

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

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

Дипломный проект на тему:

**«ВИБРОДИАГНОСТИКА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ»**

Проектировал: Прохоров Александр Валерьевич

Руководил: Колобов Александр Борисович

Иваново 2009

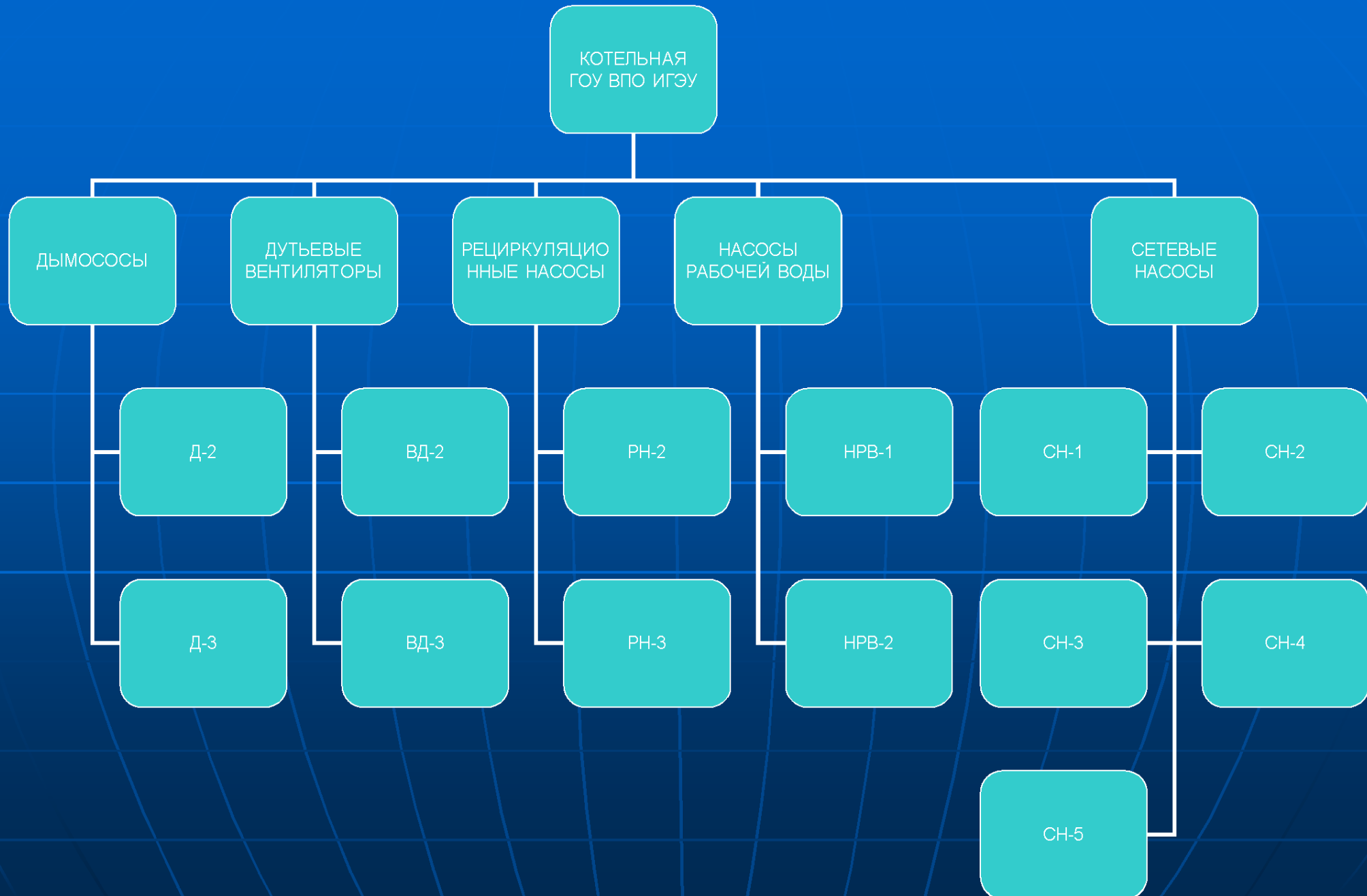
Тема дипломного проекта: «Вибродиагностика промышленного оборудования при эксплуатации»

Целью является: разработка и внедрение системы вибродиагностики технического состояния роторных машин котельной ГОУ ВПО ИГЭУ им. В.И.Ленина

Постановка задачи:

- Диагностика должна осуществляться на основе анализа параметров вибрации, измеряемых при эксплуатации тягодутьевых механизмов и различных типов насосов, установленных в котельной
- Система должна выполняться по технологии «of-line» контроля с использованием переносных измерительных средств - виброметров и поддерживаться программной системой для ведения базы данных
- Должны быть проведены классификация по мере ответственности в технологическом процессе роторного оборудования котельной, разработаны маршрутные карты виброконтроля, выделены реперные точки и выбрана нормативная база оценки вибрации в соответствии с действующими стандартами
- В результате работы должна быть получена действующая система вибродиагностики, которую мог бы эксплуатировать персонал отдела главного энергетика ИГЭУ.

Структура диагностируемого оборудования котельной ГОУ ВПО ИГЭУ



Маршрутная карта и нормы вибрации для группы дымососы

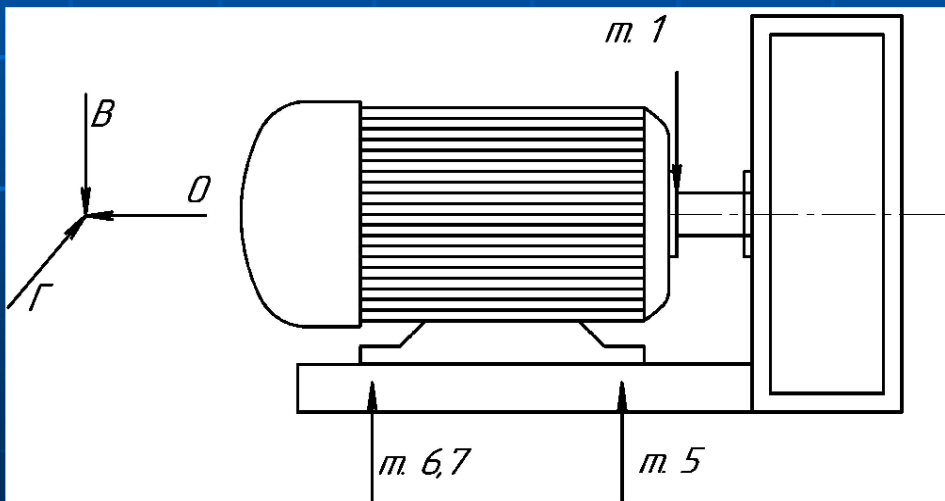
Технологическая группа	Дымосос
Тип	ДН-12,5
Технологический номер	Д-2, Д-3
Тип двигателя:	ASI 280 S6
Мощность двигателя:	55 кВт
Синхронная частота вращения:	1000 об/мин

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 - **7.1 мм/с**



Эскиз агрегата и места расположения реперных точек



Маршрутная карта и нормы вибрации для группы вентиляторы дутьевые

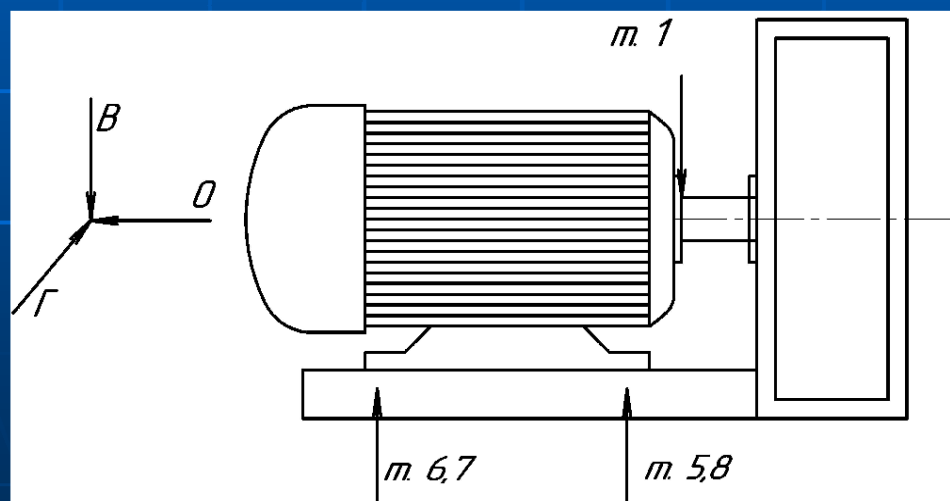
Технологическая группа	вентилятор дутьевой
Тип	ВДН-10
Технологический номер	ВД-2, ВД-3
Тип двигателя:	АИР 160 S6
Мощность двигателя:	11 кВт
Синхронная частота вращения:	1000 об/мин

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

Верхняя граница зоны А – **0.71 мм/с**

Верхняя граница зоны В – **1.8 мм/с**

Верхняя граница зоны С – **4.5 мм/с**



Эскиз агрегата и места расположения реперных точек



Маршрутная карта и нормы вибрации группы рециркуляционные насосы

Технологическая группа рециркуляционный насос

Тип АК 80-160/16/-22,0/2

Технологический номер РН-2, РН-3

Тип двигателя: АИР 180 S2

Мощность двигателя: **22 кВт**

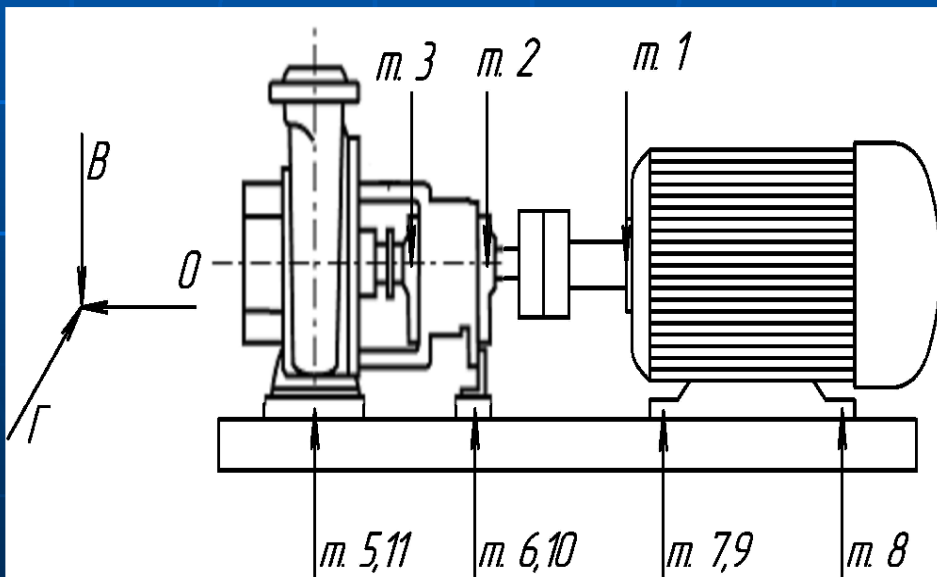
Синхронная частота вращения: **3000 об/мин**

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 - **7.1 мм/с**



Эскиз агрегата и места расположения реперных точек



Маршрутная карта и нормы вибрации группы насосы рабочей воды

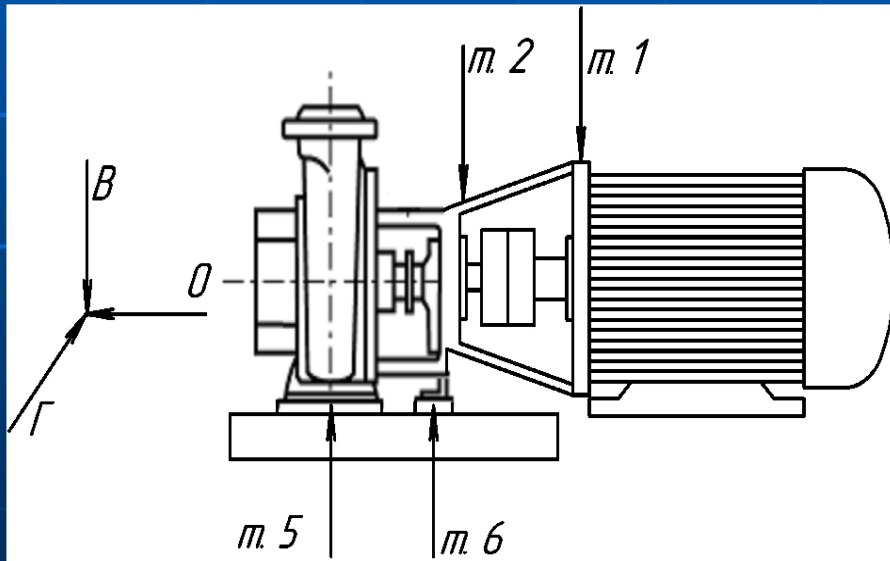
Технологическая группа	насос рабочей воды
Тип	АЦМС-40-160/158
Технологический номер	НРВ-1, НРВ-2
Тип двигателя:	A 132 S2
Мощность двигателя:	5,5 кВт
Синхронная частота вращения:	3000 об/мин

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

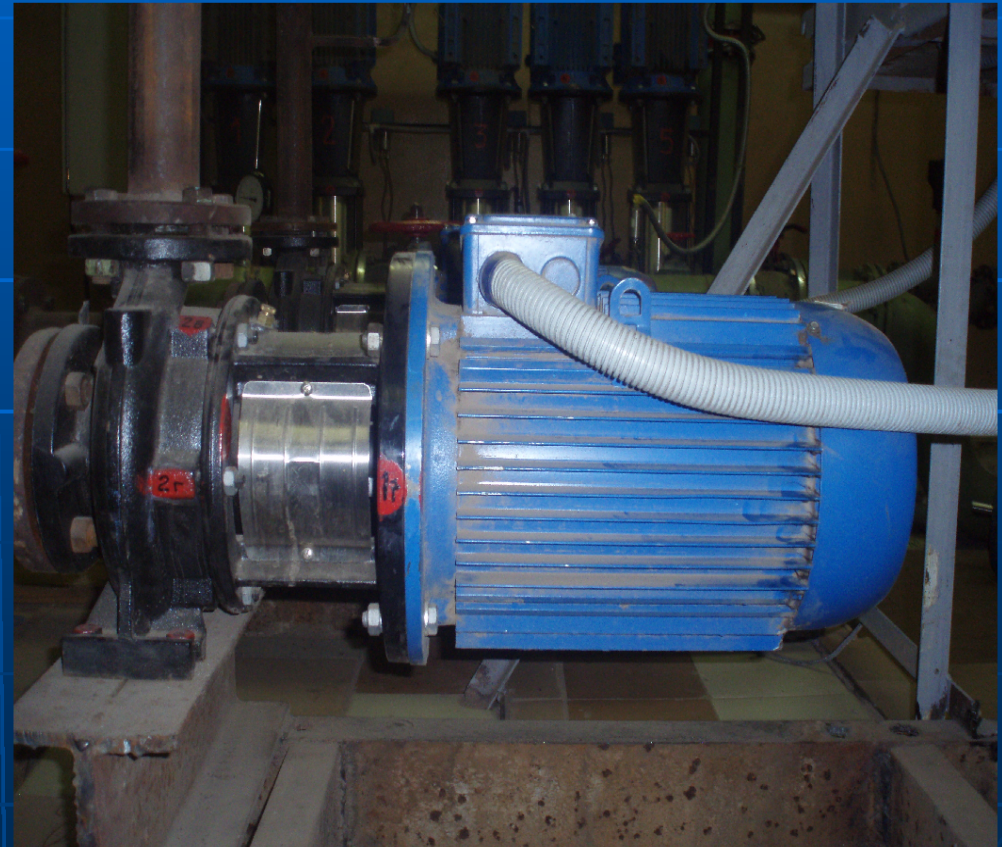
Верхняя граница зоны А – **0.71 мм/с**

Верхняя граница зоны В - **1.8 мм/с**

Верхняя граница зоны С - **4.5 мм/с**



Эскиз агрегата и места расположения реперных точек



Маршрутная карта и нормы вибрации группы сетевые насосы

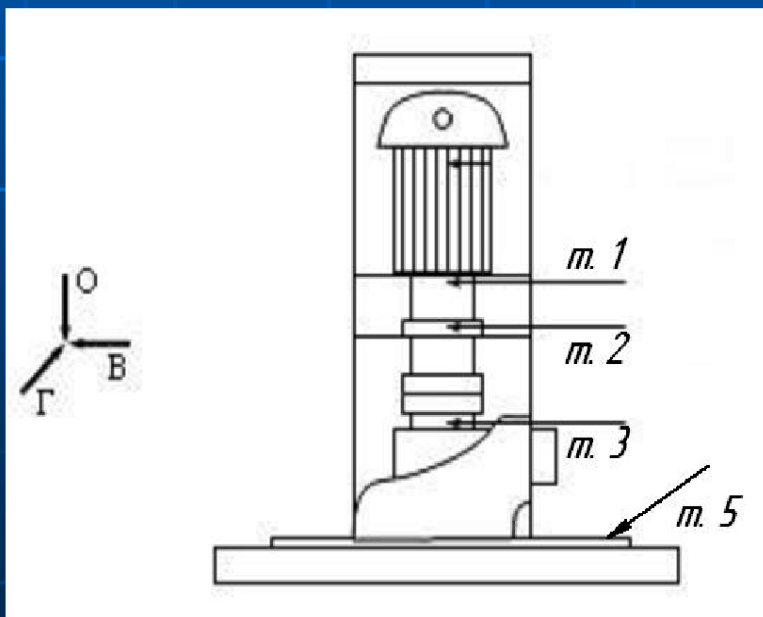
Технологическая группа	Сетевой насос
Тип насоса:	АЦМС-90-3-2
Технологический номер	СН-1, СН-2, СН-3, СН-4, СН-5
Тип двигателя:	5А 160 S2
Мощность двигателя:	18,5 кВт
Синхронная частота вращения:	3000 об/мин

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 - 7.1 мм/с



Эскиз агрегата и места расположения реперных точек



Обзор виброметра VD-200M

Основные технические характеристики

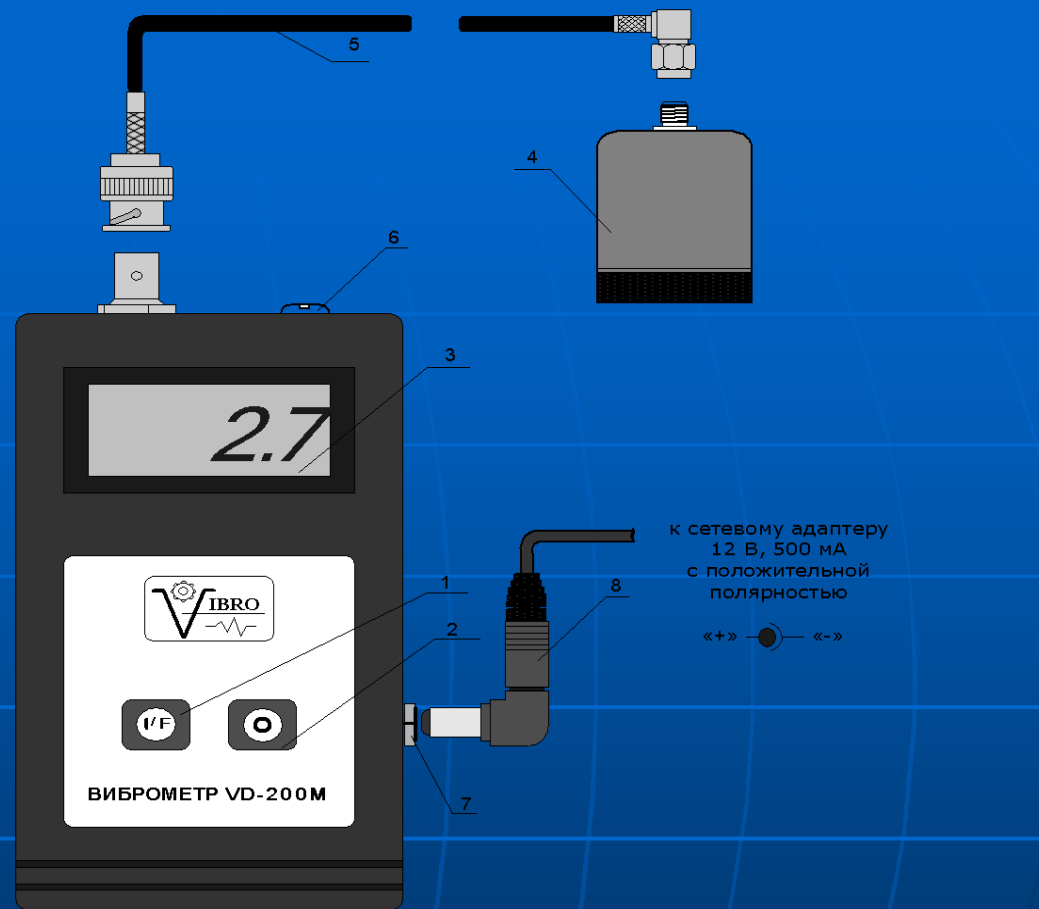
диапазоны измерения СКЗ виброскорости, мм/с	0,1– 100
диапазоны измерения виброперемещения (размах), мкм	1– 1000
диапазон частот при измерении СКЗ виброскорости, Гц	10– 1000
диапазон частот при измерении виброперемещения, Гц	10– 100
основная приведенная погрешность измерения в диапазоне температур 10–30°C, % не более	5

Электропитание

гальванический элемент (ГЭ) или аккумулятор типа Ni-MH, В	9
ресурс непрерывной работы ГЭ или аккумулятора, час	10

Габариты (высота x длина x ширина), мм

измерительно — индикационный блок	45x1 45x8 0
датчик в сборе с магнитным держателем (диаметр x высота)	∅32 x 45



- 1-Кнопка включения прибора
- 2- кнопка, отключающая питание прибора;
- 3- жидкокристаллический индикатор
- 4- вибропреобразователь (вибродатчик)
- 5- соединительный кабель вибродатчика;
- 6- защитный винт шлица регулировки чувствительности;
- 7- гнездо подключения адаптера;
- 8- штекер сетевого адаптера.

Расчет остаточного ресурса методом регрессионного анализа

Тренд изменения СКЗ виброскорости строится в виде линейной регрессии, т. е. полинома, параметры которого определяются статистически.

$$V_e(t) = V_{e\text{cp}} + b \cdot (t_i - t_{\text{cp}})$$

Коэффициенты уравнения регрессии определяются:

$$V_{e\text{cp}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{ei}$$

$$t_{\text{cp}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$$

$$b = \frac{(V_e \cdot t)_{\text{cp}} - V_{e\text{cp}} \cdot t_{\text{cp}}}{t_{\text{cp}}^2 - (t_{\text{cp}})^2}$$

При заданном предельном значении $V_{e\text{доп}}$ доп ресурс объекта определяется

$$t_{\text{рес}} = \frac{V_{e\text{доп}} - V_{e\text{cp}} + b \cdot t_{\text{cp}}}{b}$$

Остаточный ресурс после интервала контроля:

$$t_{\text{ост}} = t_{\text{рес}} - t_n$$

где t_i – значения наработки, соответствующие моментам контроля СКЗ виброскорости на участке контроля (t_n, t_n);

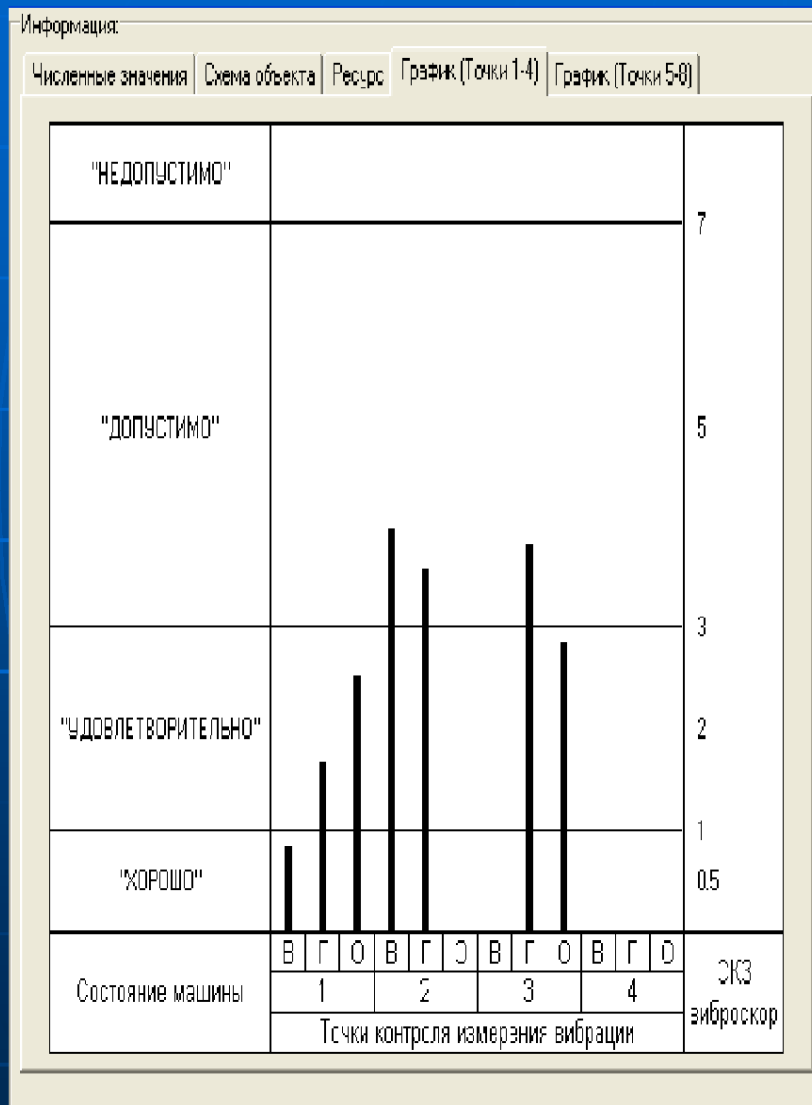
b – аппроксимирующий коэффициент скорости изменения СКЗ виброскорости;

$V_{e\text{cp}}$ – среднее значение виброскорости за период измерений;

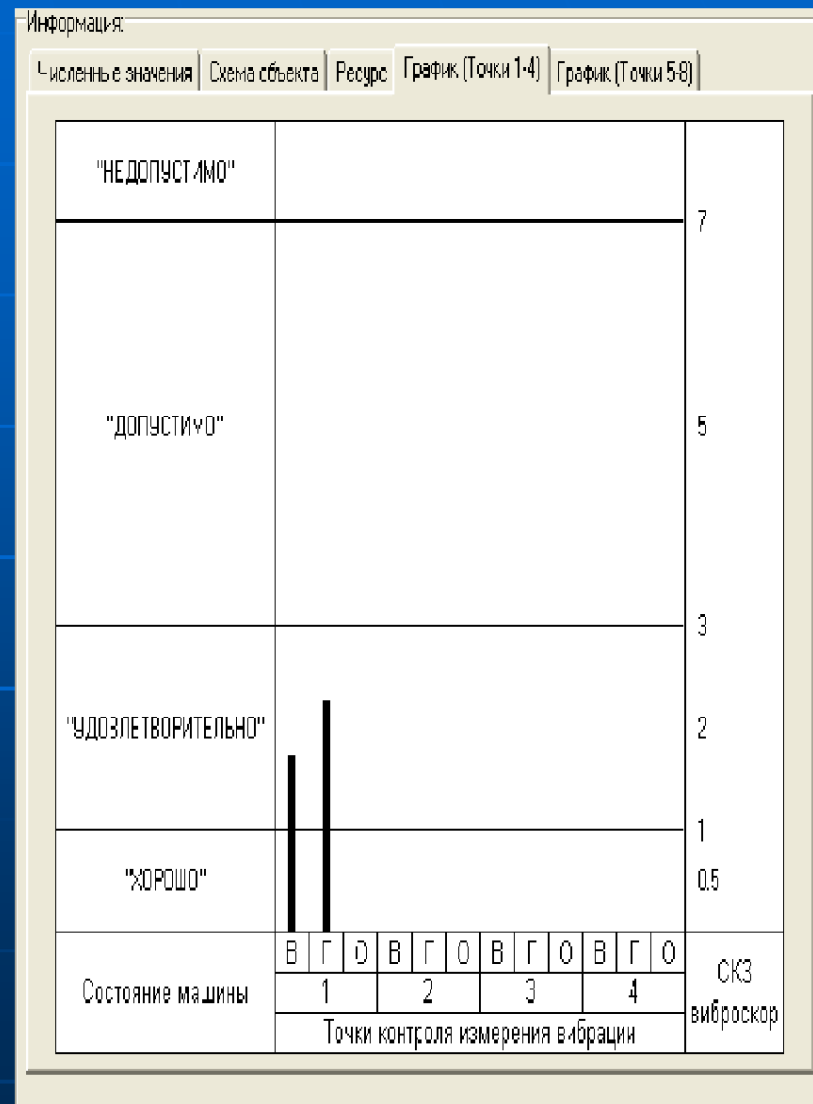
t_{cp} – средняя наработка в интервале наблюдения

Текущая оценка технического состояния оборудования в ПО «TechCard+»

Сетевой насос (СН-3)



Дымосос (Д-2)



Формирование эталона работоспособного состояния сетевого насоса

Эталон работоспособного состояния

$$V_q = \left\{ v_{q1}, \dots, v_{qi}, \dots, v_{qn} \right\}_t$$

Скорректированный эталон РС

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

Дисперсия в каждой точке

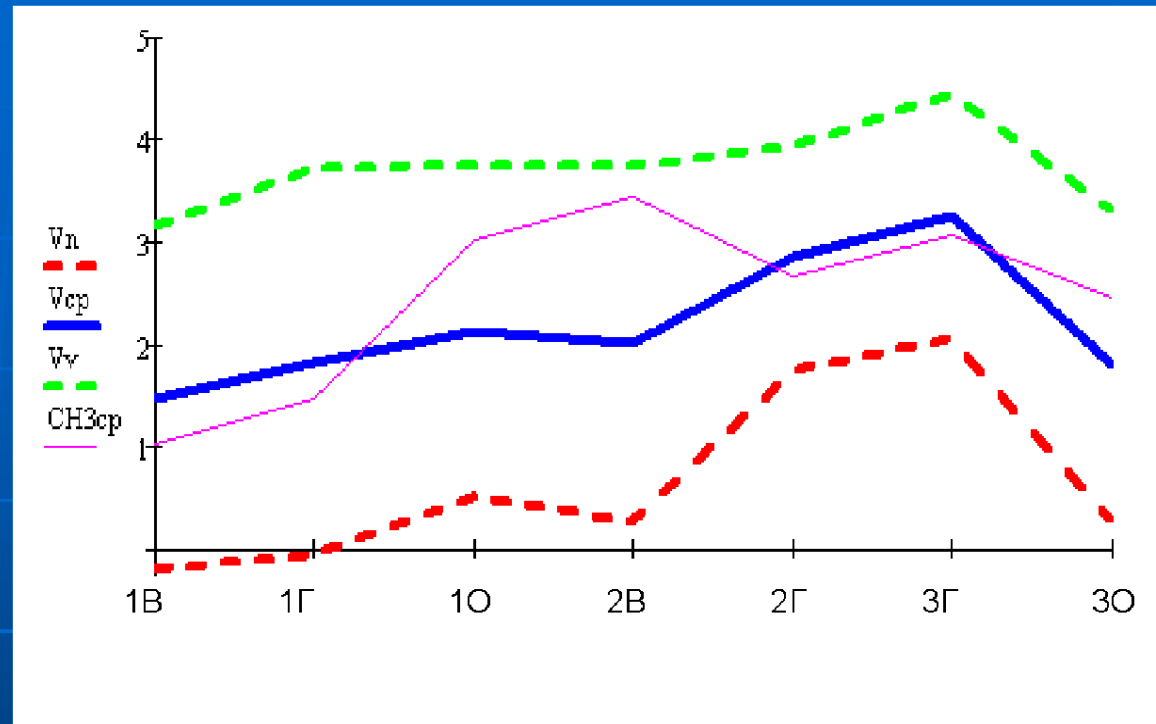
$$D_{iq} = \frac{\sum_{i=1}^M (v_{iqz} - \bar{v}_{qz})^2}{M-1}$$

Среднеквадратичное отклонение

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

Границы доверительного интервала

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



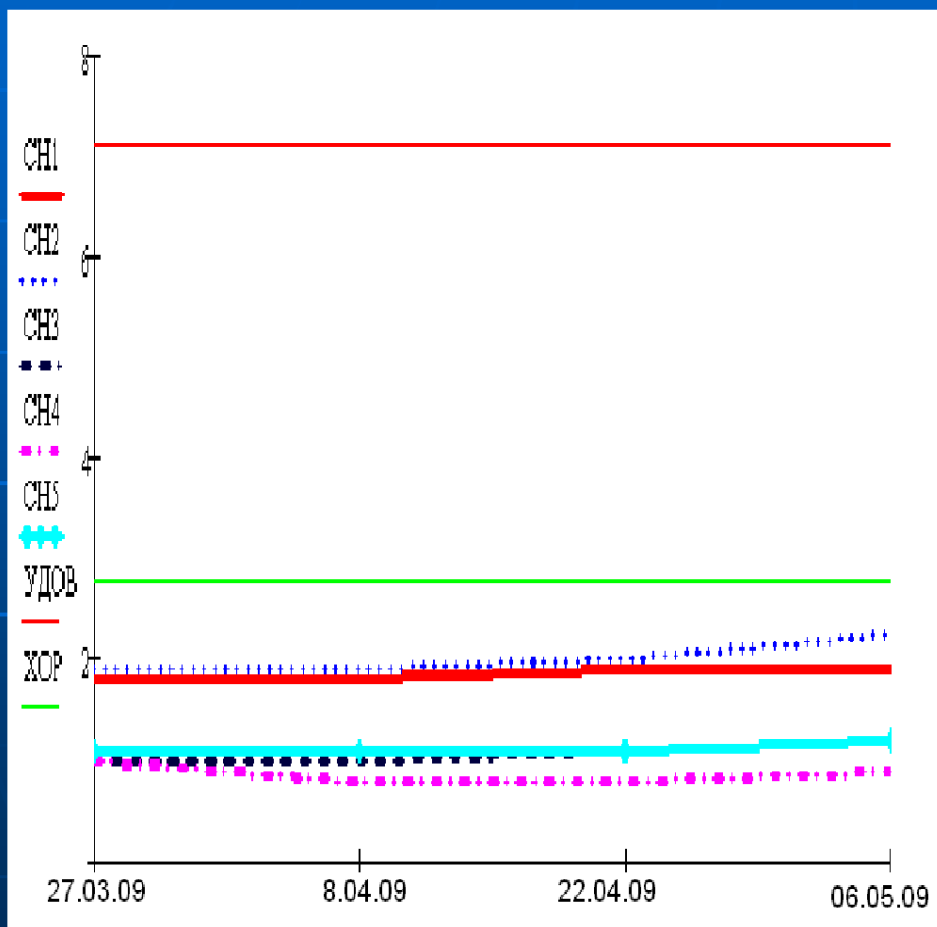
$q=1 \dots M$ Номер верифицированного оборудования

$i=1 \dots n$ Число точек в векторе V

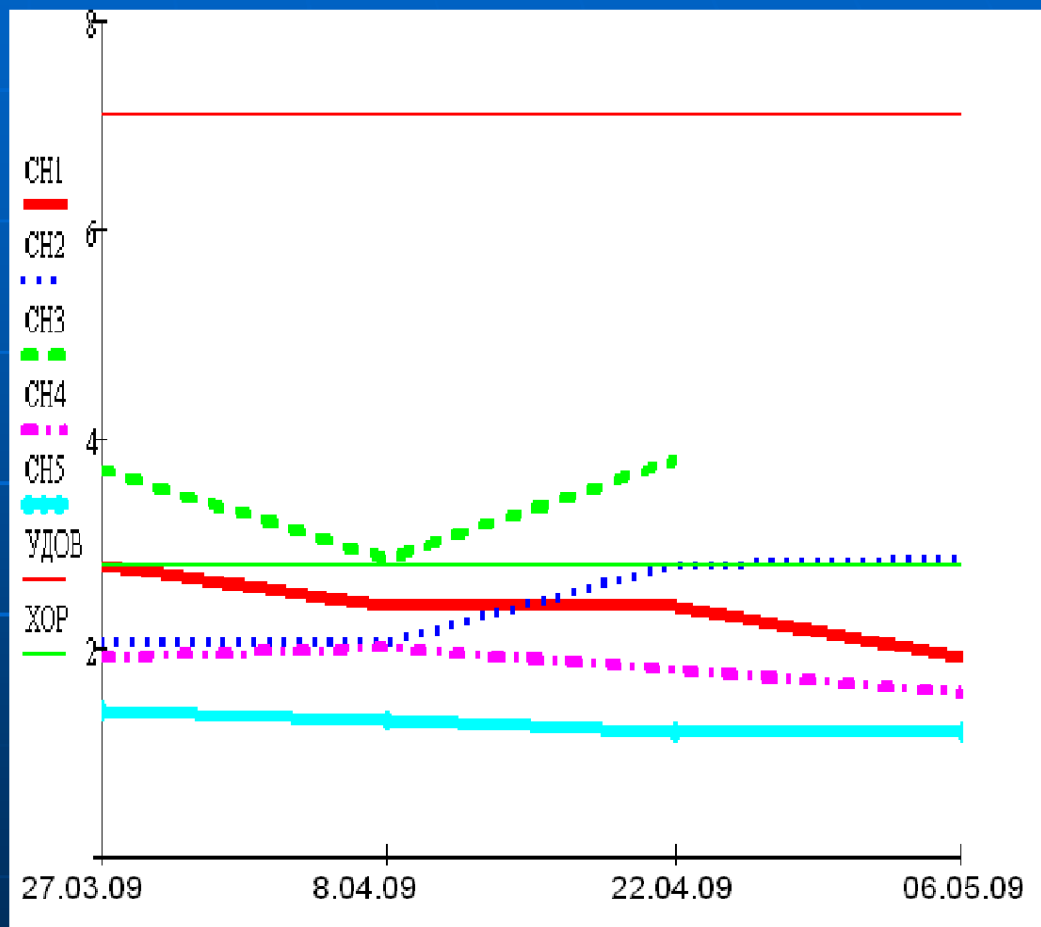
t - критерий Стьюдента (для доверительной вероятности $P=0.9$) при условии нормального распределения

Тренды СКЗ виброскорости в отдельных точках сетевых насосов

Поперечная вибрация нижнего подшипника
электродвигателя (контрольная точка 1В)



Поперечная вибрация на верхнем подшипнике
Насоса (контрольная точка 2В)



Распознавание видов технического состояния метрическими методами

Для расчета метрических расстояний, используем следующие разновидности мер расстояния:

Эвклидово расстояние:

$$L\left(V_j^t, V_{qz}\right) = \sqrt{\sum_1^n \left(v_j^t - v_z\right)^2}$$

Квадрат расстояния:

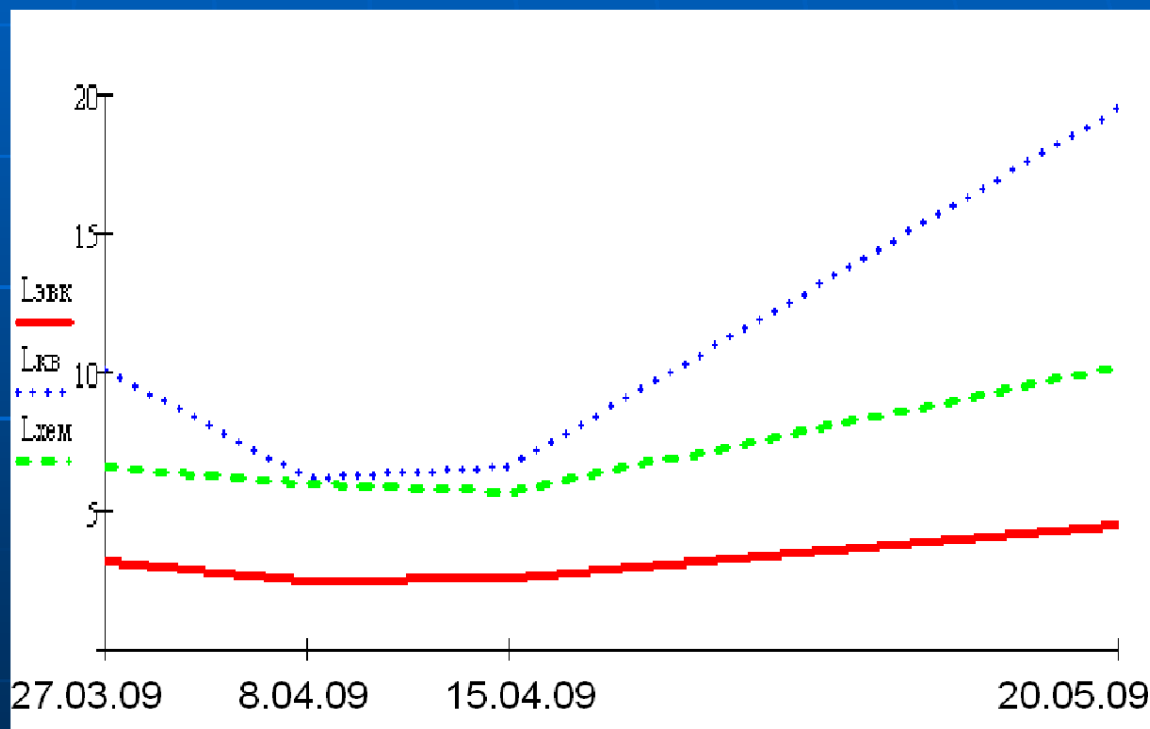
$$L\left(V_j^t, V_{qz}\right) = \sum_1^n \left(v_j^t - v_z\right)^2$$

Расстояние Хемминга:

$$L\left(V_j^t, V_{qz}\right) = \sum_1^n \left|v_j^t - v_z\right|$$

Решающей функцией (диагностическим правилом постановки диагноза) является , объект не относится к тому из видов технического состояния для которого мера расстояния является максимальной.

$$L_{\max}\left(V_j^t, V_z\right) = \text{MAX}\left\{L\left(V_j^t, V_z\right)\right\}$$



Общие выводы по проекту

Таким образом в ходе дипломного проектирования было выполнено:

- Составлена структура объектов контроля
- Разработаны маршрутные карты и выделены реперные точки
- Проведены измерения вибрации в течении 2-х месяцев
- В ОГЭ установлена на компьютер программа «TechCard+» и создана база данных измерений
- Сформированы эталоны технического состояния сетевых насосов
- Произведена оценка чувствительности распознавания по расстояниям до эталона (метрический метод)

Создан необходимый методический и технический задел для создания учебно-практического полигона на базе оборудования котельной и технологической инфраструктуры кафедры для подготовки студентов спец. 010900