

# Современные методы и средства real-time мониторинга технического состояния поршневых машин

А.П. Науменко (НПЦ «Динамика»)

*Рассмотрены состояние и перспективы развития современных методов и средств мониторинга состояния и диагностики поршневых компрессоров опасных непрерывных производств. Проведен обзор принципов контроля технического состояния, которые реализованы практически во всех известных системах мониторинга. Рассмотрены технические средства систем мониторинга.*

*Проведен анализ методологии, технологии применения и принципов построения систем real-time мониторинга. Рассмотрена система мониторинга технического состояния поршневых компрессоров в реальном времени КОМПАКС™.*

**Ключевые слова:** поршневые машины, поршневые компрессоры, мониторинг, диагностика, вибрация

## Modern methods and tools of real-time condition monitoring of reciprocators

A.P. Naumenko

*A state and prospects of development of the modern methods and tools of condition monitoring and diagnostics of reciprocating compressors of dangerous process productions are viewed in the article. The reviews of principles of the check of a technical state which are used in practically in all known monitoring systems are carried out. Means of monitoring systems are considered.*

*The analysis of methodology, technique of application and principles of build-up of systems real-time condition monitoring is conducted. The system of condition monitoring of piston compressors in real time COMPACS™ is viewed.*

**Keywords:** piston machines, reciprocating compressors, monitoring, diagnosis, vibration

Адекватность оценки технического состояния (ТС) поршневых компрессоров (ПК) опасных производств, достоверность и своевременность определения неисправностей и их причин, величина риска безопасной эксплуатации ПК определяются уровнем развития методологической базы организации и алгоритмов функционирования программно-аппаратных средств систем мониторинга состояния ПК.

Сегодня существуют документы [1–4], определяющие основные требования к организации и средствам мониторинга опасных производственных объектов, однако даже специалистам в этой области весьма затруднительно сориентироваться в рекламируемых возможностях систем. В связи с этим возникает актуальная потребность в систематизации методов и средств диагностирования и мониторинга состояния ПК.

### Методология, принципы реализации систем on-line мониторинга

С середины 90-х годов прошлого века до сегодняшних дней в системах диагностики и мониторинга ПК основное внимание уделяется мониторингу состояния и диагностированию следующих узлов [5, 6]:

- клапаны – работоспособность;
- цилиндр – изнашивание уплотнений, колец и рабочих поверхностей, ослабление крепления поршня;
- кривошипно-ползунный механизм (КПМ) – увеличенный зазор в подшипнике верхней головки шатуна, изнашивание опорной поверхности ползуна, изнашивание штока, ухудшение смазки;

- кривошипно-шатунный механизм (КШМ) – увеличенный зазор в шатунном и коренном подшипниках, ухудшение смазки;
- корпус компрессора – ослабление крепления, фундамента.

При этом измеряют следующие параметры (рис. 1):

- вибрацию корпуса компрессора – виброскорость (*Frame Vibration*);
- вибрацию кривокопфного узла – виброускорение (*Crosshead Vibration*);
- положение штока (обычно – в вертикальном направлении, иногда – в горизонтальном) – абсолютное смещение (*Rod Drop*);
- изнашивание штока (*Rod Run-Out*);
- вибрацию подшипников (*Main Bearing Vibration*);
- температуру клапанов (*Valve Temperature*);
- давление в полостях нагнетания (*Pressure Volume Curve*);
- нагрузку на шток (*Rod Loading*).

Одним из эффективных методов контроля ТС и диагностики поршневых машин (ПМ) является измерение параметров и анализ индикаторной диаграммы [7]. Данный метод эффективен также при диагностике двигателей внутреннего сгорания и ПК, компримирующих технологически стабильные газы, изменение параметров индикаторной диаграммы которых может быть следствием изменения ТС. В ПК, работающих в производстве водорода с нестабильными процессами или процессами, при которых производится подача водородсодержащего газа (ВСГ) «влажным» или «за-

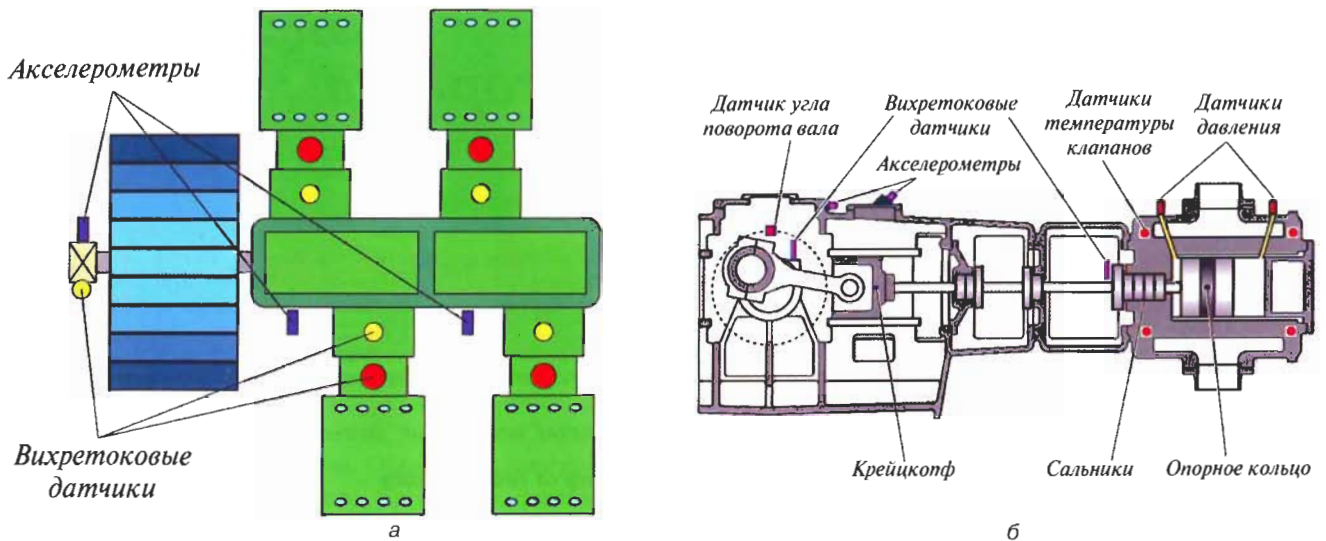


Рис. 1. Типовые места установки датчиков на корпусе ПК:  
а – вид в плане; б – разрез компрессора

грязненным» (или то и другое), параметры индикаторной диаграммы существенно зависят от свойств газа, характеризуют динамическую нагрузку на узлы и детали, но не в полной мере характеризуют их ТС [7].

Измерение вибрации крейцкопфного узла (обычно – виброускорение) осуществляют путем установки акселерометра над ползуном крейцкопфа вертикально или под углом 45° к оси движения ползуна.

Иногда вместо оценки среднеквадратичного значения (СКЗ) используют оценку амплитудных параметров виброускорения, т.е. пиковых значений виброускорения (*Impact Factor, Impact Events*) с помощью датчика ударных нагрузок при этом сам процесс измерения называют *Impact Monitoring* или *Shock Monitoring* [5].

Измерение положения штока (*Rod Drop*) – это процесс измерения абсолютного значения величины расстояния между поверхностью штока и датчиком в вертикальном направлении (для горизонтальных машин).

Кроме того, измерение динамики (по углу поворота вала) изменения положения в вертикальной ( $Y$ ) и горизонтальной ( $X$ ) осях позволяет оценить соосность ползуна крейцкопфа и поршня. Этот тип измерений называют *Rod Run Out* или *Rod Deflection* [5, 8].

Вихретоковые датчики устанавливают и для мониторинга состояния подшипников скольжения как самого ПК, так и двигателя. Альтернативой вихретоковым датчикам являются акселерометры [5, 6].

В ПК используются самодействующие клапаны, которые открываются при возникновении перепада давления. Когда начинается повреждение элементов и деталей клапана, возникает пропуск газа. В результате

этого газ повторно сжимается, что приводит к его нагреву. Для контроля состояния клапанов измеряют температуру клапанов, при этом различие температуры клапанов или газа в полостях сжатия и нагнетания от 4 до 20°C может указывать на проблемы с клапанами.

Нагрузка на шток (*Rod Loading*) – это сила, которая связана с площадью поверхности поршня и давлением в цилиндре с учетом давления в обеих полостях нагнетания и сил инерции, – является важным параметром безопасной эксплуатации ПК. Кривую нагрузки штока получают построением изменения величины вектора суммарной силы по углу поворота вала. Несбалансированная нагрузка приводит к проблемам смазки пальца крейцкопфа и его преждевременному изнашиванию. В англоязычной литературе этот процесс имеет название *Rod Reversal*. Необходимо заметить, что измерение данного параметра актуально только для ПК простого действия. Для ПК двухстороннего действия данный параметр контролировать абсолютно нецелесообразно, так как продолжительность обратного хода составляет около 180° угла поворота коленчатого вала [9], и причины его существенного изменения должны быть зафиксированы путем контроля других параметров.

Анализ архитектуры и принципов функционирования рассмотренных систем [5, 6] показывает следующее:

1. В известных системах диагностические сигналы получают с помощью стационарно установленных систем, которые часто называют системами *on-line* мониторинга. Оценка состояния оборудования в системах *on-line* мониторинга в момент получения сигнала производится по величине измеряемого параметра без определения причин его изменения.

Таблица 1

## Отказы по типам узлов, механизмов, деталей ПК

Узлы и причины ремонта	Соотношение по типам, %	
	НПЗ РФ	Данные работы [7]
Ремонт и замена клапанов	36,4	36
Ремонт и замена деталей ЦПГ, в том числе:		
сальников под давлением	17,5	17,8
колец	25,8	13,9
прочих деталей.	5,0	Нет данных
Ремонт и замена деталей КПМ	3,8	32,3
Ремонт и замена деталей КШМ	4,0	
Другие ремонты	7,5	
Всего ремонтов, единиц	772	Нет данных

2. Обычные системы *on-line* мониторинга не учитывают продолжительность развития неисправностей, период измерения устанавливается пользователем или разработчиком системы исходя из собственного опыта. Постановка диагноза осуществляется специалистами в соответствующей области диагностики по мере необходимости, что не позволяет своевременно оценить возникновение неисправности или дефекта, их причин и их опасности.

3. Отсутствие автоматических экспертных систем постановки диагноза и значительный период постановки диагноза, превышающий время развития неисправностей [2], свидетельствуют о том, что рассмотренные системы *on-line* мониторинга являются системами мониторинга параметров, а не диагностики и мониторинга ТС (см. определение понятия «мониторинг» в работе [4]).

#### Методология, принципы реализации систем *real-time* мониторинга

Анализ отказов и неисправностей поршневых компрессоров. Анализ результатов опроса потребителей и производителей ПК из таких стран, как США, Канада, Великобритания, Франция, Бельгия, Норвегия, Кувейт, Сингапур, Китай, ОАЭ, позволил выявить системы и составные части компрессоров, а также доли отказов, которые приводят к незапланированным ремонтам [7, 10].

Результаты опроса [10] показали, что пять систем и составных частей компрессоров являются причиной около 76,5% всех незапланированных остановов компрессоров. При этом доля отказов клапанов составляет 36%, а стоимость их ремонта – 50% общих затрат на ремонт компрессора.

Анализом распределения причин отказов поршневых компрессоров [10] установлено, что одной из основных причин отказов компрессоров и, в первую очередь, клапанов является перегрузка, которая возникает в результате изменений физико-химического со-

стояния газа в процессе компримирования. Особенно ярко это видно на примере компрессоров, компримирующих ВСГ.

По данным работы [10], за счет поломок клапанов (главным образом пластин) происходит до 70–90% остановов шахтных и заводских компрессорных установок. Для компрессоров типа 5Г-100/8, 4М10-100/8 доля отказов клапанов может достигать 50% [11] от общего числа ремонтируемых узлов ПК.

Проведен статистический анализ данных по ремонтам ПК и данных систем мониторинга компрессоров, которые получены на одном из нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) России (табл. 1).

Результаты показывают, что статистика отказов клапанов и сальников совпадает с данными исследований [7, 10]. Однако существенный процент (более 30%) неисправностей приходится на узлы и детали цилиндропоршневой группы (ЦПГ), при этом отказ колец составляет более 25% (по данным работ [7, 10] – 14%). Кроме того, весьма значимым является отказ деталей КПМ и КШМ.

*Выбор мест установки датчиков.* Для контроля вибрационной активности узлов компрессора датчики абсолютной вибрации целесообразно устанавливать в наиболее динамически нагруженных зонах с учетом статистики отказов узлов и деталей компрессора – номенклатуры узлов и деталей, стоимости ремонта и причин отказов.

Анализ отказов узлов и деталей ПК (см. табл. 1) показал, что контролю технического состояния и диагностированию должны подвергаться все основные узлы компрессоров, включая клапаны, сальники. Также целесообразно контролировать или передавать из распределенной системы управления технологическим процессом в систему мониторинга параметры технологического процесса.

Таким образом, в первую очередь должен осуществляться мониторинг состояния следующих узлов:

- клапанов;
- деталей ЦПГ;
- деталей КПМ;
- деталей КШМ;
- сальников.

В системах *real-time* мониторинга [12, 13] места установки датчиков выбраны (табл. 2, рис. 2) с учетом минимального вмешательства в конструкцию компрессора при этом датчики обеспечивают максимальную глубину диагностирования при их минимально необходимом количестве. Кроме того, для анализа ВА сигналов и использования когерентных методов обработки сигналов [15, 18] используется информация об угловом положении вала.

Расположение датчиков виброакустического сигнала и диагностируемые неисправности

Место измерения вибрации	Узлы поршневой машины	Вид неисправности
На торце цилиндра (по оси движения поршня)	Детали ЦПГ, технологический процесс	Зазор между поршнем и гильзой, износ поршневых колец, износ поверхности гильзы, ослабление крепления штока к поршню, заброс конденсата, гидроудар (косвенно – клапаны)
Клапаны или на цилиндре в зоне расположения клапанов перпендикулярно оси движения поршня	Клапаны, технологический процесс	Поломка пластин, пружин, уменьшение параметра время–сечение, нарушение технологического процесса, заброс конденсата, гидроудар
Шток	Шток, сальники	Зазоры между штоком и уплотнениями, изгиб штока, ослабление крепления штока
Крейцкопф(вертикально, перпендикулярно оси движения)	Кривошипно-ползунный механизм	Зазоры, состояние поверхностей скольжения ползуна, состояние поверхности втулки и подшипника верхней головки шатуна, жесткость крепления штока
	Кривошипно-шатунный механизм	Зазоры, состояние шатунной шейки и её подшипников, жесткость крепления нижней головки шатуна, состояние коренных подшипников
Крышка коренных подшипников	Коренные подшипники	Зазоры (износ баббитового слоя), срыв масляного клина
Подшипник машины со стороны привода или маховика	Вал, муфта	Дисбаланс
	Вал ПК, вал привода	Несоосность
	Муфта	Повышенные зазоры, ослабление крепления, жесткости

На горизонтально расположенные крейцкопфные компрессоры двухстороннего действия типа 2ГМ16-20-42/60, 5Г-600-42/60, 4М16М-45/35-55, как правило, датчики ВА сигнала устанавливаются в следующих точках (см. рис. 2):

- на шпильке крышки цилиндра или на цилиндре в осевом направлении;
- на цилиндре перпендикулярно оси поршня в зоне расположения впускных и нагнетательных клапанов (радиальное направление);
- над ползуном крейцкопфа (вертикально);
- на крышках коренных подшипников;
- на подшипнике двигателя совместно с датчиком углового положения вала.

В некоторых случаях датчики ВА сигнала устанавливают на каждый клапан. Кроме того, в отдельных случаях производят измерение давления в всасывающих и нагнетательных патрубках каждого цилиндра.

Снижение риска безопасной эксплуатации ПК неразрывно связано с достоверностью контроля утечек через газовые сальники, особенно компрессоров, предназначенных для сжатия водородсодержащих и взрывопожароопасных газов. Косвенные методы оценки (по температуре, давлению в трубопроводах отвода утечек газа и смежных с сальниками полостях, контроль величины положения и износа штока, которые являются второстепенными параметрами с точки зрения утечки газа) не являются столь эффективными и достоверными по сравнению с прямым контролем потока газа в трубопроводах. Поэтому в системах *real*



Рис. 2. Установка датчиков на поршневых компрессорах в системах КОМПАКС:

а – разрез компрессора; б – вид в плане; 1, 5 – цилиндр в осевом направлении; 2, 7 – зона нагнетательных клапанов; 3, 6 – зона впускных клапанов; 4, 8 – Крейцкопф вертикально; 9, 10, 11 – крышки коренных подшипников; 12 – датчик углового положения вала; 13 – задний подшипник двигателя

информацию о состоянии различных узлов и механизмов ПК (см. табл. 3).

Статистической обработкой нескольких сотен реализаций ВА сигналов выявлены закономерности изменений параметров ВА сигналов и ТС узлов и деталей ПК. В результате определены нормы и предельные значения параметров ВА сигналов ПК [19]. Эти нормы имеют градации «ДОПУСТИМО», «ТРЕБУЕТ ПРИНЯТИЯ МЕР» и «НЕДОПУСТИМО».

**Система мониторинга в реальном времени.** Многолетний опыт эксплуатации систем диагностики и мониторинга центробежного насосно-компрессорного оборудования и поршневых машин КОМПАКС® [10, 12, 13, 17, 21] позволил разработать методологию и средства (рис. 3) диагностирования дефектов и неисправностей насосно-компрессорного оборудования и ПК в реальном времени (*real time*) [17].

В системах [10, 12, 13, 17–19, 21], которые выполнены по последовательно-параллельной схеме, что резко снижает объем и затраты на кабель, строительно-монтажные работы и стоимость владения, производится многопараметрическая обработка ВА сигналов, полученных в различных точках ПК. Возможность такого построения определяется существующими скоростями развития наблюдаемых системой неисправностей и длинным «выбегом» компрессора после выключения привода, что требует большого интервала прогноза развития неисправностей, так как остановить компрессор за несколько минут невозможно.

При этом наряду с измерением параметров ВА сигнала для контроля состояния ПК и режимов его работы используются и параметры других физических процессов, например, при необходимости (в зависимости от состояния, условий эксплуатации ПК, сложности, с точки зрения обслуживания и эксплуатации ПК) предусматривается возможность измерения и использования для мониторинга и постановки диагноза давления в полостях нагнетания (индикаторной диаграммы), в патрубках всасывания и нагнетания каждого цилиндра, температуры газа в патрубках и полостях всасывания и нагнетания, клапанов, положение штока и другие.

В качестве основных диагностических признаков, по которым оценивается общее ТС диагностируемого узла, используется СКЗ виброускорения  $A$ , виброскорости  $V$ , виброперемещения  $S$ . Амплитудные характеристики вибропараметров, определенные как за цикл измерения, так и согласно циклограмме работы ПК, спектральные инварианты как в совокупности так и отдельно используются для повышения глубины и достоверности постановки диагноза.

Использование в системе КОМПАКС® всего пяти пьезоакселерометров на один цилиндр позволяет вы-

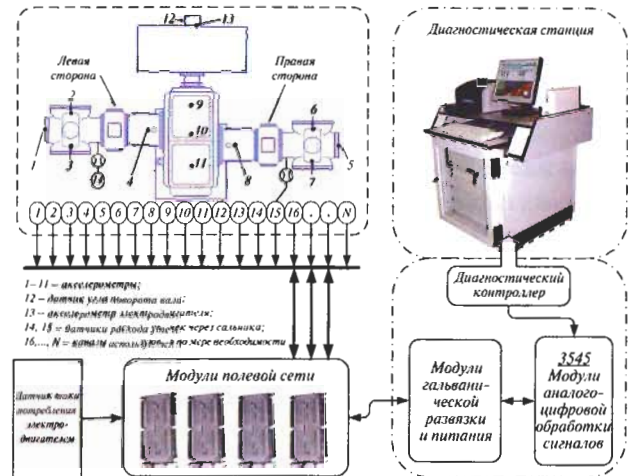


Рис. 3. Система мониторинга и диагностики КОМПАКС®

явить до 23 дефектов, неисправностей и нарушений технологического режима эксплуатации ПК.

В настоящее время под контролем систем КОМПАКС® эксплуатируется более 50 компрессоров различных типов, среди которых компрессоры BDCB-30/30/20/20x16 (Worthington), 4HF/2 серии HF (Nuovo Pignone), 2TV2 (Neuman & Esser), 4M16M-45/35-55, 2ГМ16-20-42/60, 2М10-11-42/60, 5Г-600-42/60 и др.

### Заключение

*Известные системы мониторинга:*

- используемая в них методология реализует **on-line** технологию мониторинга прямых структурных и термодинамических (технологических) параметров (относительные смещения, давление, температура, вибрация), требует большого числа разнородных датчиков (до 12 на цилиндр) и выявляет малое число обобщенных классов неисправностей, которое, как правило, не превышает числа датчиков;
- отсутствие автоматических экспертных систем постановки диагноза реального времени приводит к большим статической и динамической ошибкам распознавания состояния оборудования [1, 2]. Поэтому подобные системы можно использовать только для мониторинга состояния оборудования опасных производственных объектов второй, третьей и более низких категорий опасности [1, 2];
- рассмотренные системы имеют параллельную архитектуру, что обуславливает их существенную стоимость, большие затраты на датчики и кабель и, соответственно, на монтаж и обслуживание, а в итоге – к высокой стоимости владения ими и низкой эффективности применения.

### Система *real-time* мониторинга:

- методология *real-time* мониторинга и диагностирования основана на измерении параметров косвенных процессов (ВА колебаний), для чего устанавливается не более пяти датчиков на цилиндр, предусмотрено также измерение прямых структурных и термодинамических параметров;
- реализованы алгоритмы экспертной системы поддержки принятия решений реального времени с автоматическим определением (постановкой диагноза в темпе измерения диагностических сигналов) более 23 неисправностей узлов ПК, степени их опасности и выдачи целеуказующих предписаний персоналу по приведению компенсирующих мероприятий;
- научно обоснованный период постановки диагноза позволяет получить значение статической и динамической ошибок распознавания состояния оборудования менее 5%, что дает возможность осуществлять мониторинг состояния ответственного оборудования всех категорий и производственного объекта в целом.

Система *real-time* мониторинга КОМПАКС<sup>3</sup> имеет распределенную 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.

### Список литературы

1. ГОСТ Р 53563–2009. Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Порядок организации.
2. ГОСТ Р 53564–2009. Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Требования к системам мониторинга
3. ГОСТ Р 53565–2009. Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Вибрация центробежных насосных и компрессорных агрегатов.
4. Стандарт НПС РИСКОМ «Мониторинг опасных производств. Термины и определения» (СТО 03-002-08). Серия 03: в кн. Мониторинг оборудования опасных производств. Стандарт организации/Колл. авт. – М.: НПС РИСКОМ, 2008. С. 5–24.
5. Костюков В.Н., Науменко А.П. Анализ современных методов и средств мониторинга и диагностики поршневых ком-

прессоров. Ч. 1: Системы on-line мониторинга//В мире неразрушающего контроля. 2010. №1 (47). С. 12–18.

6. Костюков В.Н., Науменко А.П. Современные методы и средства мониторинга состояния и диагностики поршневых компрессоров//Техническое обслуживание и ремонт. 2010. №1. С. 28–35.

7. Leonard S.M. Increasing the reliability of reciprocating compressors on hydrogen services/National Petroleum Refiners Association Maintenance Conference. New Orleans, LA, 1997.

8. Howard B. Rod Load Calculations and Definitions for Reciprocating Compressor Monitoring. GE Energy. ORBIT. 2008. Vol.28. No.1. Pp. 28–31.

9. Пластинин П.И. Поршневые компрессоры: Т. 1: Теория и расчет: учебное пособие для вузов. Изд. 2-е, перераб., доп. М.: 2000 г. 456 с.

10. Костюков В.Н., Науменко А.П. Проблемы и решения безопасной эксплуатации поршневых компрессоров//Компрессорная техника и пневматика. 2008. №3. С. 21–28.

11. Дмитриев В.Т. Повышение надежности поршневых компрессоров//Компрессорная техника и пневматика. 2005. №6. С. 8–9.

12. 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.

13. Костюков В.Н., Науменко А.П. Система мониторинга технического состояния поршневых компрессоров нефтеперерабатывающих производств//Нефтепереработка и нефтехимия. 2006. №10. С. 38–48.

14. Костюков В.Н. Мониторинг безопасности производств. М.: Машиностроение, 2002. 224 с.

15. Костюков В.Н., Науменко А.П. Практические основы виброакустической диагностики машинного оборудования: учеб. пособие /Под ред. В.Н. Костюкова]. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2002. 108 с.

16. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. М.: Машиностроение, 1987. 288 с.

17. Костюков В.Н., Науменко А.П. Мониторинг состояния поршневых компрессоров. Тр. III междунар. симпозиума «Потребители – производители компрессоров и компрессорного оборудования. СПб: СПбГТУ, 1997. С. 254–256.

18. Костюков В.Н., Науменко А.П. Вибродиагностика поршневых компрессоров//Компрессорная техника и пневматика. 2002. №3. С. 30–31.

19. Костюков В.Н., Науменко А.П. Нормативно-методическое обеспечение мониторинга технического состояния поршневых компрессоров//Контроль. Диагностика. 2005. №11. С. 20–23

20. Науменко А.П. Методология виброакустической диагностики поршневых машин//Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Специальный выпуск. Сер. Машиностроение. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2007. С. 85–95.

21. Пат. 1280961 РФ. 3505038/25-06; 3502165/25-06. Способ виброакустической диагностики машин периодического действия и устройство для его осуществления. Заявл. 22.10.1982; опубл. 28.12.1986. Бюл. № 48. 6 с

22. 2337341 РФ. 2007113529/28. Способ вибродиагностики технического состояния поршневых машин по спектральным инвариантам. Заявл. 11.04.2007; опубл. 27.10.2008. Бюл. № 30.

Уважаемые читатели!

Подписаться на журнал  
«Компрессорная техника и пневматика»  
на 2011 г. можно по каталогам агентств  
Распечатать: подписной индекс 79749;  
АПР: подписной индекс 38097,  
а также в редакции



# Компрессорная техника и пневматика



Compressors & Pneumatics

8/ноябрь  
2010

*Внимание руководителей и специалистов предприятий и объединений – потребителей и производителей компрессоров и компрессорного оборудования*

XVI ЕЖЕГОДНЫЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ

«ПОТРЕБИТЕЛИ – ПРОИЗВОДИТЕЛИ  
КОМПРЕССОРОВ  
И КОМПРЕССОРНОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ»



Санкт-Петербург, 8 – 10 июня 2011 г.



Участвуют представители основных мировых производителей и всех отраслей эксплуатирующих компрессорную технику

195251, Санкт-Петербург,  
Политехническая ул., 29,  
ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский  
Государственный  
Политехнический  
университет»,  
Кафедра компрессорной,  
вакуумной и холодильной  
техники (кафедра КВХТ)

тел: (812) 552-65-80  
e-mail:  
au-mail@list.ru

Информация на сайте <http://www.compressorsymposium.narod.ru>



**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. Кузнецов 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.  
Фадеев Н.В.  
Шайдак Б.П.  
К.т.н. Шайхудинов 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

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 10.11.2010.  
Подписано в печать 20.11.2010.  
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

8/ноябрь

2010

## СОДЕРЖАНИЕ

### Расчет и конструирование

- Визгалов С.В., Ибраев А.М., Хисамеев И.Г., Шарапов И.И.**  
Анализ коэффициента подачи шестеренчатого компрессора . . . . . 2
- Котовский В.Н., Московко Ю.Г.**  
Применение нестандартных профилей  
для увеличения эффективности осевых вентиляторов . . . . . 8
- Мустафин Т.Н., Чекушкин Г.Н., Хамидуллин М.С., Хисамеев И.Г.**  
Методика определения профильных зазоров  
в героторном компрессоре с окружным профилем . . . . . 13

### Техника

- Юн В.К., Чернин М.Е.** Разработка ряда проточных частей  
унифицированных центробежных компрессорных машин  
на базе аэродинамических схем . . . . . 17
- Шрётер Т.** Мобильные компрессорные установки компании «ЛМФ»  
для перекачивания газа из ремонтируемых участков  
магистральных газопроводов . . . . . 23

### Диагностика и мониторинг

- Науменко А.П.** Современные методы и средства  
on-line мониторинга параметров и real-time мониторинга  
технического состояния поршневых машин . . . . . 27

### Новые материалы

- Румянцев В.И., Генусова Т.Н., Сапронов Р.Л., Кожевников А.В.**  
Керамоматричные композиционные материалы  
для использования в антифрикционных парах трения:  
современное состояние и перспективы развития . . . . . 35

### Выставки, конференции

- XV Международная научно-техническая конференция  
по компрессорной технике . . . . . 40
- Положение о Международной премии имени  
Заслуженного деятеля науки и техники РФ,  
д-ра техн. наук профессора Владимира Борисовича Шнеппа  
в области компрессоростроения . . . . . 41

### Сертификация

- Фадеев Н.В.** Информация о продукции,  
прошедшей сертификацию в НП «СЦ НАСТХОЛ» . . . . . 46

Указатель статей, опубликованных в журнале  
«Компрессорная техника и пневматика» №1–8, 2010 г. . . . . 44