

Автоматизированная система диагностики технического состояния аппаратов воздушного охлаждения газа

Кириенко А.С.

ООО «Солотех Про», г. Минск, Республика Беларусь, ac-kirienko@mail.ru

В состав газотранспортной системы ОАО «Газпром трансгаз Беларусь» входят восемь компрессорных станций (КС), из которых пять установлены на линейной части и обеспечивают транспорт газа по магистральным газопроводам, три установлены на подземных хранилищах газа и осуществляют закачку газа в подземные пласты газовых хранилищ.

Компрессорные станции предназначены для увеличения пропускной способности за счет повышения давления в магистральном газопроводе. КС состоят из одного или нескольких компрессорных цехов, осуществляющих технологические процессы очистки, компримирования и последующего охлаждения природного газа с использованием пылеуловителей (ПУ), газоперекачивающих агрегатов (ГПА) и аппаратов воздушного охлаждения газа (АВО).

В ходе технологического процесса обработки газа, продукт подается в АВО с высокой температурой на всасывающий коллектор. Проходя по трубным решёткам и продуваясь атмосферным воздухом, газ теряет свою температуру и на выходном коллекторе имеет установленные технологическим процессом параметры. Подача охлаждающего воздуха обеспечивается вентилятором, приводимым в движение асинхронным электродвигателем.

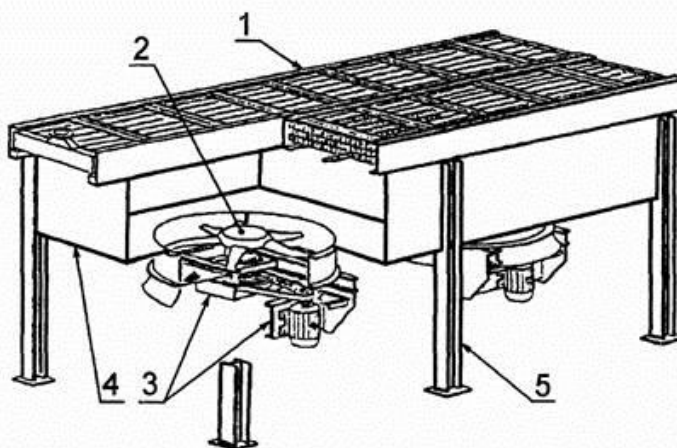


Рисунок 1 – Аппарат воздушного охлаждения газа. Общий вид
1-теплообменная секция; 2-колесо вентилятора; 3-электродвигатель;
4-диффузор с коллектором; 5-металлоконструкция

Анализируя конструкцию АВО [1], изображённую на рисунке 1, можно сделать вывод, что она достаточно надёжна и практически не подвержена какому-либо значительному износу в процессе эксплуатации. Исключение составляют лишь подшипники качения, установленные на роторах электродвигателей (по 2 на каждый ротор). В ходе эксплуатации они подвержены износу, что вызывает необходимость периодической диагностики их состояния, профилактики дефектов и замены при необходимости.

Стадии развития дефектов подшипников качения

Временной вибросигнал в размерности виброскорости [1], зарегистрированный на подшипнике качения с достаточно развитым дефектом состояния, для примера, приведен на рисунке 2. На этом рисунке хорошо видны две наиболее характерные составляющие

вибрации – «фоновая», имеющая практически постоянный уровень, и «импульсная», представляющая из себя выделяющиеся по амплитуде импульсы, повторяющиеся примерно через равные интервалы.

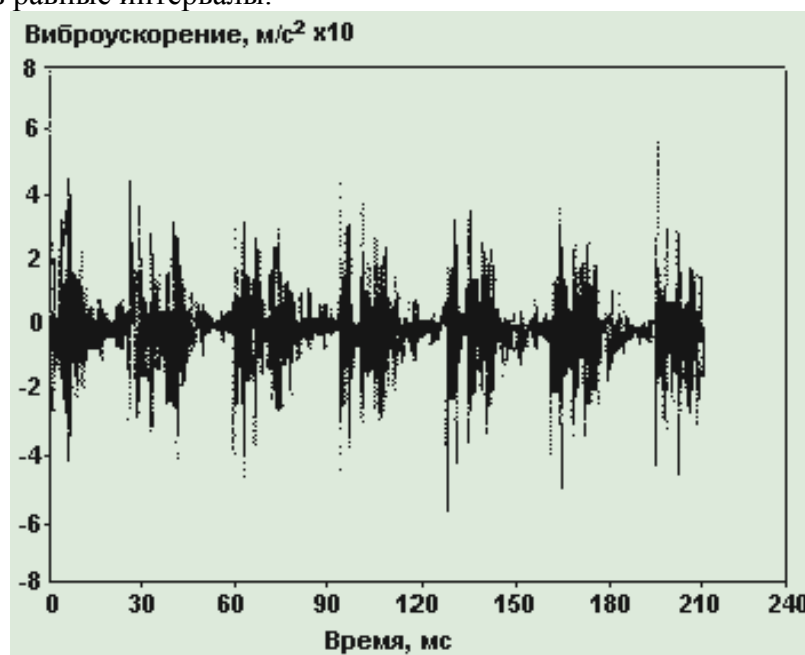


Рисунок 2 – Временной сигнал вибрации подшипника с дефектом

Фоновое, или среднее значение уровня вибросигнала, регистрируемого с вибродатчика на подшипнике качения, характеризуется каким – то усредненным значением, например среднеквадратичным значением виброскорости. Это значение вибрации достаточно просто может быть замерено при помощи обычных виброметров.

В моменты прохождения через «несущую», нагруженную зону подшипника качения, дефектного элемента или элементов, на временном вибросигнале появляется четко выраженный пик, энергетический импульс. Параметры этого импульса определяются видом, локализацией и степенью развития данного дефекта подшипника. Диагностическими параметрами такого импульса являются его амплитуда и частота повторения.

Наиболее важным параметром, характеризующим степень развития дефекта, является амплитуда импульса. Для измерения этого параметра импульса в приборах виброконтроля должны быть предусмотрены специальные пиковые детекторы. Локализация дефекта, место его расположения, обычно уточняется по частоте следования импульсов, для чего используются спектральные методы.

Если диагностику состояния подшипника качения проводить по амплитудным параметрам временных вибросигналов, то основное внимание следует уделить двум. Это, во-первых, количественное значение общего уровня фона вибрации и, во-вторых, это соотношение между уровнями фона вибрации и амплитудами пиковых значений во временном вибросигнале.

В самом общем случае состояние подшипника качения, развитие его дефектов, за весь период его службы можно разделить на пять этапов. Эти этапы схематически показаны на рисунке 3.

На этом рисунке по вертикали отложен уровень вибрации в мм/сек, а по горизонтальной оси отложены этапы развития дефектов. Состояние подшипника определяется двумя ломаными линиями. Нижняя соответствует уровню фона вибрации на каждом этапе развития дефектов, верхняя – уровню пиков вибрации.

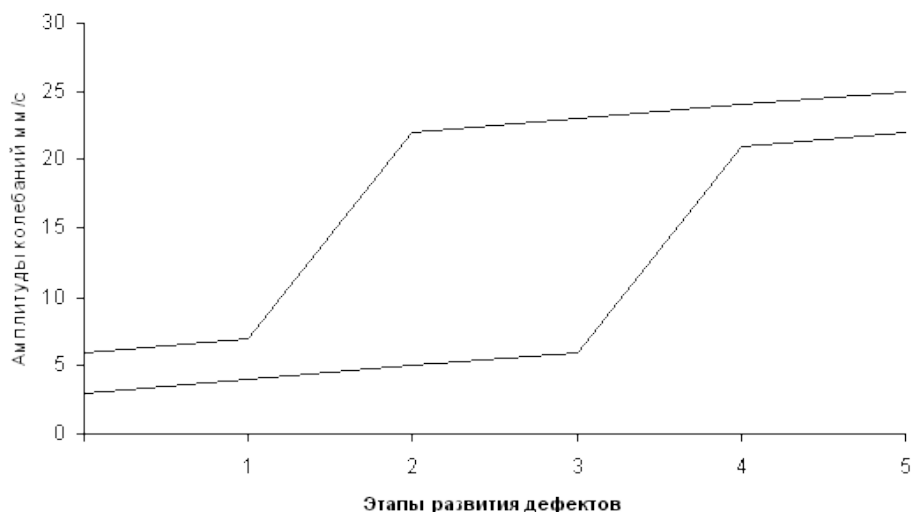


Рисунок 3 – Этапы развития дефектов подшипника

До начала первого этапа, на рисунке это до отметки «1», общее техническое состояние подшипника будем считать идеальным. На этом, нулевом этапе развития дефектов пики вибрации превышают уровень фона незначительно, а сам фон вибрации (в данном случае СКЗ виброскорости) значительно меньше нормируемого значения.

Этап 1. Начиная с отметки «1» в подшипнике появляется и начинает развиваться какой-либо дефект, возникают ударные виброимпульсы, растущие по величине. Энергия импульсов затрачивается на углубление дефекта, в результате чего происходит еще большее увеличение энергии импульсов. Уровень фона вибрации по своей величине при этом остается неизменным, т. к. дефект носит локальный характер и на общем состоянии подшипника пока не сказывается. Это этап возникновения дефекта в процессе эксплуатации.

Этап 2. Начиная с точки «2» на рисунке 3 ударные импульсы в подшипнике достигают по своей энергии практически максимального значения. Количественное значение максимума энергии импульсов определяется типом подшипника и условиями его эксплуатации. Выделяющаяся в подшипнике энергия импульсов уже столь велика, что ее достаточно для расширения зоны локализации дефекта. На данной стадии остановить дальнейшее развитие дефекта практически невозможно, началось его саморазвитие. Величина пиков вибрации на временном вибросигнале уже практически не растет, но и уровень фона тоже меняется мало.

Этап 3. Это зона перехода подшипника к полной деградации. Начинается с точки «3». Зона развития дефекта столь велика, что подшипник начинает терять свое основное назначение – обеспечивать вращение валов с минимальным трением. Возрастают затраты энергии на вращение ротора и, как результат, увеличивается энергия, выделяющаяся в подшипнике, растет уровень фона. Это уже этап саморазрушения подшипника.

Этап 4. Это последний этап развития дефекта, когда он охватил весь подшипник, вернее говоря все то, что осталось от подшипника. Уровень фона вибрации практически сравнялся с уровнем пиков, вернее говоря вся вибрация состоит из пиков. Работы подшипников в этой зоне следует избегать.

Этап 5. Это этап ожидания аварии, чаще всего с большими последствиями.

Все эти вышеперечисленные этапы ухудшения состояния подшипника свойственны практически всем видам дефектов, имеющих место в любых разновидностях подшипников. В зависимости от ряда эксплуатационных параметров подшипников могут лишь наблюдаться различия в длительности этапов и интенсивности процессов в них, но общая картина развития не меняется.

Методы диагностики дефектов подшипников

Для оценки технического состояния и диагностики дефектов подшипников качения разными фирмами разработано достаточно много различных методов[2,3]. Естественно, что все эти, различные по своим теоретическим предпосылкам, методы имеют разную трудоемкость, достоверность, требуют различного приборного обеспечения и могут применяться для различных целей.

Оценка технического состояния и поиск дефектов подшипников качения может производиться по нескольким методам:

- по СКЗ виброскорости.
- по спектру вибросигнала.
- по спектру огибающей сигнала.

Все выше перечисленные методы различаются не только теоретическими предпосылками, положенными в их основу. Они различаются типом используемого оборудования, его стоимостью, необходимой подготовкой персонала и конечно своей эффективностью. Чем на более ранней стадии и более достоверно необходимо обнаруживать дефекты подшипников, тем обычно дороже это стоит.

Самым эффективным методом обнаружения дефектов на ранних стадиях являются методы диагностики по спектрам огибающих. Поэтому наиболее предпочтительным является использование в практике этого метода диагностики дефектов подшипника, т. к. он менее остальных подвержен различным помехам и в результате имеет большую достоверность.

Кроме того, всегда следует помнить и учитывать, что диагностика состояния подшипников является только частью общего диагноза по оборудованию. Полный анализ состояния оборудования обычно проводится по спектрам вибросигналов, поэтому при выборе метода диагностики подшипников качения предпочтение следует отдавать диагностике по спектрам огибающей, что делает этот метод практически универсальным. При таком подходе полный набор технических средств для диагностики состояния оборудования будет минимальным по объему и стоимости.

В рассматриваемом случае, когда стандартная спектральная диагностика данного типа оборудования постоянно не проводится, для ранней диагностики состояния подшипников качения весьма эффективно применение методов, основанных на сравнении уровней фона и пика вибросигнала. Эти методы обладают достаточной для стандартной практики работы вибродиагностов достоверностью. Большим достоинством этих методов является то, что для своей реализации они не требуют дорогих и специализированных виброметров.

Выбор датчиков вибрации

Датчик вибрации (виброметр) – прибор, позволяющий определять параметры вибрационных явлений[3].

Проще говоря, если вибрирующий объект считать простым осциллятором, то виброметр позволяет получить сведения как о базовых параметрах его колебаний (частота и амплитуда), так и, в некоторых случаях, получить спектральную характеристику колебательного процесса.

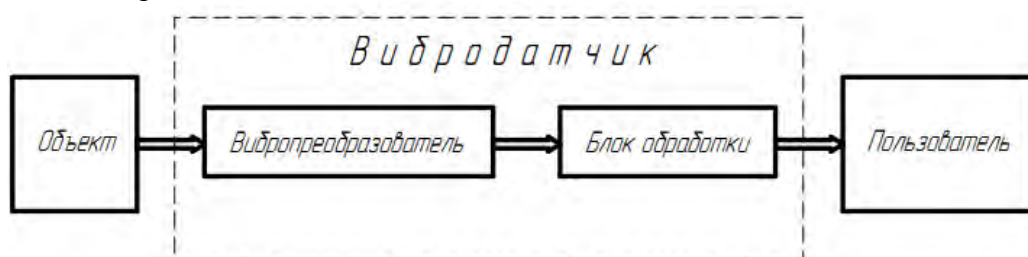


Рисунок 4 - Схема датчика вибрации.

Общая схема датчика вибрации содержит два основных блока: вибропреобразователь и электронный блок обработки. Функциональное назначение первого блока – преобразование механических вибраций в электрический сигнал. Механизмов преобразования несколько:

- пьезоэлектрический
- оптический
- вихретоковый
- индукционный

Механизм преобразования в значительной мере определяет как характеристики прибора, так и его стоимость.

Второй блок – электронный блок обработки – служит для «расшифровки» полученного сигнала. Как правило, на входе таких блоков стоит аналогово-цифровой преобразователь, и основная часть операций над сигналом производится уже в цифровом виде, что расширяет функциональные возможности процесса пост-обработки, улучшает помехоустойчивость и позволяет осуществлять вывод информации по внешнему интерфейсу.

При использовании на производстве стационарные виброметры могут входить в состав регулирующих систем в качестве датчиков обратной связи, для этих целей некоторые модели виброметров имеют аналоговый выходной сигнал (как правило, напряжение).

Для получения комплексной характеристики вибрационного процесса в состав измерительной системы может быть добавлен спектроанализатор. Если спектроанализатор многоканальный – он может служить основой распределённой системы вибрационной диагностики, содержащей более одного вибродатчика.

Рассмотрев датчики по каждому механизму преобразования, сравнив их основные характеристики, мой выбор пал на датчики вибрации типа ИВД 3 производства ООО «Прософт-Системы» [4] (рисунок 5)



Рисунок 5 – Внешний вид датчика вибрации ИВД 3

Особенностью этого датчика заключается в наличии встроенных в датчик АЦП, микропроцессорного устройства и электронных компонентов повышенной нагрузочной способности, что позволяет исключить выносные преобразователи и за счет этого увеличить точность измерения и снизить общую стоимость оборудования. Также они являются наиболее оптимальными по своим технико-экономическим показателям и прост в установке на диагностируемый объект, также имеют необходимый диапазон измерений и точность, измерение параметров вибрации по трем взаимоперпендикулярным направлениям. Кроме того, датчики вибрации ИВД 3 имеют цифровой интерфейс RS-485, что позволяет использовать их без дополнительного защитного оборудования, а именно барьеров искрозащиты.

Описание встроенного программного обеспечения датчика

Программа предназначена для обеспечения работы унифицированной цифровой платы в датчиках ИВД, производящих измерения, расчёт физических величин и передачи их по интерфейсу RS485 в контроллер верхнего уровня по протоколу Modbus RTU и выдачу дискретных сигналов при превышении величиной заданной уставки.

В течение 1000 мс (5 выборок по 200 мс) идет усреднение данных по каждому каналу последовательно. После включения питания пока «правильные» данные не будут готовы, обработки «событий» (см. ниже) производиться не будет и на запрос на чтение данных по протоколу обмена будет ответ с кодом ошибки «02». «Правильными» данными после подачи питания считаются данные полученные, после первых 2-х циклов расчета по каждому каналу.

Передача производится по сети MODBUS. Стандартные Modbus-порты используют совместимый последовательный интерфейс RS-232C.

Адресное поле фрейма содержит 8 бит. Допустимый адрес передачи находится в диапазоне 1 – 247. Каждому подчиненному устройству присваивается адрес в пределах от 1 до 247.

Поле функции фрейма содержит 8 бит. Функции, реализованные в датчике, приведены ниже.

Когда подчиненный отвечает главному, он использует поле кода функции для фиксации ошибки. В случае нормального ответа подчиненный повторяет оригинальный код функции. Если имеет место ошибка, возвращается код функции с установленным в 1 старшим битом.

Например, сообщение от главного подчиненному прочитать группу регистров имеет следующий код функции:

0000 0011 (03 hex)

Если подчиненный выполнил затребованное действие без ошибки, он возвращает такой же код. Если имеет место ошибка, то он возвращает:

1000 0011 (83 hex)

В дополнение к изменению кода функции, подчиненный размещает в поле данных заводской код, который говорит главному, какая именно ошибка произошла или причину ошибки. Возможные варианты ошибок так же приведены ниже.

Алгоритм работы

Устройства с контроллерами могут быть соединены напрямую или через модем. Устройства соединяются, используя технологию главный-подчиненный, при которой только одно устройство (главный) может инициировать передачу (сделать запрос). Другие устройства (подчиненные) передают запрашиваемые главным устройством данные, или производят запрашиваемые действия. Датчик является подчиненным устройством в сети, и не может инициировать передачу.

Блок управления контроллерный БУК 010 является основным управляющим элементом системы САУ АВО. Блок БУК 010 предназначен для создания автоматизированных управляющих или информационных систем. Конструктивно блок БУК 010 является законченным изделием и представляет собой металлический ящик с крышкой, внутри которого расположены составные части блока. На стенке ящика установлены разъемы для подключения питания и внешних входных и выходных сигналов. Основным управляющим элементом является микроконтроллер 6050. Работа блока БУК 010 производится по программе, записанной во флэш-память.

Цикл программы обработки информации с датчиков вибрации начинается проверки готовности датчика к проведению измерений уровня вибрации и передаче измерительной информации по интерфейсу RS-485 на верхний уровень. Для проверки готовности датчика проверяется наличие связи с ним. Если есть связь с датчиком, то на него отправляется запрос на считывание измерительной информации. В противном случае на АРМ сменного инженера отправляется сигнал для отображения состояния неисправного датчика. Попытка считывания измерительной информации производится, а если на попытку чтения данных датчик ответил одним из кодов ошибки, то на АРМ сменного инженера отправляется сигнал для отображения состояния неисправного датчика. Если же попытка чтения данных была успешной, то считанная информация проверяется на наличие кода

превышения аварийной уставки датчика. При превышении уровня аварийной уставки датчика программа выполняет следующие действия:

- отправляет сигнал отключения двигателя;
- включает сигнализацию на АРМ сменного инженера компрессорной станции;
- отображает на АРМ сменного инженера состояние выключенного двигателя;
- отображает на АРМ сменного инженера максимальный измеренный уровень вибрации двигателя до его отключения;
- отправляет сигнал для блокировки последующих включений двигателя;
- отправляет сигнал на СПП для включения свободного двигателя (если он есть) вместо отключённого.

Если код превышения уровня аварийной уставки датчика отсутствует, то считанная информация проверяется на наличие кода превышения предупредительной уставки датчика. При превышении уровня предупредительной уставки датчика программа выполняет следующие действия:

- включает сигнализацию на АРМ сменного инженера компрессорной станции;
- отправляет сигнал для блокировки последующих включений двигателя;
- отображает на АРМ сменного инженера состояние включенного двигателя;
- записывает в архив текущее значение уровня вибрации;
- отображает на АРМ сменного инженера текущее значение уровня вибрации, после чего цикл начинается заново.

– Если код превышения уровня предупредительной уставки датчика отсутствует, то считанное значение уровня вибрации проверяется на равенство нулю. Если считанное значение уровня вибрации не равно нулю, то программа выполняет следующие действия:

- отображает на АРМ сменного инженера состояние включенного двигателя;
- записывает в архив текущее значение уровня вибрации;
- отображает на АРМ сменного инженера текущее значение уровня вибрации, после чего цикл начинается заново.

– Если считанное значение уровня вибрации равно нулю, то программа отображает на АРМ сменного инженера состояние выключенного двигателя, после чего цикл начинается заново.

Программа выполняется циклически и последовательно обрабатывает каждый датчик вибрации и, применительно к двигателю, на котором установлен этот датчик, осуществляет соответствующие воздействия и отображает всю необходимую информацию.

Заключение

В качестве основы для реализации данной системы была взята одна из существующих систем автоматического управления АВО газа, которая является типовым решением для схожих проектов компрессорных станций, обеспечивает все требуемые параметры технологического процесса обработки газа и имеет необходимые технические средства для последующей модернизации. Для реализации измерений параметров вибрационных процессов были подобраны датчики вибрации, соответствующие параметрам измеряемых величин и условиям работы. Модернизация системы может быть практически применена на любой типовой компрессорной станции, имеющей в своём составе АВО газа с электродвигателями в качестве привода. Практическую значимость при внедрении данной системы представляет возможность оперативного контроля, обнаружения и устранения неисправностей АВО газа, возникающих в ходе технологического процесса. Кроме всего прочего, на основании данных, предоставляемых системой, возможно составление ориентировочных прогнозов о будущих неисправностях АВО газа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов Е.А. Основы технической диагностики нефтегазового оборудования: учеб. -пособие для вузов / Е.А. Богданов. -Москва: Высш.шк., 2006. -279с.
2. Русов В.А. Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам / В.А. Русов – 6-ое изд. – Пермь: 2012. – 252 с.
3. Электронная электротехническая библиотека [Электронный ресурс] / Электронная электротехническая библиотека. Современное инженерное оборудование и систем. – Режим доступа: http://electrolibrary.info/subscribe/sub_16_datchiki.htm. Дата доступа: 01.11.2016.
4. Руководство по эксплуатации. датчик вибрации ИВД: ПБКМ 468223.003-08РЭ. – Дата введения 26.11.2008.