



Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации «Ивановский государственный
энергетический университет им. В. И. Ленина»

Кафедра теоретической и прикладной механики

Вибромониторинг состояния роторных машин

Выполнила: студентка группы 4-33
Казначеева А.В.

Руководитель: доц., к. т. н. Колобов А. Б.

Иваново 2019

Цель:

разработка решений, имеющих практическое приложение при выполнении вибромониторинга роторных промышленных машин.

Задачи:

- разработать структуру выполнения вибромониторинга роторных машин;
- разработать принцип установки уровней ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ и ОСТАНОВ и рассчитать эти уровни для каждой машины;
- предложить методику и выполнить расчетную оценку запаса работоспособности контролируемых машин;
- разработать модель прогнозирования работоспособности на основе регрессионной модели, произвести оценку остаточного ресурса машин;

Алгоритм проведения виброконтроля

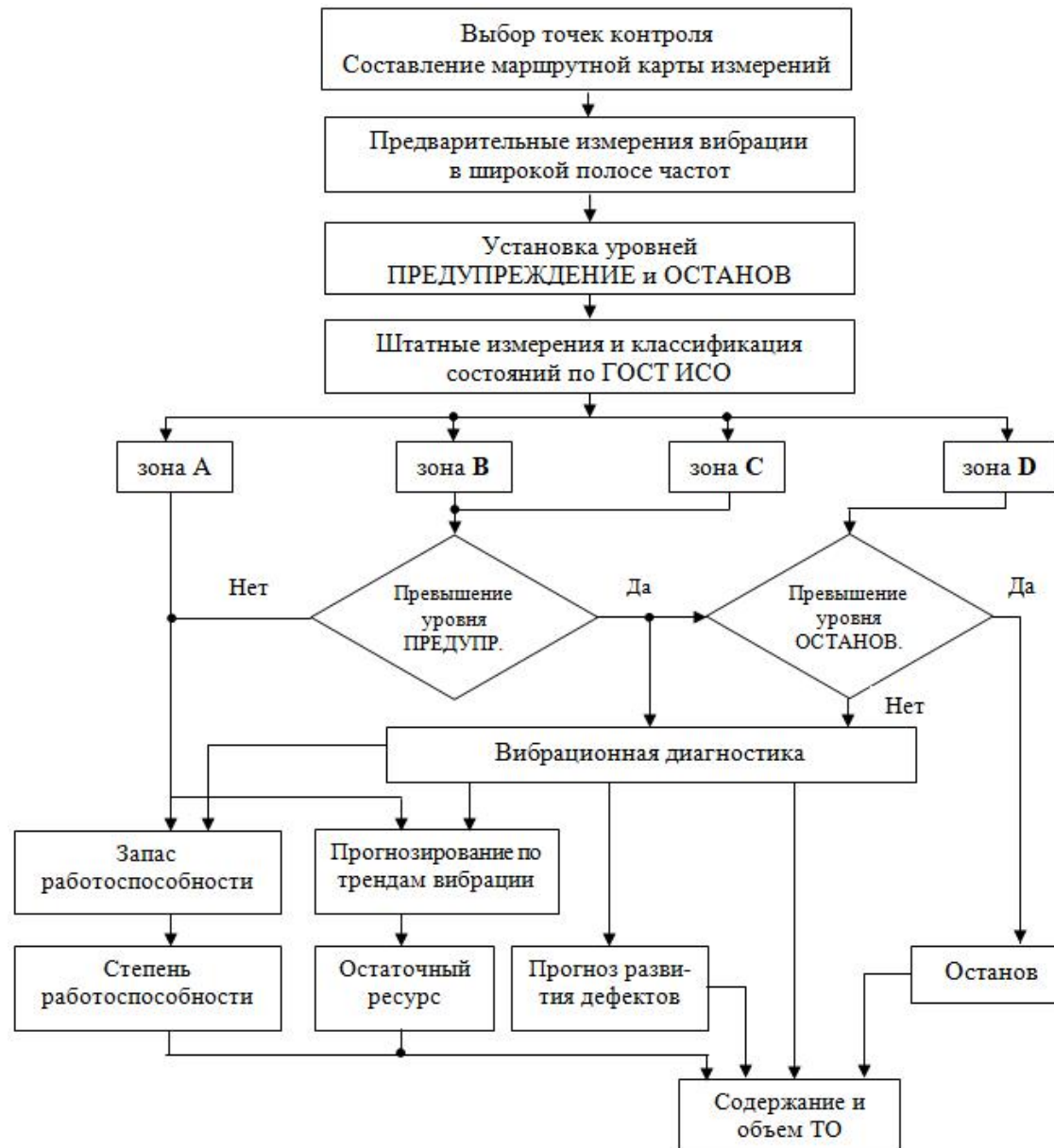


Рис. 1. Блок-схема вибрационного контроля состояния машин

Внешний вид машин



Рис. 2 – Внешний вид тяго-дутьевого механизма



Рис. 3 – Внешний вид насоса сетевой воды

Маршрутная карта и точки контроля

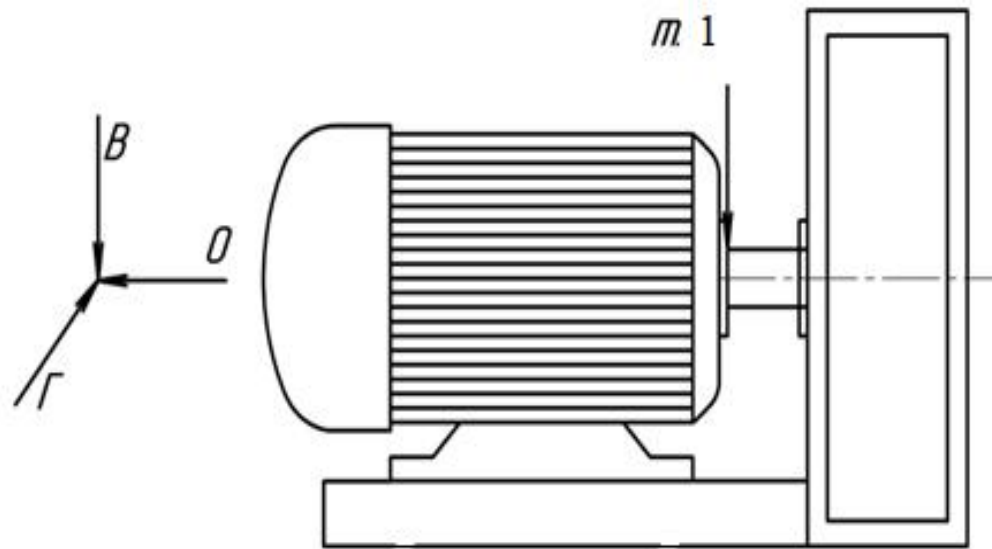


Рис. 4. Эскиз вентилятора дутьевого и дымососа

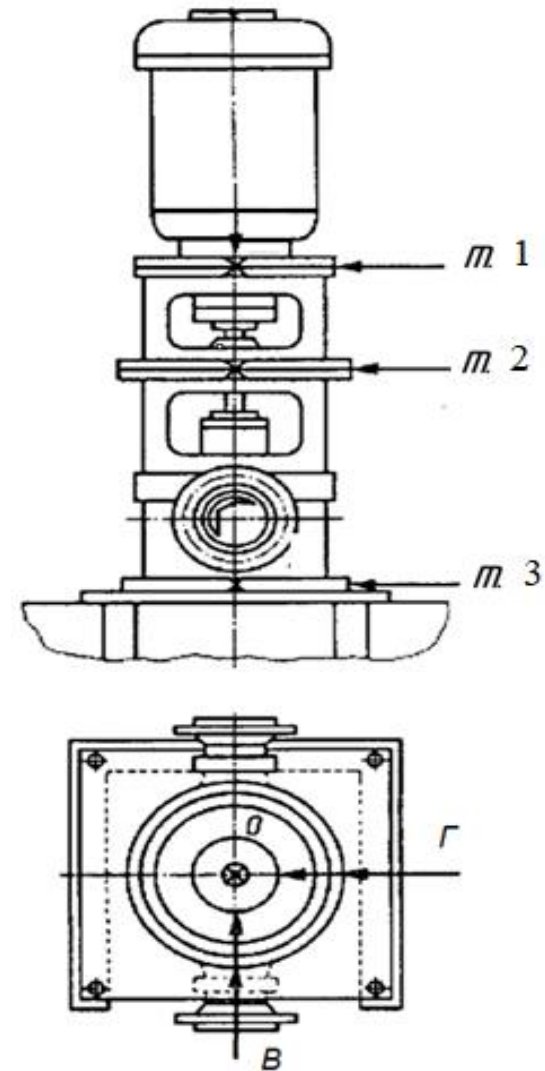


Рис. 5. Эскиз вертикального насоса

Технические характеристики и нормативные уровни

Таблица 1 – Технологическая группа сетевые насосы

Мощность	18,5 кВт
Частота вращения ротора двигателя	3000 об\мин

Таблица 2 – Технологическая группа дымососы и дутьевые вентиляторы

Мощность	11 кВт
Частота вращения ротора двигателя	1000 об\мин

Таблица 3 – Выбранные нормативные уровни СКЗ виброскорости

Технологическая группа	ГОСТ	Граница зон, мм/с		
		A/B	B/C	C/D
Сетевой насос	10816-3	1,4	2,8	4,5
Дутьевой вентилятор и дымосос	10816-1	0,71	1,8	4,5

Определение уровней ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ и ОСТАНОВ

Предварительные измерения позволяют установить базовые уровни вибрации:

- среднее значение СКЗ виброскорости V_{eOj}
- среднее квадратичное отклонение (СКО) среднего СКЗ V_{eOj}

Уровень ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ рассчитывается по формуле

$$V_{ej}^{PP} = V_{eOj} + 0,25V_e^{B/C}$$

● если $V_{ej}^{PP} < V_e^{B/C}$ и $V_e^{B/C} < V_{ej}^{PP} \leq 1,1V_e^{B/C}$, то, V_{ej}^{PP} остается равным расчетному

● если $V_{ej}^{PP} > 1,1V_e^{B/C}$, то рекомендуется принимать $V_{ej}^{PP} = 1,25V_e^{B/C}$

Уровень ОСТАНОВ, рекомендуется устанавливать в двух вариантах:

$$V_{ej}^{OCT} = 0,9V_e^{C/D}, \quad \text{«мягкий» уровень}$$

$$V_{ej}^{OCT} = 1,25V_e^{C/D}, \quad \text{«жесткий» уровень}$$

Результаты расчетов уровней

Таблица 4 – Технологическая карта контроля для сетевого насоса 1

Точка	Направление	Базовый уровень, мм/с			ур. предупр., мм/с		ур. останов., мм/с	
		Расчет		Принято	Расчет	Принято	Мягкий	Жесткий
		Veо	Sveо	Veо				
1	в	1.4	0.1	1.4	2.1	2.1	4.05	5.63
	г	2.37	0.06	2.37	3.07	3.07	4.05	5.63
	о	1.47	0.06	1.47	2.17	2.17	4.05	5.63
2	в	1.03	0.15	1	1.7	1.7	4.05	5.63
	г	1.3	0.1	1.3	2	2	4.05	5.63
	о	0.77	0.06	0.77	1.47	1.47	4.05	5.63
3	г	1.17	0.06	1.17	1.87	1.87	4.05	5.63
	о	0.77	0.06	0.77	1.47	1.47	4.05	5.63

Примечание: Число измерений составило 6.

Количественная оценка запаса работоспособности

$$C_i = \frac{\Delta V_{ei}}{\Delta V_{e\partial on}} = \frac{\Delta V_{ei}}{V_e^{C/D} - V_{e0}},$$

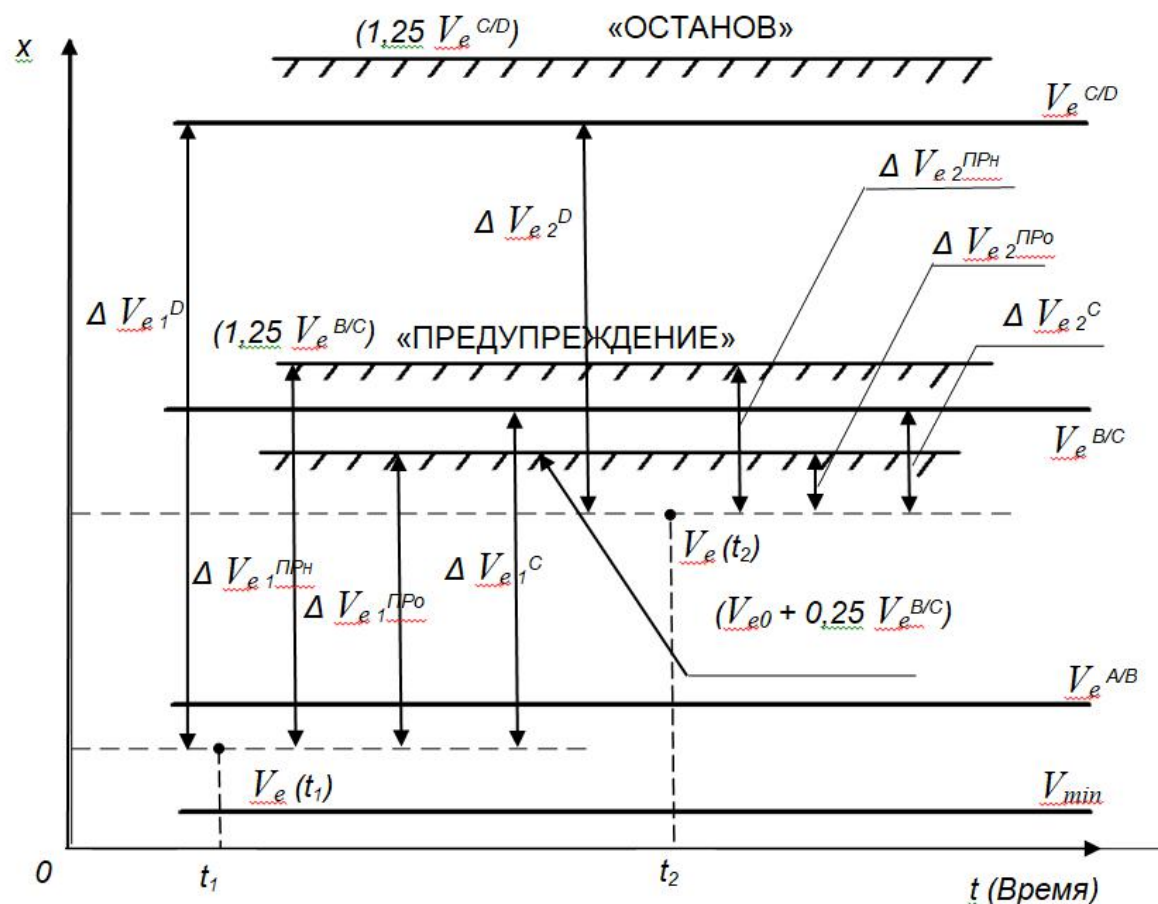


Рис. 6 – К определению запаса работоспособности

Результаты количественной оценки

Таблица 5 – Запас работоспособности

Название машины	Запас работоспособности (%) до уровня		
	ПРЕДУПРЕ ЖДЕНИЕ	ОСТАНОВ	Граница С/D
Сетевой насос 1	29,8	59,8	73,6
Сетевой насос 2	20,9	55,7	68,6
Сетевой насос 3	23,6	42,2	57,4
Сетевой насос 4	17,4	58,3	69,9
Дутьевой вентилятор 2	25,9	70,2	81,3
Дутьевой вентилятор 3	12,4	66,6	76,7
Дымосос 2	9	65,5	75,1
Дымосос 3	13	70,4	79,9

Модели прогнозирования

Тренд изменения СКЗ виброскорости представляется в виде линейной регрессии, параметры которой определяются статистически:

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

Для учета возможного случайного отклонения СКЗ виброскорости устанавливается верхняя доверительная граница тренда, описываемая функцией

$$V_e^B(t) = V_e(t) + \sigma_V \cdot t(p)$$

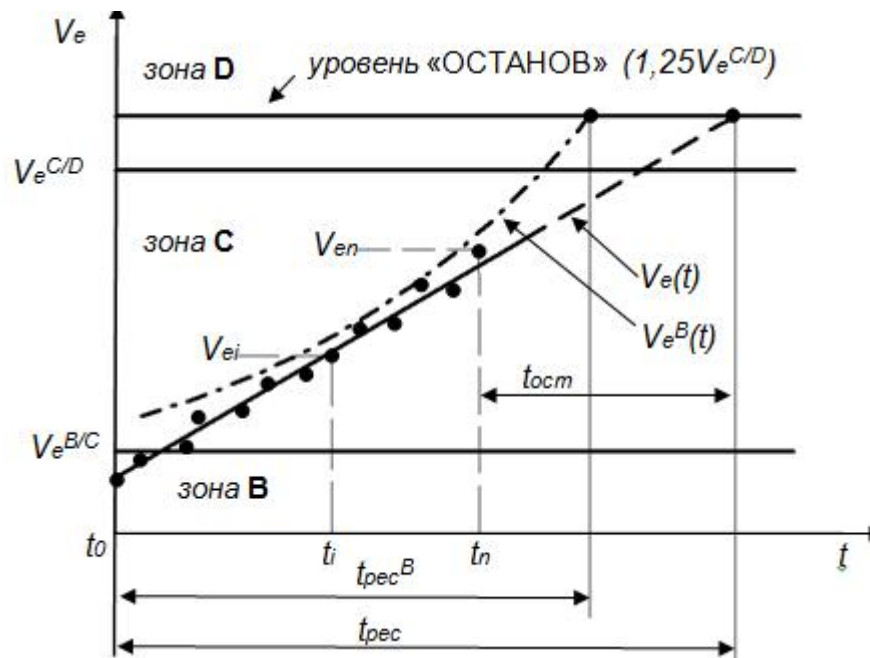


Рис.7. Линия регрессии и определение остаточного ресурса¹¹

Пример результатов измерений СКЗ виброскорости, мм/с

Таблица 6 – Результаты измерений СКЗ виброскорости (мм/с)
сетевого насоса 1

Дата измерения		20.11. 2018	29.11. 2018	24.01. 2019	18.02. 2019	05.03. 2019	22.03. 2019
1	в	1.5	1.4	1.3	1.5	1.7	1.5
	г	2.4	2.3	2.4	2.4	2.3	2.1
	о	1.5	1.4	1.5	1.6	1.5	1.6
2	в	1.2	1	0.9	0.9	1	1
	г	1.2	1.3	1.4	1.2	1.2	1.1
	о	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7
3	г	1.1	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1
	о	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6

Линия регрессии и верхняя доверительная граница

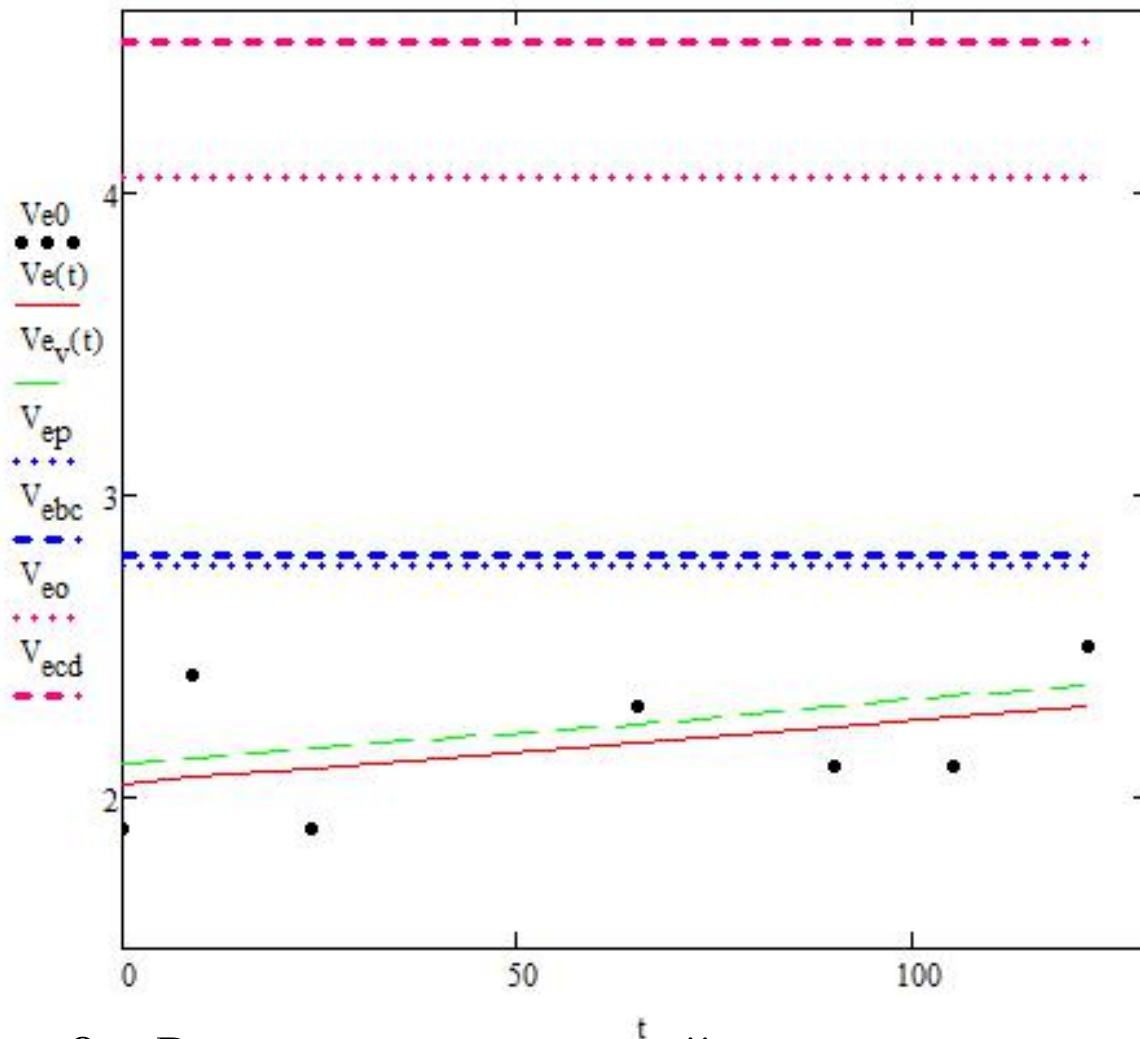


Рисунок 8 – Результаты измерений, линия регрессии и верхняя доверительная граница для сетевого насоса 2

Оценка ресурсных показателей

Таблица 7 – Оценка ресурсных показателей для сетевого насоса 2

Ресурс, сут.	До уровня ПРЕДУПРЕ ЖДЕНИЕ	До границы зон В/С	До уровня ОСТАНОВ	До границы зон С/D
$t_{\text{рес}}$	343	358	952	1166
$t_{\text{ост}}$	221	236	830	1044

Примечание: 122 дня – интервал с первого до последнего измерения

Заключение

В ходе выполнения работы:

- разработана структура выполнения мониторинга технического состояния;
- предложены в дополнение к нормативным документам принципы установки уровней ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ и ОСТАНОВ и рассчитаны данные уровни для каждой машины;
- произведены измерения вибрации машин в ходе отопительного сезона 2018/19 годов, предложена методика и выполнена расчетная оценка запаса работоспособности;
- разработана модель прогнозирования работоспособности на основе регрессионной модели, произведена оценка остаточного ресурса машин, службам эксплуатации выданы рекомендации по техническому обслуживанию.