

Разработка и внедрение систем диагностики и мониторинга поршневых компрессоров

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

В статье рассмотрены принципы построения и структурные схемы систем диагностики и мониторинга поршневых компрессоров на предприятиях нефтегазохимической промышленности. Системы обеспечивают мониторинг технического состояния компрессоров в реальном времени без участия специалистов в области диагностирования и соответствуют требованиям к системам мониторинга оборудования опасных производств, которые изложены в ГОСТ Р 53563–2009 и ГОСТ Р 53564–2009.

Ключевые слова: поршневой компрессор, мониторинг, диагностика, система мониторинга.

Designing and realization of diagnostics and condition monitoring systems for reciprocating compressors

V.N. Kostyukov, A.P. Naumenko

Designing and realization of diagnostics and condition monitoring systems for reciprocating compressors

The article is concerned with aufbau principles and block diagrams of the systems for diagnostics and monitoring of reciprocating compressors of petrochemical and gas enterprises. The systems ensure real-time condition monitoring of compressors without diagnosticians being involved in it; the systems conform to the requirements for monitoring systems of hazardous production facilities, which are stated in GOST (Russian State Standard) R 53563–2009 and GOST R 53564–2009.

Keywords: reciprocating compressor, monitoring, diagnostics, monitoring system.

Необходимые и достаточные требования к функциональным, диагностическим, информационным и иным возможностям систем диагностики и мониторинга (СДМ) определены в ГОСТ Р 53563 и ГОСТ Р 53564, а современный уровень развития информационно-измерительной техники дает возможность организовать сбор и обработку данных синхронно и асинхронно по множеству каналов с привязкой к углу поворота вала в заданном диапазоне частот – от долей и единиц Гц до нескольких МГц. Для вычисления диагностических признаков неисправностей (ДП) целесообразно использовать мощности компьютеров и цифровых сигнальных процессоров. Однако определяющим фактором при разработке информационно-вычислительной системы для организации мониторинга поршневых машин является стоимость. При этом, как правило, основной проблемой является обеспечение взрывобезопасности системы. Учитывая, что скорость развития неисправностей ограничена, исходя из необходимого периода опроса измерительных каналов [1, 2], целесообразным для обеспечения мониторинга состояния поршневых компрессоров (ПК) представляется использование последовательно-параллельной распределенной структуры системы. В такой системе проще и дешевле обеспечить взрывобезопасность измерительных цепей. Наиболее оптимизированной с этих точек зрения (стоимость одного канала, взрывобезопасность) является автоматизированная система безопасной ресурсосберегающей эксплуатации оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств (АСУ БЭР) КОМПАКС® [1–3], реализующая стратегию минимальной стоимости СДМ.

Адаптивные СДМ с функционально-неопределенной структурой, целью которых является получение инфор-

мации о состоянии агрегата и нефтехимического комплекса в необходимом количестве и качестве для обеспечения наблюдаемости его технического состояния [4, 5], разрабатываются на основе применения измерительно-диагностических систем, ядром которых является информационно-вычислительное устройство и распределенная полевая сеть модулей сбора и передачи диагностической информации. СДМ должны удовлетворять восьми принципам [1, 2, 5] построения систем:

- принципу достаточности числа датчиков;
- принципу информационной полноты диагностических сигналов;
- принципу инвариантности и коллективного распознавания, регламентирующему выбор и селекцию совокупности ДП [6, 7];
- принципу самодиагностики и автоматизированной поверки всех измерительных и управляющих каналов СДМ [8–10];
- принципу структурной гибкости и программируемости, обеспечивающему реализацию оптимальной функционально-неопределенной параллельно-последовательной структуры распределенных СДМ [11];
- принципу коррекции неидеальностей измерительных трактов вычислительными методами [8, 12];
- принципу дружественности интерфейса при максимальной информационной емкости экрана представления данных [1, 2, 13];
- принципу многоуровневой организации, обеспечивающему работу с системой специалистам разных уровней квалификации и ответственности [2, 14].

Разработанная и реализованная впервые в реальном производстве в 1991 г. СДМ технического состояния центробежного насосно-компрессорного оборудования КОМПАКС®, которая построена на основе не-

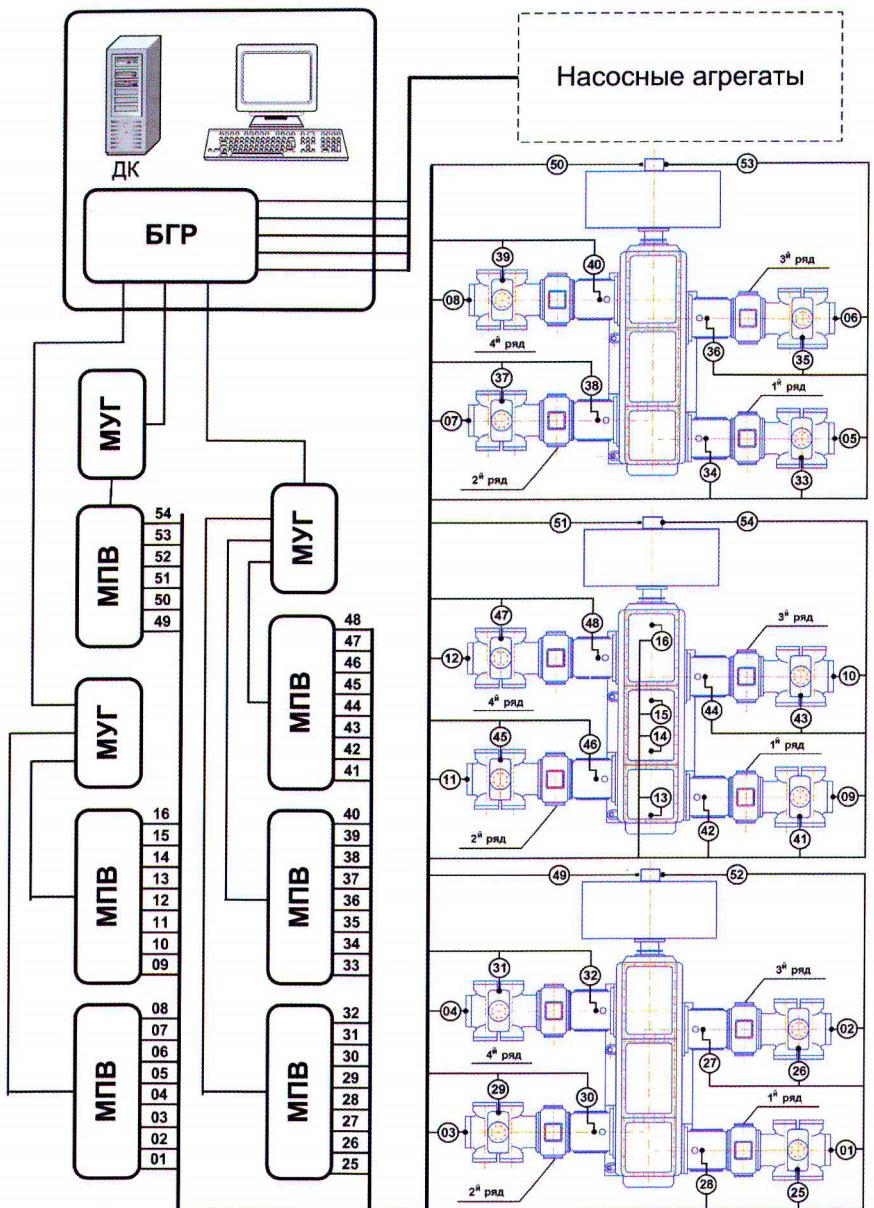


Рис. 1. Структура системы КОМПАКС для диагностики и мониторинга поршневых компрессоров типа 4М16М-45/35-55 установки гидроочистки дизельного топлива (1995 г.)

скольких типов модулей, в 1995 г. была адаптирована для диагностики по параметрам виброакустических (ВА) сигналов трех ПК типа 4М16М-45/35-55 на установке гидроочистки дизельного топлива Омского НПЗ (рис. 1); в 1998 г. – для мониторинга технического состояния и диагностики ПК ВДСВ-30/30/20/20г16 фирмы Worthington, которые компримируют водородосодержащий газ с содержанием водорода 77–90%. СДМ имеют последовательно-параллельную структуру опроса датчиков, содержат пьезоакселерометры и датчики углового положения вала, которые формируют сигнал синхронно с моментом начала движения порш-

ня от верхней мертвой точки (ВМТ) первого цилиндра (см. рис. 1). Начало опроса каналов синхронизировано с сигналом датчика углового положения вала. При этом в зависимости от применяемых аппаратных средств возможен прием сигналов от двух пьезоакселерометров параллельно, что позволяет получать временные реализации ВА сигналов синхронно с углом поворота вала и параллельно по двум каналам.

Аппаратная часть содержит следующие компоненты:

- первичные преобразователи во взрывозащищенном исполнении (пьезоэлектрические акселерометры; датчик углового положения вала; датчики давления на всасывание и нагнетании каждого цилиндра двух компрессоров Worthington; два датчика уровня конденсата в приемных ресиверах);
 - модули МПВ-8 (мультиплексор-преобразователь входной), предназначенные для приема и преобразования сигналов с датчиков переменного тока (функции модулей: опрос каналов, усиление принятых сигналов, трансляция сигналов в модули МУГ-8, контроль целостности датчиков и линий связи путем генерации по командам из диагностического контроллера (ДК) специальных сигналов);
 - модули МУГ-8 (мультиплексор-усилитель групповой), предназначенные для приема аналоговых сигналов от модулей МПВ-8 и передачи этих сигналов по гальванически развязанной линии связи в диагностическую станцию (ДС);
 - модули ПС-4, предназначенные для формирования управляющих воздействий модулям полевой сети МУГ-8, МПВ-8 и приема от них аналоговых сигналов для аналого-цифрового преобразования и последующей обработки; модуль ПС-4 устанавливается в ДК и может иметь от одного до четырех параллельных каналов связи с выносными модулями, кроме того, модули ПС-4 имеют дополнительный канал приема сигнала, предназначенный для проведения синхронных измерений;



Рис. 2. Поршневой компрессор типа 4HF/2 (*Nuovo Pignone*)

- линии связи с блоком гальванической развязки (БГР), которые обеспечивают работу полевой сети (датчики и модули) во взрыво- и пожароопасной зоне, в том числе питание модулей полевой сети, управление ими, передачу информации в аналоговом виде;
- блок гальванической развязки, который выполняет функции расширения количества используемых каналов в системе, может содержать до восьми независимых каналов и включается между модулем ПС-4 и модулями полевой сети (БГР принимает управляющие воздействия для выносных модулей по ЛПУ от модуля ПС-4 и транслирует в него принятые аналоговые сигналы по двум сигнальным линиям).

Данная архитектура системы является гибкой последовательно-параллельной структурой с магистральным объединением модулей МУГ-8, МПВ-8 по управляющим линиям и пирамидальным объединением по сигнальным. Полевая сеть содержит измерительные модули МУГ-8, МПВ-8 с функцией аналого-цифровой обработки измеренных сигналов и датчики различных физических величин. Расстояния от модулей до ДС может достигать 1000 м, а от датчиков до модулей – 500 м. Аппаратура полевой сети может располагаться во взрывоопасной зоне. Максимальное число каналов в данной системе достигало 256 при четырехканальном модуле ПС-4 без применения БГР, и 2048 – с применением БГР. Заложенный в системе КОМПАКС принцип структурной гибкости и программируемости [1, 5, 8] позволил реализовать синхронные измерения и когерентный анализ вибро-акустических сигналов. При этом наряду с мониторингом ПК на установке осуществляется мониторинг и центробежного насосного оборудования.

ДС стационарной системы позволяет принимать аналоговые и цифровые данные и выдавать цифровые

управляющие сигналы по 8192 дифференциальным каналам. Скорость опроса в зависимости от соотношения числа каналов, измеряющих статические и динамические величины, достигает 100 каналов/с. При этом каждые 90 с значения ДПН сохраняются в базе данных и могут быть отображены в виде 12-часовых, 4-суточных, 40-суточных, годовых и 9-летних трендов.

Для мониторинга состояния оборудования в зависимости от решаемых диагностических задач используются следующие параметры: виброускорение, виброскорость, виброперемещение и их стохастические характеристики; температура; давление; радиальный зазор; ток потребления; частота вращения вала; уровень жидкости (конденсата); сигнал акусто-эмиссионного датчика; параметры переменного, постоянного тока (например, сигнал 4...20 mA) и напряжения и др.

В данной системе для одного компрессора необходимо использовать три модуля МУГ, а максимальное возможное количество каналов системы – 192 (8×8×3). Для одного компрессора требуется 26 каналов. Таким образом, эффективность использования аппаратных средств для мониторинга только одного ПК – менее 25%. Для трех ПК (с учетом контроля КП на одном компрессоре) эффективность (отношение числа используемых каналов к числу потенциальных) составляет 43%. Подключение к СДМ центробежного насосно-компрессорного оборудования позволяет в полной мере реализовать потенциал системы.

Развитием данной системы стала ее реализация на модулях РИМ. Программируемый интеллектуальный модуль РИМ является универсальным устройством, объединившим в себе функции модулей МУГ-8, МПВ-8, МПТ-8. Создание подобных модулей стало возможным при переходе на новые технологии, что позволило разработать адресуемый модуль за счет использования в его составе специализированной большой интегральной схемы, разработанной и производимой НПЦ «Динамика». Это дало возможность построить систему с магистральной структурой связей между модулями и ДК, как по управляющим, так и по сигнальным линиям. Первая реализация – модуль РИМ-023 – обладает следующими функциями и особенностями: измерение сигналов как переменного, так и постоянного тока, измерение температуры контактов подключения холодного спая термопар, измерение напряжения питания модуля, калибровка каналов за счет генерации опорных сигналов с калиброванным уровнем; модуль обладает режимом пониженного энергопотребления, расширенным набором коэффициентов усиления, токовым выходным каскадом. В модуле РИМ-023 реализована концепция универсального входа, что позволяет ему работать практически с любым типом первичных преобра-

зователей, включая преобразователи с унифицированными выходными сигналами тока или напряжения.

При использовании БГР максимальное число каналов, которые могут функционировать в системе, построенной на основе РИМ-023, составляет 8192.

Современные модули РИМ-025, РИМ-027 являются универсальными измерительными и управляющими аналого-цифровыми устройствами с возможностью гибкого наращивания функциональных возможностей за счет программируемой двухпроцессорной структуры. Модуль сохраняет все свойства выносных модулей предыдущих поколений, является совместимым со старой системой и обладает при этом рядом новых качеств (фильтрация, выделение огибающей, пиковое детектирование, вычисление заданных характеристик сигналов и др.).

Модуль имеет широкую полосу частот (0...25 000 Гц), имеет возможность передачи по сигнальной линии системы КОМПАКС дискретных данных любого характера, имеет последовательный канал приема и последовательный канал вывода дискретных данных, содержит в своей структуре 12-разрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП), что позволяет ему проводить цифровую обработку измеренных сигналов с последующей передачей полученных данных в цифровом виде в ДК по высокоскоростному последовательному каналу.

Модуль сбора данных (PS-4, 3527) устанавливается в ДК системы КОМПАКС и предназначен для формирования управляющих воздействий выносным модулям и приема от них аналоговых сигналов для аналого-цифрового преобразования и последующей обработки. Модуль построен на основе микропроцессора, имеет четыре входных аналоговых канала тока или напряжения, обеспечивает асинхронный и синхронный прием сигналов в одноканальном и двухканальном режимах. По любому из входных каналов модуль может принимать дискретные сигналы, а также сигналы стартовых меток для проведения синхроизмерений. Для аналого-цифрового преобразования сигналов в модуле используется 16-разрядный двухканальный дельта-сигма АЦП. Использование специальных схемотехнических решений позволило на основе 16-разрядного кодека Analog Devices обеспечить полосу частот входного сигнала – 0,3...25 000 Гц. Частота дискретизации устанавливается от 1 до 50 кГц с шагом 1 Гц. Модуль имеет возможность генерирования сигналов произвольной формы в диапазоне 0...25 000 Гц под управлением центрального процессора, может функционировать под управлением операционных систем DOS, WINDOWS, QNX, а также использоваться в качестве двухканального осциллографа или генератора функций звукового

диапазона частот при наличии специального программного обеспечения.

В 2004 г. на установке гидроочистки дизельного топлива Сызранского НПЗ внедрена СДМ КОМПАКС трех ПК типа 2М10-11/42-60, компримирующих водородосодержащий газ, с использованием модулей 3527 и РИМ-027. Система мониторинга [2, 3, 14–17] имеет последовательно-параллельную структуру опроса датчиков и содержит пьезоакселерометры и датчик углового положения вала.

Поскольку основными проблемами при эксплуатации данных ПК были отказы, связанные с клапанами вследствие заброса в полость нагнетания конденсата и с зазорами в коренных подшипниках, поскольку датчики установлены на каждый клапан и каждый коренной подшипник. Используя принцип структурной гибкости и программируемости, алгоритмы функционирования системы сконфигурированы таким образом, что система обеспечивала диагностирование прежде всего заброса конденсата и, связанные с этим, нарушения работы клапанов.

Аналогичные системы внедрены на установке 35/11-1000, 25-12, Л-24/9, комплексе «Ароматика» Омского НПЗ (ПК Nuovo Pignone типа 4ГМ16-22/17-37, 4НФ/2, рис. 2), 2TV2 (EUROTECNICA), SRM 1375-35 (BOGE), 4М16М-45/35-55, BDCB 30/30/20/20 (Worthington), на Ачинском НПЗ (ПК типа 4М16-22,4/23-64), «ЛУКОЙЛ НЕФТОХИМ БУРГАС» (ПК типа 4М16М-45/35-55), Ангарском НПЗ (ПК типа 4СГВ, 5Г600/42-60, 305ГП-20/8), Астраханском ГПЗ (ПК типа 2ГМ16-20/42-60СМ2), Саратовском НПЗ (ПК типа 5Г-600/42-60, 2ГМ16-24/40-60, 4ГМ16М-45/35-55) и других предприятиях.

Для мониторинга состояния и диагностики ПК типа 2ГМ2,5–6,2/38–46С (Ачинский НПЗ) и 4СГВ, 305ГП-20/8 (Ангарская нефтехимическая компания) разработана и внедрена СДМ КОМПАКС® на основе нового поколения аппаратных средств [18]. Особенностью данной системы является использование шестиканального синхронного модуля АЦП типа 3545, которое позволяет при соответствующем исполнении полевой сети получать сигналы синхронно с шестью датчиками одного ПК. Модуль 3545 содержит мощный процессор и восемь АЦП, шесть из которых могут синхронно принимать сигналы с учетом сигнала углового положения вала (синхрометка). Процессор производит всю обработку данных и передает в ДК уже результат диагностирования.

Обеспечение безопасной эксплуатации ПК связано не только с мониторингом структурных параметров деталей, узлов и механизмов, но и с контролем параметров, непосредственно связанных с безопасной эксплуатацией ПК, однако слабосвязанных со структурными



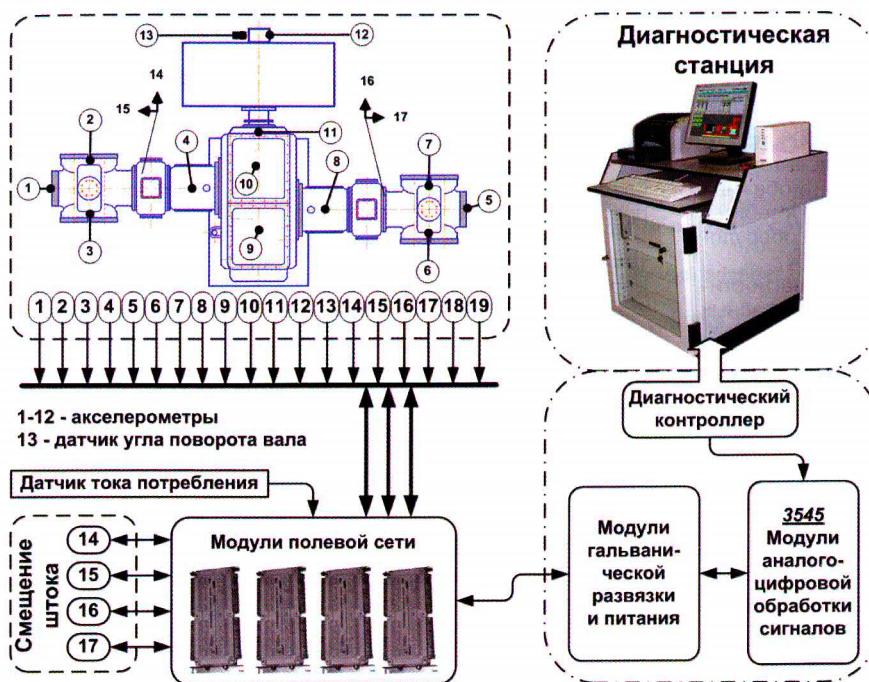


Рис. 3. Модификация системы КОМПАКС с использованием вихревых датчиков положения штоков

параметрами кинематически взаимодействующих узлов и деталей. К таким узлам относятся прежде всего газовые сальники, обеспечивающие герметичность полости сжатия со стороны штока. Вибрационные датчики реагируют на изменение зазора между штоком и уплотняющими элементами сальника на последней стадии износа, когда утечки становятся уже недопустимыми. Поэтому в СДМ установки каталитического риформинга (Л35/11-300) и комплекса гидроочистки дизельного топлива (Л-24/6) реализован контроль утечек прямым способом путем установки датчиков расхода в дренажной магистрали [1]. Обеспечение передачи данных из вихревого расходомера DY015-EBLCA4-2D (YOKOGAWA) еще раз подтвердило программно-аппаратный потенциал системы КОМПАКС® и реализацию принципа структурной гибкости и программируемости. При этом появилась возможность количественно оценивать утечки и на ранних стадиях износа сальниковых уплотнений, планировать сроки проведения ремонта.

Одной из проблем эксплуатации ПК типа 4ГМ10-28/43-56 на установке гидродепарафинизации дизельного топлива с блоком производства серы являются частые поломки штоков и их опорных колец. С целью контроля положения штока разработана СДМ КОМПАКС®, в которой кроме стандартных точек контроля установлены вихревые датчики положения штока типа 5007 (рис. 3). При этом осуществляется контроль не только стати-

ческого смещения штока, но и переменная составляющая сигнала датчика 5007. Такой подход совместно с сегментацией переменной составляющей сигнала по углу поворота обеспечивает не только оценку износа опорных колец и направляющих крейцкопфа, но и дает возможность оценивать нагрузку на шток в сегментах по углу поворота вала.

В настоящее время семнадцать систем КОМПАКС® осуществляют мониторинг и диагностирование более 50 компрессоров различных типов, среди которых компрессоры BDCB-30/30/20/20x16 (Worthington), 4HF/2 серии HF (Nuovo Pignone), 2TV2 (Neuman & Esser), а также 4M16M-45/35-55, 2ГМ16-20-42/60, 2M10-11-42/60, 5Г-600-42/60 и др.

Таким образом, в системе КОМПАКС® методология real-time мониторинга и диагностирования основана на измерении параметров косвенных процессов (виброакустические колебания), для чего устанавливается не более 5 датчиков на цилиндр, а также предусмотрено измерение прямых структурных и термодинамических параметров

Реализованы алгоритмы экспертной системы поддержки принятия решений реального времени с автоматическим определением (постановка диагноза в темпе измерения диагностических сигналов) более 23 неисправностей узлов ПК, степени их опасности, и выдачей целеуказующих предписаний персоналу по приведению компенсирующих мероприятий.

Научно обоснованный период постановки диагноза позволяет получить величину статической и динамической ошибок распознавания состояния оборудования менее 5% [5].

Система real-time мониторинга КОМПАКС® имеет параллельно-последовательную структуру, требует во много раз меньше датчиков и кабеля и, соответственно, затрат на монтаж и обслуживание, обеспечивает низкую стоимость владения, перевод ПК на эксплуатацию по фактическому техническому состоянию и высокую экономическую эффективность внедрения.

Система real-time мониторинга КОМПАКС® относится к системам первого класса согласно ГОСТ Р 53564, что позволяет использовать ее для мониторинга состояния оборудования первой и других категорий опасности (согласно ГОСТ Р 53564), а также производственного объекта в целом.

Список литературы

1. Костюков В.Н. Мониторинг безопасности производства. М.: Машиностроение. 2002. 224 с.
2. Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Костюков А.В. Автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств (АСУ БЭР – КОМПАКС[®]) [под ред. В.Н. Костюкова]. М.: Машиностроение. 1999. 163 с.
3. Костюков В.Н., Науменко А.П. и др. Система автоматического мониторинга состояния поршневых и центробежных компрессоров КОМПАКС//Тр. Х междунар. симп. «Потребители-производители компрессоров и компрессорного оборудования». 2004. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. С. 154–164.
4. ГОСТ Р 53563–2009. Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Порядок организации. М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2010.
5. ГОСТ Р 53564–2009. Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Требования к системам мониторинга. М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2010.
6. Костюков В.Н. Синтез инвариантных диагностических признаков и моделей состояния агрегатов для целей диагностики//Омский науч. вестн. 2000. Вып. 12. С. 77–81.
7. Костюков В.Н. Адаптивный метод вибраакустической диагностики// Тр. V междунар. конф. «Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2000». Новосибирск: НГТУ, 2000. Т.6. С. 142–147.
8. Костюков В.Н., Кириллов В.И., Романовский В.В. Метрологическое обеспечение вибромониторинга в нефтегазовой промышленности//Молодые метрологи – народному хозяйству России: Сб. тр. науч.-техн. конф. М., 1999. С. 133–135.
9. А.с. СССР № 1740994, Г01М15/00. Устройство диагностики машин.
10. Св. на полезную модель РФ 1537, МКИ G01M15/00. Система для диагностики машин по вибрации их корпуса.
11. Малов Е.А., Бронфин И.Б., Костюков В.Н. и др. Внедрение систем «КОМПАКС» – обеспечение безаварийной работы непрерывных производств//Безопасность труда в промышленности. 1994. № 8. С 19–22.
12. Пат. РФ 2006135874/28. Способ вибродиагностики машин.
13. Костюков В.Н., Науменко А.П. Проблемы и решения безопасной эксплуатации поршневых компрессоров//Компрессорная техника и пневматика. 2008. №3. С 21–28.
14. 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. С. 38–58.
15. Костюков В.Н., Науменко А.П. Система контроля технического состояния машин возвратно-поступательного действия//Контроль. Диагностика. 2007. № 3. С. 50–59.
16. Науменко А.П., Костюков В.Н. Condition monitoring of reciprocating machines//Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management. 22nd Intern. Congress / Published by Fundacion TEKNIER, Otaola, 20, 20600, Eibar / Edited by Aitor Arnaiz, Ana Aranzable, Raj BKN Rao. San Sebastian, Spain, 2009. P. 113–120.
17. Науменко А.П., Костюков В.Н. System for Condition Monitoring of Reciprocating Machines//Advances in Maintenance and Condition Diagnosis Technologies towards Sustainable Society. Proceed. of the 24rd Intern. Congress on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management May 30–June 2, 2011, 2011. P. 265–272.
18. Науменко А.П. Современные методы и средства real-time мониторинга технического состояния поршневых машин//Компрессорная техника и пневматика. 2010. №8. С. 27–34.



Совет главных механиков нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий России и стран СНГ

Научно-технический центр

Ежегодное отраслевое совещание главных механиков

В период с 21 ноября по 25 ноября 2011 г. состоится очередное совещание главных механиков нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий России и СНГ с участием специалистов Ростехнадзора, научно-исследовательских и проектных институтов, фирм – производителей оборудования, инжиниринговых фирм. Совещание проводится на базе отдыха «Бекасово» (Московская обл.)

Тема совещания:

«Организация и планирование работ по ремонту, реконструкции и замене оборудования на действующих производствах нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий. Опыт взаимодействия предприятий с подрядными организациями».

Приглашаем заинтересованные компании и фирмы к участию в совещании.

Подробности об условиях участия в совещании можно узнать в ООО «НТЦ при Совете главных механиков» по тел./факсу: (495) 737-92-94; e-mail: ntc@rsnasos.ru; www.sgm-oil.ru

реклама



Компрессорная техника и пневматика



Compressors & Pneumatics

5/июль
2011

20 лет в области мониторинга и технической диагностики


КОМПАКС[®]

Система автоматической
вибродиагностики и
комплексного мониторинга
состояния оборудования

Сервер диагностической сети
Compacs-Net[®]



Диагностическая
Станция

Научно-
производственный
центр
пневматика[®]





Научно-технический
и информационный журнал

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

Учредители

Ассоциация компрессорщиков
и пневматиков
ООО «Издательство «КХТ»

Издатель

ООО «ИИЦ «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.

Редакционная коллегия

Д.т.н. проф. Бараненко А.В.
К.т.н. Бухолдин Ю.С.
Д.т.н. проф. Галеркин Ю.Б.
Д.т.н. проф. член-корр. РАН Гусев Б.В.
Д.т.н. проф. Демихов К.Е.
К.т.н. Диментова А.А.
Д.т.н. проф. Захаренко В.П.
Д.т.н. проф. Кузнеццов Л.Г.
Д.т.н. проф. Кулагин В.А.
Морозова Э.И.
Д.т.н. проф. Огнев В.В.
Д.т.н. Парафейник В.П.
К.т.н. Роговой Е.Д.
К.т.н. Суслина И.П.
Д.т.н. проф. Сухомлинов И.Я.
К.т.н. Товарас Н.В.
Д.т.н. проф. Хисамеев И.Г.
Уразов Е.К.
Фадеков Н.В.
Шайдак Б.П.
К.т.н. Шайхутдинов А.З.

Дизайн и компьютерная верстка

Япин О.Ю.

Адрес редакции

107258, Москва,
ул. 1-я Бухвостова, 12/11, НИИ ДАР,
ИИЦ «КХТ»
Тел.: (495) 748-78-39, 223-66-35
Тел./факс: (495) 963-96-28
E-mail: info@chemtech.ru
www.compressortech.ru

Отделение в Санкт-Петербурге

Суслина И.П.

(812) 552-65-86

Журнал входит в перечень ВАК РФ

Юридическую ответственность
за достоверность рекламы
несут рекламодатели.
Полная или частичная перепечатка
материалов допускается только
с письменного разрешения редакции.
© «Компрессорная техника и пневматика»,
1991

Сдано в набор 25.06.2011.
Подписано в печать 20.07.2011.
Формат 60×90/8. Печать офсетная.
Усл.-печ.л. 5,0. Зак. 1395

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

Компрессорная техника и пневматика

Compressors & Pneumatics

5/июль
2011

СОДЕРЖАНИЕ

Техника

Зюзьков В.В., Щуровский В.А.

Реконструкция компрессорных станций
многониточных систем газопроводов с укрупнением
единичных мощностей газоперекачивающих агрегатов 2

Расчет и конструирование

Семеновский В.Б.

Исследования и расчет статических характеристик уплотнений
с плавающими кольцами при высоких перепадах давления 7

Измайлова Р.А., Лопулалан Х.Д., Норимарна Г.С.

Численное моделирование нестационарного течения
в ступени центробежного компрессора 10

Паранин Ю.А., Хисамеев И.Г.

Математическая модель рабочего процесса
спирального компрессора сухого сжатия
с учетом теплообмена и упругой деформации спиралей 16

Юн В.К.

Методы расчета термогазодинамического процесса сжатия
реальных газов в проточных частях центробежных компрессоров 24

Диагностика и мониторинг

Костюков В.Н., Науменко А.П.

Разработка и внедрение систем
диагностики и мониторинга поршневых компрессоров 31

Экономика

Хуснутдинов А.З., Шайхутдинов И.И.

Инновационная синергия развития
научно-промышленного объединения
(на примере ОАО «Казанькомпрессормаш») 37

Выставки, конференции

Технический семинар компании «Хёргигер» 43

Сертификация

Максимовский Б.В.

Безопасность и Технический регламент Таможенного союза 46

