

УДК 62-83: 681.518.54: 534.647

## **ВИБРОДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РОТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ И ПРОЦЕССОВ**

**В.И. ЛУКОВНИКОВ, Д.А. ХАБИБУЛЛИН, В.В. ЛОГВИН**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»,  
Республика Беларусь*

**Н.Б.А. ФЕРШИШИ**

*Тунисский университет науки и техники*

### **Введение**

Общие вопросы теории и практики вибродиагностирования технического состояния технологического оборудования за последнее время разработаны достаточно полно [1].

Значительно меньше уделялось внимания созданию конкретных методик, ориентированных на вибродиагностирование роторных агрегатов специализированных производств.

### **Цель работы**

Разработать методику вибродиагностирования технического состояния роторных агрегатов с различными типами привода взрывоопасных химических, нефтехимических и нефтеперекачивающих производств, в том числе:

- насосных агрегатов сжиженного газа и нефти;
- вентиляторных агрегатов газодувок, дымососов, агрегатов воздушного охлаждения;
- компрессорных и турбокомпрессорных агрегатов.

### **Метод достижения цели**

При разработке методики использовались: наработанный за последние годы в ГГТУ им. П.О. Сухого опыт вибродиагностирования вращающихся (роторных) агрегатов взрывоопасных химических производств и объектов; научно-технические публикации и нормативные документы по вопросам вибродиагностики в Республике Беларусь и других странах СНГ; общие правила взрывобезопасности химических производств и объектов, утвержденные 28.06.1996 г. Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь [1-6].

## **1. Общие положения методики вибродиагностирования**

### **1.1. Нормы вибрации вращающихся агрегатов.**

Согласно международного стандарта ISO 2372-1974 [5] роторное машинное оборудование делится на классы в зависимости от мощности машин и типов фундаментов:

Класс 1. Отдельные узлы приводного механизма силовых и технологических агрегатов мощностью до 15 кВт (типичный пример – электродвигатель привода до 15 кВт).

Класс 2. Машины среднего размера, в частности, электродвигатели мощностью от 15 до 75 кВт, без специального фундамента; неподвижно установленные детали приводного механизма или машины мощностью до 300 кВт с вращающимися массами и установленные на специальном фундаменте.

Класс 3. Большие машины с вращающимися массами, установленные на жестких и массивных фундаментах, которые относительно жестки в направлении измерения вибрации. Жесткость крепления обследуемого объекта на фундаменте должна обеспечивать собственную частоту системы «объект-крепление к фундаменту» по оси измерения вибрации в несколько раз выше максимальной оборотной частоты агрегата.

Класс 4. Большие машины с вращающимися массами, установленные на фундаментах, которые относительно мягки в направлении вибрации. Жесткость крепления обследуемого объекта на фундаменте по оси измерения вибрации должна обеспечивать собственную частоту системы «объект – крепления к фундаменту» ниже 0,25 минимальной оборотной частоты агрегата. Пример мягкой установки машин – установка на пружинные амортизаторы при стендовых испытаниях.

Класс 5. Машины и приводные механизмы с несбалансированными массами (включая возвратно-поступательные узлы), установленные на фундаментах, которые относительно жестки в направлении измерения вибрации.

Нормы вибрации роторного оборудования по стандарту ISO 2372-1974 приведены в таблице 1, где оценки технического состояния в зависимости от среднеквадратичного значения (СКЗ) виброскорости обозначены: А – хорошо, В – пригодно, С – еще допустимо, Д – недопустимо.

Таблица 1

#### Нормы вибрации роторного оборудования

Нормы СКЗ виброскорости, мм/с	Оценки вибросостояния				
	Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4	Класс 5
до 0,28	А	А	А	А	А
0,28-0,45	А	А	А	А	А
0,45-0,71	А	А	А	А	А
0,71-1,12	В	А	А	А	А
1,12-1,8	В	В	А	А	А
1,8-2,8	С	В	В	А	А
2,8-4,5	С	С	В	В	А
4,5-7,1	Д	С	С	В	В
7,1-11,2	Д	Д	С	С	В
11,2-18	Д	Д	Д	С	С
18-28	Д	Д	Д	Д	С
28-45	Д	Д	Д	Д	Д
45-71	Д	Д	Д	Д	Д

#### 1.2. Месторасположение точек измерения вибрации.

Типовые схемы расположения точек измерения вибрации на типовых роторных агрегатах представлены на рис. 1, где точки измерения обозначены цифрами: 1, 2, 3, 4, 5, 6.

В каждой точке вибрации измеряют в трех взаимоперпендикулярных направлениях: вертикальном, горизонтально-поперечном и осевом по отношению к оси агрегата.

Вертикальная составляющая вибрации измеряется в направлении силы тяжести на верхней части крышки подшипника над серединой его ширины.

Горизонтально-поперечная составляющая вибрации измеряется на уровне оси вала против середины ширины подшипника в направлении, перпендикулярном вертикальной составляющей.

Осевая составляющая измеряется в горизонтальной плоскости, проходящей через ось вала ротора и в направлении этой оси.

## 2. Обработка результатов по точкам измерения для диагностики общего технического состояния агрегата

2.1. Методика сориентирована на периодический контроль агрегатов с помощью переносных виброанализаторов типов СК-2300 (Россия, г. Москва, ИТЦ «Оргтехдиагностика» ДАО «Оргэнергогаз») или VIBROTEST 60 (Германия, г. Дрезден, фирма «SCHENK»), имеющих взрывозащиту типа 1 Exibll и определяющих как общий уровень, так и амплитудно-частотный состав (спектр) сигнала вибрации.

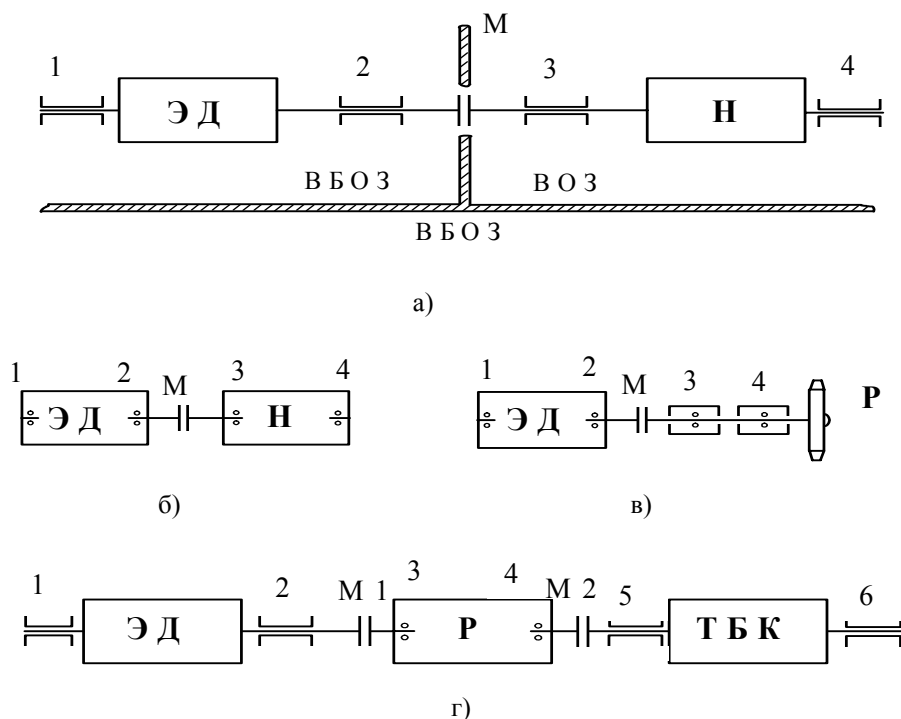


Рис. 1. Типовые схемы месторасположения точек измерения вибрации на насосном (а, б), вентиляторном (в) и турбокомпрессорном (г) агрегатах, где обозначено: ЭД – электродвигатель; Н – насос; РК – рабочее колесо; ТБК – турбокомпрессор; М – муфта; Р – редуктор; ВОЗ – взрывоопасная зона; ВБОЗ – взрывобезопасная зона

Для выявления дефектов роторных агрегатов на низких частотах (до 50 Гц) используется информация о виброперемещениях. Так, например, при частотах вращения газовых компрессоров 120-360 об/мин первые обратные частоты составляют 2-6 Гц, а собственные частоты трубопроводов и узлов газового хозяйства 9-21 Гц. Здесь следует измерять виброперемещение.

Дефекты на средних частотах (до 5000 Гц) хорошо выявляются по информации о виброскорости. Так, например, для вибродиагностики электрических машин (частоты вращения до 3000 об/мин) по ГОСТ 20815-93 [3] следует измерять виброскорость в диапазоне 10-1000 Гц.

На высоких частотах (до 50000 Гц) необходимо пользоваться информацией о виброускорении с целью диагностирования дефектов шестеренчатых редукторов, подшипников качения, вентиляторов, газовых турбин, насосов и других узлов, которые проявляются на частотах в несколько раз больших, чем оборотная, в зависимости от числа зубьев шестерен редуктора, пазов и зубцов ротора или статора электродвигателя, лопаток вентилятора или турбины и т. д.

2.2. Для диагностики общего технического состояния агрегата с помощью портативных виброанализаторов (п. 2.1) в определенных заранее точках изменения (п. 1.2) определяется среднеквадратичное значение (СКЗ) виброперемещения, виброскорости или виброускорения для последующего сравнения его с допустимой величиной.

Оценка «хорошо» характеризует практически бездефектное техническое состояние агрегата, поскольку его вибрация находится в пределах регламентированных значений, причем близко от нижней границы.

Оценка «пригодно» характеризует малую вероятность отказа при длительной номинально-режимной эксплуатации агрегата, поскольку его вибрация находится в пределах регламентированных значений.

Оценка «еще допустимо» характеризует наличие развивающихся дефектов и возрастание вероятности отказа, поскольку уровень вибрации близок к предельно допустимому значению. При этой оценке агрегат следует планомерно вывести в ремонт.

Оценка «недопустимо» характеризует высокую вероятность отказа, поскольку вибрация достигает критического значения. В этом случае агрегат нельзя эксплуатировать.

2.3. При эксплуатации агрегатов контрольные измерения общего уровня вибрации необходимо проводить со следующей периодичностью:

- при оценке «хорошо» 1 раз в 2 месяца;
- при оценке «пригодно» 1 раз в 1 месяц;
- при оценке «еще допустимо» ежедневно в течение 5 дней, а при стабилизации результатов 1 раз в 1 неделю;
- при оценке «недопустимо» агрегат останавливают для ремонта.

### **3. Обработка результатов по точкам измерения для выявления дефектов в агрегате**

3.1. Для выявления дефектов, вызвавших вибрацию, с помощью портативных виброанализаторов в точках измерения записываются спектрограммы в СКЗ виброперемещения, виброскорости или виброускорения.

Имеющиеся на спектрограммах вибрации пики регистрируются по номерам гармоник (частотам) и расставляются по амплитудам в СКЗ, начиная с наибольшего (ранжируются).

По результатам регистрации и ранжировки составляются таблицы, в которых для каждой точки измерения по каждой оси расположения датчиков сообщается общий уровень вибрации в СКЗ и дается список спектральных пиков с указанием частот (гармоник) и амплитуд в СКЗ, расставленных по величине («по росту»).

3.2. Для выявления опасности дефектов по узлам агрегата наибольшие из ранжированных пиков по СКЗ сравниваются с нормами в таблице 1, чем устанавливаются оценки технического состояния узлов агрегата на частотах этих пиков.

Для выявления видов дефектов частоты наиболее опасных пиков сопоставляются с диагностической матрицей, которая устанавливает соответствие неисправностей узлов роторного агрегата и номеров гармоник (частот) пиков.

В работе [6] диагностическая матрица расписана для насосного агрегата, хотя она справедлива и для других видов роторных агрегатов.

Рекомендации по выводу в ремонт и периодичности контрольных измерений вибрации, изложенные в п. 2.2 и п. 2.3 для диагностики общего технического состояния агрегата, справедливы и при выявлении дефектов по виду и узлам агрегата.

#### 4. Определение остаточного ресурса работы агрегата

Прогнозирование остаточного ресурса работы агрегата основывается на результатах периодического вибрационного обследования его узлов и производится только для агрегата, техническое состояние которого по результатам обследования оценивается «пригодно» и «еще допустимо». Причем в последнем случае оценка ресурса остаточной безопасной работоспособности агрегата производится в обязательном порядке.

Определение остаточного ресурса осуществляется как по общему уровню вибрации, так и по величине наибольшего пика спектрограмм всех узлов (наиболее опасный дефект).

Остаточный ресурс определяется по тренду наиболее опасной вибрации, как отрезок времени от последнего виброконтроля до возможного момента времени перехода вибрацией критического уровня («недопустимо»).

Этот отрезок времени определяется с помощью наиболее вероятной аппроксимации тренда на конечном участке, как это показано на рис. 2.

На представленном примере тренд построен по шести величинам СКЗ виброскорости, измеренным за последние шесть недель, что соответствует оценке технического состояния агрегата «еще допустимо».

Видно, что аппроксимация конечного участка тренда дает прогноз на остаток ресурса работы в 1 неделю.

Достоверность прогноза остаточного ресурса работы агрегата (узла) будет достаточно велика, если отношение времени, за которое построен тренд, к времени остаточного ресурса не менее 6:1 [5].

#### 5. Пример вибрационного обследования насосного агрегата НПС «Гомель» РУП «Гомельтранснефть»

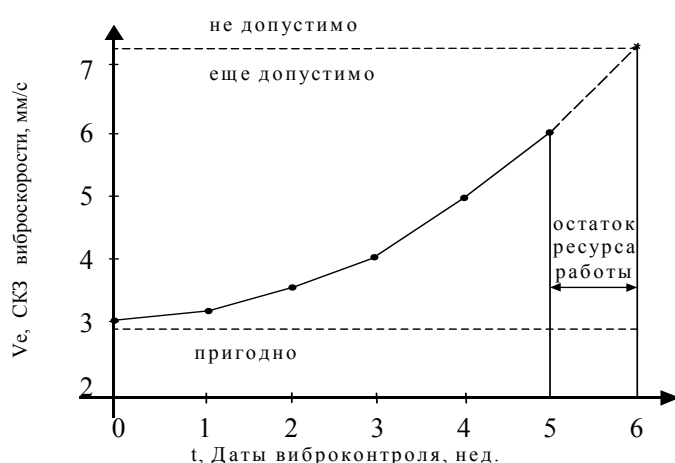


Рис. 2. Пример определения остаточного ресурса безопасной работы машины класса 2 при оценке технического состояния «еще допустимо»

С помощью прибора СК-2300 обследовалось техническое состояние опорных подшипников, корпуса насоса, входного и выходного трубопроводов насосного агрегата № 3 в насосной № 1.

Согласно изложенной методике диагностирования по распечаткам был составлен список спектральных пиков и произведено их ранжирование.

По рекомендациям ISO 2372 насосные агрегаты НПС «Гомель» относятся к машинному оборудованию 3-го класса. Сопоставление нормы вибрации (табл. 1) для этих

машин с общим СКЗ виброскорости узлов агрегата № 3 насосной № 1 позволило оценить их состояние «пригодно» (В). Поэтому дефекты, обнаруженные путем сопоставления наибольших спектральных пиков (табл. 1) с диагностической матрицей [6], следует оценить как начальные, возможно развивающиеся, но не катастрофические.

Амплитуды спектральных пиков, указывающих на эти неисправности, в разных точках измерения достигают следующих предельных значений относительно общего СКЗ:

- 1 гармоника – 91 % – дисбаланс и разболтанность механических связей;
- 1/8 гармоника – 56 % – несимметричное отставание опоры от рамы;
- 2 гармоника – 49 % – нарушения в подшипниках скольжения;
- 7 гармоника – 47 % – гидродинамическая неуравновешенность;
- 3 гармоника – 45 % – электрическая и магнитная несимметрия электродвигателя.

С целью подтверждения полученных результатов, агрегат № 3 был одновременно обследован и с помощью прибора VIBRO-FFT 41 фирмы SCHENK.

Расхождение результатов измерения не превысило 10 %, причем прибор VIBRO-FFT41 дал показания ниже, чем прибор СК-2300.

#### Список литературы

1. Луковников В.И., Бордовский М.А. Концентрация построения системы комплексной диагностики насосных агрегатов //Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2001. – № 1. – С. 35-40.
2. Общие правила взрывобезопасности химических производств и объектов. – Минск: МЧС. – 1996. – 80 с.
3. ГОСТ 20815-93. Машины электрические вращающиеся. Вибрация машин с высокой оси вращения свыше 355 мм. Методы измерений и допустимые значения.
4. ISO 2372-1974. Mechanical vibration of large rotating machines with speed range from 10 to 200 rev...s. Measurement and evaluation of Vibration severity in siti.
5. Надежность и эффективность в технике: Справочник. Т.1 //Ред. совет: В.С. Авдудевский (предс.) и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
6. Разработка методики и аппаратурной реализации для вибродиагностического прогнозирования технического состояния электроприводов с насосными агрегатами ГПТН «Дружба» //Научно-технический отчет, № ГР 1999836. – Гомель: ГО БИА. – 2000. – 61 с.

Получено 07.04.2003 г.