

А. А. Стеценко, гл. научный сотрудник (ООО «НТЦ «Диагностика»), г. Сумы, Украина

Обеспечение безопасности и надежности оборудования повышенной опасности

Рассмотрены основные положения концепции обеспечения безопасной и надежной эксплуатации технологического оборудования повышенной опасности. Предложен метод вибродиагностики машин по изменению интенсивности основных виброакустических источников и показателей режима работы. Дано описание системы вибрационного мониторинга и диагностики машин и оборудования, ее технических и программных средств, уровней контроля и оценки технического состояния. Даны рекомендации по совершенствованию существующих систем вибрационного мониторинга технологического оборудования предприятий. Приведены сведения о внедрении системы и апробации метода для оценки технического состояния компрессорного, насосного и газоперекачивающего оборудования, технологических трубопроводов и паровых турбин.

Ключевые слова: безопасность, надежность, вибрационный мониторинг, диагностика, машина, оборудование, система, программа.

Розглянуті основні положення концепції забезпечення безпечної та надійної експлуатації технологічного устаткування підвищеної небезпеки. Запропоновано метод вібродіагностики машин за показником зміни інтенсивності основних віброакустичних джерел і показників режиму роботи. Наведено опис системи вібраційного моніторингу і діагностики машин і устаткування, її технічних і програмних засобів, рівнів контролю та оцінювання оцінки технічного стану. Запропоновано рекомендації щодо вдосконалення існуючих систем вібраційного моніторингу технологічного устаткування підприємств. Приведені відомості стосовно впровадження системи й апробації методу для оцінювання технічного стану компресорного, насосного та газоперекачуючого устаткування, технологічних трубопроводів і парових турбін.

Ключові слова: безпека, надійність, вібраційний моніторинг, діагностика, машина, устаткування, система, програма.

The substantive provisions of conception of providing of safe and reliable exploitation of technological equipment of enhanceable danger are considered. The method of vibrodiagnostics of machines is offered on the change of intensity of basic vibroacoustic sources and indexes of office hours. Description of the system of the oscillation monitoring and diagnostics of machines and equipment, its technical and programmatic equipments, levels of control and estimation of the technical state is given. Recommendations on perfection of the existent systems of the oscillation monitoring of technological equipment of enterprises are given. The information about introduction of the system and approbation of method for the estimation of the technical state of compressor, pumping and gas-pumping equipment, technological pipelines and steam turbine is given.

Keywords: safety, reliability, vibrodiagnostics of machines, diagnostics, machine, equipment, system, program.

Промышленные машины (компрессоры, насосы, паровые и газовые турбины, газоперекачивающее установли и др. оборудование) являются объектами повышенной опасности. Качество их разработки, изготовления и монтажа на местах постоянной эксплуатации, а также техническое состояние их составных частей и режим эксплуатации оказывает существенное влияние на безопасность и риски опасных производств химической, нефтегазодобывающей, нефтегазоперерабатывающей и металлургической промышленности, электростанций, магистральных газопроводов, нефтепроводов, аммиакопроводов и др. Обеспе-

чение безопасности оборудования, декларирование его безопасности и страхование риска – основные мероприятия по регулированию безопасности и предотвращению аварий [1–5].

Надежность и безопасность изделий машиностроения на всех этапах их жизненного цикла являются аспектами качества продукции, которые характеризуют ее способность удовлетворять установленным и предполагаемым требованиям. Требования общества составляют обязательства, вытекающие из кодексов, законов, технических регламентов, стандартов, инструкций, правил и других соображений относительно обеспечения качества изделий. Они стано-

вятся все более жесткими и более определенными.

Следует отметить следующие **аспекты качества продукции:**

а) определение требований к продукции и приведение их к современному уровню;

б) разработка продукции, характеристики которой позволяют отвечать требованиям и возможностям рынка и иметь необходимую для потребителя ценность;

в) обеспечение производства качественной продукции (соблюдение требований, заложенных разработчиком при проектировании изделий);

г) обеспечение технического обслуживания изделий в процессе их эксплуатации для поддержания тре-

буемого уровня надежности и безопасности.

Показатели надежности и безопасности промышленных машин устанавливают при их проектировании, обеспечивают при изготовлении и ремонте, контролируют при эксплуатации.

Разработчики и изготовители отвечают за показатели безопасности и надежности продукции – составных частей промышленных машин, которые они декларируют, на всех этапах ее жизненного цикла.

Потребитель отвечает за:

- безопасную эксплуатацию объектов контроля, а также за несчастные случаи на производстве;
- соблюдение требований технологического регламента производства и правил эксплуатации объектов контроля;
- техническое состояние объектов.

Для подтверждения качества продукции используются модули оценки соответствия продукции требованиям технических регламентов и действующим нормативным документам Украины, которые добровольно использует изготовитель для подтверждения декларируемых показателей назначения и безопасности машиностроительной продукции [6]. Для потребителя требования этих документов являются обязательными при подтверждении соответствия безопасности машин при их эксплуатации и после их ремонта. Рекомендуются обеспечивать качество продукции, имеющую, как минимум, модули В и С, предпочтительно модули С и Е.

Оценка технического состояния объектов на местах их эксплуатации представляет комплексную задачу. Ее необходимо решать по результатам вибрационных и прочностных обследований их составных частей, аттестации рабочих мест по безопасности и анализа обеспечения основных показателей назначения и надежности. Отказ составных частей оборудования при эксплуатации может привести к ускоренному износу и разрушению деталей и узлов других его составных частей, к выбросу деталей и взрывоопасных веществ, к поражению обслуживающего персонала

высоконапорной струей жидкости или газа, загрязнению окружающей среды, к отрыву составной части от фундамента, к пожару и взрыву на объекте повышенной опасности (ОПО).

Техническое состояние объекта контроля характеризуется с помощью его показателей в целом, а также надежности составляющих его агрегатов, узлов и систем. Оценить показатели надежности можно с помощью теории надежности. Выводы этой теории имеют статистический характер, т. е. значимы лишь с определенной вероятностью. Показатели технического состояния машин и отдельных агрегатов, узлов и деталей в течение срока эксплуатации изменяются от номинальных значений, соответствующих техническим условиям на новую машину, до предельно допускаемых значений. Анализ показателей надежности проводится по ДСТУ 2861 и др. гармонизированным стандартам Украины [2, 7, 8].

Изменение технического состояния деталей, узлов и агрегатов машин в процессе их эксплуатации зависит от большого числа эксплуатационных, конструктивных и технологических факторов, для учета которых применяются различные методы диагностирования и прогнозирования остаточного ресурса.

Поиск путей повышения эффективности эксплуатации, безопасности и надежности оборудования ведется по многим направлениям, и одно из них – внедрение методов вибрационного мониторинга и диагностики, организация технического обслуживания и ремонта по техническому состоянию. Эффективный контроль готовой продукции закрывает доступ к потребителям недоброкачественных изделий, а внедрение в эксплуатацию средств, позволяющих определять достаточно быстро и точно техническое состояние составных частей машин, дает возможность принимать оперативно правильные решения о сроках и содержании профилактических операций и ремонта. При организации ремонта оборудования в сжатые сроки руководителям предприятия нужна информация о фактическом состоянии оборудования. Они должны сво-

евременно заказать запасные части и в первую очередь ремонтировать составные части оборудования, которые имеют наибольший износ и опасные неисправности [3, 9].

Задачи определения технического состояния объекта:

а) **контроль состояния** – определение его технического состояния, в котором он находится в настоящий момент времени (процесс сбора и обработки информации с целью определения событий). Если событием является факт достижения некоторым параметром объекта определенного заданного значения, то это рассматривается как **контроль параметров**. Если фиксируемым событием является установление факта пребывания объекта в исправном или неисправном, работоспособном или неработоспособном состоянии, или состоянии правильного или неправильного функционирования, то это можно рассматривать как **контроль технического состояния** объекта;

б) **диагностирование** – определение причин изменения его технического состояния с установленной глубиной диагноза, выраженной в конструктивных единицах, показателях назначения, критериях отката и предельного состояния;

в) **прогнозирование** – предсказание технического состояния, в котором окажется объект в некоторый будущий момент времени;

г) **генез** – определение технического состояния, в котором находился объект в некоторый момент времени в прошлом.

При оценке безопасности оборудования нужно анализировать основные причины и факторы риска, определять вероятность их возникновения. Безопасность эксплуатации в пределах назначенного ресурса машин контролируют опытом эксплуатации всего парка оборудования. Особое внимание необходимо уделять оборудованию, которое максимально опережает по наработке остальной парк и работает при больших динамических и статических нагрузках. Для этих объектов необходимо применять самые прогрессивные методы технической диагностики, которые проводят с целью оценки технического состояния отдельно взятой выборки из всего парка, что позволяет увели-

чивать их ресурс, лимитируемый остаточной прочностью и износом незаменимых при капитальных ремонтах ответственных деталей и узлов.

Обязательное диагностирование технологического оборудования необходимо проводить:

- при вводе оборудования в эксплуатацию после его приобретения или проведения капитального ремонта;
- при отсутствии паспорта на оборудование;
- при выработке установленно-го разработчиком расчетного срока службы оборудования;
- при эксплуатации оборудования, когда имели место нарушения его регламентированного режима работы или воздействия опасных факторов;
- при изменении конструкции.

Назначенный ресурс для ремонтнопригодных составных частей машин последовательно (по этапам) увеличивают по мере выработки начального или очередного назначенного ресурса на основании:

- а) уточнения характера и условий эксплуатации парка однотипного оборудования;
- б) накопления статистики и анализа характера отказов оборудования, уточнения критериев отказа и предельного состояния, а также перечня опасных и вредных факторов для здоровья и жизни людей;
- в) результатов периодического контроля технического состояния составных частей оборудования по вибрационным характеристикам и основным показателям режима их работы;
- г) результатов контроля прочности основных деталей;
- д) своевременной замены изношенных деталей, имеющих предельное состояние;
- е) устранения причин отказов;
- з) обработки составных частей оборудования по катастрофическим отказам.

Остаточный ресурс оборудования определяют на основании анализа условий эксплуатации, результатов технического диагностирования и критериев предельного состояния. Когда остаточный ресурс определяют на основании рассмотрения нескольких критериев

предельного состояния, то остаточный ресурс назначают по тому критерию, который определяет минимальный срок остаточного ресурса.

Критерии отказов и предельных состояний составляют из числа контролируемых (органолептическими, экспериментально-расчетными методами или с помощью технических средств диагностики) признаков неработоспособности или предельного состояния изделия машиностроения.

Для каждого показателя надежности и безопасности конкретного объекта контроля нужно уточнить номенклатуру показателей его качества. Определить перечень возможных отказов составных частей объекта и составить перечень основных требований, исключить зависимые и непригодные требования для контроля.

Для обеспечения безопасной эксплуатации объекта (с минимально допустимым риском) необходимо определить:

- контролируются ли требования средствами системы управления и контроля;
- контролируются ли требования вспомогательными средствами диагностики;
- целесообразно ли устанавливать на объект дополнительные средства контроля и защиты;
- целесообразно ли проводить дополнительный периодический контроль требований;
- возможен ли контроль экспериментально-расчетными методами и установка признаков для этого контроля;
- возможен ли контроль органолептическими методами и установка признаков для этого контроля во время эксплуатации, технического обслуживания, изготовления или ремонта изделия машиностроения.

После этого необходимо составить окончательный перечень критериев отказа и предельного состояния. Определить допустимые и предельные значения показателей изделия, которые контролируются во время его изготовления, монтажа, эксплуатации, технического обслуживания, ремонте и утилизации, а также метод контроля и мероприятия

по безопасному устранению неисправностей.

Есть три уровня барьеров защиты оборудования от опасностей [1]. Вначале необходимо обеспечить как минимум 1-й уровень защиты оборудования, который обусловлен:

- качеством проектной документации и его производством; надежностью и износом оборудования;
- эффективностью контроля технического состояния объекта;
- уровнем квалификации и подготовки задействованного на производстве персонала (разработка и изготовление объекта с минимально возможной опасностью, возможностью поддержки нормальной эксплуатации, своевременным выявлением отказов и проведением необходимых регламентных и ремонтных работ). Остальные уровни целесообразно внедрять при необходимости снизить риски при потенциальных авариях технологического оборудования.

Риск – функция нескольких комплексных величин (изменений состояния ОПО) [10]:

X_1 – изменение с учетом всех вероятных сценариев аварии для всех режимов работы;

X_2 – изменение с учетом всех возможных случаев природного характера и др.;

X_3 – изменение с учетом текущего состояния основного оборудования;

X_4 – изменение с учетом типа защитного оборудования и его текущего состояния;

X_5 – изменение с учетом обучения персонала;

X_6 – изменение с учетом природно-климатических условий.

Изменения X_3 и X_4 являются основными для определения рисков ОПО и его безопасности. Если значения этих изменений будут определяться по результатам диагностирования, то можно оценивать изменения риска. Все остальные изменения ОПО исследуются и анализируются на этапе декларации безопасности оборудования, а также декларации ОПО в целом и проверяются через 5 лет. Риск за это время может существенно измениться. При проведении мониторинга изменений X_3 и X_4 можно определять текущие значения риска

с помощью математической модели ОПО, которая должна объединять методы вероятно- структурного моделирования и методы технической диагностики. При оценке текущего технического состояния объекта контроля необходимо анализировать его показатели режима работы (изменение X_1). Режим работы может оказать больше влияния на значения информативных диагностических показателей, чем изменение структурных параметров объекта контроля, а также на скорость их изменения.

Технические средства систем мониторинга и диагностики подразделяются на:

- виброметры – для контроля общих значений параметров вибрации в стандартных частотных диапазонах;
- анализаторы вибрации – для проведения оперативного анализа на месте эксплуатации объекта контроля;
- сборщики данных – для проведения оперативного анализа на месте эксплуатации объекта контроля и обработки данных в лаборатории;
- регистраторы сигналов – электронные накопители, которые позволяют один раз зарегистрировать одновременно в нескольких точках контроля сигнал датчика и перенести объект контроля в лабораторию для исследований (многократная обработка записей и анализ результатов);
- штатные средства (станционные) – для обеспечения непрерывного контроля и регистрации параметров его вибрации и показателей режима работы на электронных носителях информации.

Программные средства систем мониторинга и диагностики подразделяются [11, 12]:

1-го уровня – обработка, анализ и сравнение общих уровней параметров вибрации в стандартных полосах;

2-го уровня – обработка, анализ и сравнение уровней параметров вибрации в определенных полосах частот для ориентировочной оценки основных причин вибрации и информирования обслуживающего персонала об отклонении объекта контроля от нормального функционирования;

3-го уровня – обработка, анализ и сравнение узкополосных спектров

параметров вибрации с помощью набора их масок и др, для выявления отклонений от нормального функционирования объекта контроля и определения опытным специалистом возможного перечня его неисправностей;

4-го уровня (экспертные системы) – для автоматизации процесса определения наиболее вероятного перечня неисправностей объекта контроля, с помощью решающих правил диагностики.

Постановка задачи

Для повышения надежности и безопасности машин и оборудования, декларации безопасности производства и снижения риска его эксплуатации до требуемого уровня целесообразно работу разделить на следующие этапы (задачи решения проблем, конкретизация работ этапов работы приведена в [9]):

1) организация оценки технического состояния составных частей машин и обеспечение их ремонта по состоянию (устранение ложных срабатываний системы контроля параметров и пропуска дефектов, а также лишних разборок составных частей машин и замены исправных деталей и узлов);

2) создание экспертной системы диагностики технического состояния машин;

3) декларация безопасности машин и подтверждение показателей безопасности производства;

4) предотвращение возникновения и развития аварийных ситуаций и аварий.

Для создания конкурентной машиностроительной продукции на современном научно-техническом уровне необходимо обеспечивать требования передовых международных стандартов. Для компрессоров в настоящее время ТК 28 «Компрессоры» уже гармонизированы необходимые для этого стандарты. При создании новых конструкций энергетических машин, при их производстве и при эксплуатации необходимо обеспечивать и подтверждать декларируемые показатели качества. Без современных методических, технических и программных средств технической диагностики это невозможно.

Результаты

Проведена классификация основных виброакустических источников и разработан новый метод диагностирования [13–20]. Разработаны система ТОиР [21] и ДСТУ 3160 – ДСТУ 3163 [22]. Метод защищен авторским свидетельством СССР АС № 155971 и патентом Украины № 13540, G01 №7/00. Предложенный способ оценки интенсивности основных виброакустических источников заключается в установлении для них интегральных характеристик, т. е. позволяет представить информацию в сжатом виде. Эти характеристики определяют при обработке усредненного (или мгновенного, максимального) узкополосного спектра виброакустических сигналов от датчиков, установленных в информативных контрольных точках, путем выполнения таких операций:

– выделение и суммирование усредненных дискретных составляющих спектра (среднеквадратических или мгновенных, пиковых значений) параметра вибрации (виброскорости, виброускорения, вибросмещения) для каждого виброакустического источника периодических, квазипериодических и случайных колебаний с учетом характерных его особенностей;

– идентификация непрерывных (сплошных) составляющих усредненного (или мгновенного) спектра параметра вибрации по совокупности признаков и выделение, при необходимости, информативных частотных диапазонов с непрерывным спектром;

– суммирование только усредненных уровней составляющих непрерывного спектра в выбранном информативном диапазоне.

Для определения интенсивности виброакустического источника непрерывного спектра допускается определять интегральную характеристику путем исключения дискретных и существенных узкополосных и широкополосных экстремумов спектра в интересующем частотном диапазоне и суммирования оставшихся составляющих спектра.

Для идентификации частотных составляющих спектра используют различные методы идентификации виброакустических источников:

отключение, исключение или выделение виброакустических источников. Выбирают наиболее информативные контрольные точки для определения вибрационных характеристик, проводят специальные испытания агрегата и определяют скоростную, режимную, контурную и смазочную вибрационные характеристики, определяют резонансные частоты, которые необходимо разделить по происхождению на механические и аэродинамические и т. д. При анализе и обработке узкополосного спектра используют характерные особенности виброакустических источников составных частей агрегата, типичные (регрессионные) зависимости интенсивности виброакустических источников от конструктивных и газодинамических параметров; связь между различными параметрами и характеристиками составных частей промышленной машины, а также результаты исследования математических моделей и др. Виброакустическими источниками, имеющими малую интенсивность по сравнению с другими источниками, или замаскированными более интенсивными, обычно пренебрегают, при условии, что это не повлияет на надежность более раннего обнаружения дефекта. В противном случае необходимо использовать методы выделения этих источников.

По стандартам Украины ДСТУ 3161 и ДСТУ 3162 оценка состояния машин проводится как по абсолютным нормативным значениям, так и по изменениям, относительно базовых значений (существенное изменение: 4–8 дБ). Нормативные значения объекта (1-й уровень контроля) должны обеспечивать требуемые показатели его надежности.

Система ТООР, разработанная в свое время Минпромполитики, позволяет обеспечивать техническое обслуживание и ремонт технологического оборудования по графикам ППР и по техническому состоянию. Система и стандарты Украины устанавливают четыре уровня контроля и оценки технического состояния:

1-й уровень – определение общих значений параметров вибрации (виброскорости, вибросмещения и виброускорения) в стандартных частотных диапазонах для экс-

пресс-анализа и определение точек контроля с максимальным его значением, которое сравнивается с нормативным значением, приведенным в нормативных документах;

2-й уровень – определение значений параметров вибрации в определенных информативных полосах частот для оценки изменения интенсивности источников вибрации, которые определяют уровень в анализируемой информативной полосе частот, и информирование обслуживающего персонала о нарушении нормального функционирования объекта контроля или о превышении допускаемых вибрационных воздействий на элементы машины, на строительные конструкции и работающих;

3-й уровень – определение значений параметров вибрации в узких полосах частот и сравнение их с базовыми значениями. Для оперативного анализа причин изменения вибрационных характеристик объекта контроля используется набор масок спектра, порядковый анализ спектра, кепстральный анализ и др.;

4-й уровень – определение интенсивности основных виброакустических источников параметров вибрации в контрольных точках, для более объективного определения причин изменения их уровня и разработки мероприятий по обеспечению показателей надежности объекта контроля и декларации его безопасности.

Для декларации безопасности компрессора необходимо полнее и достовернее определять уровень риска возникновения аварий и аварийных ситуаций, а также своевременно проводить техническое обслуживание и ремонт оборудования. В статье [7] показана сравнительная оценка 1-го и 4-го уровня контроля и оценки технического состояния турбомашин, проведен анализ пропусков неисправностей турбомашин и оценки экономической эффективности СМД на примере компрессорного оборудования крупнотоннажного производства аммиака.

Разработана и внедрена на ряде предприятий «Система мониторинга и диагностики машин и технологического оборудования предприятий, обеспечения их надежности и без-

опасности» (СМД) [23–26] и рис. 1–3, которая отвечает требованиям национальных и межгосударственных нормативных документов, а также Системы ТООР Минпромполитики Украины [21], которую рекомендуется использовать во всех отраслях. СМД позволяет организовать техническое обслуживание и ремонт машин и оборудования по фактическому состоянию, она должна быть связана с другими системами предприятия, обеспечивающих минимальные риски и безопасность производств.

Вибрационные периодические обследования технологического оборудования предприятия:

а) *стандартное обследование и оценка* технического состояния оборудования по 3-му или 4-му уровню контроля по ДСТУ 3161 – контроль технического состояния подшипников составных частей агрегата, а также проточной части турбомашин и зубчатых передач, по ДСТУ 3162 – контроль коренных подшипников, крейцкопфов и цилиндров;

б) *расширенное обследование и оценка* технического состояния оборудования по 3-му или 4-му уровню контроля во всех информативных точках контроля (до и после капитального ремонта, а также при аварийных ситуациях), без изменения режима работы объекта контроля;

в) *специальное вибрационное обследование* – выявление неблагоприятных режимов работы, определение режимных и смазочных характеристик, устранение резонансных явлений и повышение показателей надежности и др.

д) *виброналадка* – устранение причин повышенной вибрации оборудования и доводка вибрационных характеристик после капитального ремонта объекта контроля.

В настоящее время оценка технического состояния промышленных машин проводится по двум критериям: по абсолютным значениям (зоны технического состояния: А, В, С и D) и по изменениям («Предупреждение» и «Останов»). По ДСТУ 3163 существенным изменением параметра вибрации является изменение его уровня на 4–8 дБ. Оценка технического состояния составных частей

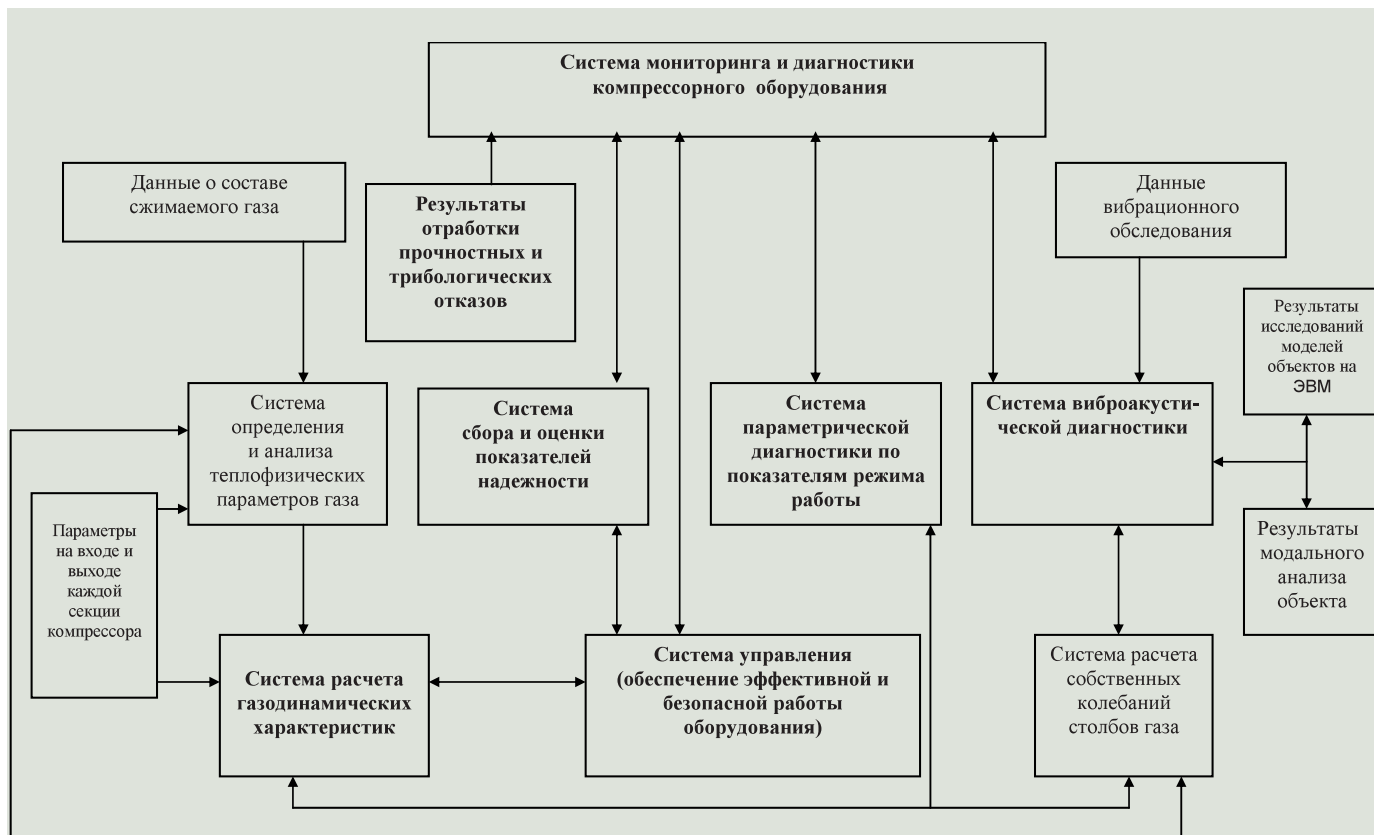


Рис 1. Система мониторинга и диагностики компрессорного оборудования предприятия

машин и оборудования проводится по общим уровням вибрации, по составляющим узкополосного спектра и по интенсивности основных виброакустических источников, в соответствии с требованиями Системы ТОиР Минпромполитики Украины, ДСТУ 3160 – ДСТУ 3163.

По результатам сравнения текущих значений вибрационных характеристик и показателей режима работы (назначения) с базовыми значениями, составляется паспорт технического состояния составных частей объекта контроля, используя четыре оценки: А – «хорошо»; В – «приемлемо»; С – «допустимо»; D – «недопустимо». Кроме того, определяются существенные отклонения интенсивности основных виброакустических источников от базовых значений, когда их уровень превышает границу зон технического состояния В/С. По существенным изменениям составляющих спектра, интенсивности виброакустических источников и показателей режима работы определяют возможные причины отклонения машины от нормального функционирования (возможные неисправности

и дефекты). Время наступления предельного состояния объекта определяется по тренду вибрационной характеристики в контрольной точке, в которой выявлены наибольшие существенные изменения интенсивности виброакустического источника, а также с помощью теории надежности, распознавания и трибофатики.

На предприятии необходимо оптимизировать порядок и объем проведения периодического вибрационного обследования технологического оборудования с учетом обеспечения требуемых показателей надежности и безопасности, разработать стандарт предприятия, обучить персонал, назначить главное подразделение, которое должно организовывать комплексную работу по обеспечению безопасной эксплуатации объектов контроля.

При эксплуатации машин по фактическому состоянию увеличение разрешаемой наработки без проведения ремонта должно осуществляться ступенями и основываться на результатах периодической виброакустической и параметрической диагностики,

анализа условий их эксплуатации и контроля показателей надежности. Состояние элементов машины определяется на основе информации, получаемой в процессе использования ее по назначению, а также при плановых осмотрах и техническом обслуживании в нерабочем состоянии с помощью методов и средств технического контроля (проверка прочности ответственных деталей и герметичности). Для этой же цели дополнительно используется информация о результатах разборок и дефектации ответственных деталей и узлов. Величина разрешаемого ресурса устанавливается индивидуально для каждого объекта. После истечения разрешенного ресурса вновь проводится анализ его технического состояния и по результатам этого анализа принимается решение о продолжении эксплуатации или о проведении ремонта. После каждой ступени контроля может проводиться замена отдельных элементов, находящихся в предотказном состоянии.

Технические средства систем мониторинга и диагностики (реко-

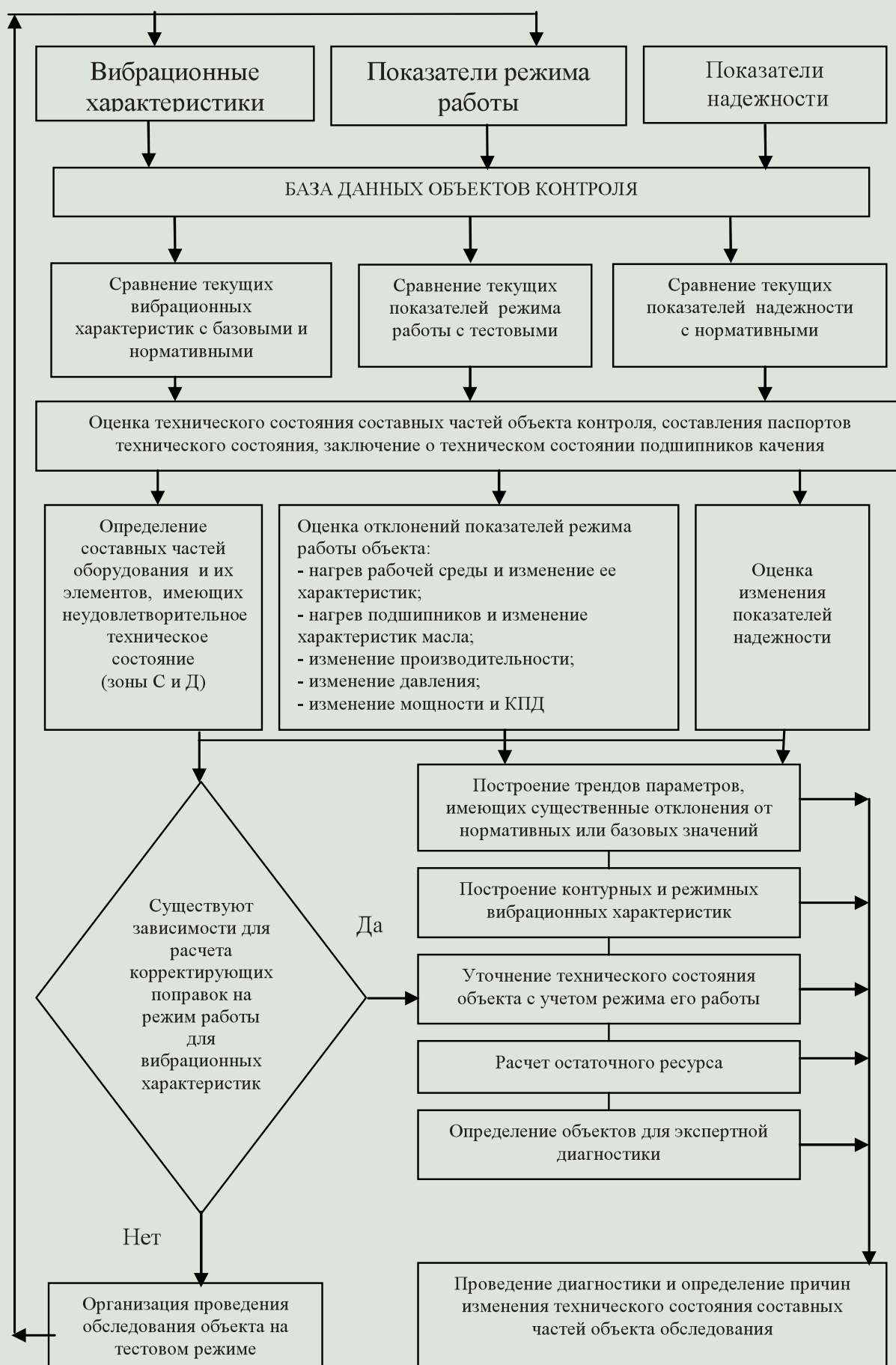


Рис. 2. Алгоритм оценки технического состояния

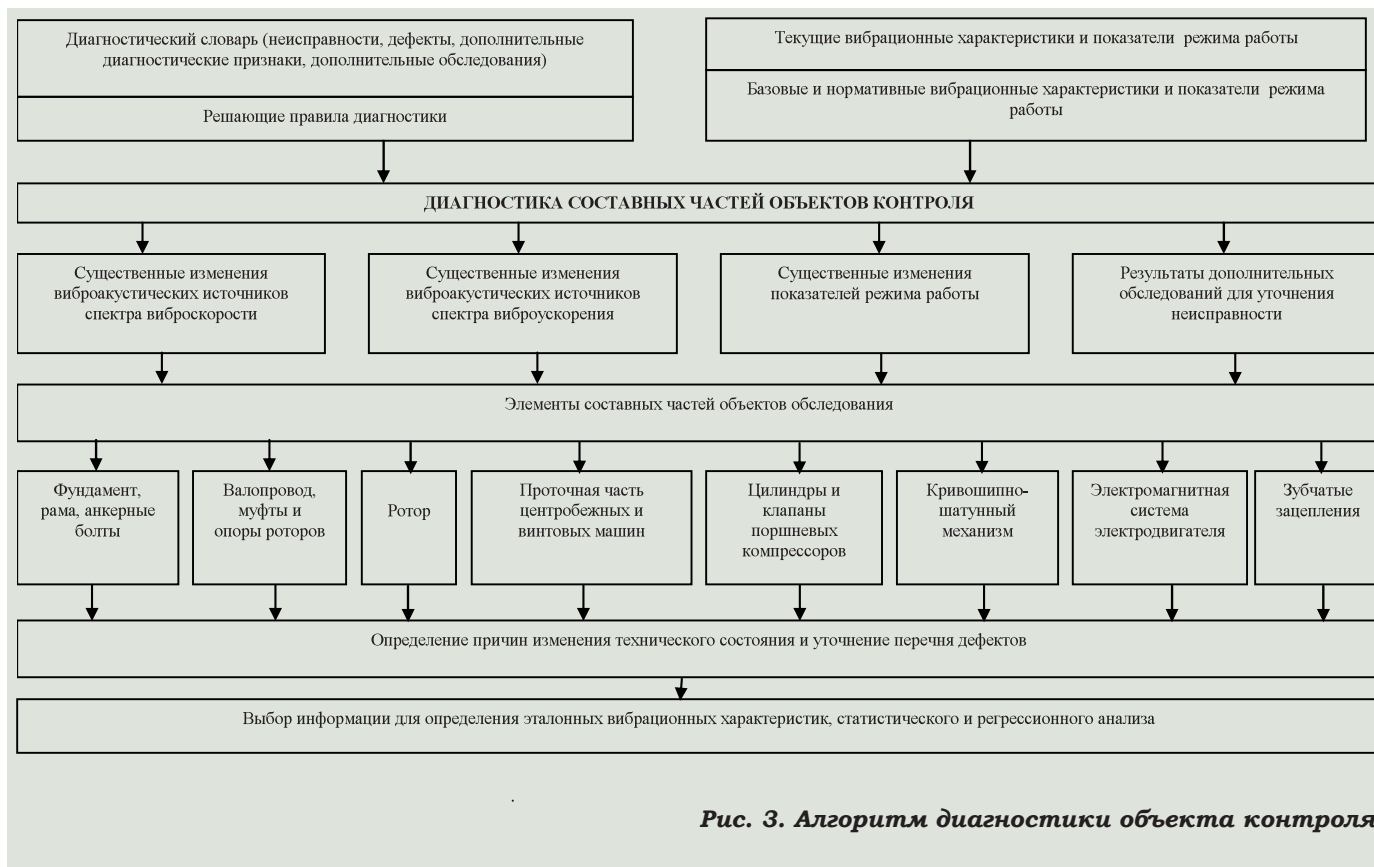


Рис. 3. Алгоритм диагностики объекта контроля

мендуются продукция ООО «ИТЦ «Вибродиагностика», г. Северодонецк):

- виброконтроль – виброметры ИВ-1Б, анализатор БМ-6;

- стандартное, расширенное и специальное вибрационное обследование – АС-3200 и АС-6400 (2-х канальный анализатор), одноканальный анализатор БМ-6 и 4-х канальный регистратор сигнала ВД-1854;

- виброналадка (балансировка в собственных подшипниках, модальный анализ и др.) – БМ-5, БМ-6 и 4-х канальный регистратор сигнала ВД-1854;

- штатные средства объекта контроля (стационарные) – для обеспечения непрерывного контроля и регистрации параметров его вибрации и показателей режима работы на электронных носителях информации, а также анализа зарегистрированных трендов информационных параметров.

Программное обеспечение ООО «ИТЦ «Диагностика» и его функции [25, 26, 27]:

- 1) программа **«СПЕКТР»** – анализ и обработка узкополосных спектров параметров вибрации; определение интенсивности основных

виброакустических источников; запись и хранение результатов вибрационного обследования объектов контроля в базе данных системы мониторинга и диагностики машин и оборудования предприятия;

- 2) программа **«ПАСПОРТ»** – оценка технического состояния составных частей объектов контроля по нормативным и базовым характеристикам; выявление отклонений текущих значений вибрационных характеристик от нормативных и базовых значений; заключение о техническом состоянии и дефектах подшипников качения;

- 3) программа **«ГРАФИКА»** – построение диаграмм, графиков и регрессионных зависимостей; расчет остаточного ресурса объекта контроля по худшему контролируемому параметру;

- 4) программа **«ДИАГНОСТИКА»** – определение перечня возможных неисправностей объекта контроля; объяснение диагноза; рекомендация дополнительных обследований для уточнения перечня неисправностей и выделения наиболее вероятных;

- 5) программа **«ВИБРОСИГНАЛ»** – полная обработка вибрационного сигнала; оценка техниче-

ского состояния по коэффициенту эксцесса, по фазе, по дифференциальным и интегральным законам распределения;

- 6) программа **«ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ»** – оперативная оценка технического состояния по нормативным и базовым вибрационным характеристикам, с использованием «светофора»; выбор нормативного документа для оценки технического состояния и самостоятельная установка базовых значений в точках контроля;

- 7) программа **«Стержневые конструкции»**: – оценка напряженного деформированного состояния и расчет собственных частот конструкции (опорных рам, трубопроводов и др.), проведение ее модельных исследований;

- 8) программа **«Валопровод»** – расчет критических частот роторов валопровода и построение форм его колебаний; проведение исследования влияния на критические частоты и формы колебаний валопровода конструктивных и эксплуатационных характеристик ротора;

- 9) программа **«Динамика»** – расчет амплитуд и динамических усилий в заданных сечениях ротора;

- построение амплитудно-частотных характеристик ротора;
- вычисление траектории перемещения заданной точки вала (в качестве факторов возбуждающих колебаний могут быть: остаточная статическая неуравновешенность, приведенная к одному или нескольким сечениям вала; радиальная и угловая несоосность валов машины и привода, радиальная сила на ротор со стороны перекачиваемой среды, с учетом анизотропии упругих и демпфирующих свойств подшипников и щелевых уплотнений).

10) программа **«Газодинамика»** –

- расчет параметров, необходимых для построения размерных и безразмерных характеристик турбокомпрессора;
- приведение характеристик турбокомпрессора к заданным условиям его эксплуатации.

11) программа **«Теплофизика»** – расчет теплофизических свойств рабочих тел компрессорного оборудования (газов и газовых смесей). По заданным значениям давления и температуры программа обеспечивает расчет следующих теплофизических характеристик: плотность, коэффициент сжимаемости, производные от давления, показатель адиабаты, скорость звука, внутреннюю энергию, энтальпию, энтропию, изохорную и изобарную теплоемкости, динамическую и кинематические вязкости, а также теплопроводность.

Совершенствование СМД технологического оборудования предприятия

Для обеспечения производства и эксплуатации качественной продукции необходима организация СМД технологического оборудования предприятия, предусматривающая следующее:

- *обеспечение контроля* виброускорения на всех уровнях и анализ узкополосных спектров параметров вибрации оборудования;
- *доработку стационарной* системы вибрационного мониторинга – организацию дополнительного непрерывного контроля параметров вибрации в информативных полосах частот, что позволит своев-

ременно информировать персонал предприятия о нарушении нормального функционирования.

- *обучение технического персонала*, с повышением к нему квалификационных требований, организацию оценки технического состояния объектов контроля и консультации специалистов на расстоянии. Внедрение нового метода оценки роли и работы руководителей всех рангов управления. Необходимо на предприятии назначить главное подразделение по обеспечению безопасности оборудования, все другие должны предоставлять ему информацию и выполнять др. функциональные обязанности. Необходимо организовать обучение по специально разработанным программам, чтобы донести каждому работнику современные знания, быстро и эффективно, применяя дистанционное обучение, создавая центры непрерывного обучения и используя корпоративную сеть и специализированные научно-технические организации.

- *обеспечение персонала предприятий недорогими* виброметрами (желательно с памятью для сохранения данных контроля и программой «Экспресс-анализ», обеспечить 1-й уровень контроля).

- *оптимизацию порядка и объема* проведения периодического вибрационного обследования оборудования специализированным диагностическим подразделением предприятия:

- стандартное обследование и оценка технического состояния оборудования по 3-му или 4-му уровню контроля по ДСТУ 3161 – контроль технического состояния подшипников составных частей агрегата, а также проточной части турбомашин и зубчатых передач;

- расширенное обследование и оценка технического состояния оборудования по 3-му или 4-му уровню контроля во всех информативных точках контроля (до и после капитального ремонта, а также при аварийных ситуациях);

- специальное вибрационное обследование для выявления неблагоприятных режимов работы, определение режимных и смазочных характеристик, устранение резонансных явлений и повышение показателей надежности и др.

- *виброналадка* – устранение причин повышенной вибрации оборудования при ремонте и доводка вибрационных характеристик после капитального ремонта.

- организация контроля показателей надежности объектов контроля и разработка программ обеспечения надежности.

Апробирование и внедрение

Система мониторинга и диагностики машин и оборудования внедрена на: ОАО «Мозырский НПЗ» (2000 г.); ОАО «ЛУКОЙЛ – Одесский НПЗ» (2002 г.); ОАО «Николаевский глиноземный завод» (2004 г.); Черкасском ОАО «Азот» (2006 г.), ГК «Укртрансгаз» (2010 г.) и планируется внедрение на других предприятиях Украины.

Система позволила предприятиям:

- усовершенствовать методы контроля и оценки технического состояния оборудования;

- обеспечить техническое обслуживание и ремонт оборудования по состоянию;

- повысить уровень надежности и безопасности ОПО (ресурс машин до капитального ремонта увеличился более чем в два раза, устранены неплановые отказы).

Система позволяет вносить изменения и проводить консультации по электронной почте.

Результаты вибрационных обследований некоторого технологического оборудования и оценки технического состояния его составных частей проведены:

- компрессорного оборудования крупнотоннажного аммиака [9, 28, 29];

- поршневых компрессоров и их технологических трубопроводов [30, 31];

- магистральных насосов аммиакопровода [8];

- газотурбинных двигателей, нагнетателей и технологических трубопроводов ГПА [13, 14, 32, 33];

- паровой турбины и генератора [34].

Выводы

1. Работу по повышению надежности и безопасности машин и оборудования предложено разде-

лить на четыре этапа для решения основных задачи и проблем предприятия.

2. Разработана система мониторинга и диагностики машин и оборудования, программное обеспечение которой соответствует современному научно-техническому уровню и не имеет аналога. Метод оценки и диагностики технического состояния по изменению интенсивности основных виброакустических источников машин и оборудования соответствует требованиям нормативных документов Украины. Метод НТЦ «Диагностика» защищен авторским свидетельством СССР и Патентом Украины.

3. Разработаны отечественные технические средства для системы вибрационного мониторинга и диагностики, с которым работает экспертное программное обеспечение НТЦ «Диагностика», не уступающие по техническим характеристикам зарубежным аналогам. Впервые на рынке СНГ предложен двух, четырех и 16-ти канальный регистратор сигналов, которые существенно расширили возможности экспертной диагностики технического состояния машин при пуске, останове, при неблагоприятных режимах их работы.

4. Система постоянно совершенствуется. Основную работу по оценке технического состояния оборудования и определению причин его изменения проводит персонал предприятия, обученный НТЦ «Диагностика».

Список литературы:

1. Лисюк С. Д. Забезпечення безпечної експлуатації обладнання / С. Д. Лисюк, В. М. Репін, А. А. Стеценко, О. А. Стеценко // Фаховий збірник праць Національного науково-дослідного інституту з промислової безпеки і охорони праці – К.: ННДПБООП, 2008, № 14. – С. 128–147.

2. Репин В. Н. Опасности насосного и компрессорного оборудования / В. Н. Репин, А. А. Стеценко, О. А. Стеценко // Вибрация машин: измерение, снижение, защита – Донецк, ДонГНУ, Ассоциация механиков, 2007, № 3 (10) – С. 37–45.

3. Стеценко А. А. Обеспечение безопасности и надежности про-

мышленных машин. / А. А. Стеценко, О. А. Стеценко // Інформаційний бюлетень з промислової безпеки – К.: ННДПБООП, 2010. – № 3. – С. 13–24 (часть 1-я) и № 4 (часть 2-я). – С. 8.

4. Состояние и перспективы повышения качества и конкурентоспособности насосного и компрессорного оборудования / Материалы семинара-совещания. – Сумы: СпецНТЭИЦ ГП «Сумыстандартметрология». – 2004. – 114 с.

5. Стеценко А. А. Машини, механізми, устаткування підвищеної небезпеки // Практичний довідник спеціаліста з охорони праці. Під заг. Ред. В. В. Тихоненко. / Розділ 5. – К.: FORUM. – 2007–2009.

6. Стеценко А. А. Подтверждение соответствия безопасности насосного и компрессорного оборудования в соответствии с требованиями технического регламента Украины / А. А. Стеценко, О. И. Бедрий, О. А. Стеценко, В. В. Шишов // Герметичность, вибронадежность насосного и компрессорного оборудования – ГЕРВИКОН-2005/ Материалы 11-й Международной научно-технической конференции. – Сумы: СумГУ. – 2005. – Т. 3. – С. 242–252.

7. Стеценко А. А. Подтверждение декларации безопасности насосного и компрессорного оборудования / А. А. Стеценко, С. А. Стеценко // Вибрация машин: измерение, снижение, защита – Донецк, ДонГНУ, Ассоциация механиков, 2009, № 1. – С. 49–56.

8. Андрианов А. А. Оценка технического состояния насосного оборудования. Продление ресурса безопасной эксплуатации. Украинский участок магистрального аммиакопровода «Тольятти – Одесса» / А. А. Андрианов, В. А. Бондик, А. А. Стеценко, Г. Е. Куденко // Хімічна промисловість України – К.: Союз хіміків України, 2007. – № 5(82). – С. 39–47.

9. Бондаренко Г. А. Обеспечение ремонта компрессорного оборудования по фактическому состоянию. / Г. А. Бондаренко, В. И. Кармазин, А. А. Стеценко, О. А. Стеценко // Тезисы докладов (на электронном носителе -диске) / XIII Международная научно-техническая конференция «ГЕРВИКОН-2011». Международный форум «НАСОСЫ-2011».

Семинар «ЭККОН – 11» (Сумы, 6–9 сентября 2011). – Сумы: СумГУ. 2011. – Секция 3 «Ремонт и модернизация компрессорного и насосного оборудования химических предприятий». – Доклад № 3.22. – 11 с.

10. Бегун В. В. Визначення ризику об'єкта за результатами діагностики основного встаткування / В. В. Бегун, А. А. Стеценко // Інформаційний бюлетень з промислової безпеки. – К.: ННДПБООП. – 2011. – № 3. – С. 10–15.

11. Стеценко А. А. Системы мониторинга и диагностики машин / А. А. Стеценко, О. И. Бедрий, О. А. Стеценко // Вибрация машин: измерение, снижение, защита – Донецк, ДонГНУ, Ассоциация механиков, 2006. – № 4. – С. 48–53.

12. Ошовская Е. В. Анализ программного обеспечения систем распознавания технического состояния механического оборудования / Е. В. Ошовская, А. В. Сидоров // Вибрация машин: измерение, снижение, защита – Донецк, ДонГНУ, Ассоциация механиков, 2006, № 1 – С. 45–53.

13. Иванов Н. И. Интенсивность основных виброакустических источников центробежных компрессоров / Н. И. Иванов, А. А. Стеценко, Т. Ю. Зубарева, В. В. Петров // Расчет, исследование, конструирование и технология изготовления компрессоров / Темат. сб. трудов. – Сумы: ВНИИкомпрессормаш. – 1991. – С. 50–62.

14. Стеценко А. А. Совершенствование контроля и оценки технического состояния турбомашин / А. А. Стеценко, О. И. Бедрий, О. А. Стеценко // Вибрация машин: измерение, снижение, защита – Донецк, ДонГНУ, Ассоциация механиков, 2008, № 1 (12). – С. 13–30.

15. Вертячих А. В. Влияние неравномерности потока, формируемого боковым подводом на энергетические и виброшумовые характеристики лопастных насосов повышенной быстроходности / А. В. Вертячих., А. А. Стеценко, С. И. Шкарбуль // Гидравлические машины и гидроагрегаты. Теория, расчет, конструкция / Тематический сборник научных работ под редакцией Ковалева И. О. – К.: ИСИО (ИСДО), 1994. – С. 128–141.

16. Влияние лопаточных диффузоров на газодинамические и виброакустические характеристики центробежных компрессоров / Бондаренко Г. А., Меркун В. П., Стеценко А. А., Татаринцов В. М. // Тезисы докладов 8 Всесоюзной научно-технической конференции «Создание компрессорных машин и установок, обеспечивающих интенсивность развития отраслей топливно-энергетического комплекса». (Сумы. 10–12 октября 1989 г.). – М.: ЦИТИХимнефтемаш, 1989. – Ч. 1. – С. 84.

17. Бондаренко Г. А. Стендовые испытания центробежных компрессоров высокого давления установок УКСП-16/500 для сайклинг-процесса / Г. А. Бондаренко, В. Н. Морозов, А. А. Стеценко, А. И. Апанасенко, В. Е. Сухиненко // Центробежные компрессоры высокого и сверхвысокого давления для нефтяной и газовой промышленности / Сборник трудов. – М.: ВНИИХолодмаш, 1988. – С. 130–139.

18. Бондаренко Г. А. Вибрационное обследование центробежного компрессора высокого давления установки УКСП-16/500 для сайклинг-процесса. / Г. А. Бондаренко, А. А. Стеценко // Вопросы расчета и исследования центробежных компрессоров сверхвысокого давления / Сборник трудов. – М.: ЦИТИХимнефтемаш. – 1990. – С. 24–32.

19. Стеценко А. А. Метод оценки технического состояния машин / А. А. Стеценко, О. И. Бедрий, Е. А. Долгов, О. А. Стеценко // Вестник национального научно-исследовательского института охраны труда. – К.: ННДИОТ – № 5 (спецвыпуск). – 2003. – С. 20–30.

20. Стеценко А. А. Метод диагностики НТЦ «Диагностика» / А. А. Стеценко, О. И. Бедрий, О. А. Стеценко // Вибрация машин: измерение, снижение, защита – Донецк, ДонГНУ, Ассоциация механиков, 2006, № 3 (6) С. 22–35.

21. Система технического обслуживания и ремонта технологического и теплоэнергетического оборудования химических предприятий Министерства промышленности Украины (Система ТОиР). – К.: ОАО «Укртеххимпром», 1998. – 432 с.

22. Стеценко А. А. Стандартизация в области вибрации, контроля технического состояния,

диагностики и прогнозирования ресурса промышленных машин / А. А. Стеценко, О. А. Стеценко // Вибрация машин: измерение, снижение, защита – Донецк, ДонГНУ, Ассоциация механиков, 2006. – № 2 (5) – С. 34–43.

23. Стеценко А. А. Обеспечение безопасной эксплуатации насосного и компрессорного оборудования / А. А. Стеценко, О. И. Бедрий, Е. А. Долгов, О. А. Стеценко // Компрессорное и энергетическое машиностроение, 2006. – № 2(4). – С. 81–85.

24. Стеценко А. А. Система обеспечения надежности и безопасности компрессорного оборудования / А. А. Стеценко, О. И. Бедрий, Е. А. Долгов, О. А. Стеценко // Труды XIII Международной научно-технической конференции по компрессоростроению. – Сумы: Изд-во СумГУ, 2004. – Том III. – С. 54–64.

25. Стеценко А. А. Программное обеспечение для стандартной оценки технического состояния машин / А. А. Стеценко, О. И. Бедрий, Е. А. Долгов, О. А. Стеценко // Вибрация машин: измерение, снижение, защита – Донецк, ДонГНУ, Ассоциация механиков, 2006, № 4 (7) – С. 30–40.

26. Стеценко А. А. Программа для экспертной диагностики машин / А. А. Стеценко, О. И. Бедрий, Е. А. Долгов, О. А. Стеценко // Вибрация машин: измерение, снижение, защита – Донецк, ДонГНУ, Ассоциация механиков, 2007, № 1 (8). – С. 20–29.

27. Стеценко А. А. Программное обеспечение для экспресс-анализа и расширенного исследования причин вибрации машин / А. А. Стеценко, О. И. Бедрий, Е. А. Долгов, О. А. Стеценко // Вестник национального научно-исследовательского института охраны труда № 5 (спецвыпуск) / Киев, НИИОТ, 2003 г. – С. 48–53.

28. Стеценко А. А. Диагностика насосного и компрессорного оборудования и прогнозирование остаточного его ресурса / А. А. Стеценко, Б. В. Анищенко, О. И. Бедрий, О. А. Стеценко // Материалы 11-й Международной научно-технической конференции «Герметичность, вибронадежность насосного и компрессорного

оборудования -ГЕРВИКОН-2005» – Сумы, СумГУ, 2005 г. – Том 3. С. 230–241.

29. Кармазин В. И. Низкочастотные колебания в турбомашинах / В. И. Кармазин, Ю. А. Сушильников, А. А. Стеценко, О. А. Стеценко // Вибрация машин: измерение, снижение, защита – Донецк, ДонГНУ, Ассоциация механиков, 2009, № 4 – С. 11–19, 2 и 3 обложки журнала.

30. Стеценко А. А. Снижение вибрации трубопроводов поршневых компрессоров АО «МНПЗ» / А. А. Стеценко, Б. В. Анищенко, О. И. Бедрий, О. А. Стеценко // Современные проблемы машиностроения. Материалы международной научно-технической конференции. / Под ред. д. т. н., профессора Шагиняна А. С. в 2 т. – Гомель: ГГТУ. – 2000 г. – Т. 1. – С. 208–211.

31. Плетнев В. А. Контроль технического состояния автомобильных газонаполнительных компрессорных станций / В. А. Плетнев, В. М. Выговский, А. А. Стеценко, О. И. Бедрий, О. А. Стеценко // Інформаційний бюлетень з промислової безпеки. – К.: ННДІПБООП, 2012. – № 3. – С. 131–138.

32. Мамонов А. И. Оценка технического состояния составных частей ГПА-25И по вибрационным характеристикам и декларация его безопасности / А. И. Мамонов, В. В. Рудко, А. А. Стеценко, О. А. Стеценко // Донецк, ДонГНУ, Ассоциация механиков, 2009, № 2 – С. 25–33.

33. Стеценко А. А. Совершенствование оценки технического состояния ГТД и обеспечение их безопасной эксплуатации / А. А. Стеценко, О. А. Стеценко, П. В. Королев, А. И. Мамонов, В. В. Рудко, О. Б. Соловьев // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. – Донецк: ДонГНУ, 2011. – № 4 – С. 25–37.

34. Стеценко А. А. Контроль состояния паровой турбины К200–130 / А. А. Стеценко, О. А. Стеценко // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. – Донецк: ДонГНУ, 2012. – № 2. – С. 14–28.