



**ДИАТЕХ**  
диагностические технологии

**НПО «Диагностические технологии»**

- ▶ Производство виброизмерительной аппаратуры
- ▶ Разработка и внедрение экспертных систем
- ▶ Диагностика и наладка промышленного оборудования

129327, г. Москва, ул. Ленская, д. 2/21

Тел./факс: (495) 788-16-25

[www.diatechnic.ru](http://www.diatechnic.ru)

[info@diatechnic.ru](mailto:info@diatechnic.ru)

# **ОТЧЕТ ПО ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКЕ**

## **КОГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК №1 И №2 ОАО «НАТЭК Инвест-Энерго»**

Вед. инженер

Петров С.В.

Квалификационное удостоверение  
№ЭВД2-312/09 до 14.05.2012

**Москва,  
Апрель \_\_\_\_**

# Содержание

<b>Введение</b> .....	<b>3</b>
<b>1. Методология проведения измерений</b> .....	<b>4</b>
1.1. Средства измерения .....	<b>4</b>
1.2. Нормативно-техническая база .....	<b>4</b>
1.3. Места установки и способы крепления датчиков .....	<b>4</b>
1.4. Контролируемые параметры вибрации .....	<b>8</b>
<b>2. Результаты вибрационного обследования</b> .....	<b>9</b>
2.1. Когенераторная установка №1 .....	<b>9</b>
2.1.1. Сводка общего уровня .....	<b>9</b>
2.1.2. Спектральный анализ .....	<b>10</b>
2.1.3. Анализ дополнительных параметров .....	<b>15</b>
2.2. Когенераторная установка №2 .....	<b>16</b>
2.2.1. Сводка общего уровня .....	<b>16</b>
2.2.2. Спектральный анализ .....	<b>16</b>
2.2.3. Анализ дополнительных параметров .....	<b>21</b>
<b>3. Результаты сравнительного анализа</b> .....	<b>22</b>
3.1. Данные вибрационного мониторинга .....	<b>22</b>
3.2. Взаимный сравнительный анализ .....	<b>22</b>
<b>4. Выводы и рекомендации</b> .....	<b>24</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Сводка общего уровня вибрации когенератора №1</b> .	<b>25</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Сводка общего уровня вибрации когенератора №2</b> .	<b>26</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Предельные значения параметров вибрации (ГОСТ 31349-2007, Приложение С)</b> .....	<b>27</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Статистический анализ результатов измерений</b> . . . .	<b>28</b>

## **Введение**

Настоящий отчет по результатам виброобследования, проведенного для оценки технического состояния и вибрационной диагностики когенераторных установок №1 и №2 был выполнен на основании договора №ДМ-005/10 от 07 апреля \_\_\_\_\_.

Основанием к проведению данного виброобследования для оценки технического состояния и диагностики когенераторных установок №1 и №2 послужила необходимость контроля текущего состояния указанных установок и оценки возможности их дальнейшей эксплуатации в послегарантийный период.

Основной целью данного виброобследования являлась оценка текущего технического состояния когенераторных установок №1 и №2 по различным параметрам вибрации в соответствии с действующей нормативной базой, а также углубленная диагностика отдельных узлов и механизмов данных агрегатов для выявления возможных отклонений в их работе, препятствующих дальнейшей промышленной эксплуатации.

# 1. Методология проведения измерений

## 1.2. Нормативно-техническая база

Настоящее виброобследование произведено в полном соответствии с действующей нормативной базой:

- ГОСТ 24346-80. Вибрация. Термины и определения.
- ГОСТ ИСО 5348-2002. Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров.
- ГОСТ ИСО 10816-3-99. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях
- ГОСТ 31349-2007(ИСО8528-9:1995) Электроагрегаты генераторные переменного тока с приводом от двигателя внутреннего сгорания. Измерение вибрации и оценка вибрационного состояния.

## 1.3. Места установки и способы крепления датчиков

1.3.1. Контроль текущего вибрационного состояния когенераторных установок №1 и №2 осуществлялся путем поочередной установки датчика на трубчатом магните в вертикальном, поперечном и осевом направлениях по всем измерительным точкам в полном соответствии с действующей нормативной базой (ГОСТ ИСО 10816-3-99) и (ГОСТ 31349-2007 (ИСО8528-9:1995)).

На рис. 1 представлены примеры расположения измерительных точек согласно требованиям ГОСТ ИСО 10816-3-99. На рис. 2 представлены примеры расположения измерительных точек согласно требованиям ГОСТ 31349-2007 для электроагрегатов с приводом от двигателя внутреннего сгорания. На рис. 3 – 5 показаны примеры установки датчиков в измерительные точки, регламентированные приведенными выше нормативными документами.

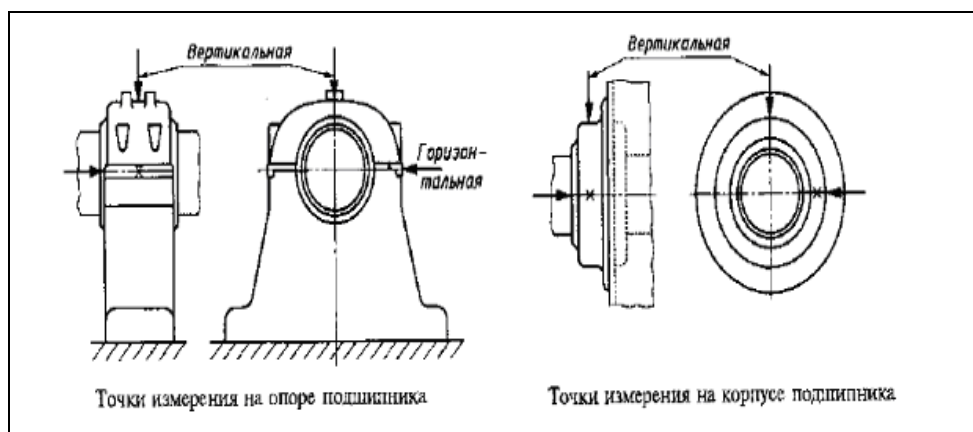
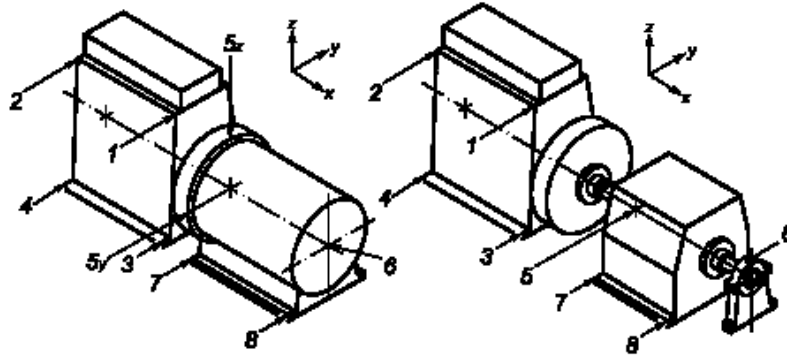


Рис. 1. Примеры расположения измерительных точек (ГОСТ ИСО 10816 – 3 – 99).



а) Электроагрегат с приводом от вертикального однорядного двигателя, соединенного с генератором через фланцевый щит

б) Электроагрегат с приводом от вертикального однорядного двигателя со стойковыми подшипниками

1, 2 — передняя и задняя верхние грани кожуха двигателя; 3, 4 — передняя и задние части основания двигателя; 5, 6 — корпус главного подшипника генератора; 7, 8 — основание генератора

Примечание — Вертикальный однорядный двигатель изображен на рисунке для примера. Точки измерений 1 — 4 используют соответствующим образом и для двигателя других типов: V-образных, горизонтальных и пр.

Рис. 2. Примеры расположения измерительных точек (ГОСТ 31349-2007 (ИСО8528-9:1995)).



Рис. 3. Установка датчика в вертикальном направлении.

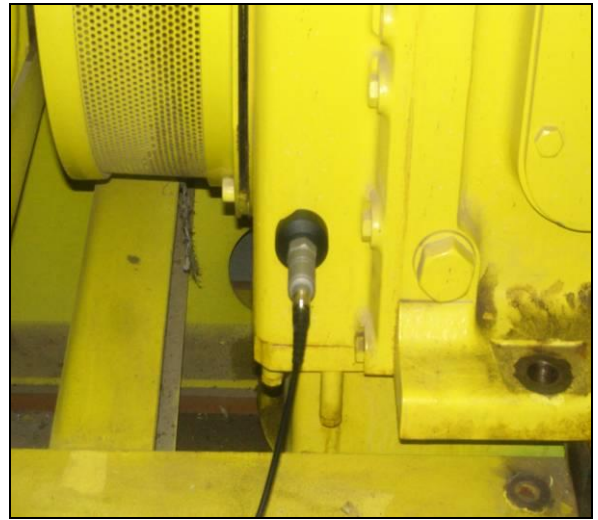


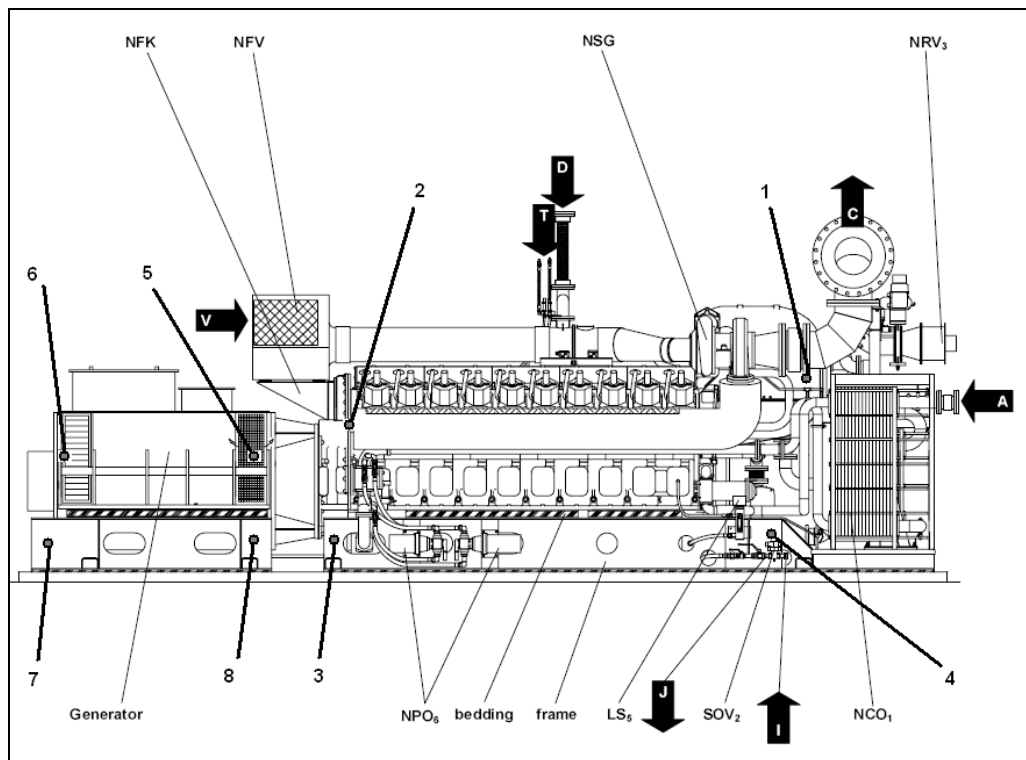
Рис. 4. Установка датчика в поперечном направлении.



*Рис. 5. Установка датчика в осевом направлении.*

1.3.2. Месторасположение измерительных точек для оценки текущего вибрационного состояния когенераторных установок №1 и №2, согласно требованиям ГОСТ 31349-2007 представлено на рис. 6.

1.3.3. Места установки датчиков в дополнительные измерительные точки для проведения углубленной диагностики отдельных узлов и механизмов когенераторных установок №1 и №2 (например, коренных подшипников и подшипников турбин) для выявления возможных отклонений в их работе, препятствующих дальнейшей промышленной эксплуатации, показаны на рис. 7 и 8.



*Рис. 6. Месторасположение основных измерительных точек.*

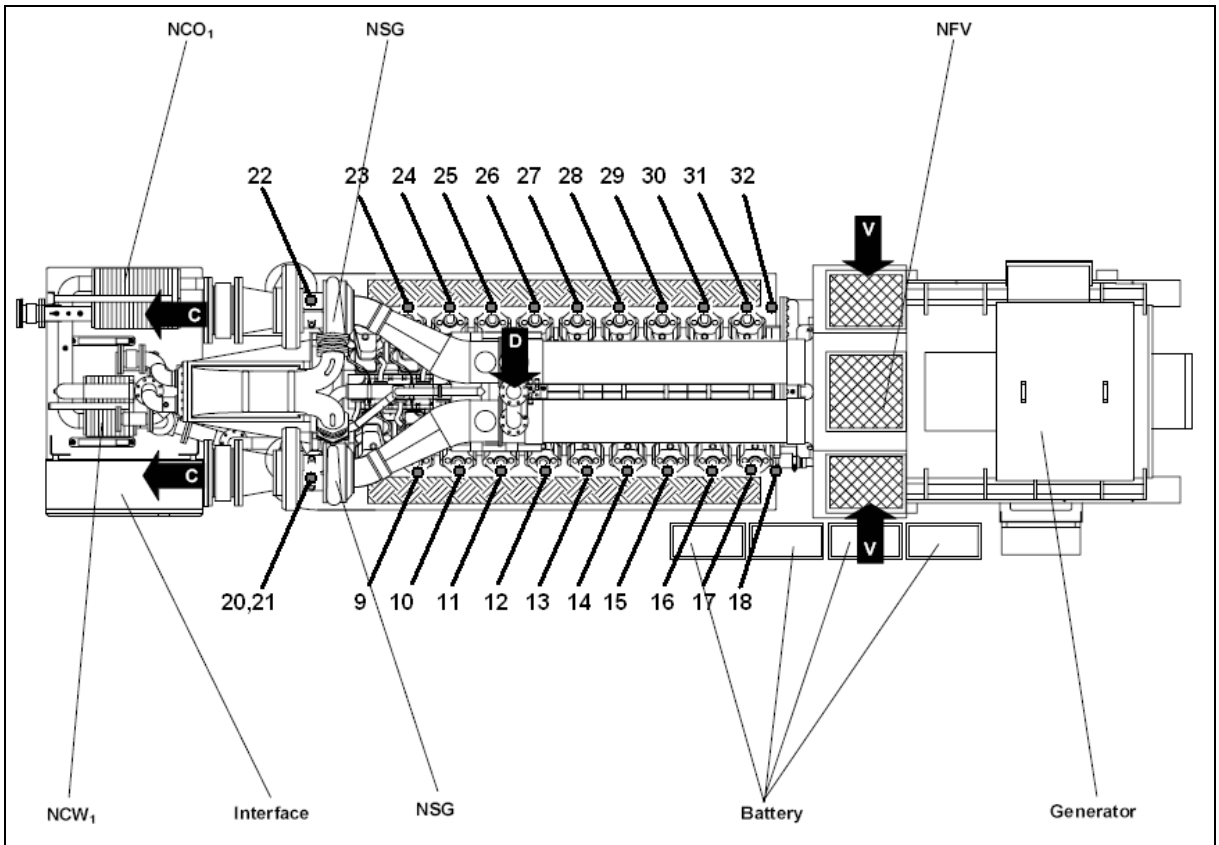


Рис. 7. Месторасположение дополнительных измерительных точек (вид сверху).

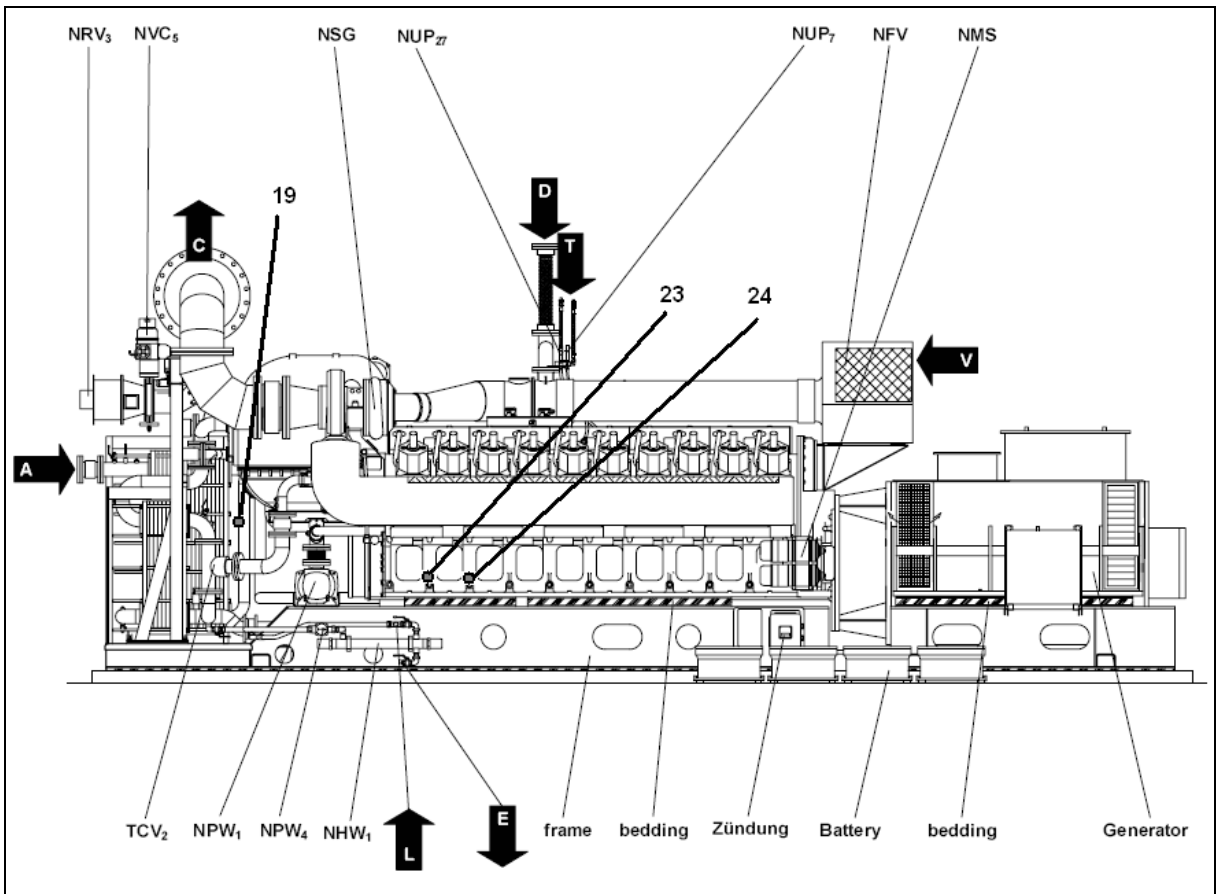


Рис. 8. Месторасположение дополнительных измерительных точек (вид сбоку).

## **1.4. Контролируемые параметры вибрации**

1.4.1. При оценке текущего вибрационного состояния когенераторных установок №1 и №2 в полном соответствии с требованиями ГОСТ 31349-2007 в полосе частот от 2 Гц до 1 кГц производились измерения общего уровня виброперемещения (мкм, представление РАЗМАХ), виброскорости (мм/сек, представление СКЗ) и виброускорения (м/с<sup>2</sup>, представление ПИК) в точках 1 – 8 (рис. 6). Последующий перерасчет величин общего уровня виброперемещения и виброускорения из стандартного представления в соответствующие среднеквадратичные значения выполнялся по спектрам в соответствии с рекомендациями действующих нормативных документов.

1.4.2. Для оценки спектрального состава вибрации в точках 1 – 8 производились дополнительные измерения спектров виброскорости (мм/сек, представление СКЗ) и виброускорения (м/с<sup>2</sup>, представление ПИК) в стандартной полосе частот, согласно положениям ГОСТ ИСО 10816-3-99.

1.4.3. Для проведения углубленной диагностики отдельных узлов и механизмов когенераторных установок №1 и №2 в точках 9 – 32 (на коренных подшипниках (точки 9 – 18 – левая сторона и 23 – 32 – правая сторона) и на подшипниках турбин (точки 20, 21 – левая сторона и точка 22 – правая сторона)) – рис. 7 и 8 настоящего отчета также производились дополнительные измерения прямых спектров виброскорости (мм/сек, представление СКЗ) и виброускорения (м/с<sup>2</sup>, представление ПИК) в стандартной полосе частот, согласно положениям ГОСТ ИСО 10816-3-99.

1.4.4. Для оценки интенсивности непериодических (негармонических) вибраций, носящих ударный характер и вызванных особенностями эксплуатации когенераторных установок, во всех контролируемых точках (точки 1 - 32) - рис. 6, 7 и 8 производились дополнительные измерения величины пик-фактора.

1.4.5. Контроль текущего состояния подшипниковых узлов в точках 9 - 32 - рис. 6, 7 и 8 производился с использованием замеров эксцесса и высокочастотного уровня виброускорения (м/с<sup>2</sup>, представление ПИК) с настройками для наиболее информативных полос частот.

1.4.6. Для оценки характера колебаний и общей виброактивности подшипников двигателя и генератора за контрольный интервал времени по каждой из когенераторных установок дополнительно контролировались дампы временных сигналов виброускорения (м/с<sup>2</sup>, представление ПИК) в заданной полосе частот.



## Предельные значения параметров вибрации (ГОСТ 31349-2007, Приложение С)

### Предельные значения параметров вибрации

Т а б л и ц а С.1 — Среднеквадратичные значения скорости, перемещения и ускорения вибрации электроагрегатов переменного тока с приводом от двигателя внутреннего сгорания

Скорость двигателя, мин <sup>-1</sup>	Номинальная выходная мощность электроагрегата		Перемещение <sup>1)</sup> $s_{rms}$ , мм			Скорость $v_{rms}$ , мм/с			Ускорение <sup>3)</sup> $a_{rms}$ , мм/с <sup>2</sup>		
			Двигатель <sup>2), 3)</sup>	Генератор <sup>2)</sup>		Двигатель <sup>2), 3)</sup>	Генератор <sup>2)</sup>		Двигатель <sup>2), 3)</sup>	Генератор <sup>2)</sup>	
	кВт $A^6$	кВт		Уровень 1	Уровень 2		Уровень 1	Уровень 2		Уровень 1	Уровень 2
От 2000 до 3600	15 и менее	12 и менее	—	1,11	1,27	—	70	80	—	44	50
	50 и менее	40 и менее	—	0,8	0,95	—	50	60	—	31	38
	Более 50	Более 40	—	0,64 <sup>4)</sup>	0,8 <sup>4)</sup>	—	40 <sup>4)</sup>	50 <sup>4)</sup>	—	25 <sup>4)</sup>	31 <sup>4)</sup>
От 1300 до 2000	10 и менее	8 и менее	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	От 10 до 50	От 8 до 40	—	0,64	—	—	40	—	—	25	—
	От 50 до 125	От 40 до 100	—	0,4	0,48	—	25	30	—	16	19
	От 125 до 250	От 100 до 200	0,72	0,4	0,48	45	25	30	28	16	19
	Более 250	Более 200	0,72	0,32	0,45	45	20	28	28	13	18
От 720 до 1300	От 250 до 1250	От 200 до 1000	0,72	0,32	0,38	45	20	24	28	13	15
	Более 1250	Более 1000	0,72	0,29	0,35	45	18	22	28	11	14
Менее 720	Более 1250	Более 1000	0,72	0,24 (0,16) <sup>5)</sup>	0,32 (0,24) <sup>5)</sup>	45	15 (10) <sup>5)</sup>	20 (15) <sup>5)</sup>	28	8,5 (6,5) <sup>5)</sup>	13 (9,5) <sup>5)</sup>

1) Значения  $s_{rms}$  и  $a_{rms}$  получены на основе  $v_{rms}$  по следующим формулам:  
 $s_{rms} = 0,0159 v_{rms}$   
 $a_{rms} = 0,628 v_{rms}$

2) В случае соединения двигателя с генератором через фланцевый щит результаты измерений в точке 5 [см. рисунок 1 а)] должны удовлетворять требованиям к предельной вибрации для генераторов.

3) Значения, установленные для двигателей внутреннего сгорания, применимы к двигателям выходной мощностью более 100 кВт. Для двигателей меньшей мощности типичных значений вибрации не существует.

4) Данные значения должны быть предметом соглашения между изготовителем и заказчиком.

5) Значения, указанные в скобках, применяют к генераторам на жестком бетонном основании. В этом случае предельные значения продольной вибрации в точках 7 и 8 на рисунке 1 в) и б) должны составлять 50 % значений, указанных в скобках).

6) При номинальном коэффициенте мощности  $\cos \varphi_r = 0,8$ .

Пр и м е ч а н и е — Кривые предельных значений для синусоидальной вибрации в зависимости от ее частоты показаны на рисунке С.1.

## Статистический анализ результатов измерений

Для оценки вибрационного состояния типовых агрегатов могут быть использованы нормы на допустимый уровень вибрации (критерии оценки вибрационного состояния) ГОСТ ИСО 10816-1-97 (Приложение Б) или более поздние редакции этого ГОСТа, а также специальные ГОСТы и отраслевые стандарты, регламентирующие допустимые уровни вибрации отдельных видов оборудования. Ситуация существенно усложняется при оценке вибрационного состояния и степени износа подшипниковых узлов. На сегодняшний день в отечественной нормативной базе отсутствуют пороговые значения допустимых уровней вибрации для этих узлов на этапе их технической эксплуатации. Для косвенной оценки состояния узлов по результатам однократных измерений используют сравнительный анализ их вибрационного состояния. К сожалению, данный подход в виду несостоятельности выборки не гарантирует высокой достоверности распознавания дефектов. Для формализации диагностической процедуры и создания пороговых значений допустимых уровней вибрации в рамках периодического мониторинга на практике используют аппарат статистического анализа, основанный на использовании нормального распределения. Ниже приведен краткий алгоритм расчета допустимых пороговых значений.

### Алгоритм расчета

1. Провести 3 или более вибрационных обследования с учетом изложенных выше требований.

$\{X_{i,j,k}\} \quad i, j, k \in Z$ , где  $X$  – контролируемый параметр вибрации (общий уровень виброскорости, виброускорения и т.д.),  $i$  – номер точки,  $j$  – номер агрегата,  $k$  – порядковый номер вибрационного обследования

2. Для каждой измерительной точки рассчитать среднее значение контролируемого параметра

$\bar{X}_{i,j} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N X_{i,j,k}$ , где  $N$  - суммарное количество проведенных виброобследований

3. Для всех измерительных точек отдельно подготовить следующие выборки:

$x' = \{\bar{X}_{1,1}, \bar{X}_{1,2}, \dots, \bar{X}_{1,7}, \bar{X}_{2,1}, \bar{X}_{2,2}, \dots, \bar{X}_{2,7}\}$ ,  
причем  $x'_n = \bar{X}_{i,j}$ ,

и

$$x'' = \{\bar{X}_{3,1}, \bar{X}_{3,2}, \dots, \bar{X}_{3,7}, \dots, \bar{X}_{5,1}, \bar{X}_{5,2}, \dots, \bar{X}_{5,7}, \bar{X}_{6,1}, \bar{X}_{6,2}, \bar{X}_{6,3}, \bar{X}_{7,1}, \bar{X}_{7,2}, \bar{X}_{7,3}\}$$

причем  $x''_n = \bar{X}_{i,j}$ , где  $n = (i-3)*7 + j$  для  $i \leq 6$  и  
 $n = 24 + j$  для  $i = 7$

4. Для выборок  $x'$  и  $x''$  рассчитать следующие параметры:

Среднее значение  $\bar{x}' = \frac{1}{N'} \sum_{n=1}^{N'} x'_n$ ,  $N' = 14$  - число точек выборки  $x'$

Квадратичное отклонение  $\sigma' = \sqrt{\frac{1}{N'} \sum_{n=1}^{N'} (x'_n - \bar{x}')^2}$ ,  $N' = 14$  - число точек выборки  $x'$

Среднее значение  $\bar{x}'' = \frac{1}{N''} \sum_{n=1}^{N''} x''_n$ ,  $N'' = 27$  - число точек выборки  $x''$

Квадратичное отклонение  $\sigma'' = \sqrt{\frac{1}{N''} \sum_{n=1}^{N''} (x''_n - \bar{x}'')^2}$ ,  $N'' = 27$  - число точек выборки  $x''$

5. Установить следующие значения пороговых уровней:

Для всех контролируемых точек на коренных подшипниках:

Предупреждение:  $X'_H = \bar{x}' + 2 \cdot \sigma'$

Авария:  $X'_A = \bar{x}' + 3 \cdot \sigma'$

Для всех контролируемых точек на других подшипниках:

Предупреждение:  $X''_H = \bar{x}'' + 2 \cdot \sigma''$

Авария:  $X''_A = \bar{x}'' + 3 \cdot \sigma''$

По мере накопления вибрационных данных для более точного определения текущего состояния диагностируемых узлов значения пороговых уровней могут быть скорректированы по приведенному выше алгоритму. В качестве контролируемых параметров для определения значений пороговых уровней могут быть использованы не только значения общего уровня виброскорости, виброускорения и виброперемещения, но и амплитуды отдельных спектральных составляющих и т.д.