

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В.И. ЛЕНИНА»

Кафедра теоретической и прикладной механики

Разработка системы вибромониторинга роторных машин

Выполнила: студентка гр.4-33

Городова С.М.

Руководитель: доц., к. т. н.

Колобов А.Б.

Иваново 2022

Цель

- Апробация в учебных и практических целях программно-технического комплекса вибромониторинга (ПТКВ) на основе программной системы (ПС) «АГАТ-Протокол» и измерительного средства – виброанализатор АГАТ (производитель ООО «Диамех 2000»);
- Отладка методики диагностирования дефектов центробежного насоса сетевой воды CR-90-3-2 Grundfos, проведение диагностики и анализ результатов.

Задачи

Для достижения цели работы должны быть решены следующие задачи:

- Произведена уточняющая классификация контролируемого оборудования, разработаны маршрутные карты контроля и выбрана нормативная база оценки вибрации;
- Сформирована база данных измерений по отдельным типам машин, приведены примеры методики анализа временных дампов и спектров вибрации машин, а также примеры диагностирования отдельных дефектов.

Технология «off-line» контроля

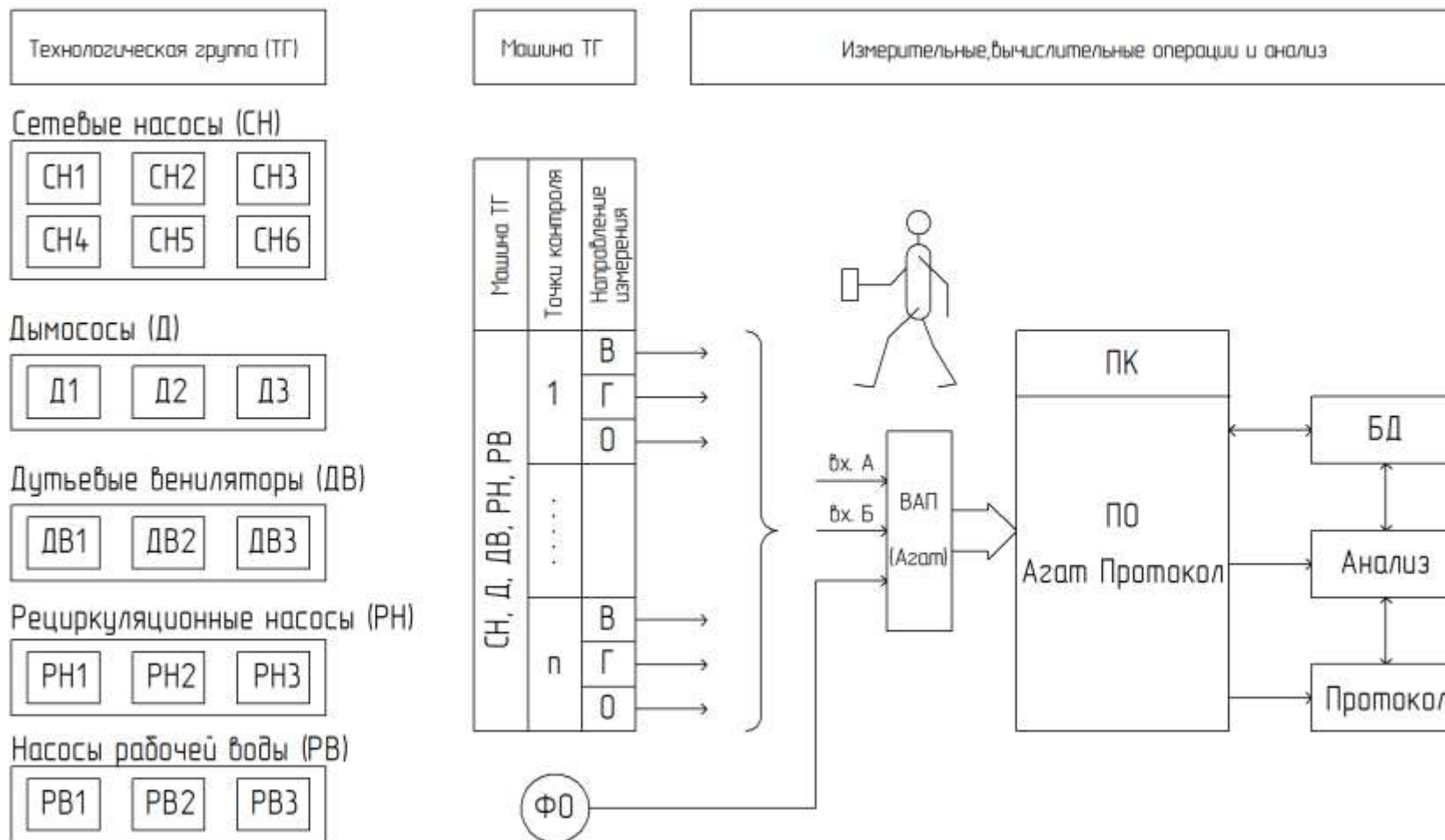


Рис.1. Этапы технологии «off-line» контроля роторных машин котельной ИГЭУ

Нормативная база контроля вибрации машин технологических групп

Технические параметры	Технологические группы				
	Сетевые насосы (СН)	Дымососы (Д)	Вентиляторы дутьевые (ДВ)	Рециркуляционные насосы (РН)	Насосы рабочей воды (РВ)
Тип	CR-90-3-2 Grundfos*	Д-12,5	ВДН-10	АК 80-160/16/-22,0/2	АЦМС-40-160/158
Тип электродвигателя	MG160LB2*	5AИ16SV3	АИР160S6У3	АИР180S2У3**	РА132S А2У3
Мощность, кВт	18,5 *	11	11	22 **	5,5
Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	2940 *	970	970	2920 **	2895

Примечание: *) Для насосов СН₁ – СН₃, СН₅.

Насос СН₄ CR-90-3-2 (Grundfos)

электродвигатель 5A160M293 (Россия) мощность 18,5 кВт, номинальная частота вращения 2920 мин⁻¹

***) Для насосов РН₂ и РН₃.

Насос РН₁ NK80-160/161 (Grundfos),

электродвигатель GMC2-160L-2B3 (Китай) мощность 18,5 кВт, номинальная частота вращения 2940 мин⁻¹

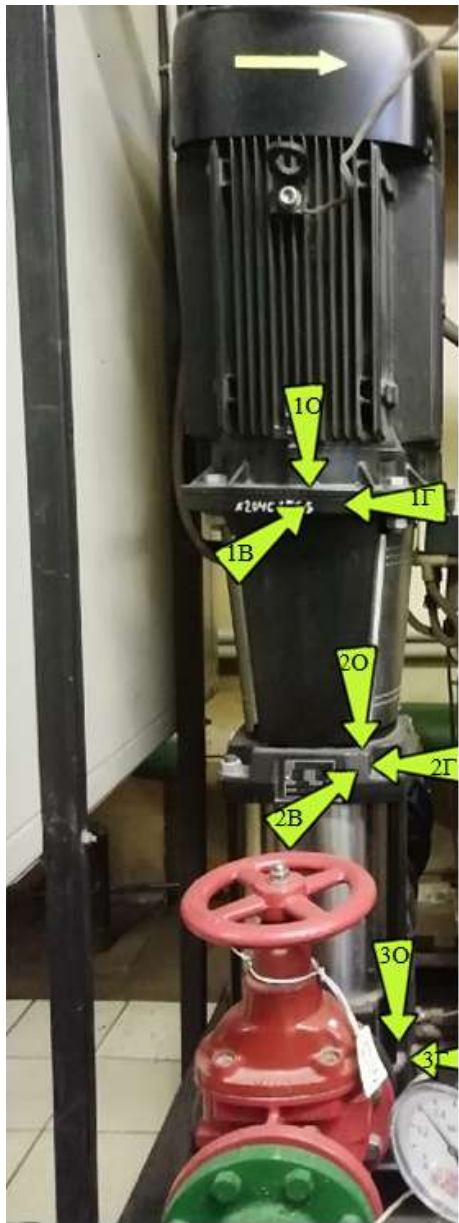
Таблица 1. Технические параметры машин технологических групп

Технологическая группа	ГОСТ ИСО	Класс/ группа	Граница зон состояний, мм/с		
			А/В	В/С	С/Д
Сетевой насос (СН)	10816-3	2	1,4	2,8	4,5
Дымосос (Д)	10816-1	1	0,71	1,8	4,5
Дутьевой вентилятор (ДВ)					
Рециркуляционный насос (РН)	10816-3	3	3,5*	7,1*	11,0*
Насос рабочей воды (РВ)	10816-1	1	0,71	1,8	4,5

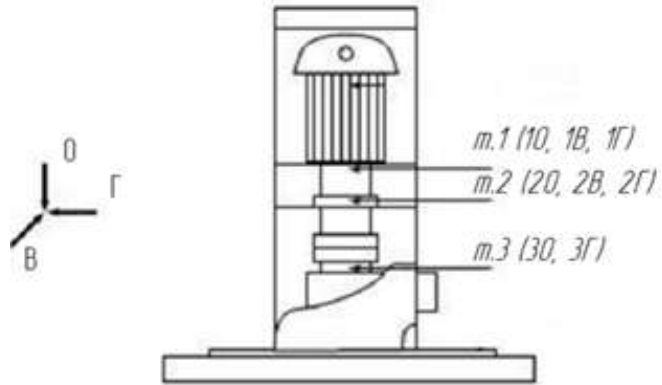
Примечание: *) Упругая установка агрегата (податливая опора).

Таблица 2. Границы зон вибрационного состояния

Вибрационная диагностика сетевого насоса



а)



б)

Точка контроля	Направление измерения	Результаты измерения СКЗ виброскорости, мм/с	Границы зон состояний ГОСТ ИСО 10816-3, мм/с			Уровень ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ГОСТ ИСО 10816-3, установленный по базовому уровню, мм/с	Техническое состояние
			A/B	B/C	C/D		
1	в	2,9	1,4	2,8	4,5	2,8	Зона <u>C</u> требуется диагностика
	г	4,0				2,86	
	о	3,3				3,0	
2	в	2,0				1,83	
	г	1,9				2,47	
	о	2,3				1,97	
3	г	2,8	2,03				
	о	1,3	1,93				

Таблица 3. Техническое состояние сетевого насоса СН2, оцененное по рекомендациям ГОСТ ИСО 10816-3-2002

Точка контроля	Направление измерения	Результаты измерения	Индивидуальные границы зон состояний, мм/с			Уровень ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ установленный с учетом индивидуальных границ, мм/с	Техническое состояние				
			A/B	B/C	C/D						
1	в	2,9	1,4	2,8	4,5	2,8	Зона <u>C</u>				
	г	4,0				2,86					
	о	3,3				3,0					
2	в	2,0				1,12		1,8	2,8	1,6	Обязательно требуется диагностика
	г	1,9				1,4		2,3	3,5	2,12	
	о	2,3				1,12		1,8	2,8	1,56	
3	г	2,8	1,12	1,8	2,8	1,7					
	о	1,3	1,12	1,8	2,8	1,6					

Таблица 4. Техническое состояние сетевого насоса СН2, оцененное по индивидуальным границам зон состояний (дополнение к ГОСТ ИСО 10816-3-2002)

Рис.2. Маршрутная карта контроля вибрации сетевого насоса: а – внешний вид; б – эскизное изображение

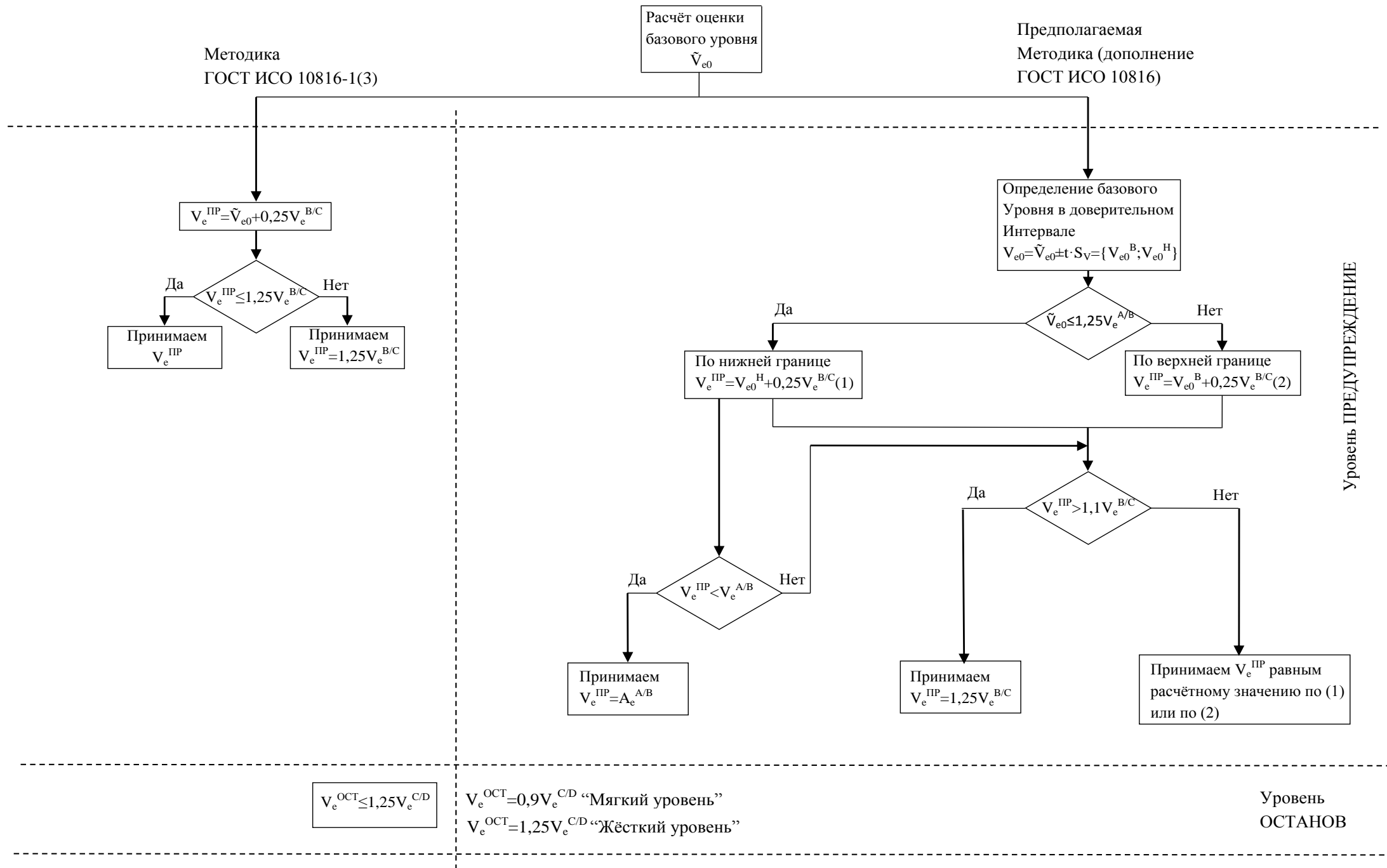
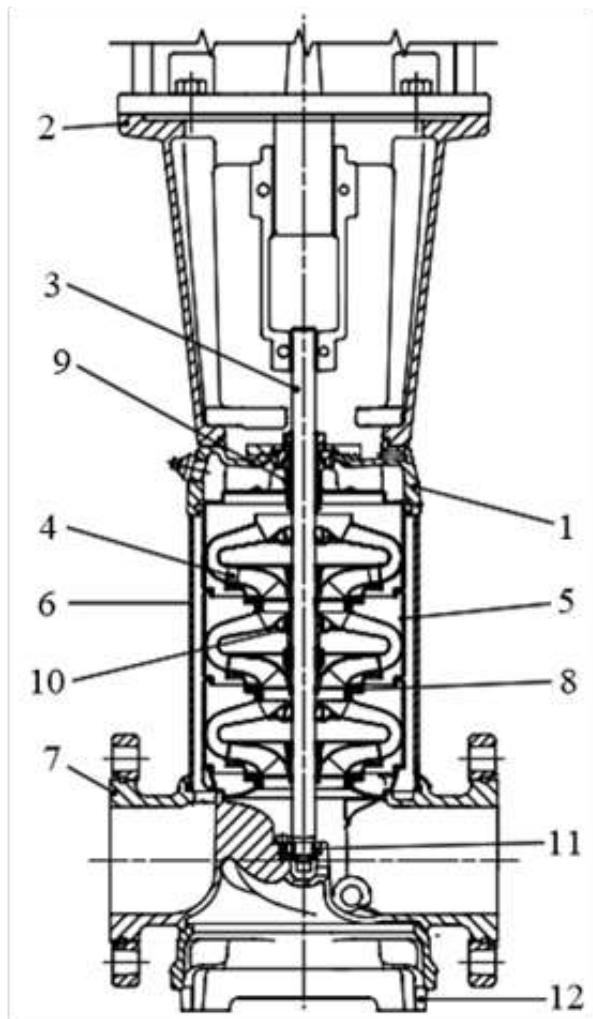


Рис.3. Принципиальные отличия разработанной методики установки ограничительных уровней от рекомендованных ГОСТ ИСО 10816

Описание конструкции насоса CR90-3-2 Grundfos



Материалы

Поз.	Наименование	Материалы	EN/DIN	AISI/ASTM
1	Головная часть насоса	CR: чугун	EN-JS	-
		EN-GJS-500-7	1050	
		CRN: Нерж. сталь	1.4408	AISI 316LN
2	Фланец крепл. электродвиг.	Чугун	EN-GL	ASTM 25B
		EN-GJL-200	1030	
3	Вал	Нерж. сталь	1.4462	-
4	Рабочее колесо	Нерж. сталь	1.4401	AISI 316
5	Промежуточная камера	Нерж. сталь	1.4401	AISI 316
6	Цилиндр. кожух	Нерж. сталь	1.4401	AISI 316
7	Основание	CR: чугун	EN-JS	-
		EN-GJS-500-7	1050	
		CRN: Нерж. сталь	1.4408	AISI 316LN
8	Щелев. уплотн.	Углерод с оболочкой из PTFE	-	-
9	Уплотнение вала	HQQE, HQQV, HQOF, HQOK	-	-
10	Втулка подшип.	Бронза/углерод с оболочкой из PTFE-	-	-
11	Нижнее кольцо подшипника	ТС/ТС*	-	-
12	Плита-основ.	CR: чугун	EN-JS	ASTM
		EN-GJS-500-7	1050	80-55-06
		Нерж. сталь	-	-
	Эластомеры	EPDM, FKM (Viton) FFKM или FXM	-	-

* ТС = (цементированный) карбид вольфрама

Рис.4. Конструкция насоса CR90-3-2

Информативные вибрационные частоты в спектрах

Основные		Гармоники		
Частоты	Гц	Частоты	k	Гц
1. Оборотная $f_0 = \frac{n_n}{60} *$	48,9	kf_0	2	97,8
			3	146,7
			4	195,6
			5	244,5
			6	293,4
2. Вибрация направляющих лопаток (НЛ): $f_n = z_n f_0$	489	kf_n	2	978
			3	1467
			4	1956
3. Вибрация лопаток ступени (ЛС): $f_l = z_l f_0$	293,4	kf_l	2	586,8
			3	880,2
			4	1173,6
Боковые частоты				
Модуляция НЛ f_n	489	$f_n \pm kf_0$	2	537,9 440,1
			3	586,8 391,2
			4	635,7 342,3
Модуляция ЛС f_l	293,4	$f_l \pm kf_0$	2	342,3 244,5
			3	391,2 195,6
			4	440,1 146,7

Примечание: *) n_n – асинхронная частота вращения ротора электродвигателя
 $n_n = 2940 \text{ мин}^{-1}$

Таблица 5. Расчетные частоты в спектрах вибрации

Тип	6309-C4 (80309), шариковый радиальный
Внутренний диаметр, мм	45
Внешний диаметр, мм	100
Диаметр тел качения, мм	17,462
Количество тел качения, шт.	8

Таблица 6. Параметры подшипника электродвигателя

Основные		Гармоники		
Частоты	Гц	Частоты	k	Гц
<ul style="list-style-type: none"> тела качения (BSF): $f_k = f_0 \frac{d_0}{d_T} \left(1 \pm \frac{d_T^2}{d_0^2} \cdot \cos^2 \beta \right)$ 	191,3	kf_k	2	382,5
			3	573,7
			4	764,9
<ul style="list-style-type: none"> сепаратор (FTF): $f_c = \frac{f_0}{2} \left(1 \pm \frac{d_T}{d_0} \cdot \cos \beta \right)$ 	18,5	kf_c	2	37,1
			3	55,6
			4	74,2
<ul style="list-style-type: none"> наружное кольцо (BPFO): $f_n = \frac{f_0 z}{2} \left(1 - \frac{d_T}{d_0} \cdot \cos \beta \right)$ 	148,5	kf_n	2	296,9
			3	445,4
			4	593,9
<ul style="list-style-type: none"> внутреннее кольцо (BPFI): $f_b = \frac{f_0 z}{2} \left(1 + \frac{d_T}{d_0} \cdot \cos \beta \right)$ 	242,7	kf_b	2	485,4
			3	728,1
			4	970,8

Таблица 7. Расчетные частоты, генерируемые элементами подшипника электродвигателя в спектрах вибрации

Вибрационная диагностика сетевого насоса

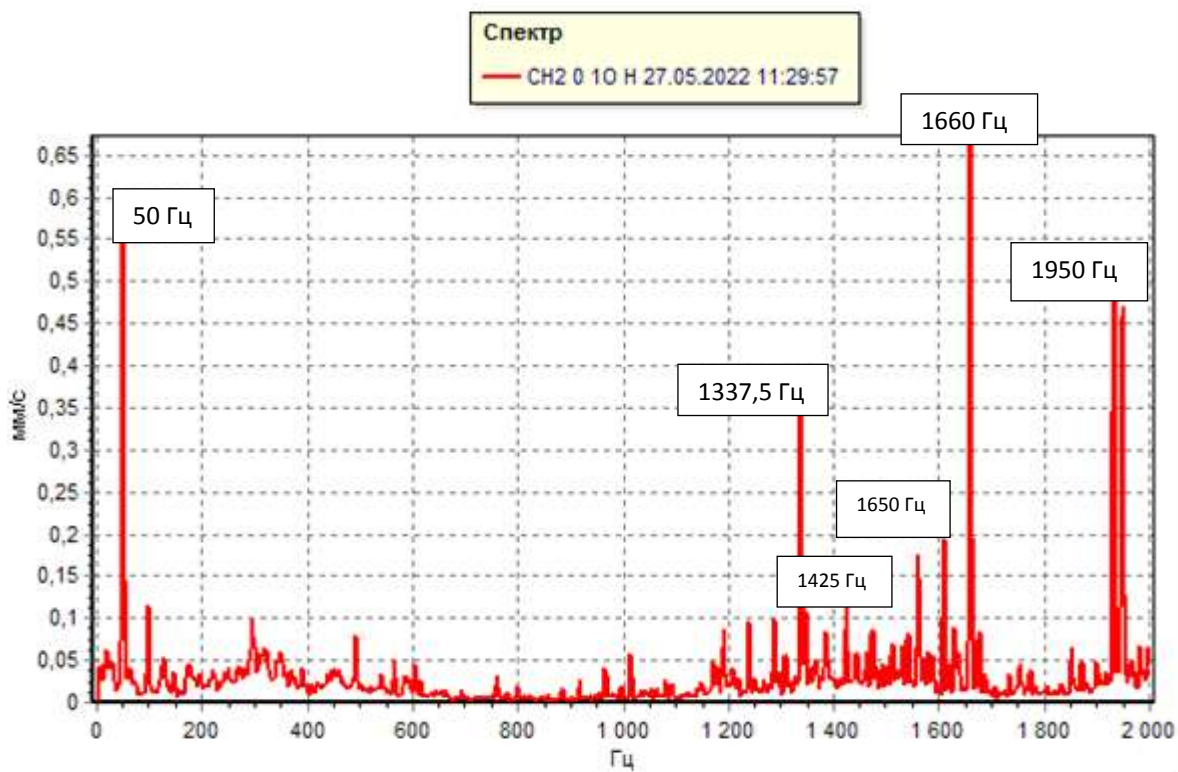


Рис.5. Спектр вибрации насоса CH2 под нагрузкой в осевом направлении измерения в т. 1 (виброскорость)

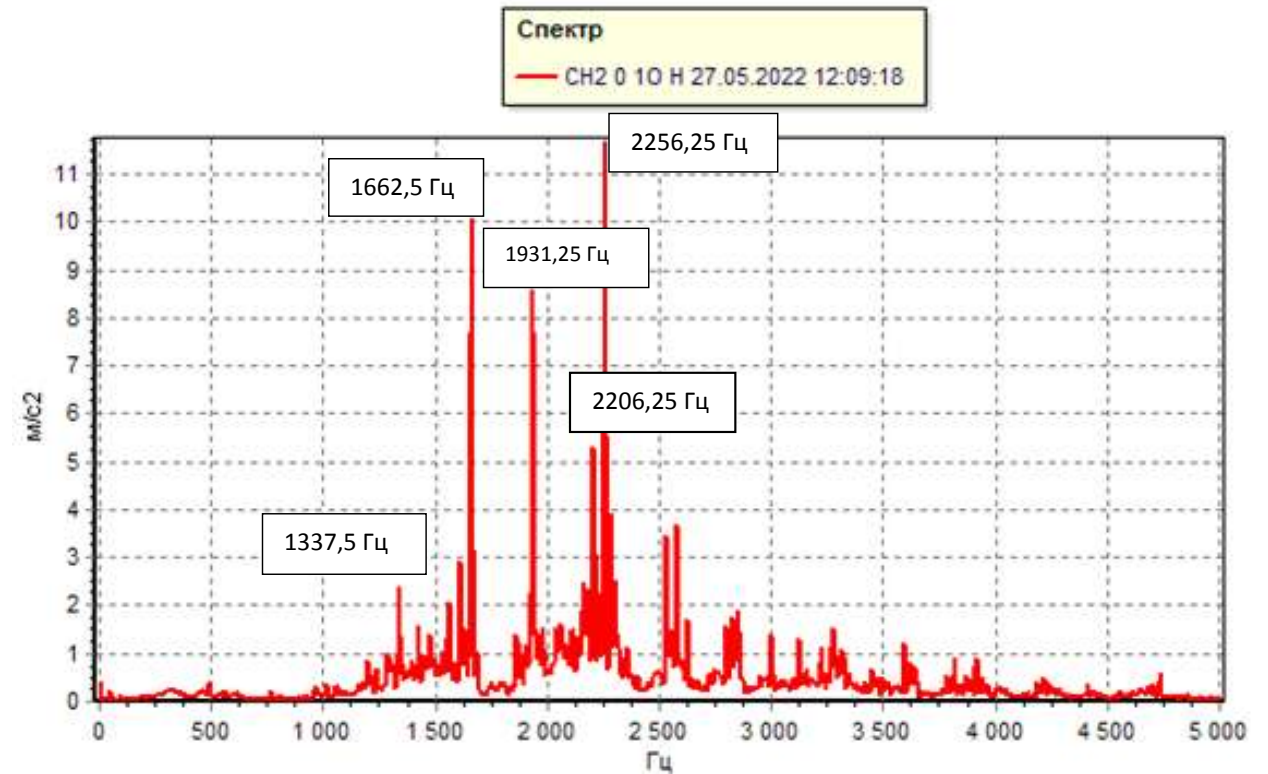


Рис.6. Спектр вибрации насоса CH2 под нагрузкой в осевом направлении измерения в т. 1 (вибоускорение)

Вибрационная диагностика сетевого насоса

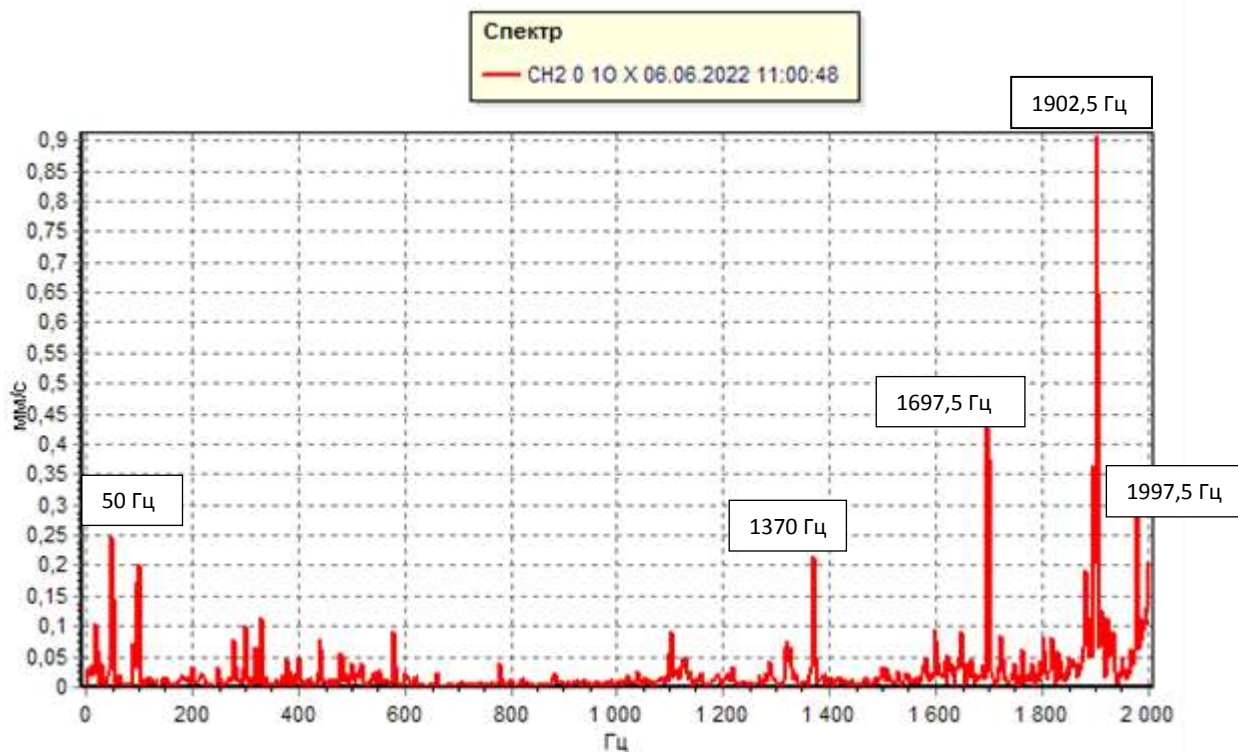


Рис.7. Спектр вибрации насоса CH2 на холостом ходу в осевом направлении измерения в т. 1 (виброскорость)

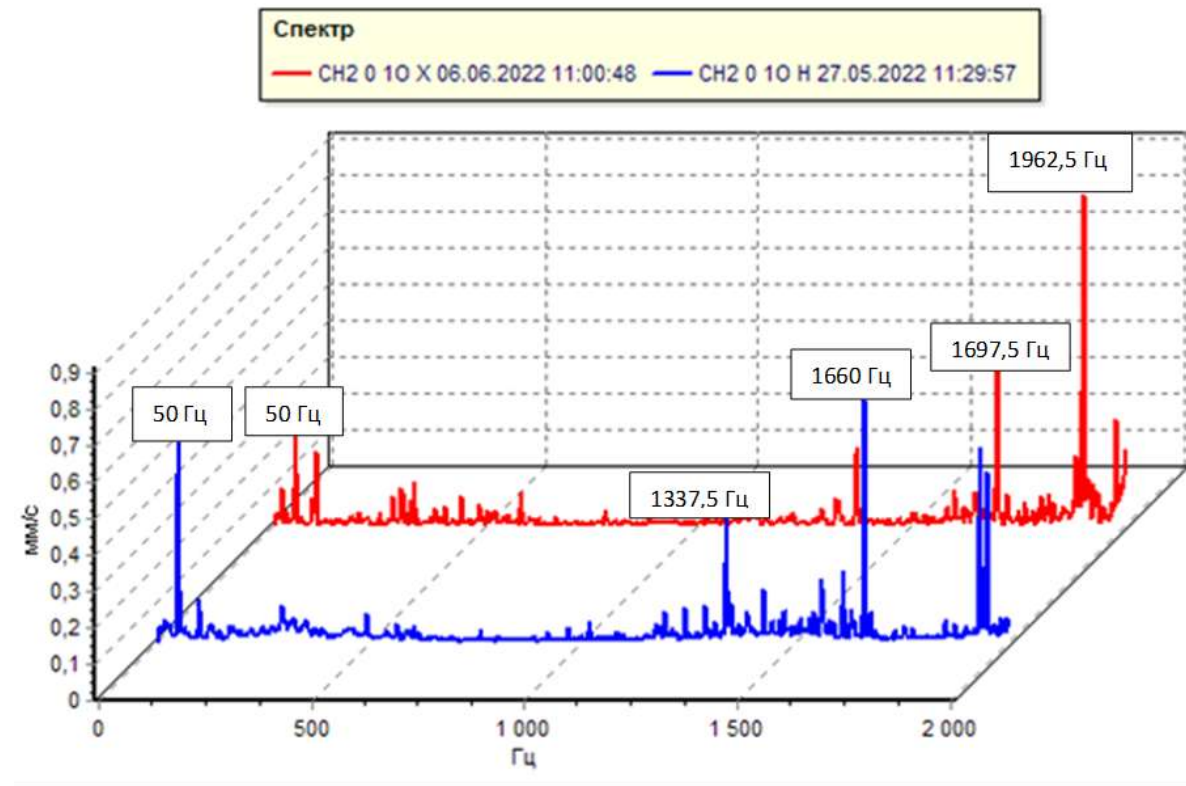


Рис.8. Каскад спектров вибрации насоса CH2 под нагрузкой (синий) и на холостом ходу (красный) в осевом направлении измерения в т. 1 (виброскорость)

Вибрационная диагностика сетевого насоса

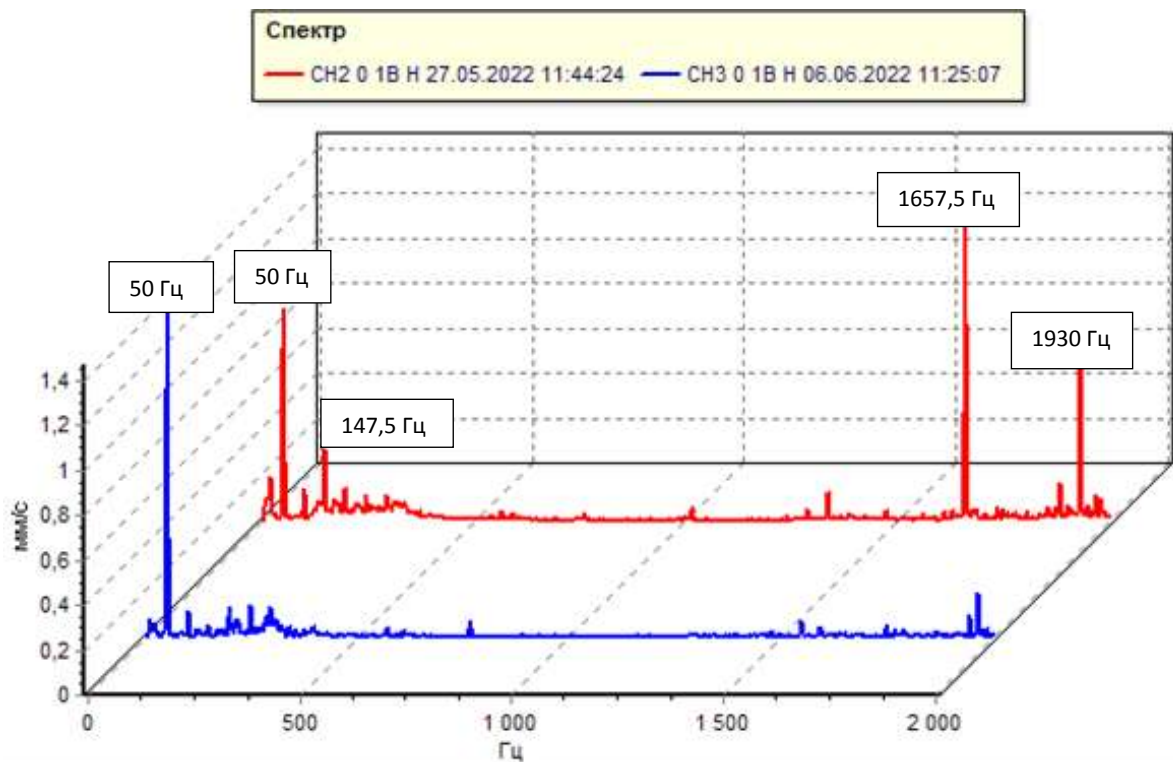


Рис.9. Каскад спектров вибрации насосов CH2 (красный) и CH3 (синий) под нагрузкой в вертикальном направлении измерения в т. 1 (виброскорость)

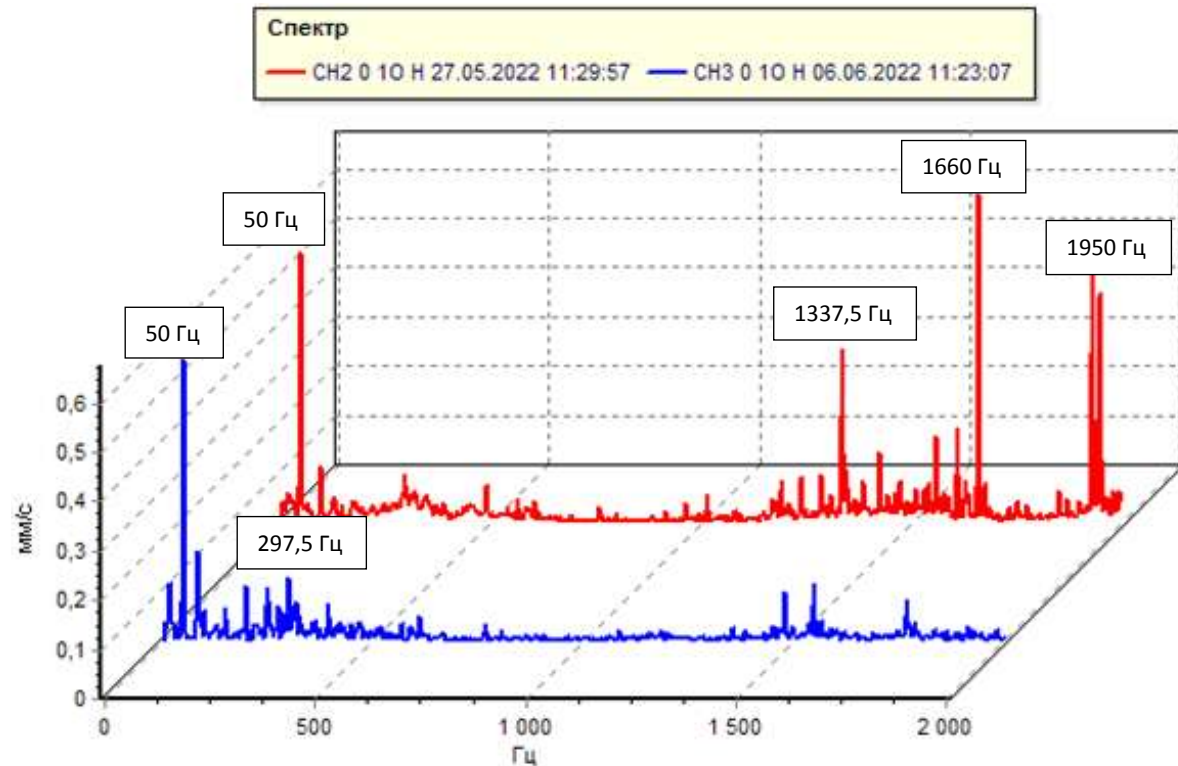


Рис.10. Каскад спектров вибрации насосов CH2 (красный) и CH3 (синий) под нагрузкой в осевом направлении измерения в т. 1 (виброскорость)

Вибрационная диагностика сетевого насоса

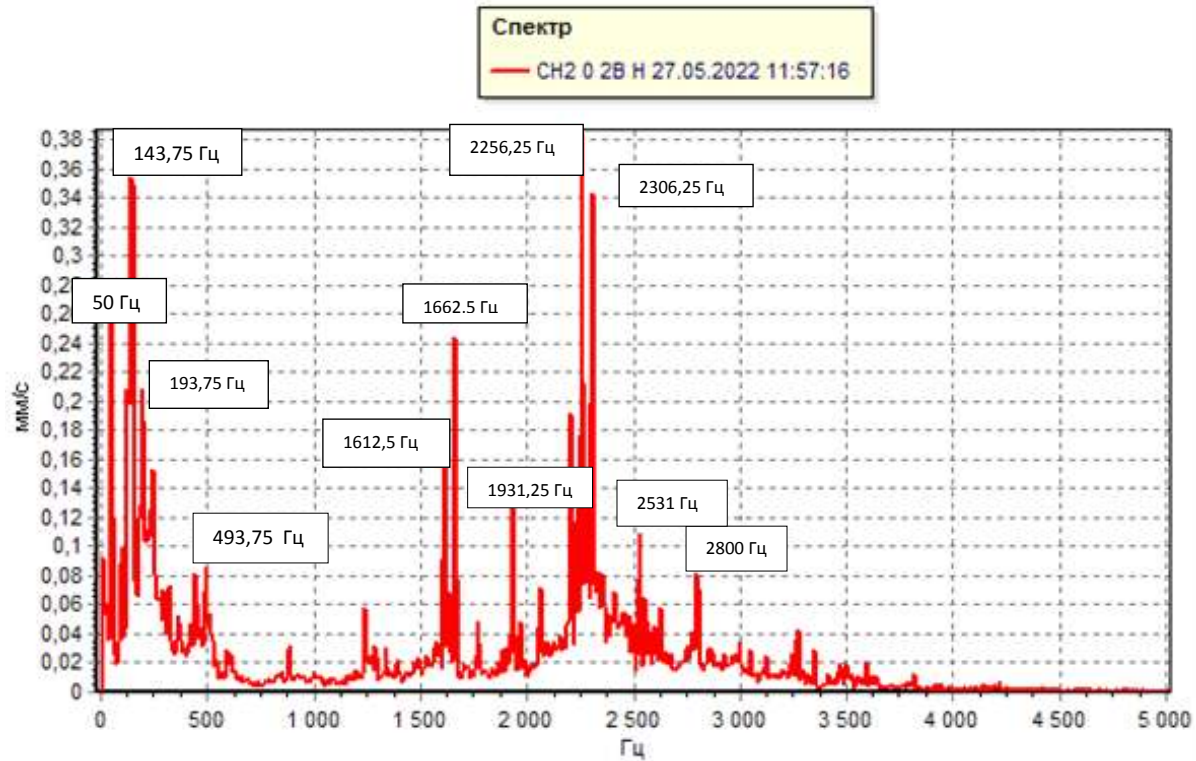


Рис.11. Спектр виброскорости насоса CH2 под нагрузкой в вертикальном направлении измерения в т. 2

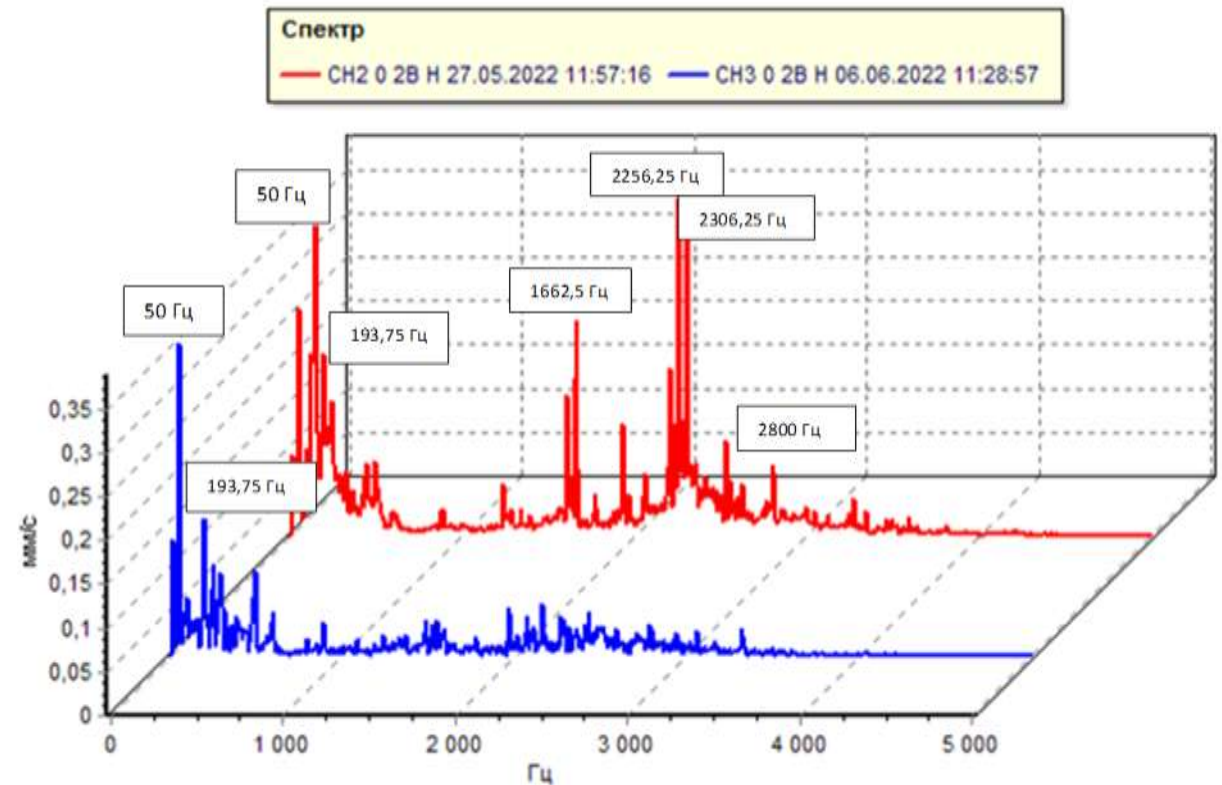


Рис.12. Каскад спектров вибрации насосов CH2 (красный) и CH3 (синий) под нагрузкой в вертикальном направлении измерения в т. 2 (виброскорость)

Вибрационная диагностика сетевого насоса

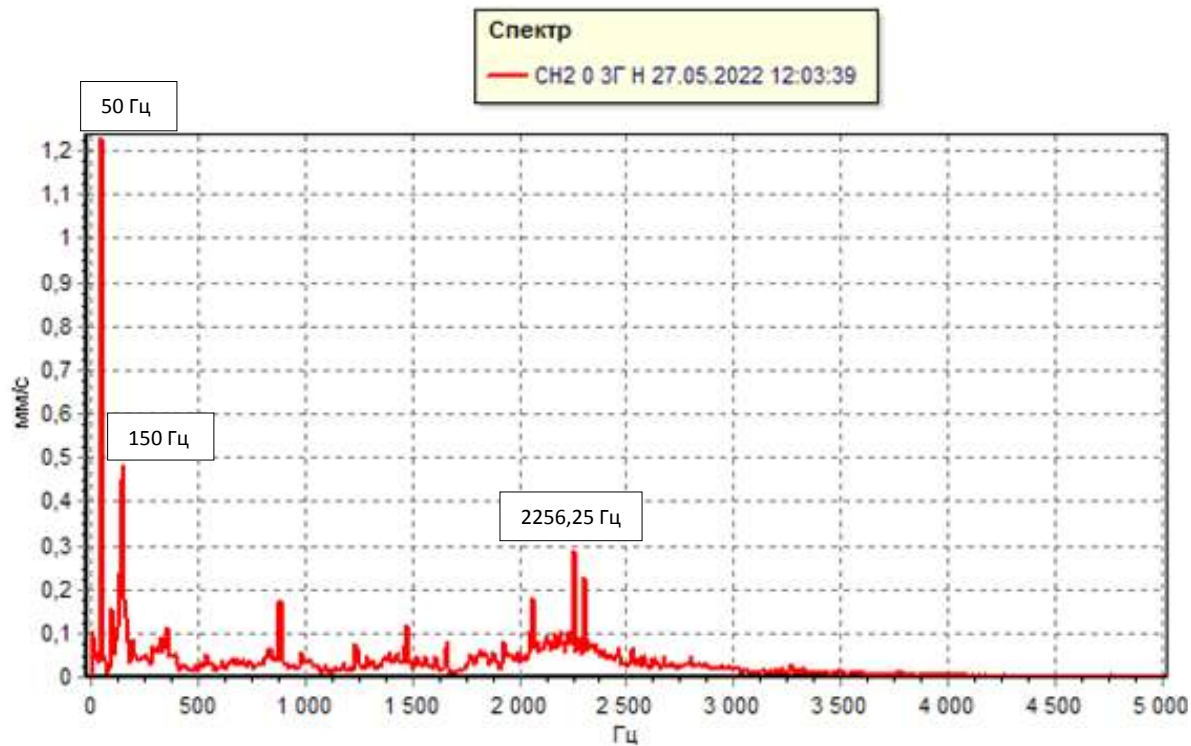


Рис.13. Спектр вибрации насоса СН2 под нагрузкой в горизонтальном направлении измерения в т. 3 (виброскорость)

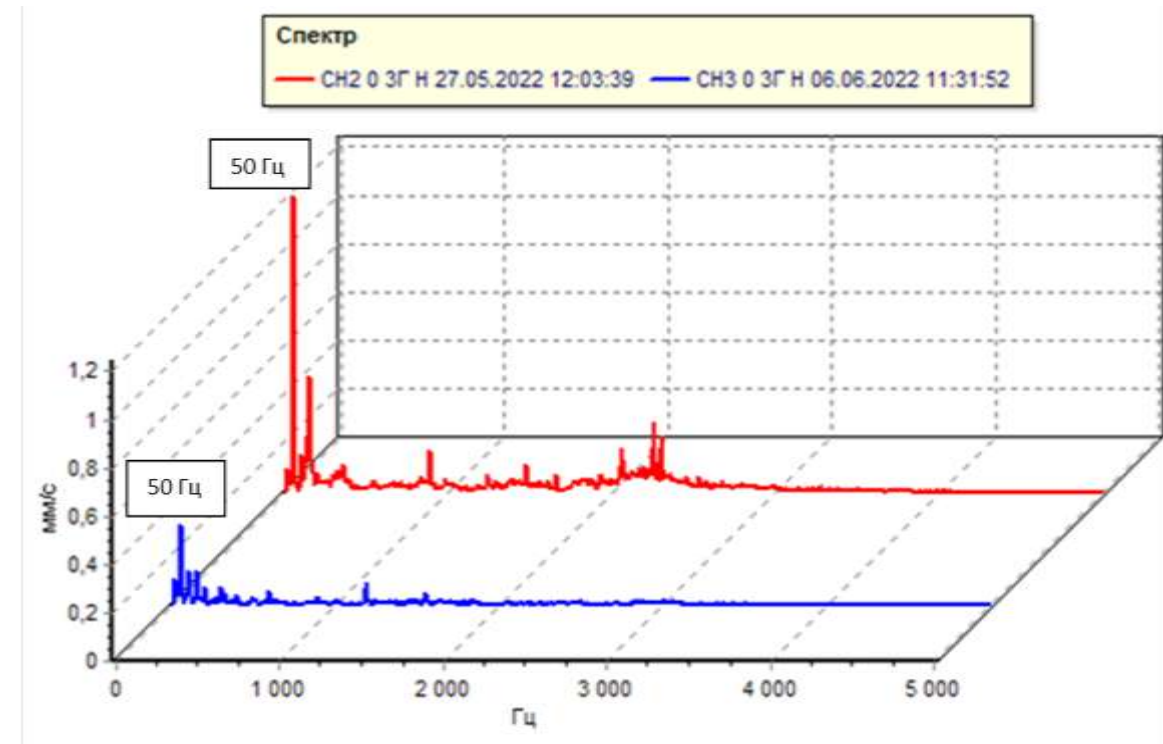


Рис.14. Каскад спектров вибрации насосов СН2 (красный) и СН3 (синий) под нагрузкой в горизонтальном направлении измерения в т. 3 (виброскорость)

Заключение

В ходе работы были проведены:

- апробация в учебных и практических целях программно-технического комплекса вибромониторинга (ПТКВ) на основе программной системы (ПС) «АГАТ-Протокол» и измерительного средства – виброанализатор АГАТ (производитель ООО «Диамех 2000»);
- отладка методики диагностирования дефектов центробежного насоса сетевой воды CR-90-3-2 Grundfos, проведение диагностики и анализ результатов.

В целом, поставленная задача была решена и результаты работы могут использоваться как в учебных, так и практических целях.