

Уточнение критериев диагностирования вентиляционного оборудования на установках комплексной подготовки газа

DOI: 10.24411/2076-6785-2019-10036

А.А. Мацибора

заместитель начальника отдела главного механика

a.a.matsibora@gd-urengoy.gazprom.ru

Р.Р. Гареев

к.т.н., инженер по ремонту 1-ой категории ГП №12
r.r.gareev@gd-urengoy.gazprom.ru

Уренгойское промышленное управление филиала ООО «Газпром добыча Уренгой», Новый Уренгой, Россия

Актуальность вопроса оптимизации применяемой системы технического обслуживания и ремонта оборудования для многих предприятий заключается в переходе к обслуживанию по техническому состоянию, поэтапная реализация которого возможна при четком определении методов, средств, и глубины диагностирования оборудования. Предложенная система мониторинга среднеквадратического значения виброскорости на базе уточненных норм вибрации для роторного оборудования хотя и является начальным этапом реализации системы диагностирования по техническому состоянию, но достаточным условием внедрения такой системы обслуживания оборудования.

Ключевые слова

вентилятор, критерии диагностирования, уточнение норм вибрации, среднее квадратическое отклонение

Широко распространенная на сегодняшний день система регламентированного обслуживания согласно графику планово-предупредительных ремонтов (ППР) требует пересмотра, в первую очередь, в связи с тем, что для достижения основной цели системы ППР — обеспечение надежности и безаварийности работы технологического оборудования в заданный интервал межремонтного периода, количество ремонтов складывается с большим запасом, и во многом превосходит требуемый фактический объем ремонтных работ рассматриваемой единицы оборудования [1].

Система обслуживания по фактическому состоянию позволяет устранить главный недостаток системы ППР — обслуживание по заранее утвержденному графику вне зависимости от технического состояния механизма на данный момент. Идея системы обслуживания по фактическому состоянию заключается в предотвращении отказа оборудования, за счет использования методов определения технического состояния механизма в процессе эксплуатации по прямым или косвенным параметрам, позволяющих количественно оценить степень поврежденности узлов и деталей механизма. При анализе данных параметров производится оценка вида, объема, оптимального времени и продолжительности проведения ремонта [2].

Основным критерием при выборе метода диагностирования является возможность достижения максимально точной и достоверной оценки фактического состояния механизма, и классификация этого состояния: неисправное, исправное и т.д.

Для роторного оборудования наиболее информативным методом является вибрационная диагностика [3], основанная на анализе вибрации, источником которого является вращающийся вокруг оси ротор. Данный виброакустический сигнал несет основную информацию о техническом состоянии механизма и характере взаимодействия его узлов.

Вибрация характеризуется следующими параметрами [4]:

— виброперемещением (s , мм) — составляющая перемещения, описывающая вибрацию;

— виброскоростью (v , мм/с) — производная виброперемещения во времени;

— виброускорением (a , мм/с²) — производная виброскорости во времени.

Взаимосвязь колебательных величин (при синусоидальных колебаниях) выражается следующими зависимостями [4]:

$$s = \frac{v}{2\pi f} = \frac{10^3 a}{2\pi f} \quad (1),$$

$$v = 2\pi f s = \frac{10^3 a}{2\pi} \quad (2),$$

$$a = 10^{-3} s (2\pi f)^2 = 2 * 10^{-3} f v \quad (3),$$

где f — частота колебаний, Гц.

Выбор параметра определяется типом диагностируемого объекта и частотным диапазоном, на которых вибрируют основные дефекты данного механизма.

Как правило, при контроле широкополосной вибрации (10–1000 Гц) машин роторного типа в качестве оцениваемого параметра используют среднее квадратическое значение (СКЗ) виброскорости, поскольку оно связано с энергией колебаний [5]. Для дефектов с частотой вибрации выше (например, дефекты подшипников качения) или ниже (низкооборотные тихоходные механизмы) предпочтительнее проведение замеров виброускорения и виброперемещения соответственно [6].

СКЗ виброскорости в зависимости от времени выборки определяется соотношением [5]:

$$v = \sqrt{T_{\text{выб}}^{-1} \int_0^T v^2(t) dt} \quad (4),$$

где $v(t)$ — функция виброскорости от времени;

$T_{\text{выб}}$ — период выборки, который должен быть много больше периода любого из основных частотных компонентов, содержащихся в $v(t)$.

Большинство существующих на сегодняшний день приборов диагностирования позволяют регистрировать параметры вибрации с возможностью расчета СКЗ требуемой величины, а также производить спектральный анализ вибрации методом быстрого преобразования Фурье [4]. Физический смысл преобразования Фурье состоит в том, что если известна реализация процесса во временной области (амплитуда — время), то можно подсчитать вклад этой функции на частоте f_i , т.е. осуществить фильтрацию процесса, перейдя к распределению амплитуд $X(f)$ в частотной области [4].

На практике применение спектрального анализа сопряжено с некоторыми трудностями, связанными с отсутствием определенных знаний у обслуживающего персонала в области технической диагностики, непосредственно влияющие на достоверность диагноза о техническом состоянии объекта. Каждый дефект роторного оборудования (дисбаланс, расцентровка и т.д.) характеризуется своей картиной амплитудно-частотного распределения спектра вибрации, но общей чертой большинства из них является повышенное амплитудное значение гармоники на оборотной частоте вращения ротора. Как следствие, на спектре виброскорости порой сложно уловить незначительную разницу в причине повешенного уровня вибрации, особенно при наложении дефектов. Поэтому некоторые предприятия ограничиваются только

| № п. | Марка вентилятора | Nпр, кВт | Классификация по ГОСТ 31350 | Классификация по ГОСТ 10816 (по Nпр) | | Среднее арифмет. знач. Вектор v, мм/с | Среднее квадрат. отк. σ, мм/с | Зоны вибросостояний | | |
|------|-------------------|----------|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|---------------------|----------------|----------------|
| | | | Категория | Класс вибрации | Зона/ норма СКЗ V, мм/с | | | Зона A/B, мм/с | Зона B/C, мм/с | Зона C/D, мм/с |
| 1 | В06-300-2,5 | 0,18 | BV-3 (≤ 37 кВт) | Класс 1 (≤30 кВт) | Зона A /0,71 | 0,23 | 0,11 | 0,34 | 0,56 | 1,50 |
| 2 | В06-300-3,15 | 0,25 | | | | 0,31 | 0,14 | 0,45 | 0,73 | 1,98 |
| 3 | В06-300-4 | 0,25 | | | | 0,32 | 0,19 | 0,51 | 0,89 | 2,24 |
| 4 | В06-300-5 | 0,37 | | | | 0,41 | 0,14 | 0,55 | 0,83 | 2,42 |
| 5 | ВЦ4-70-2,5 | 0,25 | | | | 0,39 | 0,18 | 0,57 | 0,93 | 2,51 |
| 6 | В06-300-6,3 | 0,75 | | | 0,45 | 0,17 | 0,62 | 0,96 | 2,73 | |
| 7 | ВЦ4-70-4 | 0,75 | | | 0,48 | 0,21 | 0,69 | 1,11 | 3,04 | |
| 8 | ВЦ4-70-3,15 | 0,75 | | | 0,37 | 0,23 | 0,60 | 1,06 | 2,64 | |
| 9 | В-06-300-8 | 3 | | | 0,58 | 0,12 | 0,70 | 0,94 | 3,08 | |
| 10 | В06-300-10 | 3 | | | 0,61 | 0,17 | 0,78 | 1,12 | 3,43 | |
| 11 | ВЦ4-70-5 | 2,2 | | | 0,53 | 0,19 | 0,72 | 1,1 | 3,17 | |
| 12 | ВЦ4-70-6,3 | 7,5 | | | 0,65 | 0,21 | 0,86 | 1,28 | 3,78 | |
| 13 | ВЦ4-70-8 | 11 | | | 0,73 | 0,27 | 1,00 | 1,54 | 4,40 | |
| 14 | ВЦ4-70-10 | 11 | | | 0,83 | 0,25 | 1,08 | 1,58 | 4,75 | |
| 15 | ВЦ4-70-12,5 | 30 | | | Класс 2 (≥30 кВт) | Зона A/1,12 B/2,8 C/7,1 | 0,85 | 0,26 | 1,11 | 1,63 |
| 16 | ВЦ4-70-16 | 45 | BV-4 (> 37 кВт) | 0,92 | | | 0,29 | 1,21 | 1,79 | 5,32 |

Таб. 1 — Уточнение границ четырех зон вибрационных состояний для каждой марки вентилятора, эксплуатируемые на УКПГ
Tab. 1 — Updating of four vibration zones boundaries for each ventilator brands used at the CGTP.

мониторингом СКЗ виброскорости роторных механизмов. Связано это с тем, что СКЗ виброскорости является критерием степени отклонения технического состояния механизма от нормального, поскольку всегда реагирует на присутствие дефекта. Фактически, величина отклонения СКЗ виброскорости от нормативных значений следует принимать как обоснование возможности дальнейшей эксплуатации механизма до проведения следующих замеров, либо необходимости вывода в ремонт. При этом не представляется возможным определение причины дефектного состояния, и данный вопрос скорее является следующим этапом внедрения системы обслуживания по техническому состоянию для тех предприятий, которые только начали осваивать систему диагностирования роторного оборудования.

Существуют критерии двух видов, определяющие нормативные значения для оценки вибрационного состояния механизма, которые заключаются в сравнении уровня вибрации (максимальное из полученных СКЗ виброскорости каждой подшипниковой опоры механизма) с рекомендуемыми значениями для четырех классов механизмов (критерий 1) либо с предварительно установленными значениями для данной марки механизма в нормальном режиме эксплуатации (критерий 2) [5].

Критерий 1 предусматривает четыре зоны технического состояния механизма: А — хорошее, В — приемлемое, С — допустимое (ограничено), D — недопустимое.

Значение границ данных четырех зон установлены исходя из класса механизма:

- класс 1 ($N_{пр} < 15$ кВт);
- класс 2 ($15 \leq N_{пр} < 75$ кВт);
- класс 3 ($75 \text{ кВт} \leq N_{пр} < 10$ МВт);
- класс 4 ($N_{пр} \geq 10$ МВт),

где $N_{пр}$ — мощность привода механизма [4, 5].

Согласно представленной классификации по мощности привода вентиляционное оборудование ООО «Газпром добыча Уренгой», включающее около 4 тыс. шт. (16 различных марок), подразделяется только на два класса (1 и 2) с соответствующими допустимыми СКЗ виброскорости для каждой зоны вибрационного состояния.

Согласно ГОСТ 31350-2007 [7] классификация для обширного парка применяемого вентиляционного оборудования промысла предусматривает всего две группы (BV-3, BV-4) в зависимости от мощности привода:

$$N_{пр} (BV-3) \leq 37 \text{ кВт} < N_{пр} (BV-4) \quad (5)$$

Классификация по вышеуказанным стандартам, наиболее близких к вентиляционному оборудованию, не удовлетворяет предъявляемым требованиям, позволяющим реализовать систему обслуживания по фактическому состоянию на установках комплексной подготовки газа (УКПГ), и не обладает достаточной степенью индивидуализации нормируемых значений параметров вибрации для различных механизмов одного класса. Другими словами, при использовании данной классификации для вентиляционного оборудования УКПГ устанавливаются одинаковые нормы вибрации допустимой эксплуатации для вентиляторов с значительным различием в габаритных размерах (~4 раза) и массах (~15 раз). Возникает необходимость разграничить различные механизмы одного класса по приведенным ранее стандартам, перегруппировав их по другим критериям или признакам, и уточнить для них допустимые значения вибрации.

Авторами предложено пересчитать нормы вибрации для вентиляционного оборудования, и установить новые значения виброскорости, уточняющие границы зон вибрационных состояний (А, В, С, D) для каждой

марки вентилятора, эксплуатируемые на УКПГ. Для этого произведена регистрация и анализ уровня вибрации подшипниковых опор значительного числа вентиляторов каждой марки, находящихся в технически исправном состоянии, в трех основных направлениях: вертикальном, горизонтальном и осевом. Уточнение граничных зон допустимой виброскорости для представленного оборудования произведено по методике Центрального научно-исследовательского института морского флота [4].

По полученным результатам точек измерений уровня вибрации (максимальное СКЗ виброскорости) для вентиляторов одной марки произведен расчет среднего арифметического значения для каждой марки вентиляторов [4]:

$$\bar{v} = \frac{\sum v_i}{n} \quad (6)$$

где v_i — уровни вибрации i -го измерения, мм/с, n — количество измерений.

Параметры вибрации, как правило, подчиняются нормальному закону распределения. Исходя из этого, корень квадратный из дисперсии вычисляется по формуле [4]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}{n-1}} \quad (7)$$

Верхние границы зон вибрационных состояний А, В и С соответственно принимаются [4]:

$$v_A = \bar{v} + (1 \div 1,5)\sigma \quad (8)$$

$$v_B = \bar{v} + 3\sigma \quad (9)$$

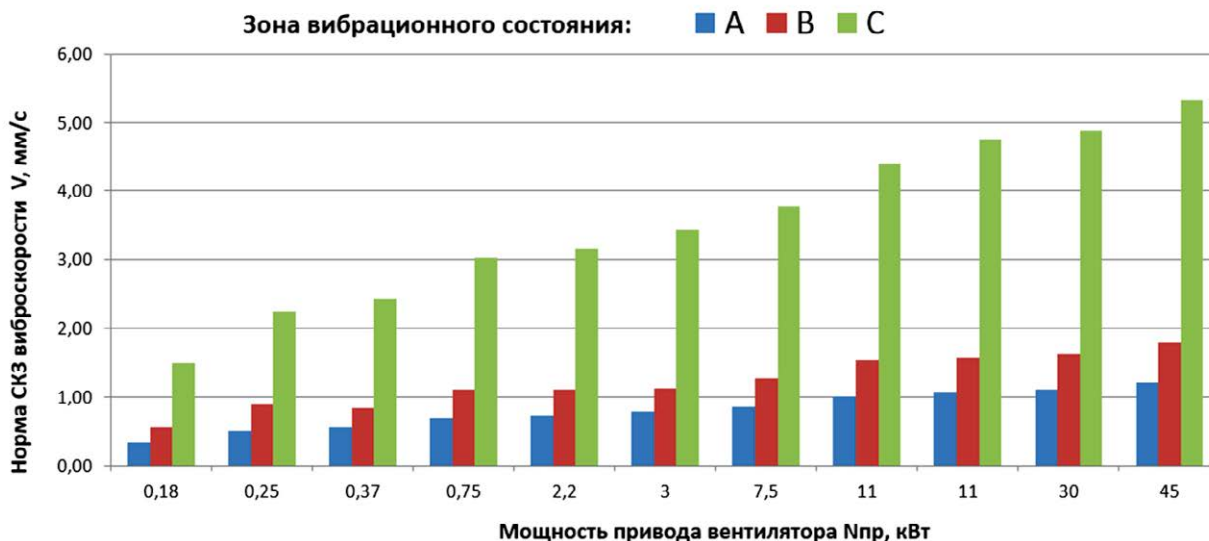


Рис. 1 — Гистограмма определения границ СКЗ виброскорости зон вибрационных состояний A, B, C и D по мощности привода вентилятора

Fig. 1 — Bar graph of vibration velocity RMS boundaries for vibration zones A, B, C, and D by the ventilator drive power

$$v_C = 4,4v_A \quad (10).$$

Полученные в результате расчетов значения четырех зон вибрационных состояний представлены в таб. 1.

Допустимые значения виброскорости четырех зон вибрационных состояний для каждой марки вентиляторов на УКПГ позволяют индивидуализировать критерии диагностирования вентиляционного оборудования, тем самым обеспечив выявление дефектов на ранних стадиях развития. Следует отметить, что большинство из рассчитанных значений норм вибрации не превышает нормативных значений по ГОСТ 10816-1, таким образом, требования стандарта не снижаются. Например, уточненное значение для зоны C (превышение которого является основанием для ремонта механизма) только для одного вентилятора (марки ВЦ4-70-10, занимающий граничную позицию в первом подклассе) превысило на +0,25 мм/с нормативное значение для зоны C по ГОСТ 10816-1, в отличие от остальных 15 видов, у которых превышение не наблюдается.

Полученные данные позволили установить эмпирическую зависимость допустимых СКЗ виброскорости для четырех зон вибрационных состояний от мощности привода вентилятора (рис. 1). Для других марок вентиляторов определение значений границ зон вибрационных состояний A, B, C, D производится по приведенному мощностному диапазону привода вентилятора, который определен исходя из имеющегося в наличии на УКПГ вентиляционного оборудования. При установке на предприятии вентилятора другой марки, отличного от применяемого, граничные значения зон

вибрационных состояний определяются в зависимости от подходящего диапазона мощности. Например, для диапазона мощности $N = 0,18 \div 0,25$ кВт граничные значения виброскорости для зон вибрационных состояний составляют: A < 0,51 мм/с, B < 0,89 мм/с, C < 2,24 мм/с, D $\geq 2,24$ мм/с.

Итоги

Актуальность освещенных в статье вопросов и полученных в процессе проведенных исследований результатов обоснована необходимостью оптимизации применяемых систем обслуживания роторного оборудования, которое на многих российских предприятиях по-прежнему эксплуатируется согласно графику ППР. Переход к системе обслуживания роторного оборудования по техническому состоянию требует использования методов вибродиагностирования, и первый этап внедрения системы заключается в мониторинге СКЗ виброскорости.

Выводы

Результаты пересчета нормативных значений для зон вибрационных состояний на примере вентиляционного оборудования, эксплуатируемого на УКПГ, позволяют уточнить критерии диагностирования механизмов, повысить «чувствительность» системы к зарождающимся дефектам с учетом марки вентилятора в индивидуальном порядке, обеспечить возможность предотвращения начала деградиционных процессов, связанных с влиянием дефекта в процессе эксплуатации, и обосновать дальнейший режим работы механизма. Интерпретация результатов исследований в виде эмпирической графической

зависимости позволяет допустить применение полученной закономерности допустимых значений виброскорости от мощности привода вентиляционного оборудования для идентификации зон вибрационных состояний вентиляторов, отсутствующих в перечне исследованных.

Литература

- СТО 05751745-200-2015 Положение о системе технического обслуживания и ремонта технологического оборудования в ООО «Газпром добыча Уренгой». Новый Уренгой, 2015. 176 с.
- Ямалиев В.У., Гареев Р.Р. Оптимизация системы диагностирования динамического оборудования на установках комплексной подготовки газа // Газовая промышленность. 2012. №12. С. 91–93.
- ГОСТ 24346-80 Вибрация. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1984. 31 с.
- Розенберг Г.Ш., Мадорский Е.З., Голуб Е.С. и др. Вибродиагностика. С-Пб.: ЭИИПК, 2003. 284 с.
- ГОСТ ИСО 10816-1-97 Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 1. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2007. – 19 с.
- Корякин А.Ю., Гареев Р.Р., Ямалиев В.У., Мацибора А.А. Испытательный стенд для вибрационной диагностики подшипников качения в условиях производства // Газовая промышленность. 2014. №3. С. 89–92.
- ГОСТ 31350-2007 Вибрация. Вентиляторы промышленные. Требования к производимой вибрации и качеству балансировки. М.: Стандартинформ, 2008. 73 с.

Clarification of diagnostics criteria for complex gas treatment plant equipment

UDC 681.518.5

Authors

Andrey A. Matsibora — deputy head engineer; a.a.matsibora@gd-urengoy.gazprom.ru

Rustem R. Gareev — Ph.D., 1st category maintenance engineer at GP №12; r.r.gareev@gd-urengoy.gazprom.ru

Urengoy gas production department Gazprom добыча Urengoy LLC branch, Novy Urengoy, Russian Federation

Abstract

Optimizing the applied systems of technical maintenance and repair of the equipment is of current concern for many companies. It involves switching to condition based maintenance, which is possible, if methods, means, and depth of the equipment diagnostic are determined clearly. The suggested monitoring system for the mean-square value of vibration velocity based on the specified rates of vibration for rotary equipment is an initial phase of implementing the condition based maintenance, though it is sufficient.

Keywords

ventilator, diagnostic criteria, specification of rates of vibration, mean-square deviation

Results

The urgent character of the issues covered in the article and of the results obtained in the studies is proven by the required optimization of the applied rotary equipment maintenance systems that many of the Russian companies still operate under PM schedule. Switching to the condition based maintenance of the rotary equipment requires using methods of vibrodiagnostics. The first phase of the system implementation is monitoring the RMS of the vibration velocity.

Conclusions

Results of the recomputation of standard values for vibration zones exemplified by the ventilation equipment used at the complex gas treatment plant allow

specifying the criteria for mechanisms diagnostic, increasing system sensitivity to incipient defects with consideration of ventilator brand on case-by-case basis, providing for an opportunity to prevent from initiation of processes of degradation related to the defect impact during the operation process, and justifying further mode of mechanism work. Interpreting results of the studies as an empirical dependence diagram allows using of the obtained conformity of the accepted values of the vibration velocity and the ventilation equipment drive power to identify the vibration zones of the ventilators not listed among the studied ones..

References

1. STS 05751745-200-2015 *Polozhenie o sisteme tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta tekhnologicheskogo oborudovaniya v OOO «Gazprom dobycha Urengoy»* [Regulation on the system of technical maintenance and repairs of the process equipment in Gazprom dobycha Urengoy LLC]. Novy Urengoy, 2015, 176 p.
2. Yamaliev V.U., Gareev R.R. *Optimizatsiya sistemy diagnostirovaniya dinamicheskogo oborudovaniya na ustanovkakh kompleksnoy podgotovki gaza* [Optimization of the system of rotating equipment diagnostic at the complex gas treatment plant]. Gaz industry, 2012, issue 12, pp. 91–93.
3. GOST 24346-80 *Vibratsiya. Terminy i opredeleniya* [Vibration. Terms and Definitions]. Moscow: Publishing house of standards, 1984, 31 p.
4. Rozenberg G.Sh., Madorskiy E.Z., Golub E.S. and others. *Vibrodiagnostika* [Vibrodiagnostics]. St. Petersburg: PEIPK, 2003. 284 p.
5. GOST ISO 10816-1-97 *Vibratsiya. Kontrol' sostoyaniya mashin po rezul'tatam izmereniy vibratsii na nevrashchayushchikhsya chastyakh. Chast' 1. Obshchie trebovaniya*. [Vibration. Machine condition monitoring by results of vibration measurements for non-rotating parts. Part 1. General Requirements]. Moscow: Standartinform, 2007, 19 p.
6. Koryakin A.Yu., Gareev R.R., Yamaliev V.U., Matsibora A.A. *Ispytatel'nyy stand dlya vibratsionnoy diagnostiki podshipnikov kacheniya v usloviyakh proizvodstva* [Test stand for vibration diagnostics of rolling bearings under production conditions]. Gas industry, 2014, issue 3, pp. 89–92.
7. GOST 31350-2007 *Vibratsiya. Ventilyatory promyshlennyye. Trebovaniya k proizvodimoy vibratsii i kachestvu balansirovki* [Vibration. Industrial fans. Requirements to produced vibration and quality of balancing]. Moscow: Standartinform, 2008, 73 p.



ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
**Противофонтанная безопасность,
управление скважиной при ГНВП**
09-13 СЕНТЯБРЯ, ЯЛТА

КОНФЕРЕНЦИЯ
ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 2019
18-22 НОЯБРЯ, ЯЛТА

+7 3452 520-958

бронирование участия в конференциях
academy.intechon.com

Генеральный информационный партнер

**ЭКСПОЗИЦИЯ
НЕФТЬ ГАЗ**