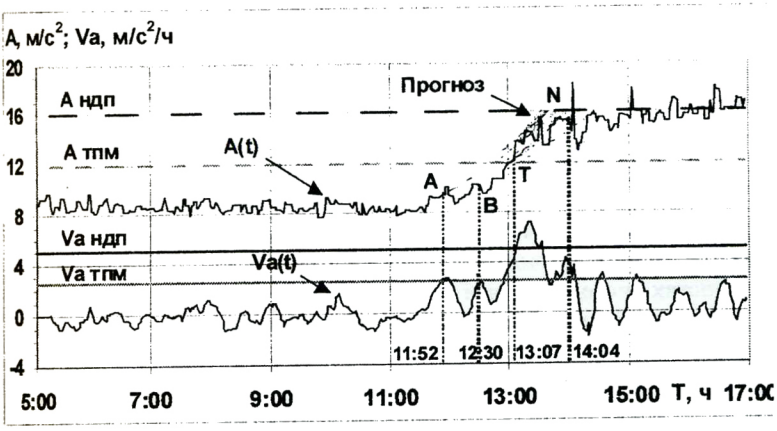
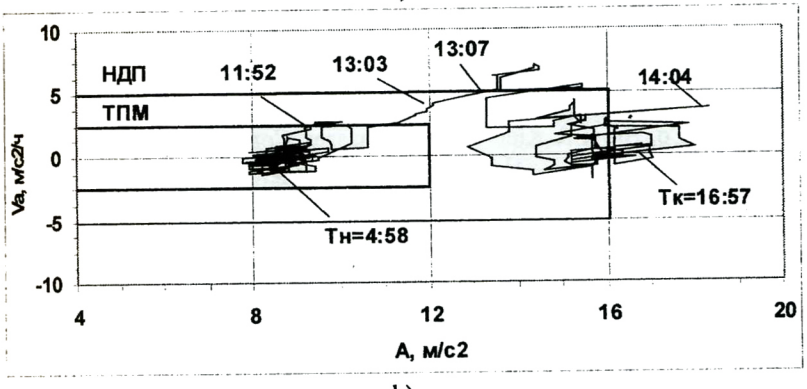


a)



b)

Рис. 3. Диагностика и прогнозирование состояния насосного агрегата:
a) прогноз разрушения подшипника по трендам виброускорения **A(t)** и скорости его роста **Va(t)**;
b) диагностика на фазовой плоскости **A-Va**

УДК 534.647:621.432 (001.8)
А.П. Науменко, доцент, к.т.н.
НПЦ «Динамика», г. Омск

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ

Уровень безопасности эксплуатации установок с поршневыми компрессорами (ПК) определяется надежностью контроля их технического состояния, своевременностью и достоверностью определения воз-

никновения неисправностей и их причин. Сегодня для мониторинга и диагностики ПК предлагаются многочисленные технические средства, разработанные и выпускаемые в различных странах различными фирмами. Однако остается открытым вопрос об адекватности проводимых измерений реальным техническим состояниям ПК и величине риска безопасной их эксплуатации. Хотя сегодня и существует документ [41], определяющий основные требования к системам мониторинга опасных производственных объектов, тем не менее, 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.

Исследования в области диагностики ПК проводились в МГТУ им. Н.Э. Баумана (Пластинин П.И.), НПЦ "Динамика" (Костюков В.Н.), МАДИ (ТУ) (Гриб В.В.), ОАО "ЛенНИИХимМаш", ООО "ВНИИГаз", ИМАШ РАН (Соколова А.Г., Балицкий Ф.Я.), "Вибро-Центр", Ленинградским и Одесским институтами холодильной промыш-ленности, Пензенским политехническом институтом, НПП «Механик» (Жуков Р.В.), специалистами Bently Nevada, Dresser-Rand, Hoerbeger Ventilwerke GmbH, KÖTTER Consulting Engineers, Prognost Systems GmbH, Metrix Instrument Co, Bruel & Kjer Vibro, Tomassen Compression Systems и другими организациями [3-42].

С середины 90-х годов прошлого века до сегодняшних дней основное внимание уделяется мониторингу состояния и диагностированию следующих узлов:

– **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.

Для этого измеряют следующие параметры (рис. 1 *а, б*):

– вибрацию корпуса компрессора (Frame Vibration);

– вибрацию крейцкопфного узла (Crosshead Vibration);

– положение штока (обычно – в вертикальном направлении, иногда и – в горизонтальном) (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).

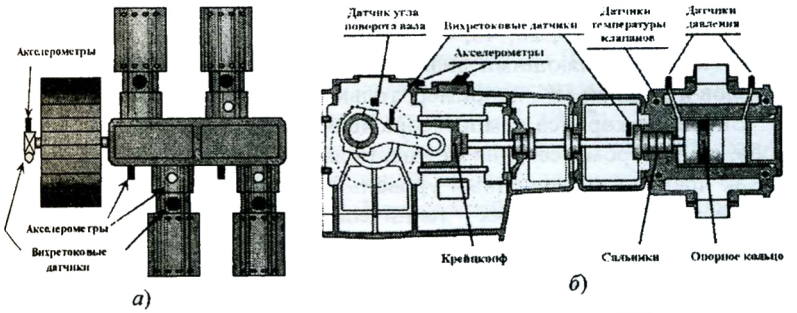


Рисунок 1. Установка датчиков на корпусе ПК

Одним из эффективных методов контроля технического состояния и диагностики поршневых машин (ПМ) является измерение параметров и анализ индикаторной диаграммы [1, 10, 11]. Однако данный метод оказывается эффективным при диагностике ДВС и ПК, компримирующих технологически стабильные газы. Опыт эксплуатации показывает, что ПК, применяемые в производстве водорода в стабильных процессах, которые производят чистый сухой водородосодержащий или другой газ, работают более надежно. В тоже время ПК, работающие в производстве водорода с нестабильными процессами или процессами, которые производят подачу водородосодержащего газа (ВСГ) «влажным» или «загрязненным» (или то и другое), имеют тенденцию к более частым возникновениям неисправностей [17].

В этом случае параметры индикаторной диаграммы существенно зависят от свойств газа, характеризуют динамическую нагрузку на узлы и детали, но не в полной мере характеризуют их техническое состояние.

Очевидно, что для ПК, работающих в таких условиях, использовать параметры индикаторной диаграммы для диагностирования и контроля изменения технического состояния можно лишь после обеспечения стабилизации физико-химических свойств газа путем установки сепараторов, каплеотбойников и коалесцеров [35] соответствующей производительности.

Большие объемы ремонтов клапанов ПК и определяющая стоимость их ремонта привели к разработке специальных систем контроля состояния только клапанов [42]. Однако использование подобных средств требует дополнительных затрат как на их приобретение и установку, так и затрат на приобретение и установку дополнительных средств для контроля технического состояния и диагностики остальных не менее важных узлов и деталей ПК.

Попытки создания систем диагностики состояния узлов и деталей ПК [27, 40, 42] приводят к тому, что на практике такие системы оказываются либо избыточными [27] в связи с тем, что предназначены для проведения исследований и испытаний и разрабатывались для использо-

вания в лабораторных условиях, либо не обеспечивающими безопасную эксплуатацию ПК [19, 20, 40, 42] в реальных условиях опасных производств, либо позволяющими диагностировать состояние только отдельных узлов и деталей ПК, например, только клапанов [40].

Вибрация корпуса компрессора является одним из основных параметров, по которому сегодня осуществляют противоаварийную защиту ПК. Как правило, повышенный уровень вибрации корпуса свидетельствует о серьезных изменениях в техническом состоянии компрессора, ослаблении крепления, фундамента. При этом большинство систем производит измерение виброскорости [8, 19, 22, 23, 24], хотя ИСО 10816-5 рекомендует измерять три вибропараметра: виброускорение, виброскорость, виброперемещение.

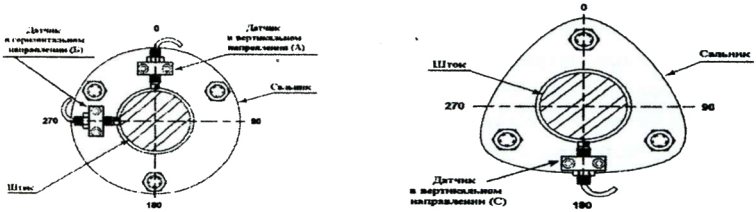
Измерение вибрации крейцкопфного узла осуществляют путем установки акселерометра над ползуном крейцкопфа вертикально или под углом 45° к оси движения ползуна. Параметры вибрации зависят от изменения зазора между скользящей поверхностью ползуна и зеркалом направляющей, состояния баббитового слоя и степени его изнашивания, состояния трущихся поверхностей пальца крейцкопфа и вкладышей подшипника, условия смазывания. Оценка вместо среднеквадратичных значений (СКЗ) амплитудных параметров вибрации, которые часто называют «impact monitoring», т.е. мониторинг пиковых значений виброускорения, позволяет определять такие дефекты и неисправности, как ослабление гайки штока, ослабление болтов, чрезмерный зазор ползуна, изнашивание пальцев и попадание жид-кости в процесс сжатия [7, 15, 18].

В системах PROGNOST [9, 25] используется сегментация временной реализации виброускорения крейцкопфа. Сигнал представлен как функция угла поворота вала и разделен на 36 сегментов через 10 градусов по углу поворота. Каждый из сегментов имеет свой предупредительный уровень и анализируется индивидуально. Сегментация позволяет разделить сигнал и установить соответствие между функционированием отдельных узлов и параметрами сигнала. Необходимость сегментации связана со специфичностью вибросигнала, связанной с высокой виброактивностью отдельных узлов, например, клапанов, энергия вибросигнала от работы которых в несколько раз превышает энергию от работы других узлов ПК.

Большинство ПК, используемых на производствах нефтегазохимического комплекса, являются горизонтальными. Значительный вес КПМ и деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ) приводит к существенным нагрузкам на трущиеся детали. Поэтому одной из основных задач диагностики ПК является оценка состояния опорных деталей и поверхностей. Важным узлом ЦПГ является система опорных колец (rider ring), поскольку их износ приводит к изменению положения штока, что в свою очередь увеличивает нагрузку на газовые сальники, износ которых неизбежно приведет к пропуску взрывопожароопасного газа. С целью оценки состояния опорных колец измеряют положение штока – вертикальное от

клонение от первоначального состояния, а иногда и горизонтальное смещение, что позволяет строить орбиту движения сечения штока. Одними из первых такое решение предложили специалисты Bently Nevada в середине 90-х годов прошлого века, назвав его измерением положения штока – «Rod Drop» (буквально – «падение штока) [4-14, 19-25].

Используя датчик относительной вибрации (вихретоковый датчик), можно измерить отклонения положения штока в вертикальной (Y) и горизонтальной (X) осях (рис. 2 *а*). Наибольшой информативностью обладают сигналы с датчиков, установленных на газовые сальники со стороны полости нагнетания [13, 14]. Однако, некоторых случаях для повышения глубины диагностирования устанавливают датчики и со стороны ползуна (рис. 2 *б*) [13, 14].



а) *б)*

Рисунок 2. Способы установки датчиков положения штока

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

Измерение пикового значения сигнала с датчиков позволяет оценить состояние, чаще всего, опорных, а иногда и других колец поршня. Изменение состояния баббитового слоя крейцкопфа также будет отражаться на параметрах сигнала, в основном, сигнала с датчика, установленного со стороны ползуна (рис. 2 *б*). Основным инструментом анализа сигнала является анализ орбит движения штока, что, вообще говоря, сложно поддается автоматизации. Наиболее развитые системы используют анализ амплитуды отклонения штока (абсолютное перемещение) в 36 сегментах по углу поворота вала (через каждые 10 градусов), что позволяет оценить изнашивание сопряженных поверхностей и увеличение зазора в деталях ЦПГ. Переменную составляющую сигнала анализируют в 8 сегментах – через 45 градусов угла поворота вала [9, 25], что дает возможность оценить степень повреждения колец, состояние ползуна крейцкопфного узла, заброс конденсата в полость нагнетания.

Кроме того, измерение динамики (по углу поворота вала) изменения положения в вертикальной (Y) и горизонтальной (X) осях (рис. 2 *а*) позволяет оценить соосность ползуна крейцкопфа и поршня. Этот тип измерений называют «Rod Run Out» или «Rod Deflection» [2, 4, 6].

Вследствие особенностей сопряжения крейцкопфа с головкой шатуна, тепловых расширений допуски на изменение положения штока в вертикальном направлении больше, чем в горизонтальном. Так, пиковое значение отклонения штока в вертикальном направлении обычно лежит в пределах от 90 мкм до 150 мкм, а в горизонтальном – от 40 мкм до 50 мкм.

Вихретоковые датчики устанавливают и для мониторинга состоянии подшипников скольжения, как самого компрессора, так и двигателя (рис. 3) [9, 19, 23]. Что позволяет получить орбиту движения вала и по ней оценить состояние смазочного слоя, изнашивание вкладышей. Альтернативой вихретоковым датчикам является установка акселерометров, сигнал с которых имеет достаточно информации о состоянии смазки, изнашивании вкладышей, о динамических нагрузках на кривошипно-шатунный механизм [20].

В поршневых компрессорах используются самодействующие клапаны, которые открываются при возникновении перепада давления. Когда элементы и детали клапана начинают повреждаться, то возникает пропуск газа. Это заставляет газ повторно сжиматься, что приводит к его нагреву. Различие температуры клапанов или газа в полостях сжатия и нагнетания (рис. 4) от 4 до 20°С указывает на проблемы с клапанами.

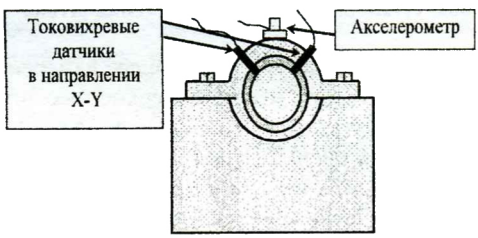


Рисунок 3. Измерение вибрации подшипников

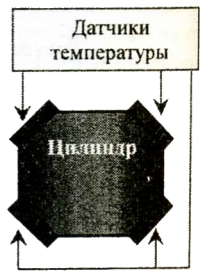


Рисунок 4. Измерение температуры клапанов

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 путем построения изменения величины вектора суммарной силы по углу поворота вала. Для обеспечения адекватного смазывания пальца крейцкопфа вектор нагрузки на него должен изменять направление за один оборот вала, что должно приводить к проворачиванию пальца крейцкопфа. Несбалансированная нагрузка приводит к проблемам смазки пальца крейцкопфа и его преждевременному изнашиванию. В английской литературе этот процесс имеет название «Rod Reversal». Согласно API Std 618 [2] Rod Reversal (обратный ход штока): величина, измеренная в

градусах оборота коленчатого вала, между каждым изменением знака кривой суммарной силы, нагружающей шток. Этот же стандарт рекомендует, чтобы «продолжительность этого обратного хода должна быть не меньше 15 градусов угла поворота коленчатого вала, а величина суммарной обратной нагрузки должна быть не менее 3% фактического суммарной нагрузки в противоположном направлении». Некоторые изготовители ПК предъявляют ещё более жесткие требования.

Второй проблемой является усталостная прочность. Повышенные динамические нагрузки приводят к накоплению усталостных повреждений, сокращению ресурса штока и его деформации или преждевременному разрушению.

Давление в полостях нагнетания измеряют с учетом углового положения вала (рис. 1 *б*), а силы инерции учитывают путем расчета по величине веса и скорости возвратно-поступательного и вращательного движения масс.

Многолетний опыт исследований параметров виброакустических сигналов (ВА) ПК, диагностики и мониторинга состояния ПК [31-39] 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 [35].

В тоже время известные системы мониторинга ПК практически не используют диагностические сигналы для *автоматической постановки диагноза*, а также, практически не используют характеристики ВА сигнала.

Так как характеристики ВА сигналов являются функциями состояния узлов и деталей, то это позволило разработать ряд методов и алгоритмов обработки ВА сигналов и других физических процессов [31-39], на основе которых создана *автоматическая экспертная система поддержки принятия решений*, определяющая более 20 дефектов и неисправностей [35], что обеспечивает мониторинг состояния ПК в реальном времени (***real-time***). Диагностирование осуществляется в темпе измерения диагностических сигналов. При этом период диагностирования в отличие от систем ***on-line*** мониторинга 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.

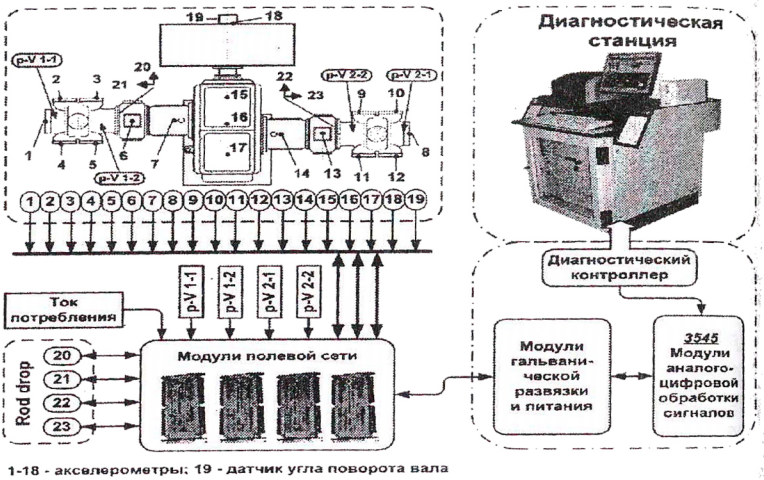
Технология ***real-time*** мониторинга основывается на измерении таких параметров, которые обеспечивают максимально безопасную экс-

плуатацию ПК с максимально возможной глубиной диагностирования (рис.5). При этом мониторингу подвергаются все основные узлы, обеспечивающие безопасное работоспособное состояние ПК [31-39].

Методология диагностирования ПК основывается, в том числе, и на анализе ВА сигнала по углу поворота вала. Анализ параметров ВА сигнала согласно циклограмме работы клапанов [34] в отличие от равномерной сегментации сигнала позволяет фиксировать неисправности клапанов и других узлов и деталей ПК.

Для диагностирования состояния узлов ПК используются и другие методы выделения и анализа ВА сигнала [38, 39]. Так, анализ ВА колебаний в различных высокочастотных зонах позволил выявить взаимосвязь спектральных инвариант в виде отношения дисперсий гармонических составляющих [33], провести нормирование уровней диагностических признаков неисправностей, получать стабильные результаты анализа ВА активности ПК и диагностировать ряд дефектов, которые весьма сложно определить другими методами обработки сигналов

Система ***real-time*** мониторинга ПМ КОМПАКС® (рис. 5) [31, 32, 37], обеспечивает безопасную эксплуатацию ПК. При этом система отвечает требованиям, предъявляемым к системам мониторинга состояния оборудования опасных производственных объектов [41].



1-18 - акселерометры; 19 - датчик угла поворота вала

Рисунок 5. Система мониторинга и диагностики

Таким образом, можно констатировать:

1. Практически во всех системах мониторинга и диагностики *методология* определения технического состояния узлов и деталей ПК основана на измерении прямых структурных и технологических параметров (относительные смещения, давление, температура) и реализует ***on-line*** технологию; *экспертные системы* используют величины прямых структурных и технологических параметров; параметры косвенных про-

цессов (виброакустических колебаний) используются для оценки величины этих параметров без проведения диагностирования и причин возникновения неисправностей и дефектов;

2. В системе КОМПАКС® методология ***real-time*** мониторинга и диагностирования основана не только на измерении прямых структурных и технологических параметров, а и на использовании параметров ВА колебаний, реализованы алгоритмы *экспертной системы поддержки принятия решений с автоматическим* определением (в темпе измерения диагностических сигналов) более 20 неисправностей узлов и дефектов и степени их опасности.

Библиографический список

1. Alberto Guilherme Fagundes Schirmer, Nelmo Furtado Fernandes, Jose Eduardo De Caux Online Monitoring of Reciprocating Compressors / NPRA Maintenance Conference May 25-28th 2004. San Antonio, 2004.

2. API Standard 618. Fifth Edition (2007). Reciprocating Compressors for Petroleum, Chemical, and Gas Industry Services. // American Petroleum Institute. Washington. D.C.

3. Applications: Reciprocating Compressors. "Metrix Instrument Co". Houston. Texas. Url: http://www.metrix1.com/Applications/Reciprocating_Compressors.aspx (дата обращения 15.01.2009)

4. Atkins K.E.; Hinchliff M.; McCain B., A Discussion of the Various Loads Used to Rate Reciprocating Compressors // Proceedings of the Gas Machinery Conference. 2005.

5. Barnes M. Using a Rod Drop Monitor to prevent cylinder and piston/rod repair // USA: Bently Nevada Corporation. Orbit. 1999. 1st Quarter. Pp. 11-12.

6. Brian Howard. "Rod Load Calculations and Definitions for Reciprocating Compressor Monitoring". GE Energy. ORBIT. 2008. Vol.28. No.1. Pp. 28-31.

7. Continuous Monitoring for Reciprocating Compressors. URL: http://www.automation.com/smc/print.php?stripImages=no **(дата обращения 15.01.2009)**.

8. Deitermann A., Jetelina D. Proven methods evaluating the health condition of piston compressors // Proceedings of the Thirty Turbomachinery Symposium. Texas A&M University. College Station. TX. 2001. September. Pp. 219-225.

9. Drewes E. Condition monitoring for reciprocating compressors // Hydrocarbon processing. 2002. September. Pp. 1-3.

10. Gaechter R. Assessment of technology and economic benefits of reciprocating machine condition monitoring and diagnostic systems // Proceedings of the Thirty-First Turbomachinery Symposium. Texas A&M University. College Station. TX. 2002. September. Pp. 69-73.

11. Griffith W.A., Flanagan E.B. Online, Continuous Monitoring of Mechanical Condition and Performance for Critical Reciprocating Compressors /

Proceedings of the 30th Turbomachinery Symposium. Texas A&M University. Houston. TX. 2001.

12. Hala R. Is Rod Drop the Right Measurement for My Reciprocating Compressor / General Electric Company. GER-4274. 2006.

13. Howard B. How Piston Rod Vibration Signaled a Reciprocating Compressor Problem // USA: Bently Nevada Corporation. Orbit. 2001. 3st Quarter. Pp.11-17.

14. Howard B. Rod drop getting it right // USA: Bently Nevada Corporation. Orbit. 2004. 1st Quarter. Pp. 55-60.

15. Impact Monitoring Application Note. "Metrix Instrument Co". Houston.Texas. Url: http://www.metrix1.com/docs/Impact% 20Monitoring %20 App%20 Note.pdf (**дата обращения 15.01.2009**).

16. Leonard L. The value of piston rod vibration measurement in reciprocating compressors // USA: Bently Nevada Corporation. Orbit.1996. June. Pp. 17-19.

17. Leonard S.M. Increasing the reliability of reciprocating compressors on hydrogen services / National Petroleum refiners association Maintenance Conference. New Orleans. LA. 1997.

18. Protect Your Reciprocating Compressors: Presentation "Metrix Instrument Co". Houston. Texas. 2004. April. URL: www.metrix1.com (**дата обращения 15.01.2009**).

19. Reciprocating Compressors. Field Application Note. Reliability Direct, Inc. Url: http://www.reliabilitydirect.com/appnotes/recipapp.html (**дата обращения 14.01.2009**).

20. Reciprocating Compressors. STI Field Application Note. Url: http://www.stiweb.com/appnotes/recipapp.htm (**дата обращения 15.01.2009**).

21. Schultheis Steven M. Rider band wear measurement in reciprocating compressors // USA: Bently Nevada Corporation. Orbit. 1995. December. Pp.12-14.

22. Schultheis Steven M. Vibration analysis of reciprocating compressors // USA: Bently Nevada Corporation. Orbit. 1996. June. Pp. 7-9.

23. Silcock D. Reciprocating compressor instrumented for machinery management // USA: Bently Nevada Corporation. Orbit. 1996. June. Pp. 10-12.

24. Smith T. Quantum Chemical uses reciprocating compressor monitor to improve reliability // USA: Bently Nevada Corporation. Orbit. 1996. June. Pp. 13-16.

25. Steinkamp Ch. Condition monitoring for reciprocating compressors state of the art. Prognost Systems, 2008.

26. Steven M. Schultheis, Charles A. Lickteig, Robert Parchewsky. Reciprocating compressor condition monitoring // Proceedings of the Thirty-Sixth Turbomachinery Symposium. Texas A&M University. College Station. TX. 2007. September. Pp. 107-113.

27. Автоматизированная система измерений, накопления и обработки данных при испытаниях поршневых компрессоров

/П.И.Пластинин, Т.С.Дегтярева, В.А.Светлов, А.В.Сячинов // Компрессорная техника и пневматика. 1997. № 3-4 (16-17). С. 12-14.

28. Гриб В.В. (МАДИ (ТУ), Соколова А.Г. (ИМАШ РАН), Еранов А.П. (ЗАО "НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа"), Давыдов В.М., Жуков Р.В. (ООО НПП "Механик") Анализ современных методов диагностирования компрессорного оборудования нефтегазохимических производств // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2002. №10. С. 57-65

29. Гриб В.В., Жуков Р.В. Анализ виброакустических характеристик поршневых компрессоров // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2001. №1.

30. Гриб В.В., Жуков Р.В. Особенности спектральной вибродиагностики поршневых компрессорных машин // Компрессорная техника и пневматика. 2001. № 8. С.30-32.

31. Костюков В.Н. Мониторинг безопасности производства. М.: Машиностроение. 2002. 224с.

32. Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Костюков А.В. Автоматизированные системы управления безопасной ресурсо-сберегающей эксплуатацией оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств (АСУ БЭР - КОМПАКС®): под ред. В.Н.Костюкова. М.: Машиностроение. 1999. 163 с.

33. Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Науменко А.П. Способ вибродиагностики технического состояния поршневых машин по спектральным инвариантам. Патент на изобретение RU 2 337 341 C1. Опубликован 27.10.2008. Бюллетень № 30.

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

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

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

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

38. 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.

39. 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

40. Рябцев А.Н. Решения фирмы «Хёрбигер» для поршневых компрессоров при производстве сжатых газов // Компрессорная техника и пневматика. 2002. № 7. С. 16-18.

41. 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.

42.Франчик С. Система мониторинга и анализа работы клапанов поршневых компрессоров // Компрессорная техника и пневматика. 2005. № 5. С.4-6

УДК 621.317.362

И.И. Семёнов, к.т.н., доцент

Н.Д. Шелковников, к. т. н., доцент

Омский государственный технический университет, г. Омск

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ПРЕДНАМЕРЕННЫХ ПОМЕХ

В докладе обосновывается целесообразность применения в радиорелейных линиях связи последовательных многопозиционных сигналов ПМЧ. Показано, что использование этих широкополосных сигналов с основанием кода $M > 2$ позволяет повысить скрытность, помехозащищённость и скорость передачи информации.

Наряду с мощными помехами случайного характера, решающим фактором, влияющим на помехоустойчивость радиорелейных линий радиосвязи, являются помехи, специально организованные для подавления этих радиосетей. Такая помеховая обстановка требует, в отличие от существующих методов приёма сообщений, специального подхода к вопросу помехозащиты. До сих пор считается очевидным, что чем уже полоса частот сигнала, используемая для радиосвязи, тем свободнее от помех выделенный канал связи и тем надёжнее осуществляется передача сообщений. Однако, рядом учёных ни без основания, выдвинуто предположение, что путём искусственного расширения полосы частот, занятой сигналом, можно обеспечить более высокую надёжность связи. Это предположение нашло своё практическое подтверждение в кругах многих исследователей, широко использующие широкополосные сигналы (ШПС). Проведённые теоретические и практические исследования показали, что использование ШПС позволяет осуществлять приём и обработку сигналов радиорелейных линий связи при отношении их средней мощности к средней мощности шума меньше единицы. Т.е. сигнал при его наблюдении не обнаруживается, поскольку он оказывается «погружённым» под уровнем помех. Данное обстоятельство реализуется выбо-

МАТЕРИАЛЫ

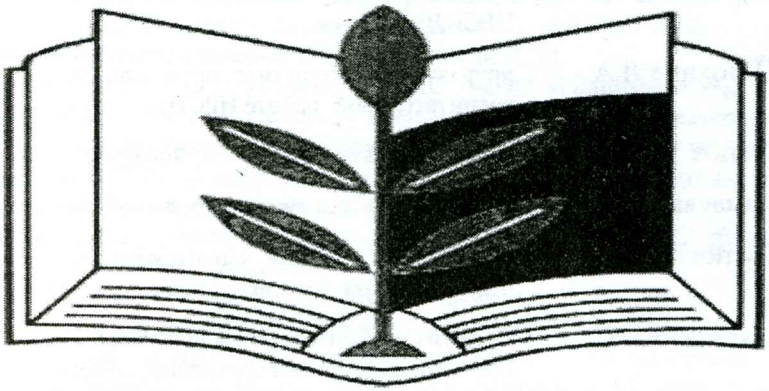
РЕГИОНАЛЬНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

НАУКА, ОБРАЗОВАНИЕ, БИЗНЕС

ученых, преподавателей, аспирантов, студентов, специалистов промышленности и связи, посвященной Дню радио

Омск – 2009

Международная академия наук высшей школы
НОУ ВПО Институт радиоэлектроники, сервиса и диагностики
ООО «Научно-производственный центр «Динамика»
ОАО «Омское производственное объединение
«Радиозавод им. А.С.Попова» (РЕЛЕРО)
Омское региональное отделение общероссийской общественной организации РОНКТД
НОУ ВПО Сибирский институт бизнеса и информационных технологий
Кафедра «Радиотехнические устройства и системы диагностики» ОмГТУ
Омский институт (филиал) российского государственного торгово-экономического университета (РГЕЭУ)
ФГУП ОмПО «Иртыш»



МАТЕРИАЛЫ
РЕГИОНАЛЬНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
НАУКА, ОБРАЗОВАНИЕ, БИЗНЕС

ученых, преподавателей, аспирантов, студентов,
специалистов промышленности и связи,
посвященной Дню радио

Омск – 2009

УДК 338.45:371.214:621.396
Наука, образование, бизнес: Материалы региональной научно-практической конференции ученых, преподавателей, аспирантов, студентов, специалистов промышленности и связи, посвященной Дню радио. - Омск: Полиграфический центр КАН, 2009. – 348 с.

Тезисы и доклады конференции печатаются в редакции авторов.

Организационный комитет:

Председатель:
Вешкурцев Ю.М. – д.т.н., профессор, академик МАН ВШ

Заместители председателя:
Лендикрей В.В. – председатель Совета Учредителей ИРСИД

Калачев А.И. – ректор СИБИТ

Члены оргкомитета:
Коротков П.И. - проректор по научной и учебной работе ИРСИД;

Шатохина Л.А. - проректор по статистике, организационной и воспитательной работе ИРСИД;

Ельцов А.К. - декан факультета телекоммуникаций;

Мамаева Г.Г. - декан факультета гуманитарного образования;

Костюков В.Н. - заведующий кафедры «Диагностика и промышленная безопасность»;

Буковский Б.С. - заместитель Генерального директора ОАО «Омское производственное объединение Радиозавод им. А.С.Попова»» (РЕЛЕРО) по развитию;

Худякова О.Д. заместитель директора РГЕЭУ по научно-методической работе;

Босакевич О.М. заместитель генерального директора по управлению персоналом ФГУП ОмПО «Иртыш».

© Институт радиоэлектроники, сервиса и диагностики, 2009

В.А.Беличенко, Г.Г.Мамаева
НАПРАВЛЕНИЯ УЛУЧШЕНИЯ РАБОТЫ СЛУЖБЫ ПЕРСОНАЛА
В ОАО ОмПО «Радиозавод им. А.С. Попова» (РЕЛЕРО) 84

А.А. Рябцева, Г.Г. Мамаева
РОЛЬ ГУМАНИЗАЦИИ ТРУДА В РАЗВИТИИ ПРОИЗВОДСТВА 85

М.Ю.Савельева, Л.А.Шатохина
УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ ГАЛЬВАНО-МАЛЯРНОГО ЦЕХА
ОАО ОмПО «Радиозавод им. А.С.Попова» (РЕЛЕРО) 87

Р.А.Афанасьева
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСНОВНЫХ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФОНДОВ ОАО «Сибирьтелеком» 89

Л.В. Тузова, Р.А. Афанасьева
ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ В ПОДРАЗДЕЛЕНИИ
Омского филиала ОАО «Сибирьтелеком» СП «Телекомсервис» 91

Т.В.Маврина, Р.А. Афанасьева
АНАЛИЗ ФИНАНСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ Омского филиала
«ОАО Сибирьтелеком» 92

О.П. Матвейчук, Л.А. Шатохина
УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ СБОРОЧНО-МОНТАЖНОГО
ПРОИЗВОДСТВА ОАО ОмПО «Радиозавод им А.С. Попова» (РЕЛЕРО) 94

Секция № 4 «*Новые результаты фундаментальной и прикладной науки*»

Подсекция 1 *«Результаты научных исследований»*

В.Н.Костюков
МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ 96

А.П. Науменко
АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА
СОСТОЯНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ 107

И.И. Семёнов, Н.Д. Шелковников
МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ПРЕДНАМЕРЕННЫХ ПОМЕХ 118

П.И. Коротков
ОБЛАСТЬ ОДНОЗНАЧНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ДЛЯ МНОГОКАНАЛЬНОЙ
ФАЗОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ 123

Л. А. Шпрангель
АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ ЛИТЬЯ 134