



Костюков В.Н., д-р техн. наук,
генеральный директор
НПЦ «Динамика»;
Науменко А.П., канд. техн. наук,
ведущий специалист
НПЦ «Динамика»

644043, г. Омск,
ул. Рабиновича, 108.
E-mail: info@dynamics.ru

УДК 534.647:621.432 (001.8)

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ

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. Рассмотрена схема, реализованная в системе мониторинга технического состояния поршневых компрессоров в реальном времени КОМПАКС®.

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

An article considers state and perspectives of development of modern methods and means of monitoring of the state and diagnostics of piston compressors at dangerous continuous manufactures. A survey of principles of control of the technical state which are realized in practically all famous monitoring systems was made. An article considers the system of monitoring of the technical state of piston compressors in real time КОМПАКС®.

Key words: piston machines, piston compressors, monitoring, diagnostics, vibration.

Уровень безопасности при эксплуатации установок с поршневыми компрессорами (ПК) определяется надежностью контроля их технического состояния (ТС), достоверностью и своевременностью определения возникновения неисправностей и их причин. Сегодня для мониторинга и диагностики ПК предлага-

ются многочисленные технические средства, разработанные и выпускаемые в основном зарубежными компаниями. Однако остается открытым вопрос об адекватности проводимых измерений реальным техническим состояниям ПК. Хотя сегодня и существует документ [1], определяющий основные требования к систе-

мам мониторинга опасных производственных объектов, тем не менее даже специалистам в этой области весьма затруднительно сориентироваться в рекламируемых возможностях систем. В связи с этим возникает потребность в систематизации методов и средств диагностирования и мониторинга состояния ПК.

Исследования в области диагностики ПК проводились в МГТУ им. Н.Э. Баумана (Пластилин П.И.), НПЦ «Динамика» (Костюков В.Н.), МАДИ (ТУ) (Гриб В.В.), ОАО «ЛенНИИХимМаш», ООО «ВНИИГаз», ИМАШ РАН (Соколова А.Г., Балицкий Ф.Я.), ООО «Вибро-Центр», Ленинградском и Одесском институтах холодильной промышленности, Пензенском политехническом институте, НПП «Механик» (Жуков Р.В.), специалистами Bently Nevada, DresserRand, Hoerbeger Ventilwerke GmbH, KÖTTER Consulting Engineers, Prognost Systems GmbH, Metrix Instrument Co, Bruel & Kjer Vibro, Tomassen Compression Systems и другими организациями [1–50].

1. Критерии состояния

Безопасная ресурсосберегающая эксплуатация оборудования опасных производств неразрывно связано с мониторингом технического состояния этого оборудования. Термин «техническое состояние» предполагает пять видов состояний: исправное – неисправное, работоспособное – неработоспособное, предельное.

Однако сегодня условия эксплуатации требуют другой оценки возможностей эксплуатации, использования по назначению машинного оборудования и степень опасности дальнейшей эксплуатации.

В понимании специалистов служб эксплуатации и ремонта техническое состояние – это состояние объекта, при котором он способен выполнять свои функции в допустимых пределах отклонений количественных и качественных показателей, при заданном риске возникновения отказа, приводящего к прекращению выполнения своих функций. Как правило, используют четыре категории таких состояний [1]:

♦ «ХОРОШО» – допустимо при приемочных испытаниях после монтажа или капитального (среднего) ремонта. Критерий соответствует исправному состоянию объекта и характеризует высокое качество ремонтных, монтажных работ и обкатки под нагрузкой;

♦ «ДОПУСТИМО» – допустимо при длительной эксплуатации. Критерий характеризует полностью работоспособное состояние объекта

при малой вероятности отказа. При достижении уровня «ДОПУСТИМО» контролируют скорость изменения измеряемых параметров;

♦ «ТРЕБУЕТ ПРИНЯТИЯ МЕР» – допустимо при непродолжительной эксплуатации. Техническое состояние объекта соответствует критерию «ТРЕБУЕТ ПРИНЯТИЯ МЕР», если величина измеряемого параметра превышает уровень «ТРЕБУЕТ ПРИНЯТИЯ МЕР» или скорость роста параметра превышает уровень «ТРЕБУЕТ ПРИНЯТИЯ МЕР» при абсолютном значении параметра, превышающем уровень «ДОПУСТИМО». Критерий предупреждает о приближении технического состояния к предельному, наличии развивающихся дефектов, устойчивой постепенной утрате работоспособности и росте вероятности отказа. Критерий служит основанием для проведения более частого текущего обслуживания и/или планомерного вывода агрегата в ремонт;

♦ «НЕДОПУСТИМО» – недопустимо при эксплуатации. Техническое состояние объекта соответствует критерию «НЕДОПУСТИМО», если величина измеряемого параметра превышает уровень «НЕДОПУСТИМО» или скорость роста параметра превышает уровень «НЕДОПУСТИМО» при абсолютном значении параметра, превышающем уровень «ДОПУСТИМО». Критерий характеризует наличие развитых дефектов либо высокую скорость их развития и достижение объектом предельного либо опасного состояния с высокой вероятностью отказа. Критерий служит для немедленного останова агрегата и вывода его в ремонт. Продолжительность работы агрегата в состоянии «НЕДОПУСТИМО» должна быть минимальна и определяется регламентом по выводу его из этого состояния.

В задачу систем мониторинга входит не только определение вида технического состояния, но и определение неисправного механизма, узла, детали, т.е. элемента технического объекта, а также прогнозирование технического состояния, что является общей задачей диагностики.

2. Диагностические сигналы

Решение столь сложной задачи, как мониторинг технического состояния и диагностика, возможно на основе адекватного выбора методологии диагностирования и параметров, определяющих не только ТС, но и позволяющих осуществлять диагностирование с требуемой условиями эксплуатации и обслуживания глубины диагностирования.

Значительной информативностью обладают виброакустические (ВА) колебания [9, 10, 11, 12, 13, 14], источниками которых являются соударения в кинематических парах механизмов (поршень–цилиндр, палец–втулка и т.д.). Косвенно они характеризуют величину зазора между сопряженными элементами поршневой машины (ПМ), увеличивающуюся по мере изнашивания трущихся поверхностей. Но действие большого количества источников вибраций в машине, зависимость ВА-процессов от режима и условий работы усложняют процедуру ВА-диагностики. Кроме того, ВА-диагностика ПМ требует использования иной, по сравнению с центробежными машинами, методологии формирования и выделения диагностических признаков. Определение необходимого и достаточного количества диагностических признаков, которые позволяли бы достоверно оценивать техническое состояние ПМ в целом, ее систем, механизмов и отдельных деталей, основывается на анализе физических процессов, протекающих в них, и закономерностях их развития.

Многолетний опыт исследований параметров ВА-сигналов ПК, диагностики и мониторинга состояния ПК [9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24] показывает, что ВА-сигналы с достаточной степенью достоверности и адекватности не только характеризуют структурные параметры узлов и деталей ПК, но и адекватно отражают повышенные динамические нагрузки на узлы детали вследствие отклонений физико-химических свойств газа от необходимых для нормальной, безаварийной работы ПК. При этом обеспечивается контроль состояния всех жизненно важных узлов ПК [16, 17, 18].

3. Источники виброакустического сигнала

Поршневая машина, будь то поршневой компрессор или двигатель внутреннего сгорания, представляет собой сложную газомеханическую систему и является мощным и многофакторным источником ВА-сигналов, которая имеет три основных источника [14, 16, 17]:

1. Неуравновешенность движущихся и вращающихся масс – силы инерции возвратно-поступательно движущихся масс, центробежные силы инерции и моменты этих сил.
2. Газодинамические процессы – силы давления газов, протекание газа при впуске и выпуске.
3. Соударения и трение между элементами и деталями узлов и механизмов.

Неуравновешенность движущихся и вращающихся масс вынуждает механизм колебаться как единое целое относительно положения равновесия. Эти колебания характеризуются низкими частотами (десятки, сотни Гц), сравнительно большими амплитудами перемещения и малыми ускорениями. Основная частота колебаний объекта равна и/или кратна частоте вращения ротора, что является характерной чертой этого вида колебаний. Амплитуда виброколебаний ротора с неуравновешенными массами пропорциональна квадрату угловой скорости вращения ротора и зависит также от массы объекта и жесткости его крепления. Этот вид колебаний принято называть вибрацией.

Газодинамические процессы, соударения и трение между элементами и деталями узлов и механизмов отличаются высокими частотами (тысячи Гц), малыми амплитудами смещения (доли мкм) и значительными ускорениями (десятки m/c^2). Частоты этого вида колебаний определяются размерами, формой и упругими константами материала деталей, а также динамикой газовых процессов. Их амплитуда пропорциональна скорости столкновения деталей и параметрам газодинамических процессов. Такие колебания принято называть акустическими колебаниями.

Обобщенно виброакустическим сигналом принято называть физические величины, характеризующие механические колебания (вибрационные, акустические, гидроакустические), сопровождающие функционирование объекта, а диагностику – виброакустической.

Необходимо заметить, что ВА-колебания технических объектов является сложным видом колебательных процессов, сопровождающихся деформациями объекта в целом и его составных конструктивных элементов.

4. Методология диагностирования

В настоящее время известные системы мониторинга ПК практически не используют диагностические сигналы для автоматической постановки диагноза, а также характеристики ВА-сигнала, являющиеся косвенными признаками состояния структурных параметров узлов и деталей ПК.

Использование характеристик ВА-сигналов, которые являются функциями состояния узлов и деталей, позволило разработать ряд методов и алгоритмов обработки ВА-сигнала и других физических процессов [6, 9, 13, 14, 18, 21], которые дали возможность создать автоматиче-

скую экспертную систему поддержки принятия решений. Поэтому диагностирование узлов и деталей ПК осуществляется в темпе измерения диагностических сигналов. При этом период диагностирования не превышает времени развития неисправностей и дефектов, обусловленных объективными процессами изнашивания и накопления усталостных повреждений. Период измерения параметров диагностических сигналов при возникновении субъективных повреждающих факторов обусловлен временем реакции системы управления ПК и персонала на сигнал о необходимости выполнения корректирующих действий по устранению деструктивных факторов вплоть до остановки машины. Именно такое техническое решение позволило обеспечить реализацию технологии real time-мониторинга, т.е. мониторинга ТС (постановку диагноза) в реальном масштабе времени в темпе измерения параметров сигналов.

Обобщенно можно выделить следующую методологию анализа параметров диагностического сигнала (рис. 1) [9, 11, 13, 14, 15, 18, 21, 22]:

- интегро-дифференциальное преобразование (например, резкость, скорость, перемещение);
- дисперсионный анализ;
- амплитудно-фазовый анализ (например, анализ параметров сигнала по углу поворота вала);
- амплитудно-частотный анализ (например, выделение и анализ параметров сигнала в характерной области частот);
- анализ параметров огибающей сигнала, выделенной в характерных диапазонах частот, которые определяются свойствами диагностируемых узлов и деталей.

Технология real time-мониторинга основывается на измерении таких параметров, которые обеспечивают максимально безопасную эксплуатацию ПК с максимально возможной глубиной диагностирования. При этом мониторингу подвергаются все основные узлы, влияющие на безопасное работоспособное состояние ПК [9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23].



Рис. 1. Методология анализа параметров диагностического сигнала

5. Алгоритмы диагностирования

Автоматические алгоритмы диагностирования построены на основе анализа циклограммы работы ПК, учитывающей для различных узлов такие характерные моменты работы ПК, как открытие и закрытие клапанов, изменение направления движения поршня [2, 3, 4, 5, 11, 17, 18]. Такой подход позволяет увеличить глубину диагностирования каждого узла, что коренным образом отличает разработанные алгоритмы от других, в которых производится анализ, например амплитуды виброускорения кривокопфа через каждые 10 град. по углу поворота вала. В последнем случае можно в общем виде оценить перераспределение энергии ВА-колебаний по углу поворота вала, однако существенно затрудняет постановку диагноза.

Анализ уровня ВА-сигнала согласно циклограмме работы клапанов [11, 13, 16, 17, 18] позволяет фиксировать ухудшение работы клапанов, например, вследствие загрязнения и уменьшения проходного сечения, а также возникновение различных их неисправностей.

Рассмотрим соответствие изменения давления в полостях нагнетания ПК двухстороннего действия возникновению ВА-сигнала, регистрируемого датчиками, установленными в зоне клапанов. На рис. 2 представлены сигналы изменения давления в двух полостях нагнетания за один оборот вала и соответствующее возникновение ВА-сигнала. Видно, что за один оборот вала формируется два мощных ВА-импульса. При этом более низкоуровневые импульсы соответствуют открытию всасывающих клапанов. При отказе одного из клапанов, прежде всего нагнетательных, один из ВА-импульсов исчезает (рис. 3).

Таким образом, анализ амплитуды ВА-сигнала по углу поворота вала позволяет достоверно определять работоспособность клапанов ПК. При этом изменение амплитуды сигнала, смещение ВА-импульсов по углу поворота вала будут характеризовать изменение режима компримирования в зависимости от физико-химических свойств газа, включая возникновение микрогидроударов, изменение ре-

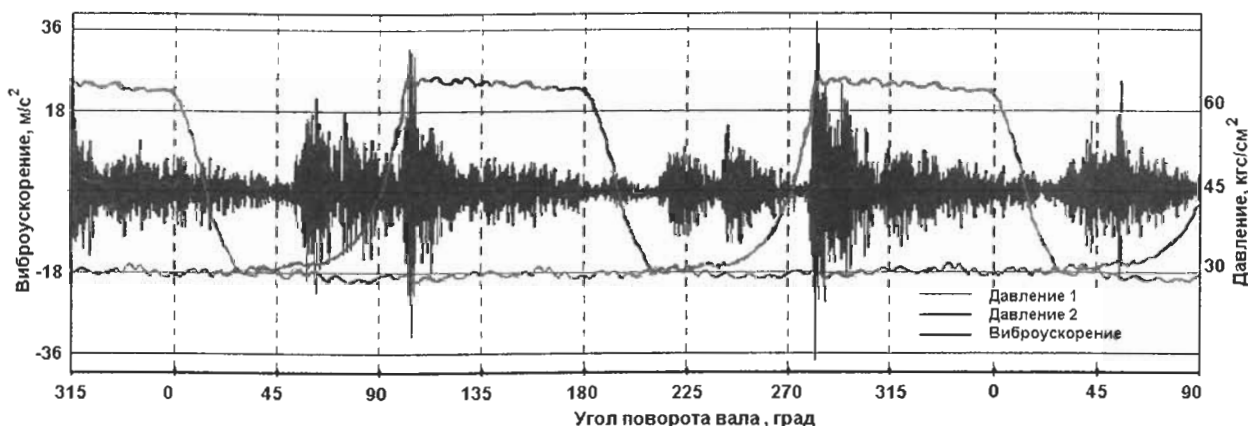


Рис. 2. Вибросигнал и давление в цилиндре при исправных клапанах

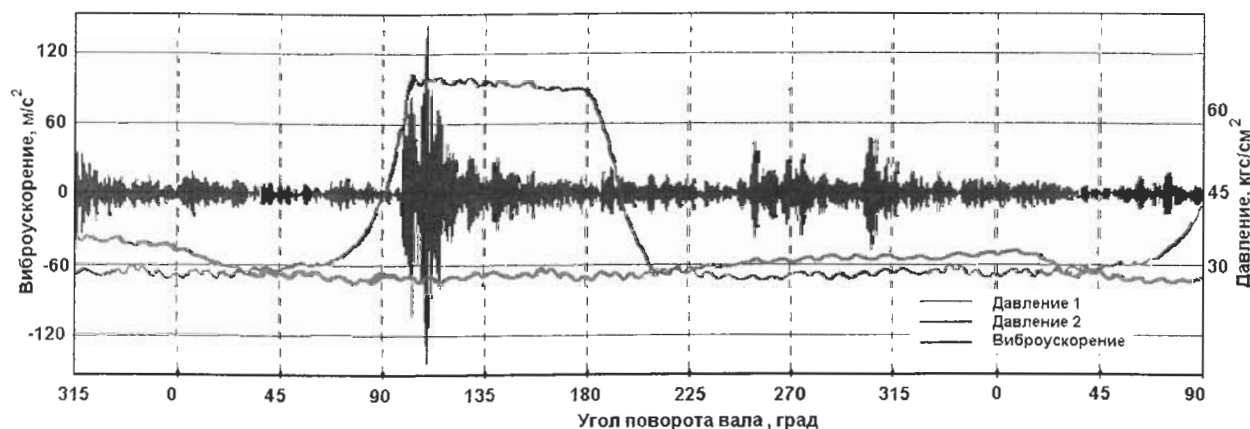


Рис. 3. Вибросигнал и давление в цилиндре при неисправных клапанах

Таблица 1

Состояние различных узлов и механизмов

№ п/п	Место измерения вибрации	Узлы поршневой машины	Вид неисправности	Спектральные инварианты
1	Крейцкопф	Кривошипно-ползунный механизм	Зазоры, состояние поверхностей скольжения ползуна, состояние поверхности втулки и подшипника верхней головки шатуна, жесткость крепления штока	$K_{(123)}^{(1)}$
2	Крейцкопф	Кривошипно-шатунный механизм	Зазоры, состояние шатунной шейки и ее подшипников, жесткость крепления нижней головки шатуна, состояние коренных подшипников	$K_{(1+5)}^{(345)}$
3	Клапан; цилиндр	Клапан	Поломка пластин, пружин, уменьшение параметра «время-сечение», нарушение технологического процесса, гидроудар	$K_{(123)}^{(1)}$
4	Цилиндр	Детали ЦПГ	Зазор между поршнем и гильзой, износ поршневых колец, износ поверхности гильзы, ослабление крепления штока к поршню	$K_{(123)}^{(1)}$
5	Подшипник машины со стороны привода или маховика	Вал, муфта	Дисбаланс	$K_{(1-9)}^{(1)}$
6		Вал ПМ, вал привода	Несоосность	$K_{(1-9)}^{(23)}$
7		Муфта	Повышенные зазоры, ослабление крепления, жесткости	$K_{(1-9)}^{(3-9)}$

жима работы клапанов и возникновение неисправностей их деталей, правильность подбора параметров клапанов для свойства конкретного газа [2, 8, 9, 10, 16, 17, 18].

Изменение уровня ВА-сигнала в области мертвых точек до и после их прохождения поршнем будет свидетельствовать о ряде неисправностей, связанных как с изменением технологического режима эксплуатации ПК, так и с изменением технического состояния деталей цилиндра-поршневой группы (ЦПГ), включая, например, ослабление крепления поршня.

Спектральный состав ВА-сигнала поршневой машины, в отличие от центробежной, является весьма сложным, и в явном виде практически не представляется возможным использовать спектральные составляющие для оценки состояния узлов и деталей. Однако выделение сигнала в характерной области частот и амплитудно-фазовый анализ выделенного процесса во временной (по углу поворота вала) и в частотных областях, а также амплитудно-частотный и амплитудно-фазовый анализ огибающей сиг-

нала позволяют однозначно интерпретировать изменение выделенных составляющих как изменение ТС и степень неисправности контролируемого узла или детали ПК.

Анализ параметров ВА-сигнала ПМ показал, что виброактивность ПМ определяется:

- гармониками частоты вращения вала, которая, как правило, совпадает с полным циклом работы ПМ;
- высокочастотной шумовой составляющей вибрации, которая, как правило, промодулирована гармониками частоты вращения вала.

Гармонические составляющие как в прямом спектре, так и в спектре огибающей являются наиболее сильными, стабильными и характерными составляющими вибрации ПМ независимо от конструктивных, массогабаритных и других показателей ПМ. Поэтому использование гармонических составляющих ВА-сигнала в качестве компонент диагностических признаков позволяет получать стабильные результаты анализа ВА-активности ПМ. Этого невозможно

достичь путем анализа высокочастотных шумовых спектральных составляющих, которые в значительной степени зависят от газодинамических процессов в ПМ, технологических параметров ведения процесса компримирования и места установки вибродатчиков.

Использование спектральных инвариант в виде отношения дисперсий гармонических составляющих [15] позволяет провести нормирование уровней диагностических признаков неисправностей в диапазоне от 0 до 1.

Спектральные инварианты $K_{(i)}^{(m)}$ в общем виде можно представить в виде отношений суммы дисперсий гармоник A_m с номерами $m = p, \dots, r, \dots, s$ к сумме дисперсий гармоник A_i с номерами $i = 1, \dots, k, \dots, l$.

Практически оказывается, что одноименные спектральные инварианты, определенные по амплитудно-частотному спектру ВА-сигналов с датчиков, установленных в различных точках ПМ, позволяют получать информацию о состоянии различных узлов и механизмов ПМ (табл. 1).

Статистическая обработка нескольких сотен реализаций ВА-сигналов дала возможность выявить закономерности изменений параметров ВА-сигналов и ТС-узлов и деталей ПК. В результате определены нормы и предельные значения параметров ВА-сигналов ПК [18]. Эти нормы имеют градации «ДОПУСТИМО», «ТРЕБУЕТ ПРИНЯТИЯ МЕР» и «НЕДОПУСТИМО».

6. Система мониторинга в реальном времени

Многолетний опыт НПЦ «Динамика» по эксплуатации систем диагностики и мониторинга центробежного насосно-компрессорного оборудования и поршневых машин КОМПАКС® [9, 10] позволил разработать методологию и средства диагностирования дефектов и неисправностей насосно-компрессорного оборудования и ПК в реальном времени (real time) [9, 10, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24].

Принципиальным отличием систем real time-мониторинга от систем онлайн-мониторинга является величина периода постановки диагноза [1]. Так, обычные системы онлайн-мониторинга не учитывают период развития неисправности и период измерения устанавливается пользователем или разработчиком системы исходя из собственного опыта. Постановка диагноза осуществляется специалистами в соответствующей области диагностики по мере необходимости. Это не позволяет предотвратить аварийные остановки насосно-компрессорного оборудования и ПК, так как не учитываются скорости развития неисправностей и дефектов. Таким образом, системы онлайн-мониторинга относятся к системам с высокой величиной статической и динамической ошибок распознавания состояния оборудования [1]. Поэтому подобные системы можно использовать только для мониторинга состояния оборудования опасных про-

Таблица 2

Точки ПК для измерения параметров ВА-сигнала

№	Место установки датчика	Диагностируемый узел	СКЗ (A, V, S)	Амплитуда за 5 оборотов при заданной вероятности	Амплитуда по циклограмме при заданной вероятности	Спектральные инварианты
1	Цилиндр	ЦПГ	5 оборотов	Ускорение Перемещение	Ускорение 8 сегментов	$K_{(1+3)}^{(1)}$ $K_{(1+5)}^{(3+5)}$
2	Клапан; цилиндр	Клапаны, ЦПГ	5 оборотов	Ускорение	Ускорение 8 сегментов	$K_{(1+5)}^{(3+5)}$ $K_{(1+3)}^{(1)}$
3	Крейцкопф	КПМ КШМ	5 оборотов	Ускорение Перемещение	Ускорение 8 сегментов	$K_{(1+9)}^{(3+9)}$
4	Подшипник поршневой машины со стороны привода или компрессора	Вращающиеся детали вала, муфта	5 оборотов	–	–	$K_{(1+9)}^{(2+3)}$
5		Вал компрессора, вал привода	5 оборотов	–	–	$K_{(1+9)}^{(1)}$
6		Муфта	5 оборотов	–	–	$K_{(1+5)}^{(3+5)}$

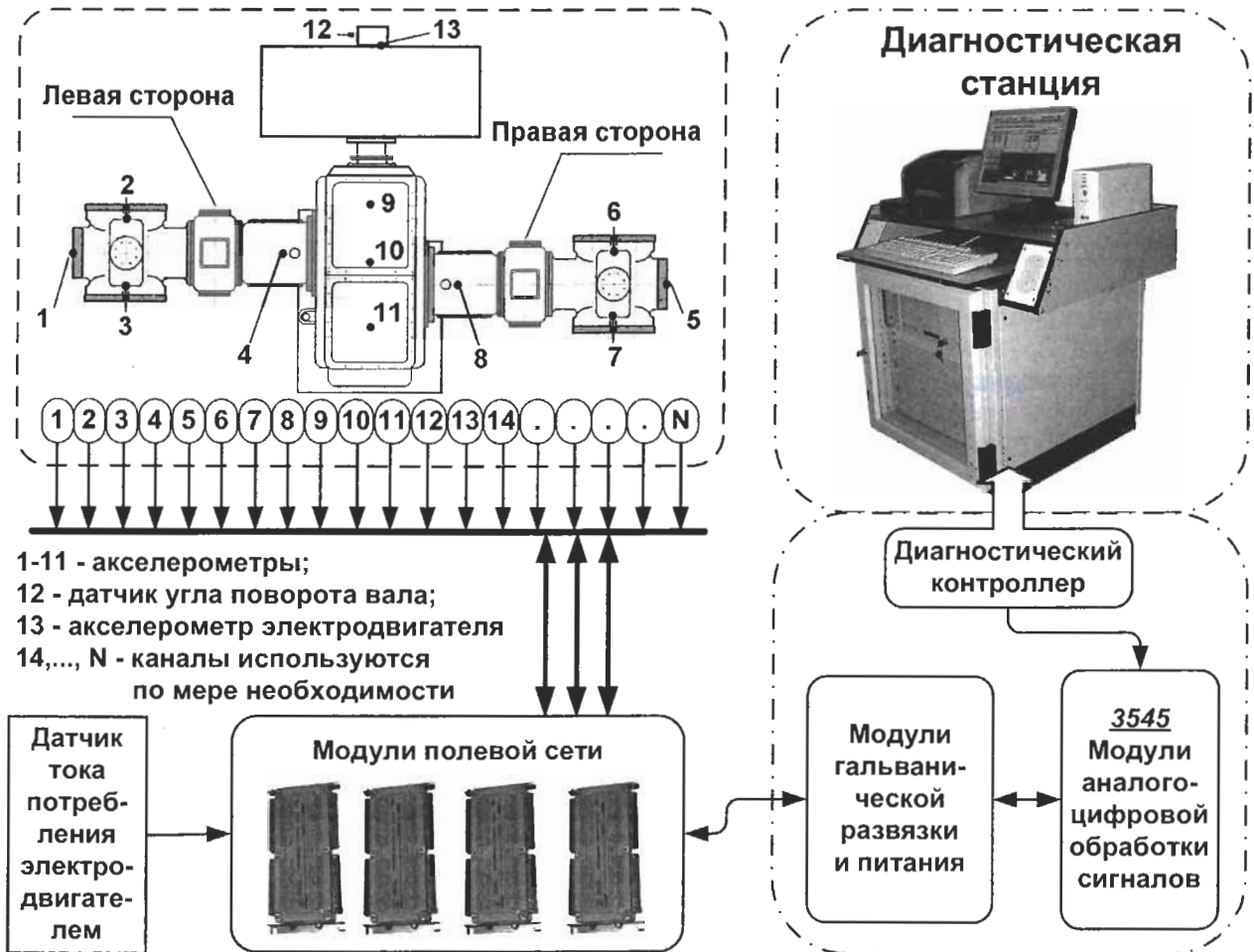


Рис. 4. Система мониторинга и диагностики

изводственных объектов второй, третьей и более низких категорий опасности [1].

В системах real time-мониторинга научно обоснованный период постановки диагноза [9] позволяет получить величину статической и динамической ошибок распознавания состояния оборудования менее 5%, что дает возможность осуществлять мониторинг состояния оборудования первой категории опасности [1].

В системах [9, 10, 14, 16–21] производится многопараметрическая обработка ВА-сигналов, полученных в различных точках ПК, которая наряду с измерением параметров ВА-сигнала для контроля состояния ПК и режимов его работы (табл. 2) использует и параметры других физических процессов. Например, при необходимости (в зависимости от состояния, условий эксплуатации ПК и требований его владельца) предусматривается возможность измерения и использования для мониторинга и постановки диагноза давления в полостях нагнетания (индикаторной диаграммы), давления на приеме

и нагнетании каждого цилиндра, температуры газа на приеме и нагнетании и клапанов, положение штока и др. При этом особое внимание уделено точкам получения ВА-сигналов, в которых сигнал наиболее адекватно отражает состояние тех или иных узлов ПК.

В качестве основных диагностических признаков, по которым оценивается общее техническое состояние диагностируемого узла, используется среднеквадратическое значение (СКЗ) виброускорения (A), виброскорости (V), виброперемещения (S) (табл. 2). Амплитудные характеристики вибропараметров, определенные как за цикл измерения, так и согласно циклограмме работы ПК, спектральные инварианты как в совокупности, так и отдельно используются для уточнения диагноза. В результате сегодня только по параметрам ВА-сигнала система КОМПАКС автоматически определяет более 20 дефектов, неисправностей и нарушений технологического режима эксплуатации ПК (табл. 3).

Узлы и неисправности ПК, определяемые системой КОМПАКС

№ п/п	Узел	Дефекты и неисправности
1	Компрессор в целом	Ослабление крепления корпусных составляющих
2		Дисбаланс вращающихся масс
3		Нарушение работы системы смазки
4	Цилиндропоршневая 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»
16		Увеличение зазора в сопряжении «палец – головка шатуна»
17	Коренной подшипник	Износ баббитового слоя
18		Ослабление крепления
19	Клапан	Недостаток смазки
20		Поломка пружин, пластин
21		Недостаточная герметичность (пропуск, загрязнение)
22		Перегрузка (конденсат, гидроудар)
23		Нарушение технологического режима

Использование в системе КОМПАКС всего пяти пьезоакселерометров на один цилиндр позволяет выявить до 23 дефектов, неисправностей и нарушений технологического режима эксплуатации ПК. Программно-аппаратные возможности системы позволяют без труда подключить, по мере необходимости, датчики температуры, давления, положения штока и другие, что реализовано в некоторых системах для мониторинга сложных с точки зрения состояния, обслуживания и эксплуатации ПК.

В настоящее время под контролем систем КОМПАКС эксплуатируется более 50 компрессоров различных типов, среди которых 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.

Продолжение в следующем номере

Библиографический список

1. Стандарт ассоциации РОСТЕХЭКСПЕРТИЗА, НПС РИСКОМ «Системы мониторинга опасных производственных объектов. Общие технические требования» (СА 03-002-05). Серия 03 / Колл. авт. – М.: Издательство «Компрессорная и химическая техника». – 2005. – 42 с.
2. **Костюков В.Н., Морозов С.А., Зименс Г.Я.** Устройство для диагностики циклических механизмов: Пат. РФ 783621, опубл. 30.11.1980, Бюл. № 44.
3. **Костюков В.Н., Морозов С.А.** Устройство для виброакустической диагностики механизмов периодического действия: Пат. РФ 1107002, опубл. 07.08.1984, Бюл. № 29.
4. **Костюков В.Н.** Устройство для виброакустической диагностики механизмов периодического действия: Пат. РФ 1343259, опубл. 01.10.1987, Бюл. № 37.

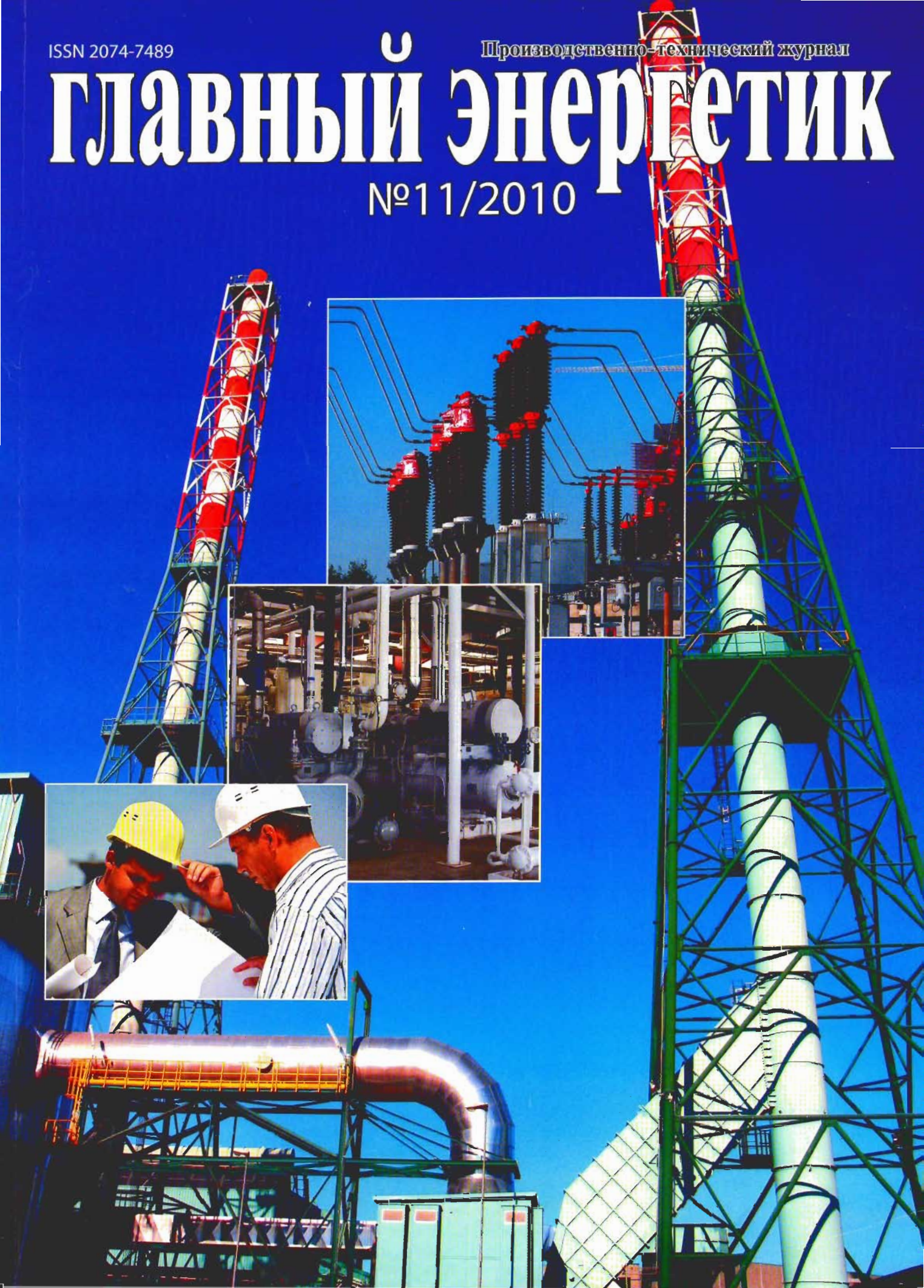
5. **Костюков В.Н.** Способ виброакустической диагностики машин периодического действия и устройство для его осуществления: Пат. РФ 1280961, опубл. 28.12.1986; Бюл. № 48.
6. **Костюков В.Н.** Обобщенная диагностическая модель виброакустического сигнала объектов периодического действия // Омский науч. вестн. – 1999. – Вып. 6. – С. 37–41.
7. Принципы построения измерительно-диагностических систем машин и оборудования / Ю.М. Вешкурцев, В.Н. Костюков, С.Н. Бойченко, Костюков А.В. // Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-96: Труды третьей международной науч.-техн. конф. Измерения в радиоэлектронике. – Новосибирск. – 1996. – Т. 5. – С. 81–86.
8. **Костюков В.Н., Науменко А.П.** Мониторинг состояния поршневых компрессоров: тр. III Междунар. симпозиума. «Потребители-производители компрессоров и компрессорного оборудования». – С-Пб: Изд-во СПбТГУ. – 1997. – С. 254–256.
9. **Костюков В.Н.** Мониторинг безопасности производства. – М.: Машиностроение. – 2002. – 224 с.
10. **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.
11. **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.
12. **Костюков В.Н., Науменко А.П.** Вибродиагностика поршневых компрессоров / Компрессорная техника и пневматика. – 2002. – № 3. – С. 30–31.
13. **Науменко А.П.** Исследование виброакустических параметров поршневых машин: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-техн. конф. «Двигатель – 2007», посвященной 100-летию школы двигателестроения МГТУ им. Н.Э. Баумана (под ред. Н.А. Иващенко, В.Н. Костюкова, А.П. Науменко, Л.В. Грехова). – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2007. – С. 518–525.
14. **Науменко А.П.** Методология виброакустической диагностики поршневых машин: Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Специальный выпуск. Серия «Машиностроение». – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2007. – С. 85–95.
15. **Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Науменко А.П.** Способ вибродиагностики технического состояния поршневых машин по спектральным инвариантам: Пат. РФ 2337341, опубл. 27.10.2008. Бюл. – № 30. – 18 с.
16. **Костюков В.Н., Науменко А.П.** Проблемы и решения безопасной эксплуатации поршневых компрессоров // Компрессорная техника и пневматика. – 2008. – № 3. – С. 21–28.
17. **Костюков В.Н., Науменко А.П.** Решения проблем безопасной эксплуатации поршневых машин // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2009. – № 3. – С. 27–36, 1-я, 4-я стр. обл.
18. **Костюков В.Н., Науменко А.П.** Нормативно-методическое обеспечение мониторинга технического состояния поршневых компрессоров. // Контроль. Диагностика. – 2005. – № 11. – С. 20–23.
19. **Костюков В.Н., Науменко А.П.** Система контроля технического состояния машин возвратно-поступательного действия // Контроль. Диагностика. – 2007. – № 3. – С. 50–59.
20. **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.
21. **Науменко А.П.** Средства мониторинга поршневых компрессоров в реальном времени: Тез. докл. 8-й Междунар. конф. «Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности». Москва, 18–20 марта 2009 г. – М.: ИД «Спектр». – 2009. – С. 154–157.
22. **Kostyukov V.N. Naumenko A.P.** Condition monitoring of reciprocating machines: Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management. 22nd International Congress / Published by Fundacion TEKNIER, Otaola, 20, 20600, Eibar / Edited by Aitor Arnaiz, AnaA-ranzable, Raj BKN Rao. San Sebastian, Spain, 2009. Pp. 113–120.
23. **Naumenko A.P.** Real-time condition monitoring of reciprocating machines: The Sixth International Conference on Condition Monitoring and Machinery Failure Prevention Technologies – CM 2009 / MFPT 2009 / 23-25 June, 2009, Stillorgan Park Hotel, Dublin, Ireland, 2009. Pp. 1202–1213.
24. **Костюков В.Н., Науменко А.П., Бойченко С.Н.** Способ вибродиагностики машин: Пат. РФ 2314508, опубл. 10.01.2008. Бюл. № 1.

ISSN 2074-7489

Производственно-технический журнал

главный энергетик

№11/2010



применению энергосберегающих мероприятий и сделан анализ графика нагрузки на систему кондиционирования при создании динамического микроклимата.

Ключевые слова: динамический микроклимат, математическая модель, проверка адекватности, тепловизор, тепловая изоляция, рекуператор, рециркуляция, энергосбережение, кондиционирование.

ДИАГНОСТИКА 46

УДК 534.647:621.432 (001.8)

Современные средства мониторинга состояния и диагностики поршневых компрессоров 46

В.Н. Костюков, 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. Рассмотрена схема, реализованная в системе мониторинга технического состояния поршневых компрессоров в реальном времени КОМПАКС®.

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

У НАС В ГОСТЯХ ЖУРНАЛ «ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР» 56

Как мотивировать менеджеров предприятия к энергосбережению 56

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ 59

Ремонт и модернизация энергетического оборудования: выбираем подрядчика 59

АВТОМАТИЗАЦИЯ 63

Актуальные системы диспетчеризации энергоснабжения 63

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ 68

УДК 622.333

ИТ для повышения безопасности энергетических систем и объектов 68

Д.Л. Крысанов, «НЕОЛАНТ» (Москва); Н.В. Резина, «НЕОЛАНТ Запад» (С.-Петербург)

Современные предприятия электроэнергетики – сложные технологические образования, включающие в себя различное оборудование, инженерные системы, коммуникации. Для эффективного управления ими руководству необходимо постоянно решать ряд сложных задач – например, снижение издержек на эксплуатацию энергообъектов, повышение надежности их работы, сокращение количества аварий.

Ключевые слова: безопасность, энергетическая система, модель, автоматизация.

НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ 73

Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» 73