

10. Blei David M., Ng Andrew Y., Jordan Michael I. Latent dirichlet allocation // Journal of Machine Learning Research. — 2003. — Vol. 3. — Pp. 993–1022.

11. Воронцов К. В. Аддитивная регуляризация тематических моделей коллекций текстовых документов // Доклады РАН. — 2014. — Т. 456, № 3. — С. 268–271.

МОНИТОРИНГ И НОРМИРОВАНИЕ ВИБРАЦИИ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ХИМИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Шайхатаров Инсаф Фаисович
магистрант,

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
(420015, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, 68)

Залаяев Ринат Равилевич

кандидат технических наук,

(420074, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Троицкий лес, 29, А)

MONITORING AND RATIONING VIBRATION OF DYNAMIC EQUIPMENT AT A CHEMICAL PLANT

Shaykhatarov Insaf Faisovich
graduate student,

Kazan National Research Technological University

(420015, Russia, Republic of Tatarstan, Kazan, 68 K. Marx St.)

Zalyaev Rinat Ravilevich

Candidate of Technical Sciences,

(420074, Kazan, Russia, Republic of Tatarstan 29, Troitsky les str., 29A).

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2020.2.75.828](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.2.75.828)

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена вопросам нормирования параметров вибрации при вибрационной диагностике динамического оборудования (компрессоров, насосов) на примере крупного химического предприятия. Проведен анализ нормативной и технической документации, рассмотрены критерии оценки вибрации.

ABSTRACT

The article is devoted to the questions of normalization of vibration parameters at vibration diagnostics of dynamic equipment (compressors, pumps) by the example of large chemical enterprise. The analysis of normative and technical documentation is carried out, vibration assessment criteria are considered.

Ключевые слова: вибрация, мониторинг, вибродиагностика, динамическое оборудование, нормируемые параметры, надежность эксплуатации оборудования, техническое состояние оборудования.

Keywords: vibration, monitoring, vibrodiagnostics, dynamic equipment, normalized parameters, equipment operation reliability, technical condition of the equipment.

На предприятиях химической промышленности используется большое количество различных машин (насосов, компрессоров и др.), которые являются источниками вибрации. Контроль вибрации этих машин имеет важное значение для поддержания их работоспособного технического состояния, а также снижения вредного воздействия вибрации на персонал, работающий на производстве. В связи с этим нормирование параметров вибрации является актуальной задачей, направленной на обеспечение надежности эксплуатации машин.

Мониторинг вибрации оборудования широко используется на многих предприятиях в настоящее время. Вновь монтируемые компрессоры и другое важное оборудование, как правило, оснащаются стационарными системами контроля вибрации, связанными с общей системой управления и контроля эксплуатационных параметров оборудования [1].

В данной статье рассмотрены некоторые вопросы повышения надежности эксплуатации оборудования путем контроля и нормирования параметров вибрации, которые применяются на

предприятиях химической промышленности. Рассмотрены основные стандарты, применяемые для нормирования вибрации при эксплуатации динамического оборудования.

Как правило, допустимый уровень вибрации для каждой единицы динамического оборудования устанавливается в соответствии с документацией завода - изготовителя (паспортом на изделие).

Однако, на многих предприятиях до сих пор применяется большое количество машин, введенных в эксплуатацию десятки лет назад. Оригинальные паспорта или требования по вибрации на них зачастую отсутствуют, поэтому, как правило, приходится устанавливать предельные нормы вибрации в соответствии с современными международными и национальными стандартами [1].

На ряду с мониторингом вибрации на предприятии должен быть внедрен комплекс мер, обеспечивающий высокое качество обслуживания и ремонта оборудования, включающий в себя наличие технических условий на ремонт оборудования, систему входного контроля качества запасных частей к оборудованию, систему

подготовки и повышения квалификации ремонтного и эксплуатирующего персонала, систему мотивации высококвалифицированных специалистов т.д. [1].

Кроме этого должна проводиться диагностика зарождающихся дефектов и неисправностей на машинах в процессе эксплуатации по результатам контроля и сбора параметров вибрации. Для этого необходимы специальные приборы и программное обеспечение, позволяющее проводить такие работы. Необходимы также на предприятии специалисты, имеющие соответствующую квалификацию и подготовку для ведения этой работы.

Все это является залогом безаварийной надежной работы оборудования.

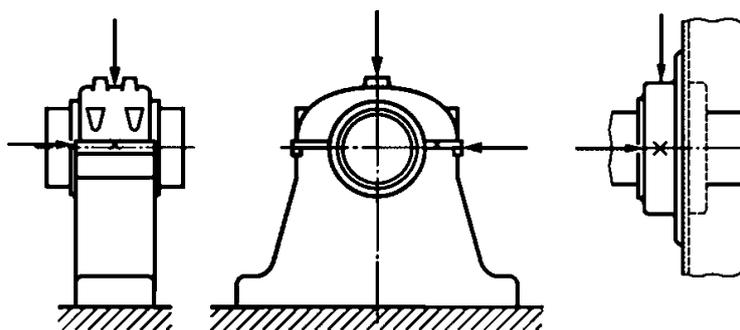


Рисунок 1. Точки измерения вибрации на корпусах.

Согласно стандарту ГОСТ Р ИСО 10816-3-2002 для оценки вибрации машин устанавливаются предельные величины среднего квадратического значения (СКЗ) виброскорости в диапазоне частот от 10 до 1000 Гц, которая является интегральной характеристикой интенсивности вибрации и пропорциональна энергии колебаний [3]. Измерения вибрации на корпусах машин выполняются в плоскостях расположения подшипников, на лапах крепления корпуса к фундаменту (Рисунок 1).

В стандарте предусмотрена классификация оборудования на четыре группы в зависимости от конструкции, типов применяемых подшипников и жесткости конструкций промышленных машин с номинальной мощностью более 15 кВт и номинальной частотой вращения от 120 до 15000

Нормирование абсолютной вибрации на корпусах машин.

Как известно, в основу современных стандартов по нормированию вибрации легли VDI 2056 и ИСО 2372, которые заложили принципы и критерии оценки вибрации машин. Позже, на их базе была разработана серия стандартов ГОСТ ИСО 10816, которые устанавливают допустимые значения вибрации различных машин, разбитых на группы в зависимости от мощности привода и характеристик жесткости их конструкций, на основе оценки среднего квадратического значения виброскорости, измеренной в заданном диапазоне частот на корпусах машин [2].

об/мин (Таблица 1). Устанавливаются критерии оценки технического состояния машины в виде диапазонов значений средней квадратической виброскорости.

СКЗ виброскорости можно вычислить по следующей формуле:

$$v = \sqrt{T^{-1} \int_0^T v^2(t) dt}, \quad (1)$$

где v – СКЗ виброскорости;

$v(t)$ – функция виброскорости от времени;

T – период выборки, который должен быть много больше периода любого из основных частотных компонентов, содержащихся в $v(t)$.

Таблица. 1.

Нормы вибрации v скз по Классам.

| v , мм/с | Класс 1 | Класс 2 | Класс 3 | Класс 4 |
|------------|---------|---------|---------|---------|
| 0.28 | A | A | A | A |
| 0.45 | | | | |
| 0.71 | | | | |
| 1.12 | B | B | B | A |
| 1.8 | | | | |
| 2.8 | C | C | C | B |
| 4.5 | | | | |
| 7.1 | | | | |
| 11.2 | D | D | D | C |
| 18 | | | | |
| 28 | | | | |
| 45 | | | | |

Нормирование относительного виброперемещения шеек роторов.

Большой класс машин, применяемых на химических предприятиях, такой как центробежные компрессоры с высокими частотами вращения роторов, имеют высокую жесткость и массу корпусов, которые превосходят характеристики жесткости системы ротор – подшипники. Для таких машин измерение вибрации на корпусе (например, в сечениях подшипников) может быть недостаточным для отражения вибрационного состояния.

Такие машины обычно имеют «гибкие» роторы, работающие на частоте вращения,

расположенной выше критической частоты или вблизи нее.

Виброперемещения вращающихся шеек ротора таких машин относительно корпуса, как правило, более чувствительные к изменению состояния машины. Для них предпочтительными являются измерения относительной вибрации вала с помощью стационарно установленной на корпусе системы контроля виброперемещения шеек (Рисунок 2). Требования к измерениям вибрации вала, а также соответствующие критерии изложены в серии международных стандартов ГОСТ ИСО 7919 – 2002 [4].

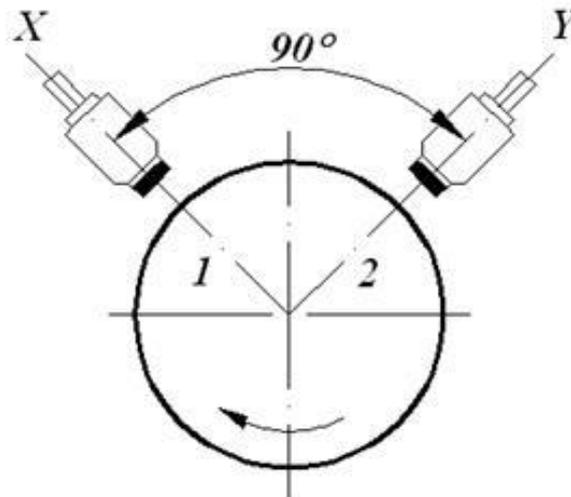


Рисунок 2. Датчики виброперемещения.

Согласно ГОСТ ИСО 7919-1-2002, оценку вибрационного состояния машины получают по результатам измерений как относительного виброперемещения, так и абсолютного виброперемещения вала.

Относительное виброперемещение вращающейся шейки ротора измеряется относительно некоторого корпусного конструктивного элемента машины.

При проведении измерений виброперемещений определяются:

$S_{(p-p)}$ - размах виброперемещения в направлении измерений;

S_{max} - максимальное виброперемещение вала относительно среднего положения в плоскости измерений.

На данный момент при применении критериев оценки состояния используют максимальное из двух размахов виброперемещения $S_{(p-p)}$, измеренных в двух взаимно перпендикулярных направлениях. В дальнейшем, по мере накопления экспериментальных данных, более предпочтительным может оказаться использование параметра S_{max} .

Согласно п.А.2.2 [4], границы зон состояния устанавливаются в зависимости от частоты вращения вала:

$$S_{(p-p)} = 4800/\sqrt{n} \text{ - для границы зон А/В;}$$

$$S_{(p-p)} = 9000/\sqrt{n} \text{ - для границы зон В/С;}$$

$$S_{(p-p)} = 13200/\sqrt{n} \text{ - для границы зон С/Д.}$$

Нормирование вибрации в соответствии с санитарными нормами.

Воздействие вибрации на персонал химических предприятий носит, как правило, непостоянный (прерывистый) характер, т.к. обслуживающий персонал в основном находится в отдельных изолированных помещениях (операторных), и воздействие вибрации происходит лишь с интервалом, определяемым графиком обслуживания динамического оборудования.

Основные требования к вибрации на рабочих местах с точки зрения воздействия на человека изложены в санитарных нормах СН 2.2.4/2.1.8.566-96 [5] и санитарно-эпидемиологических требованиях СанПиН 2.2.4.3359-16 [6].

В помещениях предприятий химической промышленности преобладает общая вибрация 3 категории (технологическая вибрация) из классификации вибраций по источнику возникновения [5]. Следует отметить, что воздействие непостоянной вибрации характеризуется не только его эквивалентным, но и максимальным значениями. Однако, в санитарных

нормах ограничение воздействующего параметра по максимальному значению не предусмотрено.

Далее будем рассматривать общую вибрацию типа «А» - на постоянных рабочих местах производственных помещений предприятий. Поэтому нормируемые параметры и их допустимые величины выбираются по продолжительности воздействия вибрации на человека.

В связи с этим, оценку вибрации следует производить с учетом времени ее воздействия. В данном случае, согласно п. 5.5 санитарных норм [5], нормируемым параметром выбирается эквивалентное скорректированное значение виброскорости или виброускорения ($U_{эКВ}$) вычисленное по формуле:

$$U_{эКВ} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n U_i^2 \cdot t_i}{T}} \quad (2),$$

или их логарифмический уровень ($L_{U_{эКВ}}$):

$$L_{U_{эКВ}} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} \cdot t_i \right), \quad (3),$$

где U_i – скорректированное по частоте значение контролируемого параметра виброскорости (v , L_v), м/с, или виброускорения (a , L_a), м/с²; t_i – время воздействия вибрации, ч.

$$T = \sum_{i=1}^n t_i, \quad (4),$$

где n – общее число интервалов действия вибрации.

ВЫВОДЫ:

1. Для обеспечения надежности эксплуатации оборудования на химическом предприятии должна быть внедрена система мониторинга вибрации, охватывающая все основное оборудование.

2. Наиболее важное оборудование, такое как центробежные компрессоры, являющиеся звеньями технологического процесса предприятия должны быть оснащены стационарными системами непрерывного мониторинга вибрации.

3. На предприятии должен функционировать комплекс мер, обеспечивающий высокое качество обслуживания и ремонта оборудования, включающий в себя технические условия на ремонт оборудования, систему входного контроля качества запасных частей к оборудованию, высокую квалификацию ремонтного персонала и т.д.

Список литературы:

1. Заляев Р.Р. Опыт организации мониторинга технического состояния динамического оборудования на основе вибрационной диагностики // Научное обозрение. 12/2016. С.201-206.

2. ГОСТ ИСО 10816-1-97. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 1. Общие требования. М.: Издательство стандартов, 1998.

3. ГОСТ Р ИСО 10816-3-2002. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 3. Промышленные машины номинальной мощностью более 15 кВт и номинальной скоростью от 120 до 15000 1/мин. М.: Стандартинформ, 2007.

4. ГОСТ ИСО 7919-1-2002. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на вращающихся валах. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2007.

5. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы. М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997.

6. СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2017.