



Владимир Костюков,  
д.т.н., профессор



Александр Науменко,  
д.т.н., доцент



Сергей Бойченко,  
к.т.н.



000  
«НПЦ «Динамика»  
Россия, 644043  
г. Омск, а/я 5223  
тел.: +7 (3812)

25-42-44  
тел./факс:  
+7 (3812)  
25-43-72

E-mail:  
post@dynamics.ru  
www.dynamics.ru

© В. Костюков,  
А. Науменко,  
С. Бойченко, 2014

# ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ НАСОСНО – КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА НЕИСПРАВНОСТЕЙ И РИСКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ

## Аннотация

В статье рассмотрены методические основы обеспечения безопасной эксплуатации насосно – компрессорного оборудования опасных производств, приведен пример практической реализации виброакустического метода определения технического состояния агрегатов и проведения спектрального анализа сигналов для выявления разрушений деталей и возникновения гидроударов на начальной стадии.

**Ключевые слова:** мониторинг, диагностика, виброакустический, насосно – компрессорное оборудование

Основным источником повышения рентабельности предприятий с непрерывным производственным циклом является снижение эксплуатационных затрат и потерь от аварий и простоев производства, связанных с внезапным выходом из строя технологического оборудования. Анализ надежности современных производств нефтегазохимического комплекса (НХК) показывает: более трех четвертей отказов оборудования составляют отказы машин и механизмов, что нередко служит причиной аварий и производственных неполадок, простоев технологических установок и производств. Около 80 % механического оборудования современных производств НХК составляют насосно – компрессорные агрегаты. Поэтому техническое состояние производственного комплекса во многом определяется техническим состоянием его насосно – компрессорного парка.

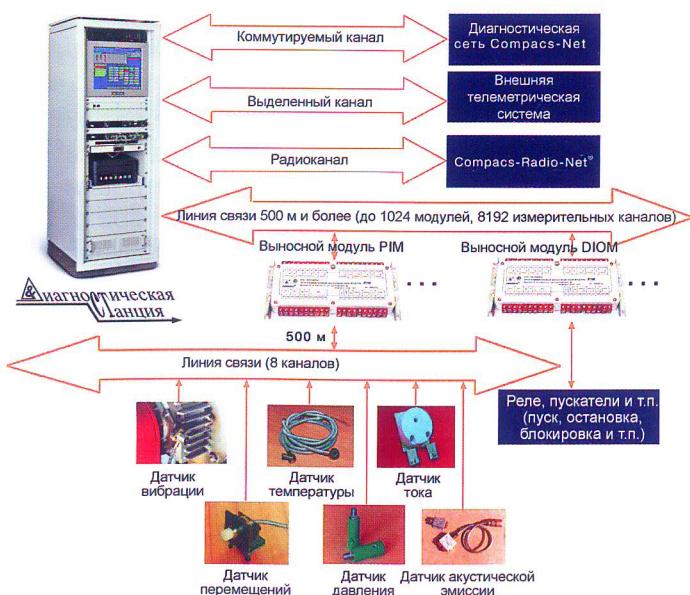
Решением проблемы низкой степени объективности оценок состояния оборудования в реально протекающих процессах эксплуатации стало использование мониторинга состояния с автоматическими экспертными системами поддержки принятия решений о состоянии оборудования и сроках его вывода в ремонт [1]. Такая экспертная подсистема является основной составной частью автоматизированных систем управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования (АСУ БЭР КОМПАКС®) [2], которые внедрены на десятках предприятий нефтегазохимической отрасли России и содержат:

- на технологических установках: стационарные системы мониторинга технического состояния оборудования КОМПАКС®, осуществляющие диагностирование оборудования и выдачу целенаправленных в реальном времени предписаний, стационарные системы мониторинга параметров в реальном времени КОМПАКС®-КСА и переносные системы автоматической диагностики Compacts®-micro;
- в ремонтном производстве: стендовые системы контроля качества ремонта агрегатов и их узлов;
- в целом на предприятии: компьютерная диагностическая сеть Compacts®-Net, позволяющая осуществлять непосредственное управление процессом эксплуатации в реальном времени (**рис. 1**).

Стационарная и переносная системы КОМПАКС® обеспечивают мониторинг состояния и диагностирование широкой номенклатуры насосно – компрессорного оборудования, в т. ч. поршневых компрессоров (ПК) [3], по виброакустическим [4, 5], температурным и другим диагностическим параметрам.

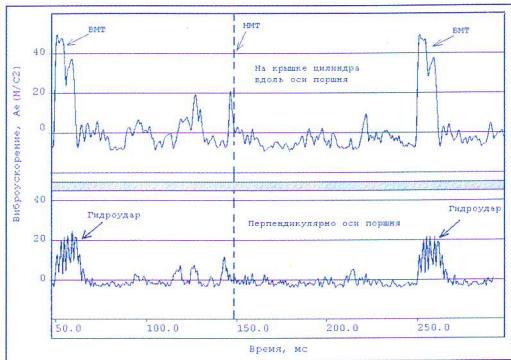
**Рис. 1. Структура распределенной системы мониторинга КОМПАКС®**

Одна из основных проблем при эксплуатации ПК – выявление на ранней стадии процесса разрушения пластинчатых клапанов. Статистический анализ гармонических составляющих вибропараметров дефектных и исправных



клапанов дал возможность выявить, что отношение дисперсии первой гармоники к сумме дисперсий гармоник с первой по девятую является эффективным диагностическим признаком: если это отношение составляет менее 0,5, то клапан исправен. В противном случае – клапан неисправен. Такой алгоритм определения технического состояния пластинчатых клапанов позволяет значительно повысить достоверность постановки диагноза [5, 6].

Другая проблема, возникающая при эксплуатации поршневых компрессоров, – возникновение гидроударов, иногда приводящих к разрушению поршня, что характерно для оборудования с большим сроком эксплуатации. Зафиксирован случай, когда на Омском НПЗ дважды в течение года произошло разрушение поршня одного из компрессоров именно по причине гидроудара. Перед монтажом системы КОМПАКС® было проведено виброобследование одного из работающих компрессоров с помощью переносной системы Compacts®-micro. Анализ вибросигналов выявил, что один из цилиндров первой ступени имеет значительный уровень вибрации в моменты приближения поршня к верхней мертвой точке (ВМТ). Анализ технологического режима компримирования выявил повышенную влажность водородосодержащего газа вследствие снижения температуры на приеме на 2°...3° С. Огибающая вибросигнала (рис. 2), полученного с крышки цилиндра в осевом направлении, имеет значительную амплитуду в момент приближения поршня к ВМТ. Сигнал вибродатчика, установленного на цилиндре таким образом, чтобы минимизировать влияние вибрационности клапанов, имеет также значительную амплитуду в момент приближения поршня к ВМТ. В это же время уровень вибрации второго цилиндра был в 1,5 раза меньше в тех же самых точках установки датчиков и в те же самые моменты времени. При этом температура продукта на приеме в этом цилиндре была в норме. На основе анализа всех факторов был сделан вывод о возникновении микрогидроударов при понижении температуры на приеме в момент вибообследования компрессора.

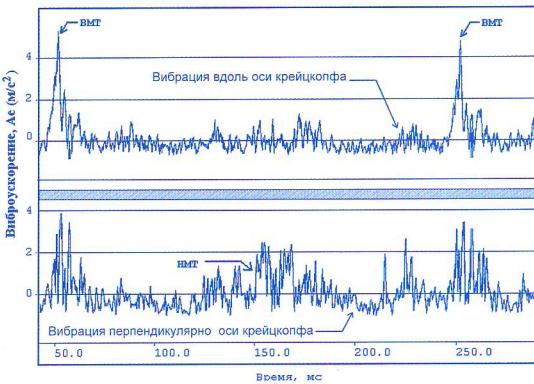


**Рис. 2. Вибросигнал с датчиков на цилиндре при микрогидроударах**

На этих же сигналах можно выделить пики вибросигнала, которые соответствуют моментам закрытия приемных клапанов и открытия нагнетательных и маскируются сильным вибросигналом от микрогидроударов. Уровни вибросигналов

в эти моменты времени являются весьма информативными диагностическими признаками для диагностики технического состояния клапанов.

При обследовании крейцкопфных механизмов компрессора выявлено различие в уровне вибросигналов на разных цилиндрах. Вибродатчики устанавливались над башмаком крейцкопфа в вертикальном и осевом направлениях. Анализгибающей виброускорения в различных направлениях (рис. 3) позволил сделать заключение о значительном зазоре пальца крейцкопфа в осевом направлении, которое подтвердилось при ремонте компрессора. Кроме того, при ремонте был выявлен повышенный зазор в вертикальном направлении, что отражалось на сигнале в момент примерно за 60° по углу поворота вала до ВМТ (рис. 3, нижний сигнал).



**Рис. 3. Вибросигнал над ползуном крейцкопфа**

Один из примеров успешного внедрения и эксплуатации системы КОМПАКС® для диагностики насосно – компрессорного оборудования (НКО) – оснащение системой КОМПАКС® установок производства № 3 АГПЗ ООО «Астраханьгазпром». До внедрения в 2000 г. системы на предприятии было зарегистрировано три инцидента на насосах: два случая несвоевременного останова насоса при возникновении нагрева подшипникового узла от недостаточности смазки и один случай самоотвинчивания болта крепления скобы при некачественной затяжке и попадания болта в проточную часть, что привело к заклиниванию насоса. Анализ инцидентов привел к выводу, что их причиной является низкое качество изготовления (деталей) и ремонта насосов и/или низкое качество эксплуатации. С 2001 г. система КОМПАКС® осуществляет непрерывный круглогодичный мониторинг технического состояния НКО, что позволило осуществить надежную противоаварийную защиту оборудования в течение всего межремонтного пробега установок З-го производства АГПЗ. Главным результатом, достигнутым после внедрения систем, стало исключение внезапных отказов диагностируемого оборудования и повышение надежности его функционирования за счет своевременного оповещения системой персонала о месте, времени и причинах возникающих неисправностей.

С целью сохранения ценной информации о диагностических параметрах при возникновении неисправностей агрегатов система КОМПАКС®

ведет базы данных по всем параметрам, сохраняя их в виде трендов. Кроме того, сохраняются и выборки временной реализации сигналов при достижении одним из диагностических параметров состояния «Требует принятия мер» (ТПМ) или «Недопустимо» (НДП).

Анализ неисправностей более чем 5000 агрегатов НКО, контролируемых системой КОМПАКС®, показывает, что, в зависимости от вида неисправности, скорость развития дефектов различна. Так, на 40-суточном тренде можно наблюдать увеличение зазора в коренном подшипнике поршневого компрессора, процессы расцентровки, ослабления крепления и прочие дефекты. Процесс же разрушения подшипников качения более скоротечен и может колебаться от нескольких суток до нескольких часов. Установлены случаи, когда при дефекте подшипника его разрушение и переход диагностических признаков из зоны ТПМ в зону НДП происходили за несколько минут.

Системы мониторинга состояния оборудования КОМПАКС® способны без участия специалистов определять следующие классы неисправностей центробежных машин:

- нарушение центровки;
- нарушение балансировки, в т. ч. износ рабочего колеса, полумуфты;
- дефекты подшипников качения и скольжения;
- нарушение режима смазки;
- гидрогазодинамические проблемы в насосах и компрессорах;
- состояние торцевых уплотнений;
- неисправности зубчатых передач;
- ослабление крепления агрегата к фундаменту и присоединенным конструкциям;
- нарушение технологического процесса (превышение максимальной загрузки мощностей);
- неисправность электродвигателей.

Сформированная система определяющих

критериев дает возможность при использовании 5 датчиков виброракустического сигнала ПК, датчика углового положения вала и датчиков на приводе формировать 15 диагностических признаков по параметрам виброакустического сигнала для каждого датчика, с помощью которых система мониторинга в автоматическом режиме определяет до 36 причин виброакустической активности ПК, некоторые из которых приведены в **табл. 1**.

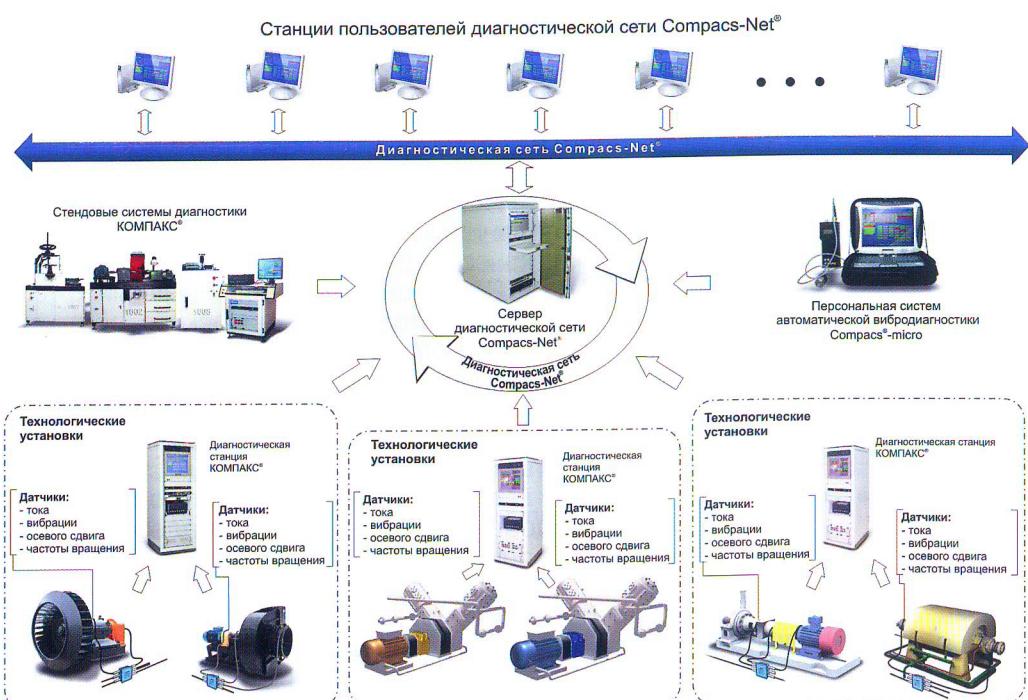
Система включает:

- диагностическую станцию, управляющую процессом сбора, обработки и предоставления информации;
- распределенную систему выносных модулей, обеспечивающую существенную экономию кабеля и затрат на строительно-монтажные работы;
- распределенную систему датчиков, контролирующих основные параметры оборудования (**рис. 4**).

Система непрерывно автоматически осуществляет мониторинг состояния оборудования и выдает указывающие сообщения персоналу для приведения состояния в норму. Получая сигналы с датчиков, размещенных на диагностируемом оборудовании, система формирует вектор ортогональных диагностических признаков, инвариантный к типу диагностируемого оборудования, включающий три группы [7]:

- диагностические признаки виброускорения, виброскорости и виброперемещения в разных частотных полосах по сигналам с датчиков;
- признаки, составленные из периодических и шумовых составляющих сигналов в спектральной области;
- скорости изменения признаков.

Оценка состояния каждого агрегата отображается на мониторе с помощью цифровых значений параметров, цветных пиктограмм (зеленых



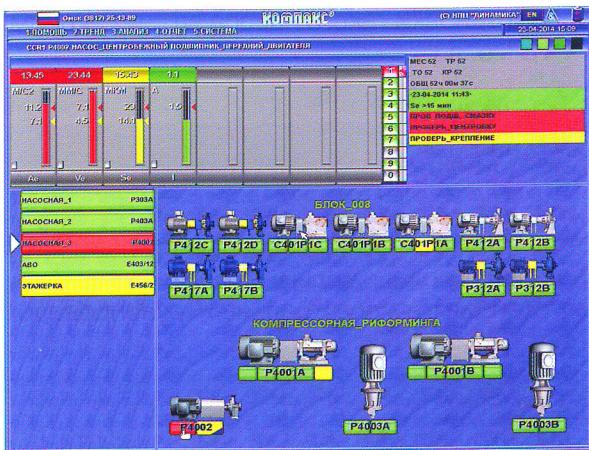
**Рис. 4.**  
**Структурная схема автоматизированной системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией и ремонтом оборудования КОМПАКС®**

**Таблица 1. Классы и типы неисправностей и дефектов поршневых компрессоров**



№	Узел	Дефекты и неисправности
1	Компрессор в целом	Ослабление крепления корпусных составляющих
2		Дисбаланс вращающихся масс
3		Нарушение работы системы смазки
4	Цилиндроворшневая группа	Износ колец
5		Износ гильзы
6		Ослабление крепления деталей
7		Недостаток смазки
8		Заброс конденсата (гидроудар)
9		Нарушение технологического режима
10	Шток	Износ сальников
11		Изгиб штока
12	Кривошипно – ползунный механизм	Износ баббитового слоя
13		Ослабление крепления деталей
14		Недостаток смазки
15		Увеличение зазора в сопряжении палец – ползун
17		Износ баббитового слоя
18		Ослабление крепления
19		Недостаток смазки
20	Коренной подшипник	Поломка пружин, пластин
21		Недостаточная герметичность (пропуск)
22		Заброс конденсата (гидроудар)
23		Нарушение технологического режима

леный цвет – «Норма», желтый – «Требует принятия мер», красный – «Недопустимо») и текстовых предписаний персоналу (рис. 5) [7].



**Рис. 5. Экран «Монитор» системы КОМПАКС® с автоматическим указанием наиболее опасного объекта (курсор), целенаправленными диагностическими предписаниями персоналу по этому объекту и самодиагностикой измерительных каналов (синий угол)**

Применение АСУ БЭР КОМПАКС® делает прозрачными, а значит, управляемыми, процессы эксплуатации основных фондов, снижает капиталоемкость производства, увеличивает фондотдачу и, как следствие, ведет к росту капитализации предприятия в целом. Эффективность внедрения системы КОМПАКС® для мониторинга технического состояния НКО определяется стоимостью затрат на внедрение системы к экономии, полученной от продления срока службы основных узлов и деталей, сокращения продолжительности ремонта и простоя агрегатов и некоторых других факторов. Анализ показывает, что внедрение си-

стемы окупается в течение нескольких месяцев ее эксплуатации. При этом значительно повышается безопасность эксплуатации НКО на взрывопожароопасных производствах.

Технические решения и инновационные технологии, реализованные в системах КОМПАКС®, защищены более 100 авторскими свидетельствами, патентами РФ и свидетельствами об официальной регистрации программ для ЭВМ, в т. ч. патентами на способы диагностики и оценки технического состояния НКО [6, 8].

#### Литература

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. Решения проблем безопасности эксплуатации поршневых машин // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2009, № 03, С. 27 – 36, 1–я, 4–я стр. обл.
4. 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.
5. Костюков В. Н., Науменко А. П. Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин: учебное пособие. Омск: ОмГТУ, 2011. 360 с.
6. Костюков В. Н., Науменко А. П., Бойченко С. Н. Способ вибродиагностики технического состояния поршневых машин по спектральным инвариантам: пат. 2 337 341 Российская Федерация, № 2007113529/28; заявл. 11.04.2007; опубл. 27.10.2008. Бюл. № 30.
7. Стандарты в области мониторинга технического состояния оборудования опасных производств // Костюков В. Н., Науменко А. П. и др. Безопасность труда в промышленности. 2012. № 7. С. 30 – 36.
8. Пат. РФ № 2068553, МПК G01M 15/00. Способ оценки технического состояния центробежного насосного агрегата по вибрации корпуса / Костюков В. Н., Бойченко С. Н., Долгопятов В. Н., Костюков А. В. Заявлено 29.08.1994; Опубл. 27.10.96, Бюл. № 30.

**Общество с ограниченной ответственностью  
«Научно-производственный центр «Диагностика,  
надежность машин и комплексная автоматизация» – ООО «НПЦ «Динамика»**

# НАСОСЫ // ОБОРУДОВАНИЕ PUMPS // EQUIPMENT

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC & PRACTICAL MAGAZINE

Издается с октября 1997 года

№ 4(87)-5(88) 2014

СПЕЦВЫПУСК, ПОСВЯЩЕННЫЙ 13-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ ВЫСТАВКЕ PCVExpo



Приглашаем посетить стенд Группы ГМС на выставке PCVExpo 2014  
28-31 октября, МВЦ «Крокус Экспо» (г. Москва), пав. 1, зал 4, № А409



## Насосы и насосные агрегаты для различных отраслей

- ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ
- ШЕФ-МОНТАЖ И ПУСКОНАЛАДКА
- ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ
- ЭНЕРГАОАУДИТ И МОДЕРНИЗАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Показатели надёжности, ресурса и применяемые материалы насосов  
соответствуют стандартам ISO, API 610, DIN, ANSI, ASME, NORSO

### Комплексные решения на базе технологического оборудования

- Полнокомплектные насосные станции
- Компрессорные установки, газоперекачивающие агрегаты  
и компрессорные станции
- Нефтегазовое оборудование в блочно-модульном исполнении

ЗАО «ГИДРОМАШСЕРВИС» — объединённая торговая и инжиниринговая компания Группы ГМС

Россия, 125252, Москва  
ул. Авиаконструктора Микояна, 12

телефон: +7(495) 664 81 71  
факс: +7(495) 664 81 72

[www.hms.ru](http://www.hms.ru)



# НАСОСЫ и ОБОРУДОВАНИЕ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с октября 1997 года

Главный печатный орган Российской Ассоциации Производителей Насосов

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ –

ФЛП Кроличенко О. А.

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

**Карабаньян Владимир Карпович,**

главный научный консультант РАПН,  
член Исполкома Европимп,  
д.т.н., профессор, академик РИА и МИА,  
Заслуженный машиностроитель РФ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Кроличенко Галина Ивановна**

**Башелеишвили Михаил Эдуардович,**

генеральный директор ЗАО «МВК»

**Валюхов Сергей Георгиевич,**

генеральный директор, генеральный конструктор  
ОАО «Турбонасос», д.т.н., профессор

**Жарковский Александр Аркадьевич,**

зав. кафедрой «Гидромашиностроение»  
С.-Петербургского государственного  
политехнического университета, д.т.н., профессор

**Максимовский Борис Витальевич,**

НП «СЦ НАСТХОЛ»

**Молчанов Артем Владимирович,**

генеральный директор  
ООО «УК «ГМС»

**Прокофьев Максим Владимирович,**

директор по стратегическому маркетингу  
ООО «УК «ГМС»

**Родькин Игорь Александрович,**

генеральный директор АО «ЛГМ»

**Семенов Станислав Евгеньевич,**

заведующий кафедрой МГТУ им Н. Э. Баумана,  
к.т.н., доцент

**Субботин Сергей Павлович,**

генеральный директор, главный конструктор  
ЗАО «Гидродинамика», к.т.н.

**Твердохлеб Игорь Борисович,**

президент РАПН, директор по НИОКР  
ООО «УК «ГМС», к.т.н.

**Шаумян Ольга Григорьевна,**

ответственный секретарь РАПН

**Ямбуренко Николай Николаевич,**

руководитель дивизиона «Промышленные насосы»  
ООО «УК «ГМС», Заслуженный машиностроитель РФ,  
академик РИА

Журнал «Насосы и оборудование» зарегистрирован  
Министерством информации Украины (свидетельство о  
государственной регистрации печатного средства массо-  
вой информации, серия КВ, № 2552 от 14.05. 1997 г.)  
и перерегистрирован Госкомитетом телевидения и ра-  
диовещания Украины (свидетельство о государственной  
регистрации печатного средства массовой информации,  
серия КВ, № 7516 от 07.07.2003 г.)

Адрес учредителя и изданеля:

**Украина, 02094**  
**г. Киев, ул. Пожарского, 10/15, оф. 31**  
**тел./факс: +38 (044) 559 4430**  
**559 9143**  
**296 1385**

E-mail: [nasos@voliacable.com](mailto:nasos@voliacable.com)  
<http://www.allpumps.kiev.ua>

Региональный представитель в России:

г. С.-Петербург: **Юлия Дзюбенко**  
E-mail: [ulya8@rambler.ru](mailto:ulya8@rambler.ru)

Официальный представитель в Германии:

г. Ганновер: **Николай Лябах**  
E-mail: [N.Ljabach@gmx.de](mailto:N.Ljabach@gmx.de)

Печать **ДП ИПЦ «Такі Справи»:**

Украина, 03067, г. Киев, ул. Выборгская, 84

Подписка на журнал

на **1-е полугодие 2015 г.:**

подписной индекс в **Украине – 08333**  
подписной индекс в **Российской Федерации** – в каталоге  
«Газеты. Журналы» Агентства «Роспечать» – **84465**

За достоверность информации и рекламы журнал ответственности не несет. Мнение авторов статей не всегда совпадает с позицией редакции. Представленные материалы печатаются с указанием реквизитов авторов. Оригиналы статей не рецензируются и не возвращаются. Редакция оставляет за собой право редактировать их и сокращать. Переписка с читателями – лишь на страницах издания. Перепечатка материалов без разрешения редакции запрещена. Претензии принимаются в течение 14 дней с момента выхода номера. При использовании материалов в любой форме ссылка на журнал **«Насосы и оборудование»** обязательна.

Подписано в печать – 10.10.2014

Формат издания – 64x90/8

Усл. печ. листов – 13,33

Тираж – 5000 экземпляров

№ заказа – 410-154-0499

© Насосы и оборудование, 2014  
Киев, 2014

<b>Новости Европурп ECOPUMP.RU второе дыхание</b> (статья исполнительного директора РАПН Е. Солодченкова)	стр. 4
<b>Деятельность РАПН</b> <b>О проведении Международной научно-технической конференции ECOPUMP-RUS. «Энергоэффективность и инновации в насосостроении»</b>	стр. 8
<b>Семинары и конференции</b> Информация о проведении научно – практического семинара <b>«Литье – основа совершенства насосной и арматурной продукции»</b> (статья О. Шаумян, директора семинара)	стр. 10
<b>Выставки</b> <b>Накануне события</b> (информация дирекции MVK в составе группы компаний ITE о проведении в 2014 г. <b>13-й Международной выставки PCVExpo</b> )	стр. 12
<b>Даты, юбилеи...</b> <b>ОАО «ЛГМ»: 150 лет на благо Отечества!</b> (статья главного инженера ОАО «ЛГМ» В. Дровецкого)	стр. 16
<b>Поздравляем!</b> <b>Поздравление президента РАПН, адресованное генеральному директору – генеральному конструктору ЗАО «Гидродинамика» С. П. Субботину в связи с 75-летием</b>	стр. 18
<b>Энергоэффективность</b> <b>Современный подход к энергоэффективности насосного оборудования</b> (специализированная статья авторов: И. Твердохлеба, <b>А. Костюка, С. Соколова</b> – ООО «УК «Группа ГМС»)	стр. 20
<b>Поставки</b> <b>Централизованные поставки – эффективная конструкция сбыта</b> (актуальная статья директора Марьинского машиностроительного завода <b>Д. Ишанкулиева</b> )	стр. 22
<b>Сотрудничество</b> <b>ГК ПРАКТИК опыт, честность, инновации</b> (специализированная статья пресс-секретаря ГК ПРАКТИК <b>М. Терёхиной</b> )	стр. 24
<b>Цикл производства</b> <b>ОАО «Пинский ОМЗ»: стратегия развития</b> (специализированная статья И. Нечипорука, главного конструктора ОАО «Пинский ОМЗ» – г. Пинск)	стр. 26
<b>Мониторинг</b> <b>Повышение надежности насосно-компрессорного оборудования на основе мониторинга неисправностей и рисков эксплуатации</b> (авторы специализированной статьи: <b>В. Костюков,</b> <b>А. Науменко, С. Бойченко</b> – ООО «НПЦ «Динамика», г. Омск)	стр. 28
<b>Передовые технологии</b> <b>Российские насосы мирового уровня</b> (специализированная статья А. Щербакова, генерального директора ООО «НПО «Курс» – г. Долгопрудный Московской обл.)	стр. 32
<b>Повышение эффективности</b> <b>Об эффективности применения центробежных насосов</b> (авторы специализированной статьи: <b>В. Бендерович,</b> <b>З. Лунац, А. Шеина</b> – ООО «Насосы и Уплотнения», г. Москва)	стр. 34
<b>Модернизация</b> <b>Модернизация насосов химических производств</b> (специализированная статья <b>М. Вовнобой</b> и <b>И. Овсейко</b> – ООО «ТРИЗ» ЛТД, г. Сумы)	стр. 37
<b>Между юбилеями</b> <b>Мгновения спрессованы в года...</b> Сумський завод «Насосенергомаш»:	

