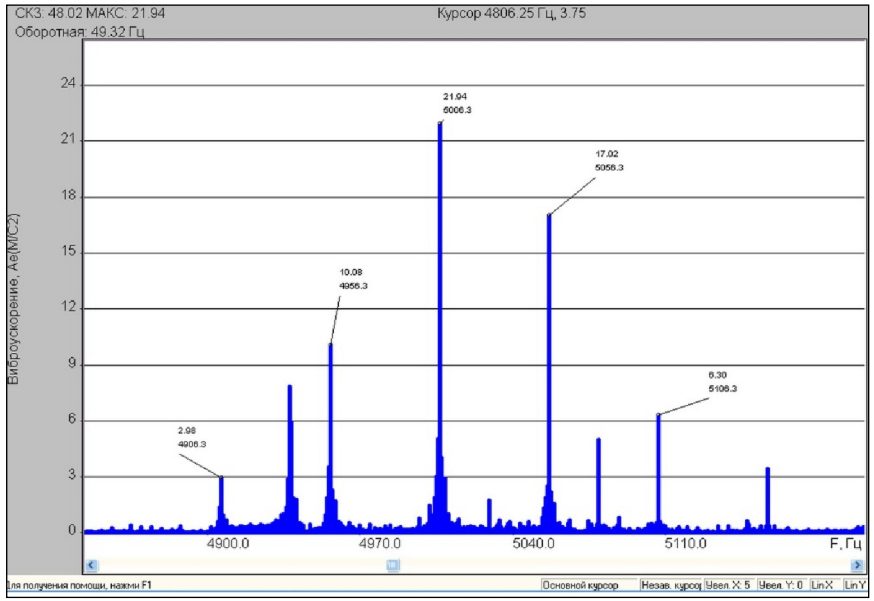

Рис. 5. Дефект зубчатого колеса мультипликатора

5006.3 Гц – 3-я гармоника зубцовой частоты ведомой шестерни на переднем подшипнике быстроходного вала с боковыми полосами, отстоящими на частоте вращения тихоходного вала (4906.3 Гц, 4956.3 Гц, 5056.3 Гц, 5106.3 Гц). Штатная система, измеряющая относительную вибрацию и осевой сдвиг вала, дефект не обнаружила

показывает увеличение абсолютной вибрации при изменении состава газа, связанном с изменением технологического процесса установки, что приводит к увеличению динамической нагрузки на подшипниковые узлы и опоры компрессора. При этом штатная система, контролирующая относительную вибрацию вала, изменений в уровнях вибрации не зафиксировала.

Изменения структурных параметров зубчатых зацеплений прекрасно проявляются в спектре виброакустического сигнала, полученного на ближайшем к дефектной кинематической паре подшипнике. При этом в спектре (рис. 5) преобладающими являются частоты зубозацепления, их гармоники и модуляционные составляющие. Уровни этих составляющих свидетельствует о необходимости ремонта мультипликатора, так как среднее квадратическое значение виброускорения согласно [1, 2] превышает уровень «Недопустимо».

Система мониторинга состояния по абсолютной вибрации винтовых компрессоров позволила на одном из предприятий зафиксировать перегрузку компрессоров, возникшую вследствие ошибки в проектировании компрессорной установки (рис. 6). В результате потребовалось проведение реконструкции обвязки компрессоров, что существенно снизило динамическую нагрузку на них (рис. 7).

В 2011 г. Научно-промышленным союзом «Управление рисками, промышленная безопасность, контроль и мониторинг» (РИСКОМ) принят отраслевой стандарт СТО 03-007-11 [3], который позволя-

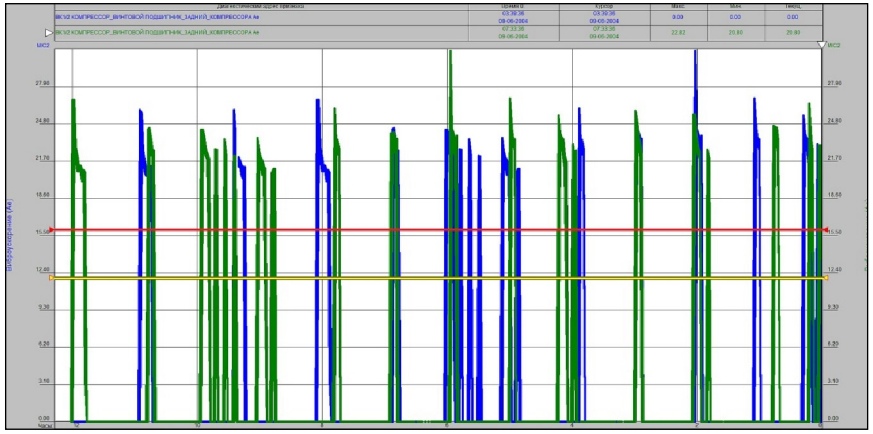

Рис. 6. Тренды абсолютной вибрации на заднем подшипнике компрессора до реконструкции агрегата

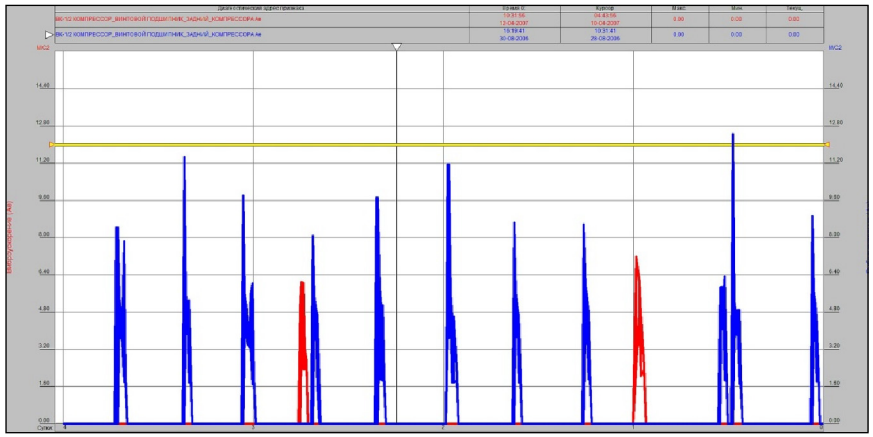

Рис. 7. Тренды абсолютной вибрации на заднем подшипнике компрессора после реконструкции агрегата, показывающие снижение динамической нагрузки более чем в 2 раза

ет осуществлять мониторинг состояния основных узлов поршневых компрессоров (ПК) и обеспечивает их безопасную эксплуатацию. Стандарт прошел экспертизу и аттестацию в Единой системе оценки соответствия в области промышленной, экологической безопасности, безопасности в энергетике и строительстве в качестве методического документа по неразрушающему контролю.

Содержание данного документа основывается на результатах многолетних теоретических и экспериментальных исследований, а также более чем 15-летнем опыте эксплуатации систем диагностики и мониторинга в реальном времени более 50 ПК с электроприводом с единичными мощностями от 0,02 до 2 МВт и частотой вращения от 167 до 750 мин$^{-1}$, используемых в нефтегазохимических комплексах и производствах в Омске, Ангарске, Астрахани, Ачинске, Бургасе, Волгограде, Саратове, Сызрани, Ухте и др. для компримирования взрывоопасных и вредных газов. Среди них отечественные поршневые компрессоры 205ВП-16/70, 305ГП-20/8, 2М10-11/42-60, 2ГМ16-20/42-60, 4ГМ10-28/43-56, 4М16М-45/35-55, 4ГМ16М-45/35-55, 4ГМ16-22/17-37, 4М16-22,4/23-64, 2ГМ2,5-6,2/38-46С, 5Г-600/42-60 и др., а также импортные — производства «Worthington», «Nuovo Pignone», «Neuman & Esser», «Boge Kompressoren Bielefeld» [3, 6, 8, 9].

Стандарт распространяется на стационарные поршневые компрессорные установки, работающие на взрывоопасных и вредных газах 1-

го и 2-го классов опасности, определяет нормативы вибропараметров и предписывает их использование для организации вибромониторинга, вибродиагностики, мониторинга технического состояния и рисков эксплуатации стационарных поршневых компрессорных установок опасных производств.

Согласно этому документу рекомендуется осуществлять измерение вибрации (ускорение, скорость, перемещение) всех жизненно важных узлов компрессора, включая механизмы, узлы и детали цилиндропоршневой группы, кривошипно-ползунного и кривошипно-шатунного механизмов, коренные подшипники, клапаны и др.

Для оценки состояния узлов и деталей места установки датчиков выбирают, исходя из матрицы риска их отказов, максимальной информативности вибросигнала и наибольшего вектора колебательного процесса [2, 4].

Выбор мест установки датчиков абсолютной вибрации на цилиндре (в области установки клапанов) или на клапанах, коренных подшипниках, корпусе компрессора, над штоком поршня, а также контроль относительного перемещения штока определяются по согласованию с владельцем компрессорной установки, исходя из состояния компрессора, стабильности ведения технологического режима, состава газа и других условий при обеспечении приемлемой глубины и достоверности диагностирования.

В качестве нормируемых параметров для ПК устанавливаются: СКЗ виброускорения, виброскорости, виброперемещения, амплитудные значения виброускорения и виброперемещения.

Одним из эффективных применений мониторинга вибрации поршневых компрессоров является измерение вибрации на клапанах. Интегральные и дифференциальные параметры виброакустического сигнала позволяют диагностировать различные неисправности клапанов — от загрязнения проходных сечений до поломок пружин, платин, колец и проблем с технологическим режимом компримирования. Тренд на рис. 8 показывает развитие неисправности клапана — от сломанных пружин до поломки пластин.

Кроме того, измерение и анализ параметров вибрации в различных точках компрессора позволяют диагностировать практически все наиболее распространенные неисправности и дефекты. Мониторинг этих параметров дает возможность, используя экспертную систему поддержки принятия решений, автоматически осуществлять мониторинг ТС в реальном времени, реализуя real-time-мониторинг.

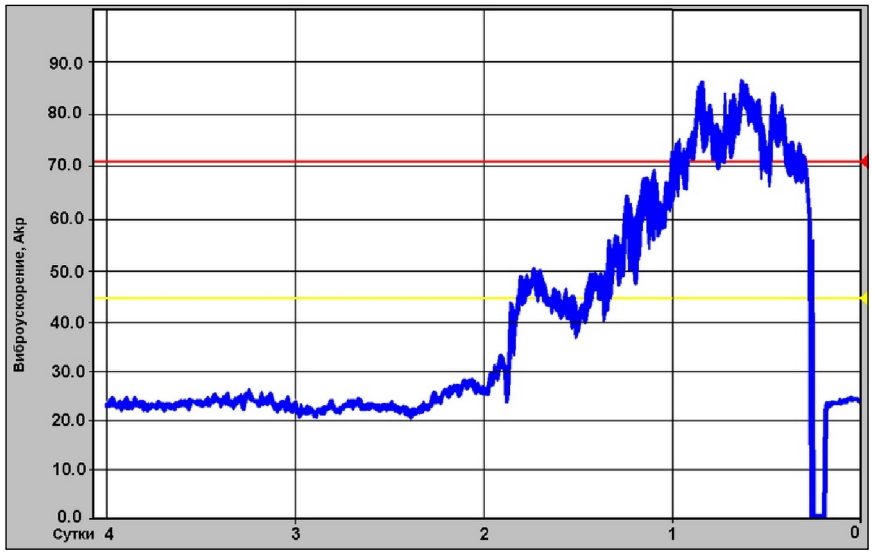

Рис. 8. Тренды абсолютной вибрации с датчиков на цилиндре поршневого компрессора

Кроме мониторинга параметров абсолютной вибрации в системе реализованы алгоритмы измерения и анализа относительной вибрации (динамического положения штока, известного как «rod drop») путем установки датчика над штоком. Тренд на рис. 9 показывают изменение расстояния между штоком и датчиком, которое, как подтверждено контрольными измерениями, соответствует величине износа опорных (направляющих) поршневых колец. Автоматическая экспертная система по параметрам абсолютной и относительной вибрации своевременно обнаружила и предупредила персонал о недопустимом износе колец. На трендах приведены сообщения экспертной системы, которые выводились через акустические системы в виде голосовых сообщений и в текстовом виде на монитор системы мониторинга в реальном времени, в момент проведения измерений. Экспертная система не требует участия специалиста для анализа сигналов и трендов и формирования экспертных сообщений.

Реализованные принципы технологии диагностики и мониторинга поршневых компрессоров, подтвержденные многолетним опытом практической эксплуатации системы диагностики и мониторинга, свидетельствуют о том, что при использовании всего 5 датчиков виб-

роакустических сигналов на поршневых компрессорах (на крышке цилиндра, нагнетательных и впускных клапанах, крейцкопфе, коренном подшипнике), датчика углового положения вала и датчика со стороны привода или на подшипнике привода формируется 15 диагностических признаков неисправностей по параметрам виброакустических сигналов с каждого датчика. С помощью этих диагностических признаков система диагностики и мониторинга по безусловному алгоритму в автоматическом режиме в реальном времени определяет 36 причин вибрационной активности ПК.

На основе многолетнего опыта эксплуатации более 400 систем КОМПАКС® можно констатировать, что, повышая производительность диагностики в миллионы раз по сравнению с «ручными» приборами, системы обеспечивают экономический эффект за счет:

— повышения техногенной безопасности и межаварийного пробега оборудования в десятки и сотни раз;
— увеличения межремонтного пробега оборудования в 4—6 раз, в том числе торцовых уплотнений насосов в 6—8 раз;

Рис. 9. Тренд относительной вибрации штока поршневого компрессора

— уменьшения объемов ремонтов в 8 и более раз;
— снижения сложности ремонтов и числа заменяемых деталей в 1,5 и более раз;
— сокращения потерь электроэнергии на 10—15 %;
— повышения производственной и технологической дисциплины персонала путем непрерывного объективного контроля адекватности его действий по работе с оборудованием, контроля исполнения предписаний системы посредством сетевых технологий — Ethernet, IntraNet, Web-публикаций;
— рационального подбора, размещения и загрузки оборудования по минимуму динамических нагрузок и максимуму эксплуатационной надежности;
— увеличения коэффициента готовности и коэффициента использования основных производственных фондов в целом;
— непрерывного мониторинга оборудования совокупностью различных методов НК на единой программно-аппаратной платформе — распределенной системе компьютерного мониторинга;
— автоматической, инвариантной к оборудованию экспертной системы, обеспечивающей мониторинг его состояния «на ходу», без вывода из эксплуатации.

Литература

1. ГОСТ Р 53565-2009. Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Вибрация центробежных насосных и компрессорных агрегатов. М.: Стандартинформ, 2010. — 8 с.
2. СА 03-001-05. Центробежные насосные и компрессорные агрегаты опасных производств. Эксплуатационные нормы вибрации. М.: Химическая техника, 2005. — 24 с.
3. СТО 03-007-11. Мониторинг оборудования опасных производств. Стационарные поршневые компрессорные установки опасных производств: эксплуатационные нормы. М.: Химическая техника, 2011. — 18 с.
4. ГОСТ Р 53563-2009. Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Порядок организации. М.: Стандартинформ, 2010. — 8 с.
5. СА 03-002-05. Системы мониторинга агрегатов опасных производственных объектов. Общие технические требования. М.: Химическая техника, 2005. — 42 с.

6. *Костюков В.Н.* Мониторинг безопасности производства. М.: Машиностроение. 2002. — 224 с.
7. ГОСТ Р 53564-2009. Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Требования к системам мониторинга. М.: Стандартинформ, 2010. — 20 с.
8. *Науменко А.П.* Методология виброакустической диагностики поршневых машин // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Специальный выпуск. Серия Машиностроение. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2007. — С. 85-95.
9. *Науменко А.П.* Научно-методические основы вибродиагностического мониторинга поршневых машин в реальном времени: Автореф. ... докт. техн. наук. Омск: ОмГТУ, 2012. — 40 с.

Совет главных механиков
нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий
России и стран СНГ

Ассоциация нефтепереработчиков и нефтехимиков

ООО «НТЦ при Совете главных механиков»

Материалы семинара

Современные концепции выбора и технического обслуживания компрессорного оборудования на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях

Москва
2013 г.

УДК 678.026

Современные концепции выбора и технического обслуживания компрессорного оборудования на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях: Материалы семинара. — М.: ООО «НТЦ при Совете главных механиков», 2013. — 205 с.

Представлены избранные доклады участников семинара «Современные концепции выбора и технического обслуживания компрессорного оборудования на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях», прошедшего в период с 12 по 15 марта 2013 г. под эгидой Совета главных механиков нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий России и стран СНГ.

Сборник подготовили:

Составитель Белоусов Ю.Л.

Редактор Кудинова А.А.

Дизайн и верстка Лёгкая Е.А.

© Совет главных механиков нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий России и стран СНГ, 2013

© ООО «НТЦ при Совете главных механиков», 2013

Гимн механиков нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности

Слова и музыка Ю.Н. Ягольника

По всей стране от Запада до Дальнего Востока
На страже производства мы стоим!
И не разделят нас границ кордоны,
Союз механиков для нас един!

Разбросаны пускай по всей земле заводы,
Мы все одна сплоченная семья!
Механики — высокой безопасности опора,
Мужская скромность и открытые сердца!

Припев:
Механики, механики, надежности опора,
Мы первые на каждом рубеже!
Гарантия, стабильность – безопасности основа,
Нелегкий труд, нелегкий труд мы выбрали себе!
Механики, механики, работа без отказов,
Безаварийность — это наш удел!
Нелегкий путь наш — нам профессией предсказан,
Механики, механики — во всем большой пример!

Вновь наступает миг, когда волнением объятый,
Нас вместе соберет в родной стезе
За круглый стол, в своих традициях богатых,
Союз механиков России и СНГ!

И будут вновь теплом душевных встреч согреты
Механиков открытые сердца!
Взаимопомощь, дружба, верность и сплоченность
Объединяют наши общие дела!

Припев:
Механики, механики, надежности опора,
Мы первые на каждом рубеже!
Гарантия, стабильность – безопасности основа,
Нелегкий труд, нелегкий труд мы выбрали себе!
Механики, механики, работа без отказов,
Безаварийность — это наш удел!
Нелегкий путь наш — нам профессией предсказан,
Механики, механики — во всем большой пример!

ООО «НПЦ “Динамика”»

Тел.: (3812) 25-42-44, факс: (3812) 25-43-72

Науменко Александр Петрович	начальник Научно-учебного центра «Неразрушающий контроль, диагностика»
Ткаченко Анна Анатольевна	инженер отдела продаж

Представительство фирмы «Novotex» в России и СНГ («Burckhardt Compression»)

Тел.: (495) 956-06-06, факс: 956-06-07

Малькова Татьяна Геннадьевна	глава московского представительства
Лютый Андрей Михайлович	инженер проекта

Представительство Коммандитного Общества «Фойт Турбо ГмбХ & Ко.КГ» (Германия)

Тел.: (495) 915-38-67 (доб.111), факс: (495) 915-38-39

Рихтер Мартин	региональный менеджер по России и СНГ
Кончаков Николай Николаевич	руководитель проектов по России и СНГ

Представительство компании «Ариель Интернэшнл Корпорэйшн»

Тел.: (495) 721-11-13, факс: (495) 721-11-14

Легун Игорь Александрович	региональный менеджер по России и СНГ
Смерека Богдан Михайлович	технический директор

«ЭЛЛИОТТ» (Великобритания)

Джонсон Роберт (Robert Johnson)	менеджер по договорам техобслуживания

Представительство компании с ограниченной ответственностью «Эллиотт Турбомашинери Лимитед»

Тел.: (499) 678-20-25, факс: (499) 678-20-24

Овчинников Сергей Эдуардович	менеджер по продажам турбомашинных сервисов в РФ

Томский манометровый завод ЗАО «Производственное объединение “Физтех”»

Тел.: (3822) 43-17-17 (доп. 49), факс: (3822) 43-17-71

Макогон Александр Анатольевич	директор по развитию бизнеса

Представительство «Ensival-Moret SA» (Бельгия)

Тел./факс: (495) 668-13-99

Агение Мариана	технический инженер продаж по России

СОДЕРЖАНИЕ

Кабанов Б.С.
Вступительное слово 4

Микерин Б.И.
Вступительное слово 5

Хрекин С.Н.
Продукция для нефтяной и нефтеперерабатывающей отраслей промышленности 6

Легун И.А., Смерека Б.М.
Компрессоры «Ариель» на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях. Особенности и опыт применения 16

Плаксин А.Б.
Современные технологии компании «Compressor Products International» по модернизации, ремонту и техническому обслуживанию поршневых компрессоров 26

Пестов В.М.
Установки для сбора паров нефти и нефтепродуктов, хранящихся в резервуарах 34

Соболев В.В.
Передовые технологии и опыт компании «Howden» для решения задач выбора и обслуживания компрессорного оборудования 35

Гийон Ж.-Ф., Рабинкий П.Р.
Использование компрессоров «MPR Industries» на нефтеперерабатывающих и нефтегазодобывающих предприятиях. Проблематика утилизации факельных и попутных газов 39

Кончаков Н.Н., Рихтер М., Ситас В.И., Федюхин А.В.
Регулируемые приводы «Фойт Турбо» и их применение при модернизации агрегатов на НПЗ 46

Логутов В.А.
Модернизация водородного компрессора 4М16М-45-35/55 и его перевод на режим с пониженным потреблением масла 56

Вайнз Т.Х., Лоренцен К., Чернышев А.В.
Применение высокоэффективных коалесцеров типа жидкости/газа для защиты компрессоров 63

Кулдышев А.К., Шмыров Е.И.
Модернизация масляной системы высокого давления в компрессорах 78

Дударенко А.П.
Способ повышения надежности работы компрессора за счет применения новейших разработок самодействующих клапанов 84

Абрамцев Е.Е.
Организация технического обслуживания систем сухих газовых уплотнений НПФ «Грейс-Инжиниринг» для центробежных компрессоров 87

Маковей В.С., Васильева Е.Н., Кравец П.А.
Высокоэффективные теплообменные аппараты для компрессорного оборудования 93

Соколов Д.В., Мынцов А.А., Кореев А.А.
Дооснащение системами диагностики ЗАО «Промсервис» систем мониторинга 3500 «Bently Nevada» 98

Крайнов И.А.
Решения фирмы «Brüel & Kjær Vibro» для виброзащиты и вибромониторинга поршневых компрессоров 111

Костюков В.Н., Науменко А.П.
Мониторинг состояния и диагностика компрессорного оборудования в реальном времени 122

Калинкин М.Ю.
Практические решения повышения надежности компрессорного оборудования предприятий нефтеперерабатывающей отрасли 140

Лукин К.В.
Перспективы аренды компрессоров «Атлас Копко» в период ремонта технического оборудования на нефеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях 149

Лозовский А.В.
Специальная трубопроводная арматура для критических условий эксплуатации 154

Макогон А.А.
Новые модели приборов повышенной защиты Томского манометрового завода ЗАО «ПО “Физтех”» 161

Свяжин А.
Антикоррозионные материалы производства «Hempel» в нефтегазовом секторе 166

Лютый А.М.
Применение компрессоров «Burckhardt Compression AG» на нефтеперерабатывающих заводах. Преимущества компрессоров с лабиринтным уплотнением поршня типа LABY® 168

Рабинкий П.Р.
Нагнетатели и компрессоры. Опыт оптимизации работы, регулирования и энергопотребления 174

Поликарпов В.В.
Инновационная технология обнаружения, контроля, методов предотвращения и устранения утечек на действующем оборудовании предприятия 180

Евдокимов Д.А., Нестеров Д.В.
Применение гидравлического оборудования «HYTORC» для обслуживания болтовых соединений в компрессорном оборудовании на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях 186

Агение Мариана
Оптимизация и повышение надежности насосных систем 193

Список участников семинара 196