

Нормативно-методическое обеспечение мониторинга технического состояния поршневых компрессоров

Приведены результаты многолетнего опыта диагностики и мониторинга технического состояния поршневых компрессоров. На основе полученных данных разработаны принципы и методическое обеспечение по сбору и анализу данных в целях определения нормативных величин измеряемых параметров, позволяющих осуществлять мониторинг технического состояния поршневых компрессоров. Приведены некоторые результаты по способам измерения, сбора данных и диагностики компрессоров, а также о схемах обработки данных и некоторые нормативные значения.

The results of long-term experience of reciprocating compressors technical state diagnostics and monitoring are given in this article. On the basis of obtained data principles and methodical providing concerning to data acquisition and analysis for the purpose of determination of measured parameters standard value are developed. They allow to realize condition monitoring of reciprocating compressors. Some results of measurement, data acquisition and compressors diagnostics methods and also information concerning to data processing schemes and some standard values are presented.

Минимизация техногенных потерь, в том числе экологических и экономических, от аварий оборудования и технологических линий, а также затрат на ремонты вследствие внезапных отказов машинного оборудования является одной из главных целей внедрения систем мониторинга технического состояния оборудования.

Для обеспечения функционирования систем мониторинга технического состояния поршневых компрессоров (ПК), используемых, в частности, в нефтехимическом комплексе, отсутствует необходимая нормативно-методическая база. С другой стороны, ПБ 03-582-03 [1] ставят задачу обеспечения мониторинга состояния ПК и предусматривают соответствующие возможности и организационно-технические мероприятия.

В связи с отсутствием в нормативно-технической документации понятия "мониторинг технического состояния" для исключения разночтений необходимо определиться с терминологией. В данном случае [2] под **мониторингом технического состояния агрегата** (мониторингом агрегата) понимается наблюдение за техническим состоянием агрегата (конструкции, машины, узла, механизма) путем его диагностирования на примыкающих интервалах времени для определения и предсказания момента перехода в предельное состояние. Результат мониторинга агрегата представляет собой совокупность диагнозов составляющих его субъектов (конструкций, машин, узлов, механизмов), получаемых на неразрывно примыкающих друг к другу интервалах времени, в течение которых состояние агрегата существенно не изменяется. Принципиальным отличием мониторинга состояния от мониторинга параметров является наличие интерпретатора результатов измерения диагностических признаков в терминах технического состояния (эксперт-

ной системы поддержки принятия решения о состоянии объекта и дальнейшем управлении), отражающих наличие дефектов, входящих в соответствующие классы [3, 4].

Одной из проблем мониторинга состояния машинного оборудования является выбор контролируемых параметров и мест установки датчиков. Анализ циклограмм работы ПК [7, 8] и опыт вибродиагностирования поршневых машин [9, 10] позволили выявить наиболее информативные точки для получения вибрационных сигналов. В частности, для машин горизонтального типа определены места установки вибродатчиков, приведенные на рис. 1.

Широкие возможности стационарных систем мониторинга состояния оборудования "КОМПАКС" [3, 14], с помощью которых диагностируется машинное оборудо-

вание нефтехимических комплексов, в том числе поршневых компрессоров по сбору и обработке измеренных данных, а также анализ ремонтной и эксплуатационной документации на поршневые компрессоры, позволили накопить достаточный

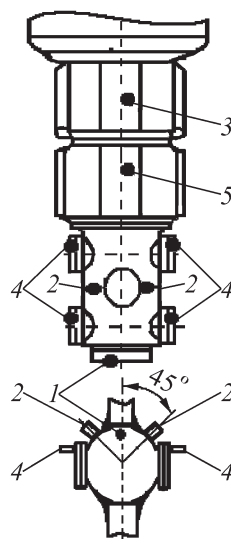


Рис. 1. Схема расположения вибродатчиков на цилиндре ПК:

1 – осевое направление поршня (ОНП); 2 – радиальное направление поршня (РНП); 3 – вертикальное направление крейцкопфа (КРЦ); 4 – клапан; 5 – вертикальное направление штока (шток)

объем информации для подготовки нормативно-методической базы, обеспечивающей мониторинг технического состояния ПК [11–13].

По разработанным на основе полученной информации моделям и закономерностям формирования и развития виброакустических и других процессов, сопровождающих и характеризующих работу ПК, проведено их нормирование для установления условных границ, разделяющих состояния ПК.

Приняты три основные условные границы и градации рекомендаций, определяющие конкретные действия персонала:

✓ **ДОПУСТИМО (Д)** – допускается длительная практически без ограничений эксплуатация компрессора;

✓ **ТРЕБУЕТ ПРИНЯТИЯ МЕР (ТПМ)** – техническое состояние компрессора требует принятия мер по предотвращению ухудшения его состояния путем выполнения указаний экспертной системы поддержки принятия решений;

✓ **НЕДОПУСТИМО (НДП)** – техническое состояние компрессора не допускает его дальнейшую эксплуатацию, и необходимо либо остановить компрессор и на-

чать ремонт, либо оперативно выполнить действия по кардинальному улучшению его состояния.

В основе методики нормирования вибропараметров машин лежит экспериментально установленный факт [2], что при нормальном функционировании параметры вибрации различных машин лежат ниже некоторых значений, которые можно использовать в качестве границ.

В качестве примера на рис. 2 приведены типовые временные реализации сигналов, которые отражают исправное и неисправное состояния коренных подшипников скольжения поршневых компрессоров соответственно. Статистический анализ параметров вибросигналов позволил построить гистограммы распределений пиковых амплитуд, которые отражают состояние подшипников (рис. 3).

Аналогично можно построить условные границы, разделяющие состояния ПК по классам дефектов (рис. 4), условное обозначение которых приведено на рис. 1.

Учитывая возвратно-поступательный характер движения основных узлов машин, для выделения диагностических признаков используется временная селекция сигналов, полезность и эффективность которой подтверждена на практике [13]. Для выделения сигнала в опреде-

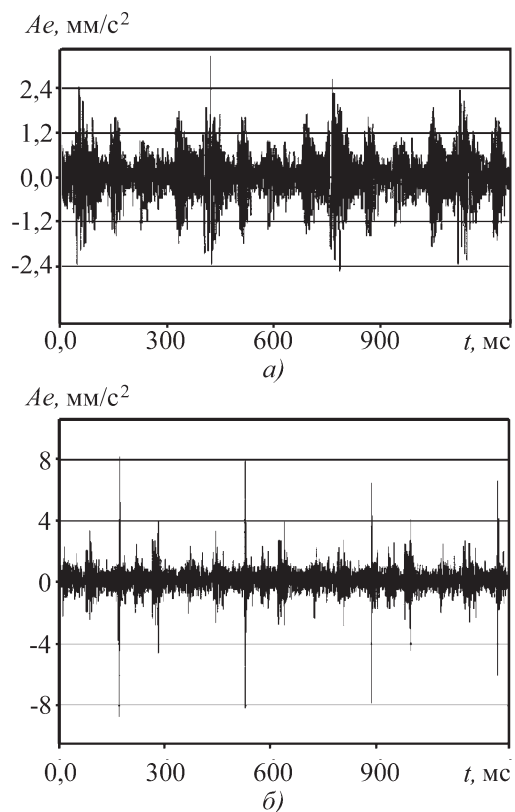


Рис. 2. Типовые временные реализации сигналов, отражающие состояние коренных подшипников скольжения поршневых компрессоров: *а* – исправное состояние; *б* – неисправное состояние; *Ae* – среднее квадратичное значение виброускорения

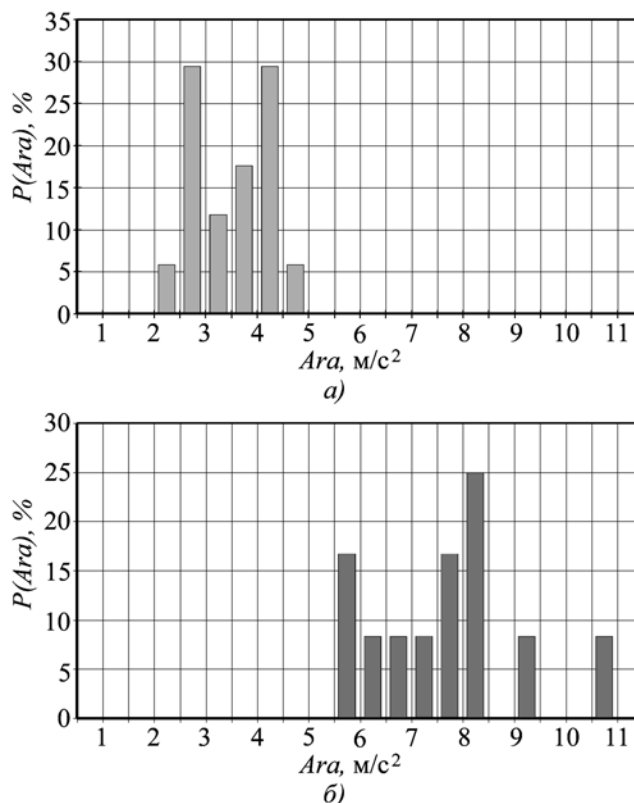


Рис. 3. Гистограмма амплитуд вибросигнала с узла компрессора: *а* – исправного узла; *б* – узла, дальнейшая эксплуатация которого опасна; *Ara* – амплитудное значение виброускорения в радиальном направлении измерений

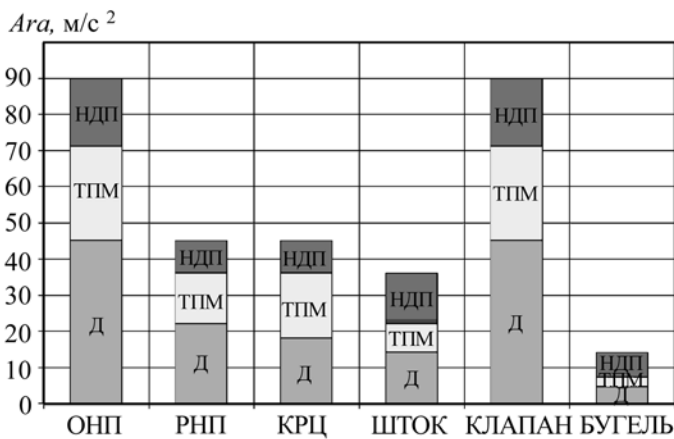


Рис. 4. Нормы пикового уровня виброускорения

ленные моменты времени используют датчик угла поворота вала, сигнал с которого обычно приходит в момент нахождения одного из поршней в верхней или нижней мертвой точке. Одним из авторов еще в 1972 г. разработаны принципы диагностирования машин циклического действия на основе методов диагностики дефектов компрессора по циклограмме его работы со стохастическим усреднением результатов в различных частотных полосах, защищенные авторскими свидетельствами и патентами [5, 6]. Был создан и внедрен комплекс аппаратуры "ПАРК-1" [3], который использовался на станции обкатки и испытаний компрессоров ДХ2-1010 в серийном производстве, обеспечивающем выпуск до одного миллиона компрессоров в год. Комплекс обеспечивал диагностирование таких производственных дефектов компрессоров, как повышенный вылет поршня, дефекты

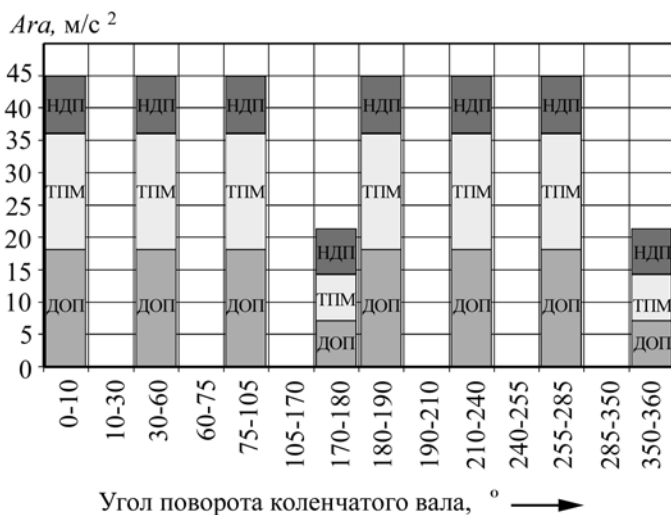


Рис. 5. Нормы вибропараметра в зависимости от угла поворота в радиальном направлении поршня (РНП) (во временной реализации присутствовали амплитуды, величины которых не попали в заданные интервалы, например, это могли быть случайные выбросы, которые превышали заданные значения интервалов амплитуд)

всасывающего и нагнетательного клапанов, эксцентриситет ротора и др.

Анализ значений измеренных параметров вибрации по углу поворота вала, т.е. частотно-временная селекция сигналов, позволяет увеличить точность постановки диагноза. Разработанные нормы и предельные значения вибропараметров (рис. 5) надежно определяют состояние ПК, что подтверждено многолетней эксплуатацией систем и применением нормативов на различных предприятиях страны [13–15]. Эти нормы также имеют градации Д, ТПМ и НДП. Частотно-временная селекция сигналов и синхронная обработка существенно помогают обнаружить фундаментальные причины отказов и неисправностей.

Одним из важнейших положений нормативно-методической базы мониторинга ПК является сохранение измеряемых данных в виде трендов параметров или диагностических признаков. Опыт показывает, что наиболее оптимальным с точки зрения контроля изменения состояния являются тренды в масштабах времени: 12 ч, 4 сут, 40 сут, 1 год и 9 лет. При этом необходим анализ скорости изменения трендов, абсолютные значения которых должны быть нормированы для различных параметров сигналов и диагностических признаков, и выдавать соответствующие предписания персоналу [2].

Определение текущего состояния объекта мониторинга является главной задачей теории и практики распознавания образов. В настоящее время база образов, соответствующих конкретным техническим состояниям поршневой машины, создается на основе практического опыта диагностирования неисправностей поршневых машин [7–10]. Предпосылками для разработки методов и методик диагностирования является достаточно большой опыт постановки диагнозов ротационного оборудования. Выделение огибающей вибросигнала с датчиков, установленных в различных точках компрессора, позволяет наглядно представлять процессы, происходящие в компрессоре. Особенно эффективно огибающая вибросигнала работает при ее синхронизации с угловым положением коленчатого вала [13, 15]. Для выделения огибающей используются специально разработанные алгоритмы, позволяющие получать сигнал, несущий максимально возможную информацию о состоянии узлов и деталей компрессора [5, 6].

На основе накопленного опыта по мониторингу состояния поршневых компрессоров в нефтехимическом комплексе с помощью стационарных систем "КОМ-ПАКС" разрабатывают нормативно-методическую базу для обеспечения мониторинга состояния поршневых компрессоров и сокращения издержек производства в виде ресурсосберегающей эксплуатации оборудования. Это позволяет предотвращать неожиданные отказы оборудования и остановки производства, непрерывно в автоматическом режиме получать и использовать объективную информацию о техническом состоянии оборудования, контролировать и корректировать действия



персонала в реальном времени путем интегрирования информации систем в единой диагностической сети Comracs-Net® с единой базой данных параметров мониторинга на неразрывно примыкающих друг к другу интервалах времени, в течение которых состояние оборудования существенно не изменяется. Все это обеспечивает безопасную ресурсосберегающую эксплуатацию оборудования непрерывных производств по фактическому техническому состоянию.

ЛИТЕРАТУРА

1. **ПБ 03-582–03.** Правила устройства и безопасной эксплуатации компрессорных установок с поршневыми компрессорами, работающими на взрывоопасных и вредных газах. Утверждены Постановлением Госгортехнадзора России от 05.06.2003 № 61.
2. **Костюков В.Н.** Мониторинг безопасности производства. М.: Машиностроение, 2002. 224 с.
3. **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.
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. **А.с. 783621 СССР, МКИ G 01 M 15/00.** Устройство для диагностики циклических механизмов / В.Н. Костюков, С.А. Морозов, Г.Я. Зименс // Оpubл. 30.11.80; Бюл. № 44.
6. **Пат. 1280961 РФ, МКИ F 04 B 51/00, G01M13/02.** Способ виброакустической диагностики машин периодического действия и устройство для его осуществления / В.Н. Костюков // Открытия. Изобретения. 1986. № 48.
7. **Костюков В.Н., Науменко А.П.** Опыт вибродиагностики поршневых машин // Двигатель-97: Мат. МНТК. М.: Изд-во МГТУ, 1997. С. 73.
8. **Костюков В.Н., Науменко А.П.** Мониторинг состояния поршневых компрессоров // Потребители-производители компрессоров и компрессорного оборудования: тр. III Междунар. симпозиума. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. С. 254–256.
9. **Костюков В.Н., Науменко А.П.** Виброакустическая диагностика поршневых машин крейцкопфного типа // Мат. III МНТК "Динамика систем, механизмов и машин". Омск, 1999. С. 207.
10. **Костюков В.Н., Науменко А.П.** Безразборная диагностика состояния поршневых машин // Неразрушающий контроль и диагностика: тез. докл. 15-й Рос. науч.-техн. конф. Т. 1. М.: РОНКТД, 1999. С. 296.
11. **Костюков В.Н.** Нормирование параметров вибрации при диагностике поршневых компрессоров // Потребители-производители компрессоров и компрессорного оборудования: тр. VII Междунар. симпозиума. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. С. 90–93.
12. **Костюков В.Н., Науменко А.П.** Вибродиагностика поршневых компрессоров // Компрессорная техника и пневматика. 2002. № 3. С. 30–31.
13. **Дуросов В.М., Костюков В.Н., Науменко А.П., Пидсадный А.С.** Мониторинг технического состояния поршневых компрессоров // Компрессорная техника и пневматика. 2004. № 6. С. 6–12.
14. **Система автоматического мониторинга состояния поршневых и центробежных компрессоров "КОМПАКС" / В.М. Дуросов, А.Ф. Коренякин, В.Н. Костюков и др.** // Потребители-производители компрессоров и компрессорного оборудования 2004: тр. X Междунар. симпозиума. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2004. С. 154–164.
15. **Востриков И.Ю., Заруденский А.А., Львов О.С., Костюков В.Н., Науменко А.П., Павленко Б.А.** Мониторинг неисправностей клапанов поршневых компрессоров // Химическая техника. 2004. № 9. С. 17–19.

