

Министерство образования и науки РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В.И. ЛЕНИНА»

Дипломный проект на тему:

**«Вибромониторинг роторного
электромеханического оборудования»**

Проектировал: Рогозин Александр Алексеевич

Руководил: Колобов Александр Борисович

Иваново 2013

Цель проекта: разработка системы вибромониторинга роторного электромеханического оборудования для повышения надежности эксплуатации.

Постановка задачи:

Вибромониторинг оборудования должен реализовывать следующие принципы:

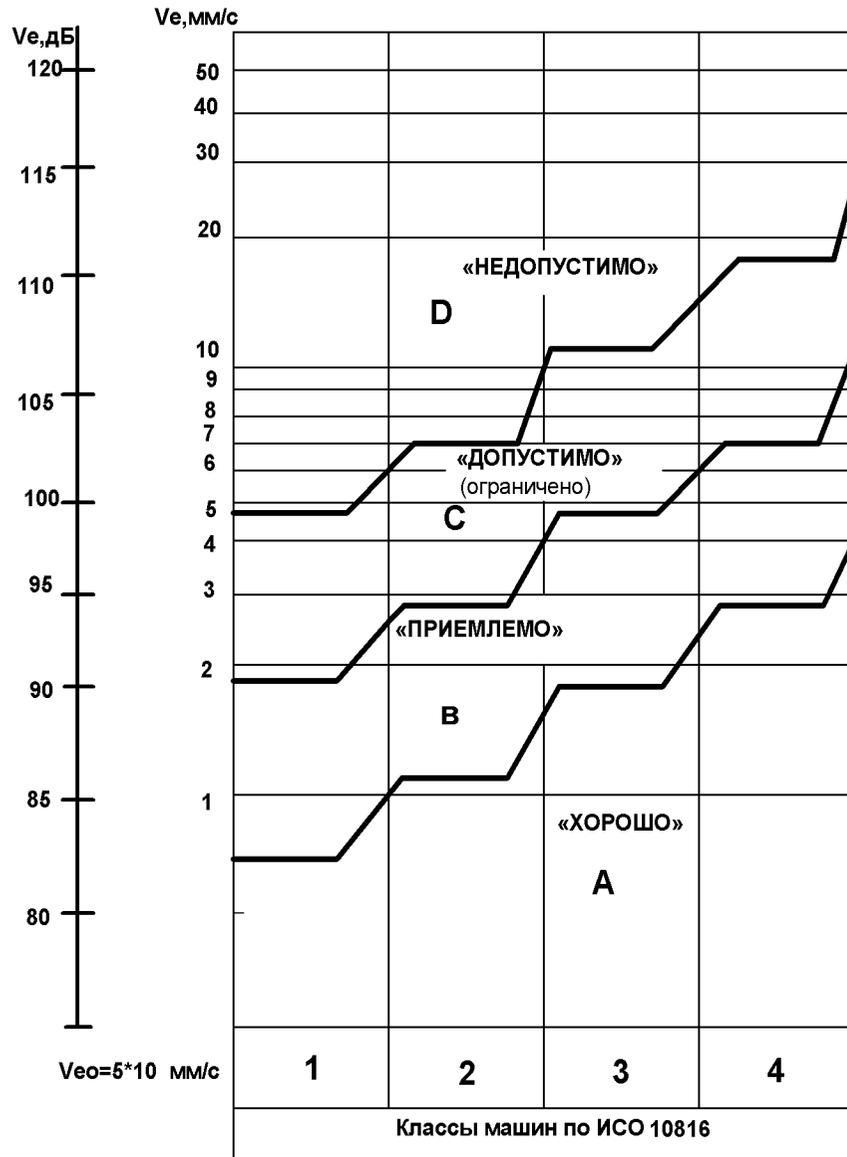
- осуществляться на основе периодических измерений и анализа параметров вибрации в рабочих режимах эксплуатации роторного оборудования;
- выполняться по технологии «off-line» (инспекционного) контроля с использованием переносных измерительных средств - виброметров;
- использовать в качестве первичных критериев оценки технического состояния нормативную базу СКЗ виброскорости по ГОСТ Р 10816-1(3), а также разработанную в ИГЭУ методику определения отдельных видов технического состояния на основе контурного распределения вибрации в контрольных измерительных точках.

В ходе работы должно быть выполнено:

- математическое моделирование по оценке влияния параметров статистического распределения на величину нормативных значений вибрации, установленных ГОСТ Р 10816, с целью их корректировки под конкретное оборудование;
- установлены диапазоны изменения пороговых значений при различном соотношении цен ошибочных решений и вероятностей исходных состояний с использованием методов статистических решений;
- измерение параметров вибрации контролируемых объектов и расчет эталонных контурных распределений вибрации.

В качестве объекта вибромониторинга приняты центробежные вертикальные сетевые насосы (насосы сетевой воды) типа АЦМС-90-3-2, мощность 18,5 кВт, частота вращения 3000 об/мин, установленные в котельной ИГЭУ.

Оценка состояния роторных машин по ГОСТ Р ИСО 10816-1-97



Классификация технических состояний:

«ХОРОШО» / А - бездефектное эксплуатационное состояние, допустимый уровень при приемочных испытаниях после ремонта;

«УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» / В - бездефектное эксплуатационное состояние, малая расцентровка валов привода или незначительный дисбаланс (небаланс);

«ДОПУСТИМО» / С - машина считается неудовлетворительной для длительной эксплуатации (необходим режим ограничения длительности эксплуатации).

«ПЛОХО» / D - недопустимость длительной работы оборудования в виду большого риска отказа,

Класс машин	Зоны состояния по ГОСТ Р ИСО 10816-1-97		
	А	В	С
1	0,71	1,8	4,5
2	1,12	2,8	7,5
3	1,8	4,5	11,2
4	2,8	7,1	18,0

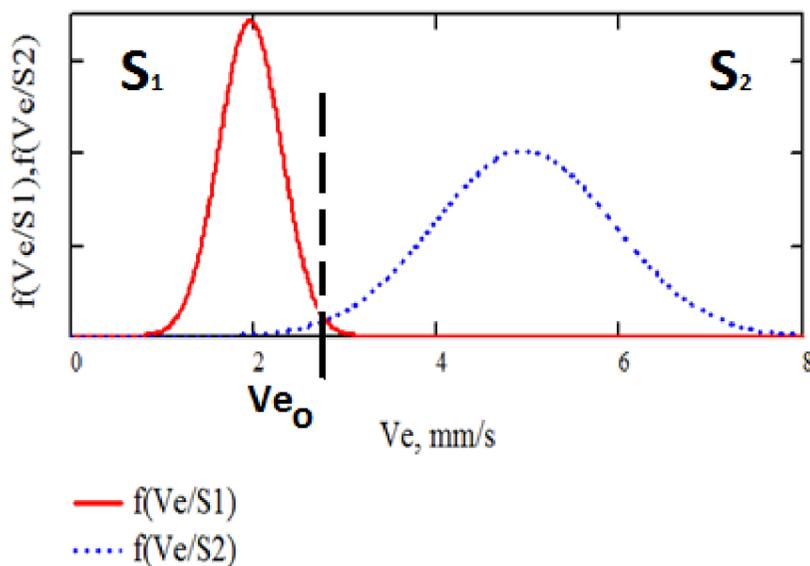
Решающее правило и функция среднего риска

Диагностические признаки представлены: СКЗ виброскорости V_e

Решающее правило:

$V_e \geq V_{e_0}, V_e \in S_2$ где S_1 - состояние с большой вероятностью возникновения дефекта

$V_e < V_{e_0}, V_e \in S_1$ где S_2 - бездефектное состояние



Возможна постановка различных диагнозов:

D_{11}, D_{22} - правильный диагноз

D_{21} - ложная тревога

D_{12} - пропуск дефекта

Вероятность ложной тревоги:

$$P(D_{21}) = P(S_1)P(V_e \geq V_{e_0}/S_1)$$

$$P(D_{12}) = P(S_2)P(V_e < V_{e_0}/S_2)$$

Вероятность пропуска дефекта:

$$P(\text{ошибки}) = P(D_{12}) + P(D_{21})$$

Целевая функция среднего риска ошибочного решения:

$$R = C_{21}P(D_{21}) + C_{12}P(D_{12})$$

C_{21}, C_{12} -цены ошибочных решений

Принцип выбора порогового значения СКЗ виброскорости V_{e_0}

Условия оптимизации среднего риска:

$$\frac{dR}{dV_{e_0}} = -C_{21}P(S_1)f(V_{e_0}/S_1) + C_{12}P(S_2)f(V_{e_0}/S_2) = 0$$

$$C_{21}P(S_1)f(V_{e_0}/S_1) = C_{12}P(S_2)f(V_{e_0}/S_2)$$

Получаем отношение правдоподобия: $\frac{f(V_{e_0}/S_1)}{f(V_{e_0}/S_2)} = \frac{C_{12}P(S_2)}{C_{21}P(S_1)}$

Частным случаем метода минимального риска является метод наибольшего правдоподобия, когда пороговое значение отношения правдоподобия принимается равным 1.

$$\frac{f(V_{e_0}/S_1)}{f(V_{e_0}/S_2)} = 1 \quad \text{при} \quad C_{12}P(S_2) = C_{21}P(S_1)$$

Это соответствует значению V_{e_0} , являющемуся абсциссой точки пересечения плотностей распределения.

Так же рассматривается случай когда $\frac{f(V_{e_0}/S_1)}{f(V_{e_0}/S_2)} \neq 1$ при заданных значениях

$$C_{12} \text{ и } C_{21}, P(S_2) \text{ и } P(S_1)$$

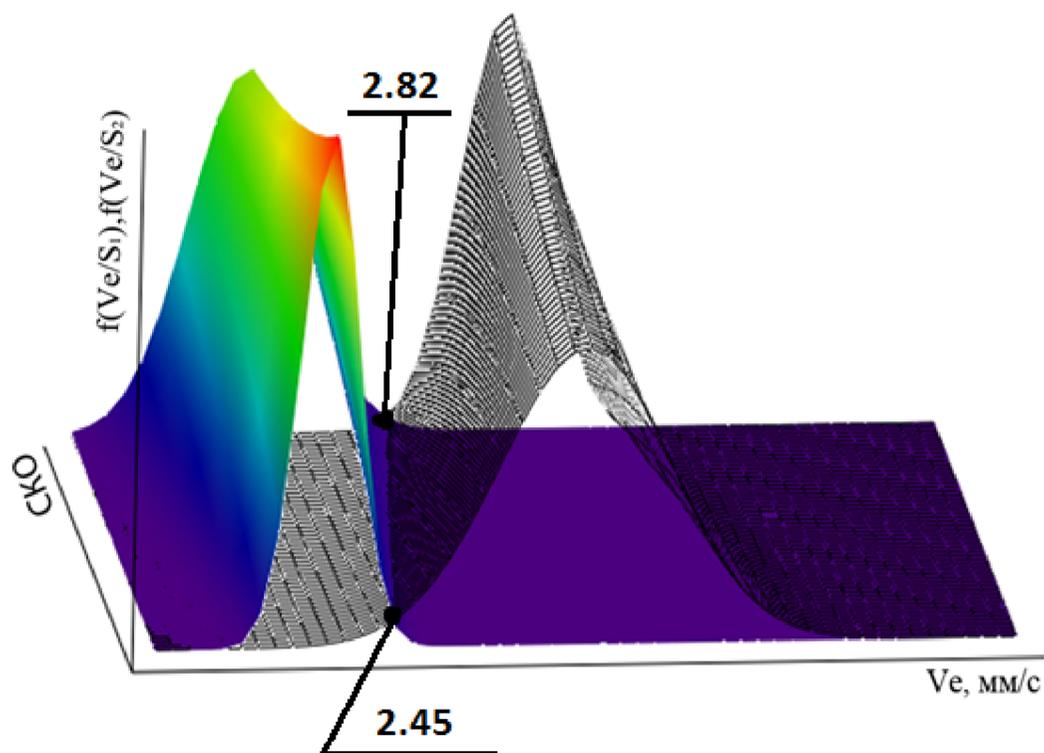
Влияние изменения параметров распределения вибрации на выбор порогового значения

Величина порога V_{e0} будет определяться числовыми характеристиками распределений вибрации в состояниях S_1 и S_2

На графике показано изменение вида плотности распределения при изменении СКО σ_1 и σ_2

Средние значения приняты постоянными: $V_{e1} = 1.96 \text{ мм/с}$ $V_{e2} = 3.65 \text{ мм/с}$

$\sigma_{1min} \rightarrow \sigma_{1max}$ $\sigma_{2min} \rightarrow \sigma_{2max}$



СКО: $\sigma_{1min} = 0.326 \text{ мм/с}$

$\sigma_{1max} = 0.653 \text{ мм/с}$

$\sigma_{2min} = 0.61 \text{ мм/с}$

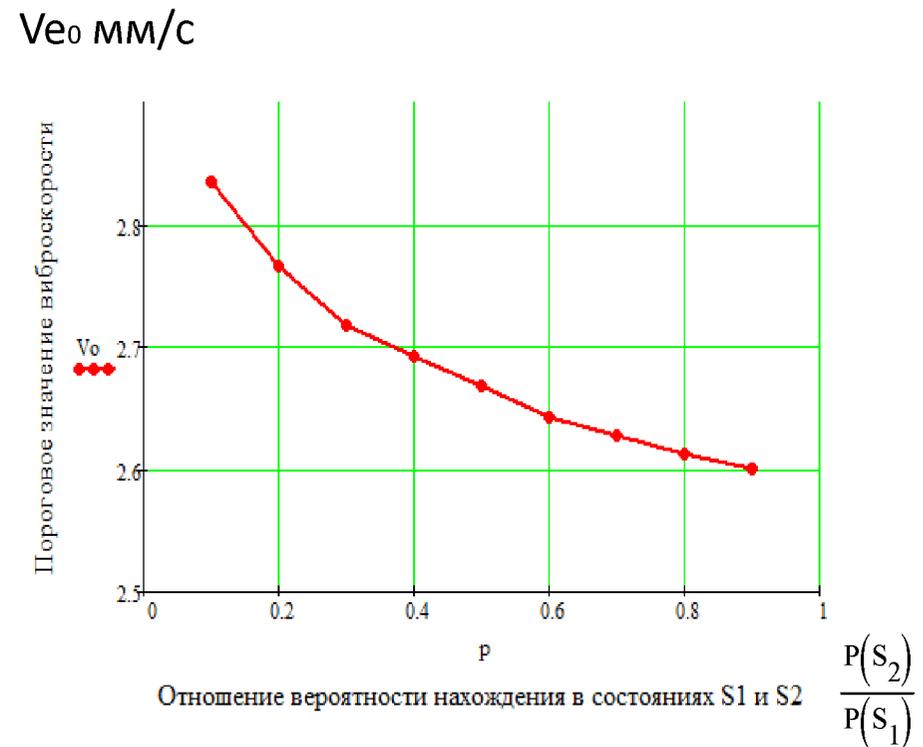
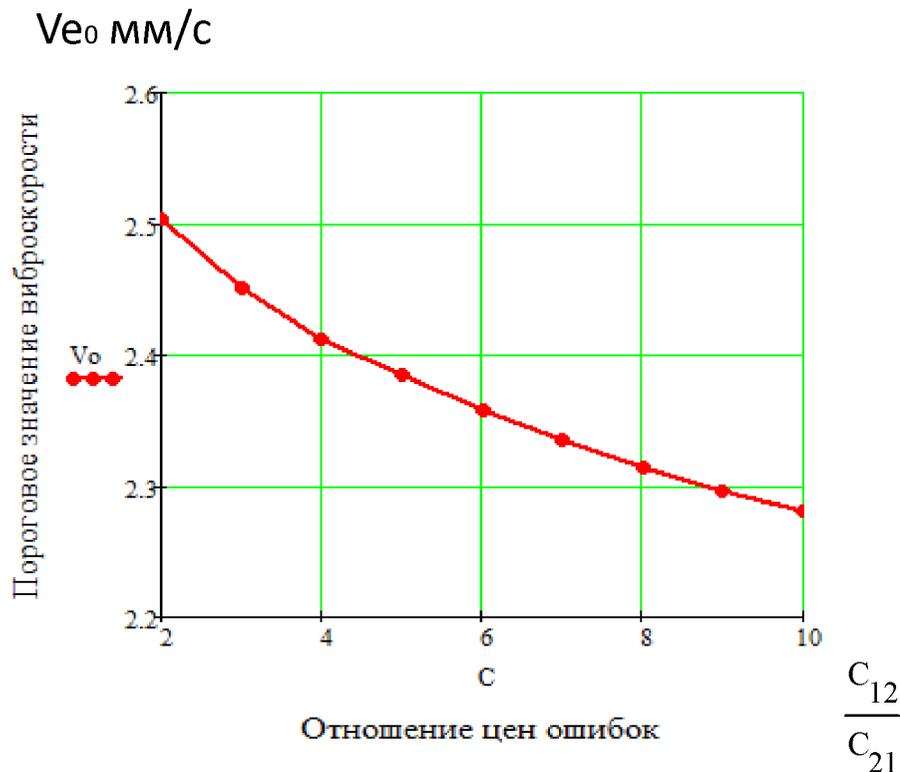
$\sigma_{2max} = 1.21 \text{ мм/с}$

Величина порога V_{e0} укладывается в диапазон :

$V_{e0} \in (2.45; 2.82)$

Результаты изменения величины V_{e0} при различных отношениях правдоподобия

Расчеты проведены для изменения СКО: $\sigma_{1min} \rightarrow \sigma_{1max}$ $\sigma_{2min} \rightarrow \sigma_{2max}$



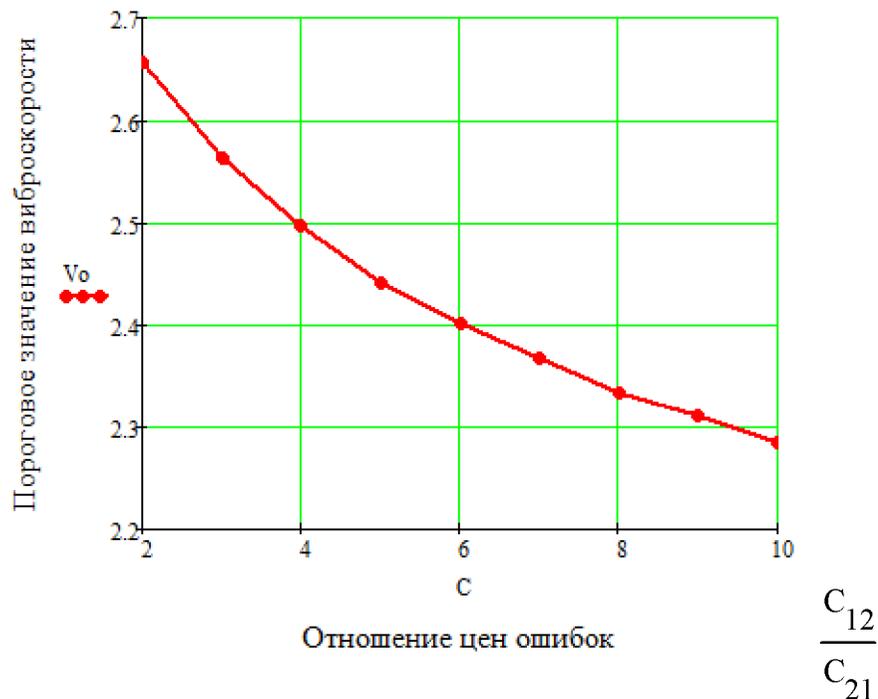
Выводы: При разбросе значений вибрации (увеличении СКО) пороговое значение V_{e0} имеет тенденцию к:

- А) Уменьшению значений : от 2.5 до 2.28 при увеличении отношения цен ошибок
- В) Уменьшению значений : от 2.83 до 2.6 при увеличении отношения вероятностей

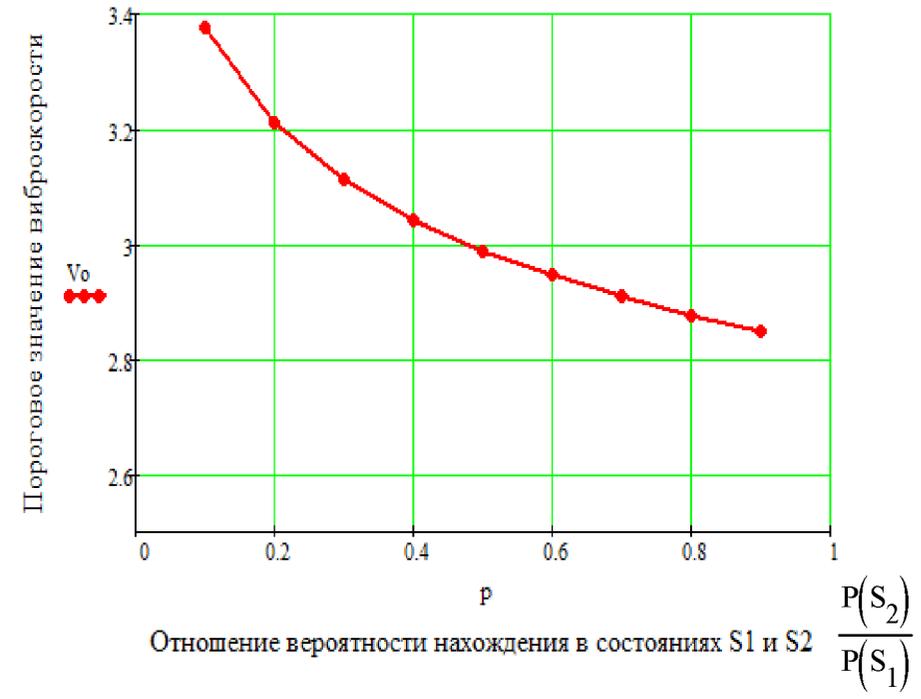
Результаты изменения величины V_{e0} при различных отношениях правдоподобия

Расчеты проведены для изменения СКО: $\sigma_{1min} \rightarrow \sigma_{1max}$ $\sigma_{2min} \leftarrow \sigma_{2max}$

V_{e0} мм/с



V_{e0} мм/с



Выводы: При разбросе значений вибрации (уменьшении СКО) пороговое значение V_{e0} имеет тенденцию к:

- А) Увеличению значений : от 2.28 до 2.65 при увеличении отношения цен ошибок
- В) Увеличению значений : от 2.84 до 3.37 при увеличении отношения вероятностей

Маршрутная карта и нормы вибрации группы сетевые насосы

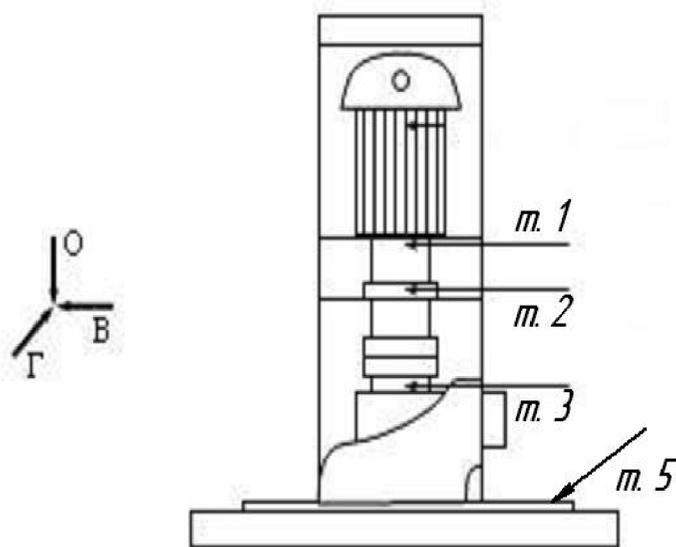
Технологическая группа	Сетевой насос
Тип насоса:	АЦМС-90-3-2
Технологический номер	СН-1,СН-2,СН-3,СН-4,СН-5
Тип двигателя:	5А 160 S2
Мощность двигателя:	18,5 кВт
Синхронная частота вращения:	3000 об\мин

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 10816-3 принимаем следующие значения СКЗ виброскорости:

Верхняя граница зоны А - 1.1 мм/с

Верхняя граница зоны В - 2.8 мм/с

Верхняя граница зоны С - 4.5 мм/с



Эскиз агрегата и места расположения реперных точек

Формирование эталона работоспособного состояния сетевого насоса

Эталон работоспособного состояния

$$V_q = \{v_{q1}, \dots, v_{qi}, \dots, v_{qn}\}_{t_m}$$

Скорректированный эталон РС

$$\bar{v}_{qz} = \frac{1}{M} \sum_{q=1}^M v_{qi}$$

Дисперсия в каждой точке

$$D_{iq} = \frac{\sum_{q=1}^M (v_{iqz} - \bar{v}_{qz})^2}{M - 1}$$

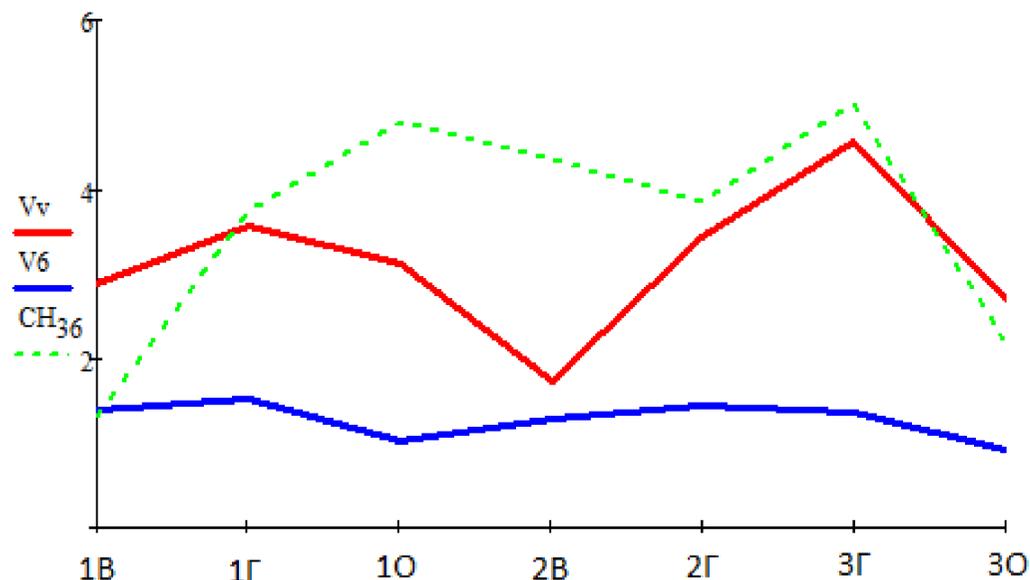
Среднеквадратичное отклонение

$$S_{iq} = \sqrt{D_{iq}}$$

Границы доверительного интервала

$$V_{dov} = \bar{v}_{qz} \pm t \cdot S_{iq}$$

Ve мм/с

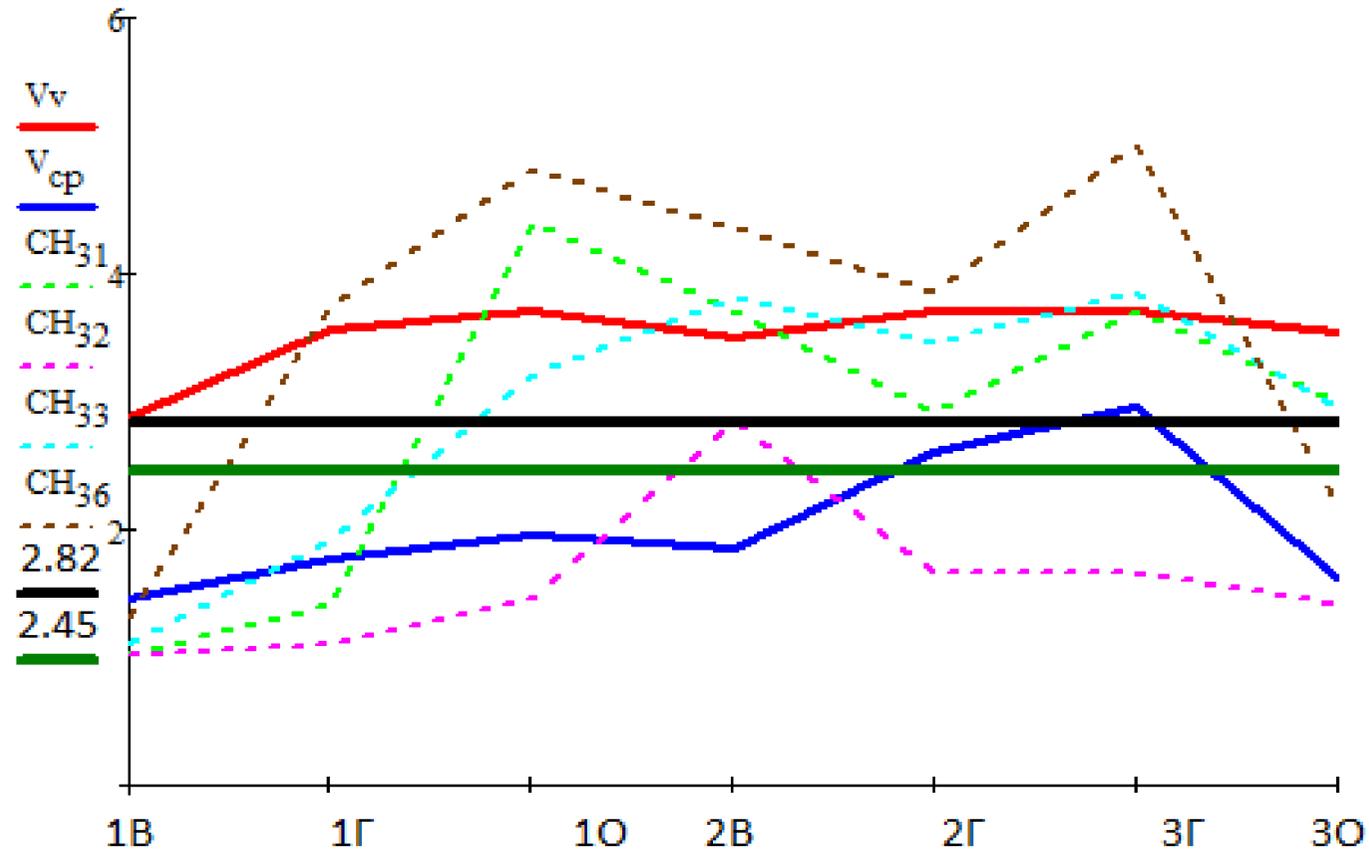


$q=1 \dots M$ Номер верифицированного оборудования

$i=1 \dots n$ Число точек в векторе V

t - критерий Стьюдента (для доверительной вероятности $P=0.9$) при условии нормального распределения

Усредненный эталон работоспособного состояния со скорректированным доверительным интервалом



Vv – верхний доверительный интервал

Vcp – усредненный эталон

CH – значение виброскорости сетевых насосов в различных точках измерения

Выводы по дипломной работе

В ходе дипломной работы было выполнено:

1) математическое моделирование по оценке влияния параметров статистического распределения на величину нормативных значений вибрации, установленных ГОСТ Р 10816 для сетевых насосов АЦМС-90-3-2

2) установлены диапазоны изменения пороговых значений при различном соотношении цен ошибочных решений и вероятностей исходных состояний с использованием методов статистических решений:

- метода наибольшего правдоподобия;
- метода минимального риска.

Результаты моделирования показывают, что для минимизации риска ошибочных решений нормативный уровень по ГОСТ Р 10816-1(3), разделяющий состояния допустимые для длительной эксплуатации и состояния ограниченной работоспособности, должен быть занижен в рамках рекомендуемых пределов. Это должно обязательно учитываться в случае недостаточной статистической базы по контролю вибрации объектов.

3) проведено измерение параметров вибрации контролируемых объектов в рабочих режимах и расчет эталонных контурных распределений вибрации, что позволило скорректировать ранее полученный эталон и дополнить базу данных о состояниях объекта.