

Проблемы и решения безопасной эксплуатации поршневых компрессоров

В.Н. Костюков, А.П. Науменко (НПЦ «ДИНАМИКА»)

Обеспечение безопасной ресурсосберегающей эксплуатации оборудования опасных производств неразрывно связано с мониторингом технического состояния этого оборудования [1]. Сегодня наиболее развитыми являются системы мониторинга состояния центробежных машин. В то же время для мониторинга состояния поршневых машин (ПМ) – поршневых компрессоров (ПК), сжимающих взрывоопасные и вредные газы, двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и др., кинематика, динамика и структурные параметры которых имеют много общего, необходимо разработать и испытать методы и средства контроля их технического состояния и диагностики. Естественно, что в первую очередь необходимо выявить наиболее уязвимые узлы и детали ПМ как с точки зрения техногенной опасности их выхода из строя, так и с точки зрения стоимости и времени восстановления исправного и работоспособного состояния ПМ.

Компания DRESSER-RAND разработала программу, целью которой было получение данных для разработки требований к конструкциям, материалам, условиям использования ПК, способных непрерывно работать в течение трех лет (25 000 ч) без аварийных остановов [2]. Из 217 анкет, распространенных по всему миру среди потребителей и производителей ПК в ряде стран (США, Канада, Великобритания, Франция, Бельгия, Норвегия, Кувейт, Сингапур, Китай, ОАЭ и др.) были получены 62 анкеты, содержащие информацию о выявленных отказах систем и составных частей ПК, а также осредненные процентные доли отказов, которые приводят к незапланированным ремонтам [2].

Отказы по типам узлов, механизмов, деталей ПК

Узлы, механизмы, детали	Процент отказов
Клапаны	36
Сальники (уплотнения) под давлением	17,8
Технологический процесс	8,8
Уплотнительные поршневые кольца	7,1
Опорно-направляющие кольца	6,8
Система разгрузки	6,8
Система смазки ЦПГ	5,1
Приборное оснащение (КИП и А)	5,1
Прочие составные части компрессора	3,4
Трубопроводы	1,3
Рамы и ходовая часть	0,7
Системы смазки ходовой части	0,4
Фундамент	0,3
Системы охлаждения цилиндров	0,2
Секционные сальники	0,2
Двигатель (привод)	0,0

В работах [3, 4] приведена информация о стоимости ремонта.

Стоимость замены компонентов поршневого компрессора

Узлы, механизмы, детали	Относительная стоимость, %
Клапаны	50
Сальники (уплотнения) под давлением	20
Уплотнительные поршневые кольца	20

Опорно-направляющие кольца	7
Шток поршня	2
Гильза цилиндра	0,5
Подшипники	0,5

Согласно результатам опроса 8 систем и составных частей ПК являются причиной ~93,5 % всех незапланированных остановов ПК, при этом доля отказов клапанов составляет 36%, стоимость их ремонта – 50% общих затрат на ремонт компрессора.

Работа [2] содержит статистику причин отказов ПК.

Причины отказов поршневого компрессора

Причина	Количество отказов, %
Перегрузка	28
Попадание жидкости или инородных объектов	18
Нарушение смазки	12
Усталость	9
Заедание, задиры	6
Другие или неидентифицированные неисправности	27

Анализ распределения причин отказов ПК показывает, что одной из основных причин отказов ПК и в первую очередь клапанов является перегрузка, которая появляется в результате изменений физико-химического состояния газа в процессе компримирования. Особенно ярко это видно на примере ПК, сжимающих водородсодержащий газ. При этом разрушение пластин и изнашивание уплотнительных кромок клапанов происходят вследствие удара пластин о седло и ограничитель подъема.

Клапаны являются наиболее ответственными узлами ПК. Их работа во многом определяет как технико-экономические показатели совершенства машины (коэффициент подачи, удельный расход электроэнергии и др.), так и надежность работы установки в целом.

По другим данным [5], из-за поломок клапанов (главным образом пластин) происходит до 70–90 % остановок шахтных и заводских компрессорных установок.

Одним из эффективных методов контроля технического состояния и диагностики ПМ является измерение параметров и анализ индикаторной диаграммы [6]. Данный метод оказывается эффективным при диагностике ДВС и ПК, компримирующих технологически стабильные газы. Опыт показывает, что ПК, применяемые в производстве водорода, работают достаточно надежно, когда сжимают в стабильном режиме чистый сухой водородсодержащий или другой газ. В то же время ПК, работающие в производстве водорода с нестабильными процессами или производящие подачу «влажного» или «загрязненного» газа, имеют тенденцию к более частым возникновениям неисправностей [2].

Для очистки и стабилизации физико-химических свойств газа, содержащего водород, обычно устанав-



ливаются сепараторы жидкости, каплеотбойники илиловушки на линиях перед цилиндрами ПК для удаления «нормальных» количеств конденсата, которые может содержать газ. Однако избыточное количество углеводородных жидкостей может уноситься, минуя отбойники влаги, если были неправильно выбраны размеры последних для данных режимов работы или отсутствуют средства автоматического дренирования жидкости, которая быстро собирается в отбойниках, или отбойники не работают эффективно.

В этом случае параметры индикаторной диаграммы существенно зависят от свойств газа, характеризуют динамическую нагрузку на узлы и детали ПК, но не в полной мере характеризуют их техническое состояние.

Очевидно, что для ПК, работающих в таких условиях, использовать параметры индикаторной диаграммы можно лишь после обеспечения стабилизации физико-химических свойств газа путем установки сепараторов, каплеотбойников и коалесцеров [7] соответствующей производительности.

Значительный объем ремонтов и большая стоимость ремонта клапанов ПК обусловили разработку специальных систем контроля состояния только клапанов [8]. Однако использование таких систем требует дополнительных затрат на их приобретение и установку, а также затрат на приобретение и установку дополнительных средств контроля технического состояния и диагностики остальных, не менее важных узлов и деталей ПК.

Попытки создания систем для диагностики состояния узлов и деталей ПК [4, 8, 9] приводят к тому, что на практике такие системы оказываются либо избыточными (в связи с тем, что предназначены для проведения исследований и испытаний и разрабатывались для использования в лабораторных условиях [9]), либо не обеспечивающими безопасную эксплуатацию ПК (вследствие недостаточности опыта использования в условиях реальных опасных производств [4]), либо позволяющими диагностировать состояние только отдельных узлов и деталей ПК, например только клапанов [8].

Очевидно, что в самом общем случае результатом технического диагностирования является определение значений структурных параметров, непосредственно характеризующих техническое состояние ПМ, ее узлов и деталей. Необходимо знать фактическое и предельное значения контролируемого параметра, чтобы с учетом закона его изменения в процессе эксплуатации можно было оценить остаточный ресурс. Однако на работающей ПМ практически невозможно определить фактическое значение многих структурных параметров. Определение же их при разборке ПМ нарушает качество сопряжений в повторно собранной ПМ и изменяет закономерности протекания процессов взаимодействия деталей в сопряжениях, что делает неприемлемым практическое использование такого способа получения данных. В этом случае диагностирование проводят по косвенным признакам, которые количественно оцениваются диагностическими признаками.

Определение необходимого и достаточного количества диагностических признаков, которые позволя-

ли бы достоверно оценивать техническое состояние ПМ в целом, его систем, механизмов и отдельных деталей, основывается на анализе физических процессов, протекающих в ПМ, и закономерностях их развития.

Весьма значительной информативностью обладают вибрационные (ВА) колебания, источниками которых являются соударения в кинематических парах механизмов (поршень–цилиндр, клапан–седло, пальц–головка шатуна и др.). Косвенно они характеризуют величину зазора между сопряженными элементами ПМ, увеличивающуюся по мере изнашивания трущихся поверхностей. Широкий частотный и динамический диапазон колебательных процессов, малая инерционность, большая скорость распространения ВА волн по металлическим конструкциям обуславливают быструю реакцию ВА сигнала на изменение технического состояния. Но действие большого количества источников вибраций в ПМ, зависимость ВА процессов от режима и условий работы ПМ усложняют процедуру ВА диагностики.

Теоретические и экспериментальные исследования по определению основных дефектов и неисправностей ДВС с помощью анализа параметров ВА сигнала достаточно широко проводили различные научные школы в 60–80 гг. прошлого века [10–13]. Все эти работы, как правило, основывались на стендовом моделировании различных неисправностей и дефектов отдельных деталей узлов и механизмов и выявлении закономерностей изменения ВА сигнала.

Анализ применимости различных методов диагностирования, например дизелей [14], показывает, что определение неисправностей дизеля возможно с помощью четырех основных методов: термодинамического, параметрического, спектрального («металл в среде»), вибрационного.

Определив основные неисправности и дефекты деталей, узлов, агрегатов дизеля и возможности выявления их технического состояния указанными методами можно сделать вывод, что из 47 неисправностей и дефектов с помощью ВА метода можно выявить 36 (77 %), при этом 29 дефектов можно подтвердить другими методами (см. таблицу).

В то же время при высокой достоверности определения данных дефектов ВА методом количество неисправностей, выявленных термодинамическим методом, сократилось бы в 4 раза, параметрическим – в 2,6 раза; был бы исключен спектральный метод. Фактически оказывается, что если не подтверждать диагноз другими методами, то можно количество диагнозов на 47 неисправностей сократить в 1,75 раза, при этом на долю ВА метода будет приходиться 77 % неисправностей.

По другим данным, для многоцилиндровых ДВС полнота диагностирования ВА методом достигает 70%.

Учитывая разнообразность и разнородность первичных преобразователей, вторичной аппаратуры и методов обработки сигналов всеми этими методами можно сделать вывод о том, что применение ВА метода позволяет значительно сократить затраты на разработку, внедрение и эксплуатацию системы технической диагностики ПМ.



Дефекты, неисправности и методы их диагностирования

Причины дефектов и неисправности	Методы диагностирования				Причины дефектов и неисправности	Методы диагностирования			
	Термодинамический	Вибраакустический	«Металл в среде»	Параметрический (кроме вибраакустической диагностики)		Термодинамический	Вибраакустический	«Металл в среде»	Параметрический (кроме вибраакустической диагностики)
Засорение воздушного фильтра	+	-	-	-	Усадка или поломка				
Отложения									
На воздушной стороне холодильника надувочного воздуха	+	+	-	-	Пружина нагнетательного клапана	-	+	-	+
На водяной стороне там же	-	-	-	+	Пружина плунжера	-	+	-	+
На проточной части нагнетателя надувочного воздуха	+	+	-	-	Игла форсунки	-	+	-	+
Во впускном коллекторе	+	+	-	-	Закоксовывание или размывание сопл форсунки	-	+	-	+
На внутренней поверхности камеры сгорания	+	-	-	-	Отложения в фильтре тонкой очистки	-	-	-	+
В впусканых патрубках и коллекторах	+	+	-	-	Разрегулировка подпорного клапана	-	-	-	+
В проточной части турбины	+	+	-	-	Неисправности топливного насоса	-	+	-	-
На выпуске за турбиной	+	+	-	-	Разрегулировка топливной аппаратуры	-	+	-	+
В уплотнениях	+	-	-	-	Изнашивание				
Зазоры									
В узле «клапан–седло»	-	+	-	-	Шейки и подшипники коленчатого вала	-	+	+	+
В соединении «направляющая клапана–стержень клапана»	-	+	-	-	Поршневой палец и подшипники	-	+	+	+
В элементах привода механизма газораспределения	-	+	-	-	Шестерни масляного насоса	-	+	+	+
Выгорание									
Поверхности соплового аппарата	+	+	+	-	Подшипники масляного насоса	-	+	+	-
Элементы проточной части турбины	+	+	+	-	Отложения в масляном фильтре	-	+	-	+
Изнашивание подшипников ротора турбокомпрессора	-	+	+	-	Изменение затяжки или жесткости пружин перепускного и редукционного клапана	-	-	-	+
Неуравновешанность ротора турбокомпрессора	-	+	-	-	Отложения				
Изнашивание									
Комплект ЦПГ	+	+	+	-	На поверхностях проточной части водяного насоса	-	-	-	+
Цилиндровая втулка	-	+	+	-	В полостях охлаждения блока, крышки цилиндра и др.	-	-	-	+
Поршневые кольца	-	+	+	-	На поверхности теплообменника	-	-	-	+
Канавки уплотнительных колец	-	+	+	-	Изнашивание подшипников водяного насоса	-	+	+	-
Закоксовывание									
Кольца	+	+	-	-	Примечание				
Канавки уплотнительных колец	+	+	-	-	Приведенные данные опровергают мнение авторов статьи [16], в которой делается вывод о нецелесообразности применения ВА метода для диагностики состояния ПМ.				
Отложение нагара на поверхности поршня	+	-	-	-	Многолетний опыт исследований ВА сигналов ПК, диагностики и мониторинга состояния ПК [1, 17–20] подтверждает, что ВА сигналы с достаточной степенью достоверности и адекватности не только характеризуют структурные параметры узлов и деталей ПК, но и адекватно отражают повышенные динамические нагрузки на узлы, детали вследствие отклонений физико-химических свойств газа от необходимых для нормальной безаварийной работы ПК.				
Износ или задир плунжерной пары	-	+	-	-	Методология диагностирования ПК основывается, в том числе и на анализе ВА сигнала по углу поворота вала. Анализ уровня ВА сигнала согласно циклограмме работы клапанов [21] позволяет фиксировать ухудшение работы клапанов, например, вследствие				
Негерметичность									
Посадка нагнетательного клапана	-	+	-	-					
Трубопровод высокого давления	-	+	-	+					
Пара «игла–конус форсунки»	-	+	-	+					



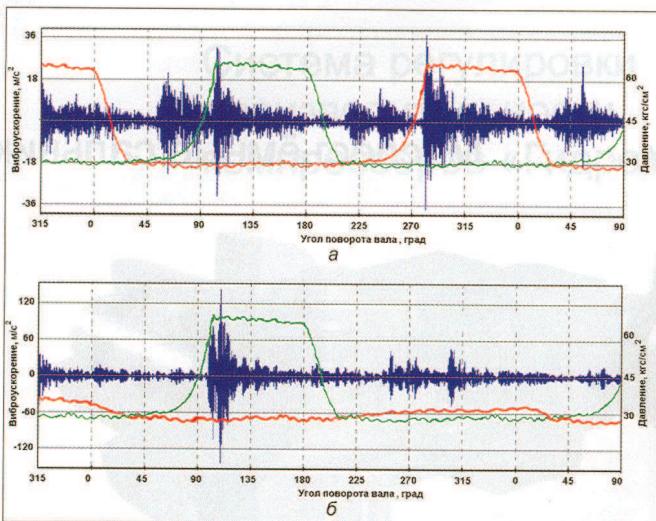


Рис. 1. Вибросигнал и давление в цилиндре при исправных (а) и неисправных (б) клапанах

загрязнения и уменьшения проходного сечения, а также возникновение различных их неисправностей.

Рассмотрим соответствие изменения давления в полостях нагнетания ПК двухстороннего действия возникновению ВА сигнала, регистрируемого датчиками, установленными в зоне клапанов. На рис. 1, а представлены сигналы изменения давления в двух полостях нагнетания за один оборот вала и соответствующее возникновение ВА сигнала. Видно, что за один оборот вала формируется два мощных ВА импульса. При этом более низкоуровневые импульсы соответствуют открытию всасывающих клапанов. При отказе одного из клапанов, прежде всего нагнетательных, один из ВА импульсов исчезает (рис. 1, б).

Таким образом, анализ амплитуды ВА сигнала по углу поворота вала позволяет достоверно определять работоспособность клапанов ПК. При этом изменение амплитуды сигнала, смещение ВА импульсов по углу поворота вала будет характеризовать изменение режима компримирования в зависимости от физико-химических свойств газа, включая возникновение микрогидроударов, изменение режима работы клапанов и возникновение неисправностей их деталей, правильность подбора параметров клапанов для свойств конкретного газа.

Для диагностирования состояния различных узлов ПК можно использовать и другие методы выделения и анализа ВА сигнала [19]. Так, анализ вибрации в различных высокочастотных зонах позволил выявить взаимосвязь амплитуд комбинационных составляющих гармоник частоты вращения коленчатого вала и технического состояния его узлов. В результате в настоящее время система определяет техническое состояние и диагностирует более 20 узлов и неисправностей.

Разработанная система мониторинга состояния ПМ КОМПАКС [1, 17, 22] и прежде всего ПК (рис. 2), обеспечивает безопасную эксплуатацию ПК. При этом система отвечает требованиям, предъявляемым к системам мониторинга состояния оборудования опасных производственных объектов [23].

Узлы и неисправности ПК, определяемые системой КОМПАКС®

Узел

Компрессор в целом

Дефекты и неисправности

Ослабление крепления корпусных составляющих
Дисбаланс вращающихся масс
Нарушение работы системы смазки

Цилиндрапоршневая группа

Изнашивание колец
Изнашивание гильзы
Ослабление крепления деталей
Недостаток смазки
Заброс конденсата (гидроудар)
Нарушение технологического режима

Шток

Кривошипно-ползунный механизм

Изнашивание баббитового слоя
Ослабление крепления деталей
Недостаток смазки
Увеличение зазора в сопряжении палец–ползун
Увеличение зазора в сопряжении палец–головка шатуна

Коренной подшипник

Изнашивание баббитового слоя
Ослабление крепления

Клапан

Недостаток смазки
Поломка пружин, пластин
Недостаточная герметичность (пропуск, загрязнение)
Перегрузка (конденсат, гидроудар)
Нарушение технологического режима

В основе системы КОМПАКС® [1, 17, 22] лежит многопараметрическая обработка ВА сигналов, полученных в различных точках ПК, которая наряду с измерением параметров ВА сигнала для контроля состояния ПК и режимов его работы использует и параметры других физических процессов. При этом особое внимание уделено точкам получения ВА сигналов, в которых ВА сигнал наиболее адекватно отражает состояние тех или иных узлов ПК.

Диагностическая станция стационарной системы (см. рис. 2) позволяет принимать аналоговые и цифровые данные и выдавать цифровые управляющие сигналы по 8 192 дифференциальным каналам. Скорость опроса в зависимости от соотношения числа каналов, измеряющих статические и динамические величины, достигает 100 каналов в секунду. При этом каждые 90 с значения диагностических признаков сохраняются в базе данных и могут быть отображены в виде 12-часовых, 4-суточных, 40-суточных, годовых и 9-летних трендов. Полевая сеть содержит измерительные модули с функцией аналого-цифровой обработки измеренных сигналов и датчики различных физических величин. Расстояния от модулей до диагностической станции может достигать 1000 м, а от датчиков до модулей – 500 м. Аппаратура полевой сети может располагаться во взрывобезопасной зоне.

Результаты мониторинга состояния оборудования в системе КОМПАКС® выводятся на экран «МОНИТОР»



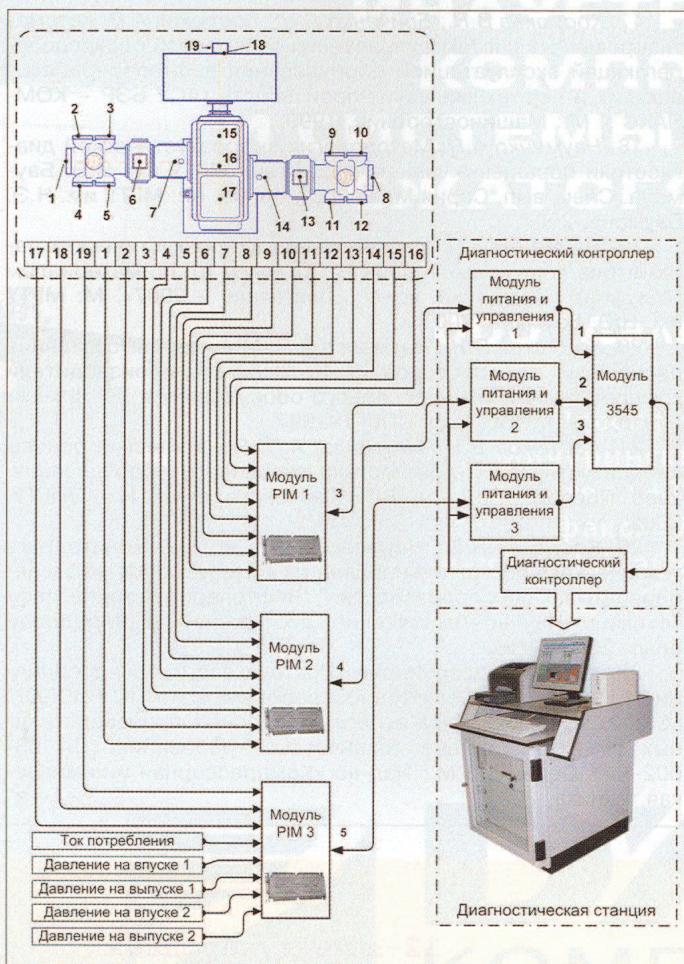


Рис. 2. Структура системы мониторинга поршневых компрессоров КОМПАКС®

(рис. 3). На экране отображается символическое обозначение оборудования (объектов) и узлов (субъектов), диагностирование которых проводит система. По результатам работы экспертной системы соответствующий субъект окрашивается в зеленый, желтый или красный цвета, что соответствует состояниям диагностируемого узла ДОПУСТИМО для дальнейшей эксплуатации, ТРЕБУЕТ ПРИНЯТИЯ МЕР (ТПМ) или НЕДОПУСТИМО (НДП), при этом курсор на экране автоматически устанавливается на наихудший с точки зрения состояния субъект. При изменении состояния субъекта из ДОПУСТИМО в ТПМ, или из ТПМ в НДП, или других изменениях состояния объекта мониторинга система КОМПАКС® выдает речевое сообщение, которое будет регулярно повторено до момента его квитирования. Кроме того, на экран выводится текстовое сообщение – результат постановки диагноза.

В начале 2008 г. системы КОМПАКС® осуществляли мониторинг технического состояния более 40 ПК на нефтегазоперерабатывающих заводах в Астрахани, Ачинске, Бургасе, Волгограде, Омске, Сызрани и др. Под контролем системы работают компрессоры как отечественного производства (4М16М-45/35-55, 4М16М-45/17-37, 2ГМ16-20-42/60, 2М10-11-42/60, 5Г-600-42/60, 205ВП-16/70, 305ВП-16/70 и др.), так и импортные (ВДСВ-30/30/20/20x16 – Worthington), 4HF/2 серии HF – Nuovo Pignone, 2TV2 – Neuman & Esser.

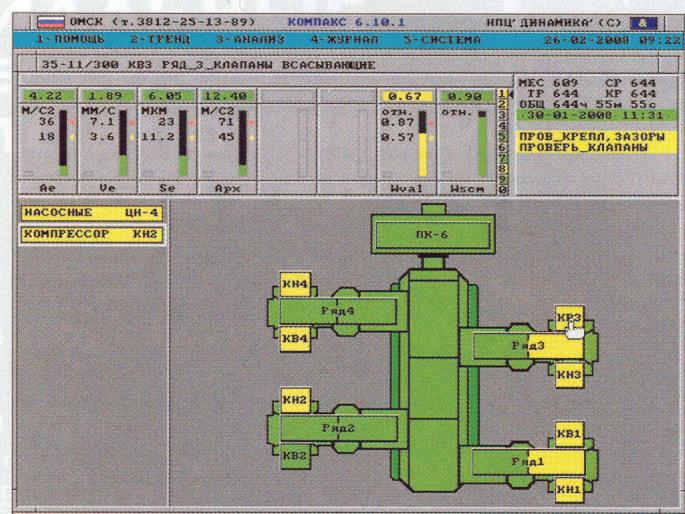


Рис. 3. Экран «МОНИТОР» системы КОМПАКС® отображает состояние ПК

Важнейшим источником сокращения издержек производства является ресурсосберегающая эксплуатация оборудования на основе непрерывного мониторинга его технического состояния в реальном времени, что позволяет предотвращать неожиданные неисправности оборудования и остановки производства, непрерывно в автоматическом режиме получать и использовать объективную информацию о техническом состоянии оборудования, контролировать и корректировать действия персонала в реальном времени путем интегрирования информации систем КОМПАКС® в единой диагностической сети Compacts-Net с единой базой данных параметров мониторинга на неразрывно примыкающих друг к другу интервалах времени, в течение которых состояние оборудования существенно не изменяется.

Система мониторинга технического оборудования КОМПАКС® позволяет целенаправленно и надежно контролировать состояние поршневых компрессоров. Дальнейшим направлением работ можно считать расширение класса диагностических признаков и диагностируемых состояний компрессоров с учетом их массогабаритных и других показателей или инвариантных им.

Список литературы

1. Костюков В.Н. Мониторинг безопасности производства. М.: Машиностроение, 2002.
2. Leonard S.M. Increasing the reliability of reciprocating compressors on hydrogen services / National Petroleum refiners association Maintenance Conference. New Orleans, LA, 1997.
3. Griffith W.A., Flanagan E.B. Online, Continuous Monitoring of Mechanical Condition and Performance for Critical Reciprocating Compressors // Proceedings of the 30th Turbomachinery Symp. Texas A&M University, Houston, TX, 2001.
4. Рябцев А.Н. Решения фирмы «Хёргигер» для поршневых компрессоров при производстве сжатых газов // Компрессорная техника и пневматика. 2002. №7.
5. Дмитриев В.Т. Обоснование и выбор энергосберегающих параметров функционирования шахтных компрессорных установок. Автореф. д-ра техн. наук. Екатеринбург: ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», 2006.
6. Alberto Guilherme Fagundes Schirmer, Nelmo Furtado Fernandes, Jose Eduardo De Caux Online Monitoring of

Reciprocating Compressors // NPRA Maintenance Conf. May 25–28. 2004. San Antonio. 2004.

7. Волков С.К. Решения «Палл» для компрессоров водородсодержащих газов // Компрессорная техника и пневматика. 2003. №2.

8. Франчик С. Система мониторинга и анализа работы клапанов поршневых компрессоров // Компрессорная техника и пневматика. 2005. №5.

9. Пластиин П.И., Дегтярева Т.С., Светлов В.А., Сячинов А.В. Автоматизированная система измерений, накопления и обработки данных при испытаниях поршневых компрессоров // Компрессорная техника и пневматика. 1997. №3-4 (16-17).

10. Диагностика автотракторных двигателей. Под ред. Н.С. Ждановского. Л.: Колос, 1977.

11. Луканин В.Н. Шум автотракторных двигателей внутреннего сгорания. М.: Машиностроение, 1971. с.

12. Павлов Б.В. Акустическая диагностика механизмов. М.: Машиностроение, 1971.

13. Аллилуев В.А., Ананьев Д.А., Михлин В.М.. Техническая эксплуатация машинно-тракторного парка. М.: Агропромиздат, 1991.

14. Станиславский Л.В. Техническое диагностирование дизелей. Киев, Донецк: Вища школа. 1983.

15. Сидоров В.И., Коншин В.М., Тучинский Ф.И. Эффективные методы экспресс-диагностирования машин // Строительные и дорожные машины. 2001. №1.

16. Омельченко Е.В., Чигрин В.И. и др. Комплексные системы автоматизированного управления и диагностирования технического состояния турбокомпрессорных агрегатов и поршневых компрессоров // Компрессорная техника и пневматика. 2001. № 4.

17. Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Костюков А.В. Автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств (АСУ БЭР – КОМПАКС®). М.: Машиностроение, 1999.

18. Науменко А.П. Методология вибраакустической диагностики поршневых машин // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Спец. вып. Серия Машиностроение. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.

19. Науменко А.П. Исследование вибраакустических параметров поршневых машин // Сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-техн. конф. «Двигатель – 2007». М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.

20. Костюков В.Н., Науменко А.П. Мониторинг состояния поршневых компрессоров // Потребители-производители компрессоров и компрессорного оборудования: Тр. III междунар. симп. СПб: Изд. СПбГТУ1997.

21. Костюков В.Н., Науменко А.П. Практические основы вибраакустической диагностики машинного оборудования. Учеб. Пособие. Под ред. В.Н. Костюкова. Омск: Изд ОмГТУ, 2002.

22. Костюков В.Н., Науменко А.П. Система мониторинга технического состояния поршневых компрессоров нефтеперерабатывающих производств // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2006. №10.

23. Стандарт ассоциации «Ростехэкспертиза», ассоциации нефтехимиков и нефтепереработчиков и НПС РИСКОМ «Системы мониторинга агрегатов опасных производственных объектов» общие технические требования (СА 03-002-04). Серия 03. М.: Изд-во «Компрессорная и химическая техника», 2005.

Белорусский промышленный форум '2008

Belarusian Industrial Forum

КРУПНЕЙШИЙ СМОТР НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ



Информационные партнеры:



13-16.05.
2008

Беларусь, Минск
пр. Победителей, 20, корп.2
футбольный манеж

Организатор



ЭКСПОФОРУМ
выставочное предприятие
www.expoform.ru

(+375 17) 299-84-99, 299-83-99

12-я международная специализированная выставка



11-я международная промышленная выставка



9-я международная специализированная выставка



11-й международный симпозиум

ТЕХНОЛОГИИ
ОБОРУДОВАНИЕ
КАЧЕСТВО

Генеральный партнер





Журнал зарегистрирован
в Минпечати РФ
Рег. свид. ПИ № 77-11904

Учредители

Ассоциация компрессорщиков
и пневматиков
ООО «Издательство «КХТ»

Главный редактор

Ю.Б. Галеркин

Заместители главного редактора

Диментова А.А.
Морозова Э.И.

Ответственные секретари

Суслина И.П.
Козлова С.С.

Научный редактор

Крузе А.С.

Редактор

Карпова Д.В.

Редакционная коллегия

Бараненко А.В.	Пластиани П.И.
Бухолдин Ю.С.	Павлюченко А.М.
Галеркин Ю.Б.	Роговой Е.Д.
Гусев Б.В.	Романихин А.В.
Демихов К.Е.	Суслина И.П.
Диментова А.А.	Сухомлинов И.Я.
Захаренко В.П.	Товарас Н.В.
Кузнеццов Л.Г.	Хисамеев И.Г.
Кулагин В.А.	Уразов Е.К.
Мифтахов А.А.	Фадеков Н.В.
Морозова Э.И.	Шайдак Б.П.
Новиков И.И.	Шайхутдинов А.З.
Огнев В.В.	

Дизайн и компьютерная верстка

Япин О.Ю.

Адрес редакции

107258, Москва,
ул. 1-я Бухвостова, 12/11, НИИ ДАР,
ИИЦ «КХТ»
Тел.: (095) 748-78-39, 223-66-35
Тел./факс: (095) 963-96-28
E-mail: kht@telemost.ru
www.compressortech.ru

Отделение в Санкт-Петербурге

Суслина И.П.
(812) 552-65-86

Юридическую ответственность
за достоверность рекламы
несут рекламируемые лица.
Полная или частичная перепечатка
материалов допускается только
с письменного разрешения редакции.

© «Компрессорная техника и пневматика»,
1991

Сдано в набор 10.04.2008.
Подписано в печать 25.04.2008.
Формат 60×90/8. Печать офсетная.
Усл.-печл. 5,0. Зак. 861

Отпечатано в ООО «АМА-пресс»,
111116, Москва., Зельев пер., 3

Компрессорная техника и пневматика

Compressors & Pneumatics

3/апрель
2008

СОДЕРЖАНИЕ

Техника

- Варин В.В., Селянская Е.Л., Коновалов О.Д., Лобанов С.А.** Разработка и изготовление центробежных компрессоров в 2006–2007 гг. 2

- Atias Copco:** Новые стандарты эффективности использования энергетических ресурсов 6

- Титенский В.И.** Осевые компрессоры на Невском заводе (часть 3) 8

Наука

- Шамеко С.Л.** Исследования проточной части центробежного компрессора с промежуточным охлаждением с целью снижения энергопотребления 13

Эксплуатация

- Костюков В.Н., Науменко А.П.** Проблемы и решения безопасной эксплуатации поршневых компрессоров 21

В порядке обсуждения

- Аляутдинов Р.У.** Способы оптимизации несущей способности подшипников с газовой смазкой и угловой скорости перехода на режим газодинамического трения 30

- Сафин А.Х.** Основы современной классификации и терминологии компрессорного оборудования (часть I) 33

Сертификация

- Фадеков Н.В.** Информация о продукции, прошедшей сертификацию в НП «СЦ «НАСТХОЛ» в марте 2008 г. 43

- Телефонно-адресный справочник.** 44

- Summaries of the articles published in «Compressors & Pneumatics» №3, 2008** 48

Компрессорная техника и пневматика



Compressors & Pneumatics

3/апрел

2008



Компрессоры - это «Атлас Копко»

www.atlascopco.ru

Тел.: (495) 933 55 50

Atlas Copco