

Опыт эксплуатации систем мониторинга технического состояния поршневых компрессоров в режиме реального времени

В.Н. Костюков, А.П. Науменко (ООО НПЦ «Динамика»),
Федоринов И.А., В.Н.Золотарев (ООО «ЛУКОЙЛ-Ухтанефтепереработка»)

Для обеспечения безопасной эксплуатации компрессора контроль износа опорных поршневых колец в режиме реального времени становится первостепенной задачей. В статье представлен опыт внедрения и эксплуатации систем мониторинга технического состояния поршневых компрессоров и другого оборудования в реальном времени, используемых на многих предприятиях нефтегазохимического комплекса.

Ключевые слова: техническое состояние, мониторинг, поршневой компрессор, износ, эксплуатация, параметры вибрации, датчик.

Operating experience of systems for real-time technical state monitoring of piston compressors

V.N. Kostyukov, A.P. Naumenko, I.A. Fedorinov, V.N. Zolotarev

To ensure the compressor safe operation, it becomes the primary task to control in real time a wear magnitude of rider piston rings. The article presents an experience of implementation and operation of systems for real-time technical state monitoring of piston compressors and other equipment, used at many enterprises of a petrochemical complex.

Keywords: technical state, monitoring, piston compressor, wear, operation, vibration parameters, sensor.

Основной безопасной и ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования потенциально опасных производств является мониторинг состояния объектов в реальном времени. Это подтверждается многолетним опытом использования систем мониторинга на заводах компании «ЛУКОЙЛ» [1]. Техническое состояние поршневых компрессоров (ПК) определяют по ряду параметров (абсолютная и относительная вибрация узлов и деталей ПК; температура узлов, деталей, масла и компримируемого газа; давление газа в полостях нагнетания, во всасывающих и нагнетательных магистралях) [2, 3].

Критерием оптимальности любой системы мониторинга является, с одной стороны, обеспечение безопасности эксплуатации ПК и своевременная реакция системы мониторинга на возникновение быстро развивающихся и потенциально опасных с точки зрения последствий дефектов и неисправностей узлов и деталей, а, с другой – минимальная стоимость системы, определяемая архитектурой системы и числом измерительных каналов [2, 4].

Результаты многолетних исследований [2–6] показывают, что изменение параметров абсолютной вибрации машин и механизмов является следствием деградации структурных параметров узлов и деталей, т.е., как правило, следствием увеличения зазоров между взаимодействующими и сопряженными деталями, которые и определяют техническое состояние машины. Поэтому контроль абсолютной вибрации является весьма распространенным способом обеспечения противоаварийной защиты и диагностирования поршневых компрессоров.

Установка датчиков абсолютной вибрации в большинстве случаев не требует вмешательства в конструкцию машины, что является определяющим для оборудова-

ования опасных производственных объектов [2].

Измерение и анализ термодинамических параметров ПК – это один из эффективных способов проверки соответствия режима компримирования техническим условиям эксплуатации ПК [3]. Однако последнее должно обеспечиваться условиями ведения технологического процесса производства продукции, что контролируется и поддерживается системами автоматического управления. Вместе с тем дополнительные средства измерения температуры и давления газа требуют проведения специальных мероприятий по установке первичных преобразователей, что обычно приводит к вмешательству в конструкцию узлов ПК и его технологической трубной обвязки.

Самыми уязвимыми деталями поршневого компрессора, подверженными влиянию многих факторов изнашивания, являются поршневые кольца. Поршневые кольца работают в режиме сухого трения и подвергаются механическому изнашиванию; интенсивность этого процесса может значительно увеличиваться при изменении технологических параметров компримируемого газа, а также при изменении состава газа. Особенно негативно на процесс изнашивания влияет наличие в газе механических примесей и капельной жидкости. Подобные изменения состава газа зачастую невозможно отследить путем контроля параметров технологического процесса. Измерение параметров вибрации в данном случае будет также недостаточно эффективно.

В реальных условиях подобные процессы могут возникать в периоды пусковых операций на технологических установках; при нормальном технологическом режиме они могут быть обусловлены изменением качественного состава сырья, реагентов, изменением производительности технологических установок.

Для нормально работающей поршневой машины износ не превышает 100...150 мкм за 3 600 ч. Приемлемым можно считать износ, составляющий 100...150 мкм за 1 000 ч эксплуатации. При предельном значении износа 800 мкм это обуславливает проведение замеров износа опорных колец каждые 2 000...3 000 ч непрерывной работы ПК и периодической центровки штока.

Износ компрессионных колец приводит к потере производительности компрессора. Износ опорных колец приводит к провисанию штока, возникновению изгибающих напряжений и их концентрации в области крепления штока к крейцкопфу или поршню. Повышенные напряжения при нормальных стационарных нагрузках приводят к снижению усталостной прочности, накоплению усталостных повреждений и микротрещин и в результате к разрушению штока в месте концентрации напряжений. Процесс изнашивания направляющих колец и деградации структуры металла штока может протекать в течение довольно короткого времени (от нескольких часов при нестационарных нагрузках до нескольких дней при нормальных нагрузках), что определяется качеством компримируемого газа, содержанием в нем конденсата и сторонних примесей. Поэтому для обеспечения безопасной эксплуатации компрессора контроль величины износа опорных поршневых колец в режиме реального времени становится первостепенной задачей.

Для решения этой задачи целесообразно устанавливать вихретоковые датчики положения штока в вертикальном, а иногда и в радиальном направлениях. В некоторых системах этот способ измерения и контроля положения штока на работающей машине называют «rod drop», что дословно означает «падение штока» [3, 4].

В последние два-три года на технологической установке ГДС-850 с блоком получения серы при эксплуатации циркуляционных компрессоров 4ГМ10-28/43-56 неоднократно возникали ситуации с резким повышением скорости изнашивания опорных поршневых колец. Руководство предприятия приняло решение об оснащении этих компрессоров системой мониторинга с установкой датчиков абсолютной вибрации на основные узлы компрессора и датчиков положения штока каждого цилиндра. Виброакселерометры были расположены в следующих точках:

- на крышке цилиндра в осевом направлении;
- в зоне расположения нагнетательных клапанов;
- в зоне расположения всасывающих клапанов;
- над крейцкопфом;
- напротив коренных подшипников.

Кроме того, были установлены датчик углового положения вала и вихретоковые датчики положения штока на корпусе сальника каждого цилиндра. Перед ООО НПЦ «Динамика» была поставлена задача –

«минимум датчиков – максимум эффекта при полном исключении вмешательства в конструкцию компрессора». Эта задача была успешно решена за счет совершенствования программного обеспечения системы вибромониторинга.

Всего на каждом компрессоре было смонтировано по 26 датчиков. Мониторинг состояния и диагностирование осуществляется более чем по 300 параметрам вибрации и относительного положения штока.

С момента начала эксплуатации система мониторинга по параметрам вихретоковых датчиков неоднократно сигнализировала об износе направляющих поршневых колец, что позволяло предупреждать перегрузку и разрушение штоков. Вместе с тем параметры абсолютной вибрации используются персоналом для контроля соблюдения технологического режима эксплуатации компрессоров и технического состояния основных узлов.

Тренд относительного положения штока на рис. 1 показывает процесс изнашивания колец (*участок 1*), работы компрессора с изношенными кольцами и изменение положения штока относительно датчика с повышенными зазорами между цилиндром и поршнем (*участок 2*) и момент разрушения штока (*участок 3*). Процесс изнашивания колец длился около 22 ч. С момента завершения процесса изнашивания опорных колец (конец *участка 1*) до момента разрушения штока вследствие накопления усталостных повреждений (*участок 3*) прошло около 23 суток. Обслуживающий персонал убедился в правильности показаний системы и в дальнейшем, руководствуясь показаниями системы мониторинга, своевременно неоднократно останавливал компрессоры (рис. 2), предупреждая аварии. Измерения фактических величин износа колец с погрешностью, обусловленной дисперсией измерений, совпадал с показаниями системы мониторинга. Тренд показывает (см. рис. 2), что процесс изнашивания колец длился около 48 ч, и система

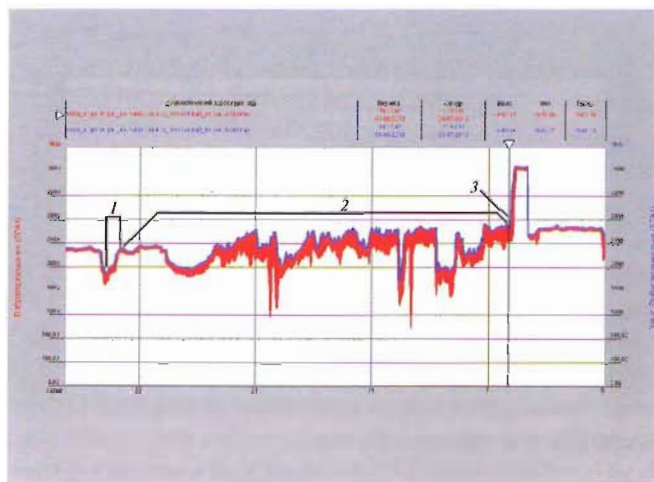


Рис. 1. Тренд относительного положения штока



Рис. 2. Тренд относительного положения штока, показывающий процесс изнашивания опорных колец

своевременно предупредила персонал о необходимости остановки компрессора и проверки колец.

Опыт эксплуатации поршневых компрессоров под наблюдением системы мониторинга выявил, что при нормальных условиях эксплуатации ПК без заброса конденсата изнашивание колец происходит за время от нескольких часов до нескольких суток (рис. 3).

Эксплуатирующий персонал часто недооценивает влияние технологического режима эксплуатации ПК на его надежность и ресурс. Одной из основных технологических проблем эксплуатации ПК является попадание в полость нагнетания конденсата или даже жидкости и посторонних примесей, которые могут содержать абразивную пыль. Именно последний фактор является причиной повышенной скорости изнашивания поршневых колец. А пары газа в полости нагнетания создают повышенные динамические нагрузки на узлы и детали ПК, что

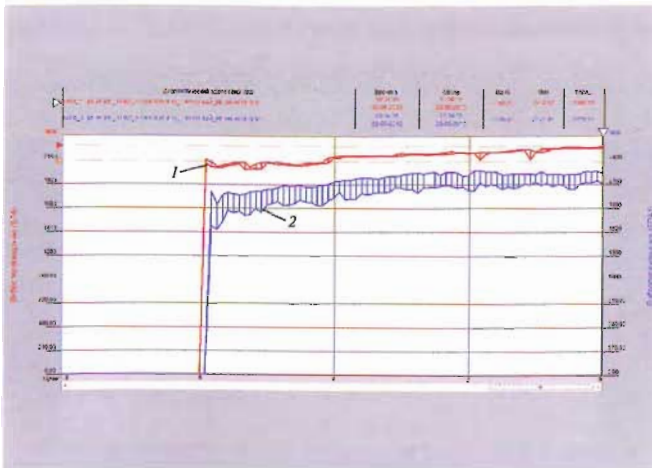


Рис. 3. Тренды положения штока: 1 – изнашивание поршневых колец первого цилиндра протекало около 6 суток; 2 – изнашивание поршневых колец третьего цилиндра произошло за 3 суток

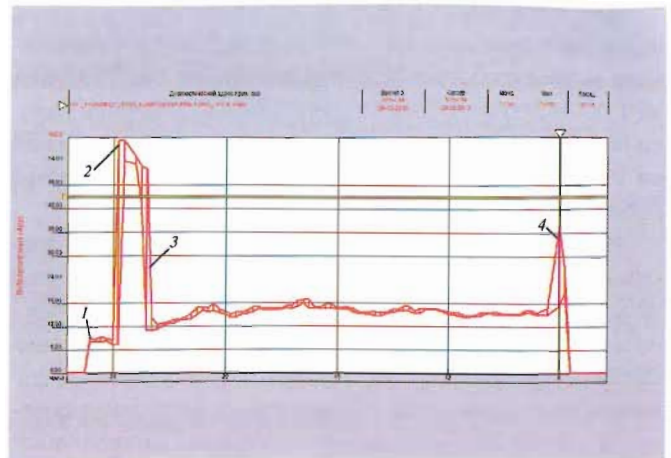


Рис. 4. Тренд абсолютной вибрации на цилиндре: 1 – пуск ПК; 2 – гидроудар при пуске; 3 – вынос конденсата; 4 – гидроудар при остановке ПК

и приводит к преждевременному их отказу. Хотя зарубежные и отечественные статистические данные по причинам отказов говорят о том, что перегрузка ПК в 28% случаев, а заброс конденсата и других инородных тел в 18% случаев являются причинами вынужденных остановок ПК [3], до сих пор на эти проблемы обращают недостаточное внимание. В связи с этим целесообразно рассмотреть случай, который показывает влияние возникновения гидроударов на ресурс ПК.

Компрессор пустили 25.12.2012 в 2⁰⁰ ч (рис. 4, участок 1). В 3⁰⁰ ч произошел заброс конденсата (участок 2), и значения некоторых параметров вибрации 1 цилиндра достигли зоны «Требуется принятия мер» (ТПМ) и «Недопустимо» (НДП) [7]. На других цилиндрах наличие конденсата отразилось не так очевидно, но некоторые параметры приблизились к зоне НДП. В 445 конденсат

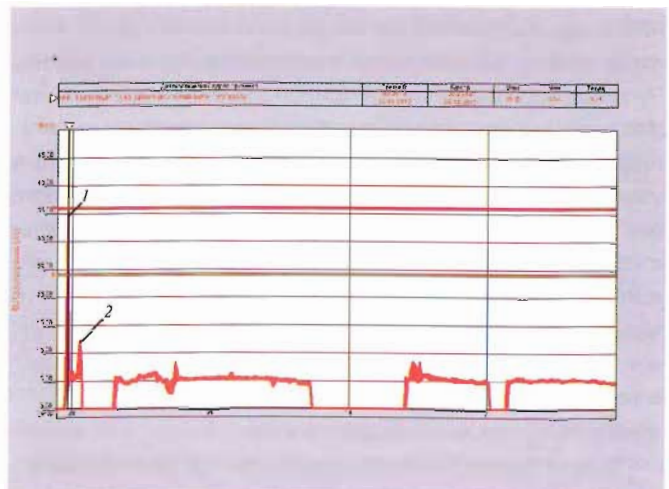


Рис. 5. Заброс конденсата и возникновение гидроудара при пуске (1) и остановке (2) ПК диагностируется по параметрам абсолютной вибрации

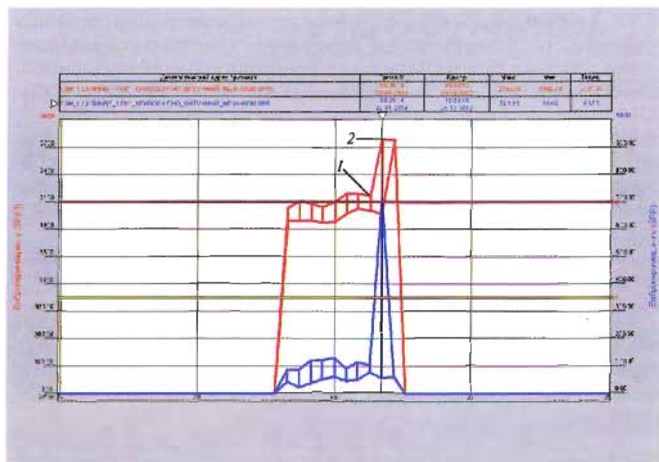


Рис. 6. Тренды относительного положения штока: рост по SPA с 2 100 мкм (1) до 2 700 мкм (2) и SPR (со 100 мкм до 700 мкм)

начало выносить (участок 3). Тренды параметров абсолютной вибрации (рис. 5) показывают, что клапаны в это время работают с перегрузкой.

Следует отметить, что в последующие пуски компрессора подобной картины не наблюдалось – заброса конденсата в таком объеме не было ни при пуске, ни в процессе эксплуатации, хотя небольшие объемы все-таки попадали в цилиндр (см. рис. 5). Перед остановкой компрессора, видимо, снова попало небольшое количество конденсата (с 17⁰⁰ до 19⁰⁰ ч, см. рис. 4, участок 4), что ускорило разрушение штока. С 17⁰⁰ до 19⁰⁰ ч 25.12.2012 произошел рост параметра относительного положения штока SPA (с 2 100 до 2 700 мкм) и амплитуды колебаний относительного положения штока за один оборот вала SPR (со 100 до 700 мкм), которая достигла значения НДП (рис. 6), о чем система информировала персонал речевыми и текстовыми сообщениями. У персонала был примерно 1 ч на остановку компрессора. Значительное увеличение за 2 часа SPA и SPR при незначительном росте параметров абсолютной вибрации (по параметрам виброускорения) свидетельствует об износе опорных поршневых колец, что при дополнительной динамической нагрузке штока в момент пуска компрессора и перед его остановкой привело к накоплению усталостных повреждений, катастрофическому росту микротрещин и разрушению штока при его провисании.

Реализованные принципы технологии диагностики и мониторинга поршневых компрессоров [2–4, 8–12], подтвержденные многолетним опытом практической эксплуатации систем диагностики и мониторинга, свидетельствует о том, что при использовании всего 5 датчиков виброакустического сигнала на поршневых компрессорах (на цилиндре в осевом направлении, нагнетательных и впускных клапанах, крейцкопфе,

коренном подшипнике), датчика углового положения вала и датчика со стороны привода или на подшипнике привода формируется минимум 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 поршневых компрессоров.

Анализ относительной вибрации (статического и динамического положений штока) позволяет достоверно контролировать изменение расстояния между штоком и датчиком, которое, как подтверждено контрольными измерениями, соответствует величине износа опорных (направляющих) поршневых колец.

В системах используется научно обоснованный период постановки диагноза, который обеспечивает мониторинг состояния в реальном времени при величине статической и динамической ошибок распознавания состояния оборудования менее 5% [4], что позволяет использовать их для мониторинга состояния оборудования первой и других категорий опасности, а также производственного объекта в целом [13].

Системы мониторинга [8–13] имеют параллельно-последовательную структуру, что требует во много раз меньше датчиков и кабеля и, соответственно, затрат на монтаж и обслуживание, обеспечивают низкую стоимость владения, высокую экономическую эффективность внедрения, а также позволяют осуществить перевод ПК на эксплуатацию по фактическому техническому состоянию.

В настоящее время системы мониторинга технического состояния в реальном времени типа КОМПАКС®-М осуществляют мониторинг и диагностирование более 50 компрессоров различных типов, среди которых ПК типа 4ГМ16-22/17-37, 4НФ/2 (Nuovo Pignone), 2TV2 (EUROTECNICA), SRM 1375-35 (BOGE), 4M16M-45/35-55, BDCB 30/30/20/20 (Worthington) на установках 35/11-1000, 25-12, Л-24/9, комплексе «Ароматика» Омского НПЗ; 4М16-22,4/23-64, 2ГМ2,5–6,2/38–46С Ачинского НПЗ; 4М16М-45/35-55 «ЛУКОЙЛ Нефтохим Бургас» АД; 4СГВ, 5Г600/42-60, 305ГП-20/8 Ангарской НХК; 2ГМ16-20/42-60СМ2 Астраханского ГПЗ; 5Г-600/42-60, 2ГМ16-24/40-60, 4ГМ16М-45/35-55 Саратовского НПЗ; 4ГМ10-28/43-56 «ЛУКОЙЛ-Ухтанефтепереработка»; 2М10-11/42-60 Сызранского НПЗ и других предприятий. На установках каталитического риформинга и комплекса гидроочистки дизельного топлива Саратовского НПЗ реализован контроль утечек прямым способом с использованием вихревых расходомеров DY015-EBLCA4-2D (YOKOGAWA) в дренажной магистрали.

Опыт внедрения и эксплуатации систем мониторинга технического состояния поршневых компрессоров и другого оборудования в реальном времени [1, 8–13], используемых на многих предприятиях нефтегазохимического комплекса, показал целесообразность и эффективность применения систем, при этом мониторинг параметров абсолютной вибрации и относительного положения штоков в реальном времени обеспечивает наблюдаемость технического состояния ПК и их безопасную эксплуатацию.

Список литературы

1. Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Микерин О.Б., Федоринов И.А., Дурсов В.М., Беззубов А.А. Сберегающая система КОМПАКС® обеспечивает безопасную ресурсосберегающую эксплуатацию оборудования в ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка»//Нефть России. 2005. №4. С.101–105.
2. Костюков В.Н. Мониторинг безопасности производства. М.: Машиностроение, 2002. 224 с.
3. Костюков В.Н., Науменко А.П. Проблемы и решения безопасной эксплуатации поршневых компрессоров//Компрессорная техника и пневматика. 2008. №3. С. 21–28.
4. Науменко А.П. Научно-методические основы вибродиагностического мониторинга поршневых машин в реальном времени. Автореф. дис... д-ра техн. наук. Омск: ОмГТУ, 2012. 40 с.
5. Павлов Б.В. Акустическая диагностика механизмов. М.: Машиностроение, 1971. 224 с.
6. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагно-

тика машин и механизмов. М.: Машиностроение, 1987. 288 с.

7. СТО 03-007-11. Мониторинг оборудования опасных производств. Стационарные поршневые компрессорные установки опасных производств: эксплуатационные нормы вибрации/В.Н. Костюков, А.П. Науменко и др. М.: ООО «ИИЦ «КХТ», 2011. 18 с.

8. 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.

9. Костюков В.Н., Науменко А.П. Система контроля технического состояния машин возвратно-поступательного действия//Контроль. Диагностика. 2007. №3. С. 50–59.

10. 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. 38–48.

11. Науменко А.П., Костюков В.Н. Condition monitoring of reciprocating machines//COMADEM 2009: Proceed. of the 22-rd International Congress on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management (June 9-11, 2009). Spain, San Sebastian: 2009. P. 113–120.

12. Науменко А.П., Костюков В.Н. System for Condition Monitoring of Reciprocating Machines//COMADEM 2010: Proceed. of the 23-rd International Congress on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management (June 28 – July 2, 2010). Japan, Nara, 2010. P. 265–272.

13. ГОСТ Р 53564–2009. Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Требования к системам мониторинга. М.: СТАНДАРТ-ИНФОРМ, 2010. 20 с.

Игорю Яковлевичу Сухомлинову 75 лет!



2 июля исполнилось 75 лет заслуженному деятелю науки Российской Федерации, доктору технических наук, профессору, академику Международной академии холода, члену редколлегии нашего журнала Игорю Яковлевичу Сухомлинову.

После окончания в 1961 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана Игорь Яковлевич преподавал на кафедре Э-5 этого института. В 1969 г. он защитил кандидатскую диссертацию. В 1973 г. перешел на работу во ВНИИхолодмаш (ОАО «ВНИИхолодмаш-Холдинг»), где и трудится до настоящего времени.

В 1989 г. И.Я. Сухомлинов защитил докторскую диссертацию, в 1994 г. ему было присвоено звание профессора.

Под научным руководством И.Я. Сухомлинова создана современная научно-техническая база для расчета, проектирования и исследования холодильных машин и тепловых насосов с центробежными компрессорами.

На основе этой базы был создан ряд крупных холодильных машин для многих отраслей промышленности, освоено их серийное производство. На основе комплекса работ по исследованию малорасходных высокооборотных холодильных центробежных компрессоров на газодинамических подшипниках без смазки предложена концепция построения типоразмерных рядов новых экологически чистых холодильных машин разной производительности. Многие разработки И.Я. Сухомлинова внедрены в практику холодильного машиностроения.

Научная и инженерная деятельность Игоря Яковлевича нашла отражение более чем в 200 публикациях.

И.Я. Сухомлинов награжден медалями «Ветеран труда», «850-летия Москвы», а также почетными медалями имени Юрия Гагарина, К.Э. Циолковского и Федерации Космонавтики.

Заслуживает благодарности и общественная деятельность Игоря Яковлевича: он был ученым секретарем секции компрессоростроения НТС Минхиммаша СССР и НТС Госкомитета по науке СССР. На протяжении многих лет Игорь Яковлевич является заместителем председателя АСКОМП, членом редколлегии нескольких научных журналов; членом специализированного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций.

**Уважаемый Игорь Яковлевич!
От всей души поздравляем Вас с юбилеем
и желаем здоровья, благополучия и дальнейшей активной научной деятельности!**

Коллектив ОАО «ВНИИхолодмаш-Холдинг», АСКОМП, редакция и редколлегия



Компрессорная Техника и Пневматика



Compressors & Pneumatics

5/июль
2013


XIII научно-технический семинар



«БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПРЕССОРНОГО И НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ»

30 сентября – 04 октября 2013 года, г. Одесса, Украина

Организатор семинара:  «ТРИЗ» ЛТД ООО, г. Сумы

при участии  Одесского Припортового завода, г. Южный

Тематика семинара:

- современные технологии, комплектующие, материалы и вспомогательные системы для повышения надежности компрессорного и насосного оборудования,
- диагностика, мониторинг, определение остаточного ресурса,
- энерго- и ресурсосберегающие технологии,
- модернизация оборудования с целью повышения производительности и экономичности,
- усовершенствование системы обслуживания и управления ремонтами,
- деловое общение.

На семинар по традиции приглашаются ведущие специалисты технических служб предприятий химической, газовой и нефтехимической промышленности.

Для предприятий - поставщиков имеется возможность организации выставок и презентаций.

Место проведения семинара: Оздоровительный комплекс «Чабанка», пгт. Черноморское, Коминтерновский район, Одесская обл., Украина

Информационные спонсоры: журнал «Химическая техника», г. Москва; журнал «Компрессорная техника и пневматика», г. Москва; Технический журнал «Мир техники и технологий», г. Харьков, Украина.

Стоимость участия в семинаре – эквивалент 400 ЕВРО за каждого участника.

Приглашаем главных механиков и представителей технических служб, а также заинтересованные компании и фирмы к участию в семинаре

Оргкомитет семинара: «ТРИЗ» ЛТД ООО, Украина, 40020 г. Сумы, ул. Машиностроителей, 1.
Тел.: (0542) 700-076, 700-075, факс (0542) 786-801
e-mail: triz@triz.sumy.ua, marketing@triz.sumy.ua, omp@triz.sumy.ua



Научно-технический
и информационный журнал

Журнал зарегистрирован
в Минпечати РФ
Рег. свид. ПИ №7-11904

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.
morozova@chemtech.ru

Ответственный секретарь

Суслина И.П.
ascomp@mebil.stu.neva.ru

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. 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.
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./факс: (495) 223-66-35
E-mail: info@chemtech.ru
www.compressortech.ru

Отделение в Санкт-Петербурге

Суслина И.П. (812) 552-65-80
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 25.06.2012.
Подписано в печать 24.07.2012.
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
2013

СОДЕРЖАНИЕ

Эксплуатация

**Костюков В.Н., Науменко А.П., Федоринов И.А.,
Золотарев В.Н.** Опыт эксплуатации
систем мониторинга технического состояния
поршневых компрессоров в режиме реального времени 4

Инжиниринг

Воронецкий А.В. Проблемы проектирования
промышленных объектов и основы формирования
технического задания на сложное оборудование 9

Расчет и конструирование

Солдатова К.В., Рекстин А.Ф.
Инженерные методы проектирования турбокомпрессоров 18

**Сайфетдинов Ал.Г., Сайфетдинов Аз.Г.,
Райков А.А., Хамидуллин М.С., Хисамеев И.Г.**
Исследование теплообмена и оценка его влияния на рабочий
процесс роторного компрессора внутреннего сжатия 22

Евгеньев С.С., Зубринкин А.В.
Структура потока в боковых зазорах
разных форм между корпусом и диском
рабочего колеса центробежного компрессора 27

Крюков О.В. Моделирование факторов старения изоляции
приводных электродвигателей газоперекачивающих агрегатов 33

Технологии

**Поморцев Е.Н., Галиахметов И.Г., Чигарин В.И.,
Габдуллина З.Р., Лившиц Б.М., Басаркин Ю.А.,
Тесленко Е.П.** Внедрение технологичного коррозионно-стойкого
материала взамен стали 07X16N6 для изготовления
рабочих колес центробежных компрессоров 44

Поздравляем с юбилеем!

Юрию Борисовичу Галеркину 80 лет 3

Игорю Яковлевичу Сухомлинову 75 лет 8

Льву Константиновичу Чернявскому 75 лет 32