

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. В.И.ЛЕНИНА»
Кафедра теоретической и прикладной механики

Разработка метода экспресс-диагностики
промышленных роторных машин в условиях
эксплуатации

Обучающаяся:
студентка гр.4-33 А.О. Чекрыгина
Руководитель от университета:
к.т.н., доцент А. Б. Колобов

Иваново 2020

Целью работы является разработка метода оперативной экспресс-диагностики роторных машин в условиях эксплуатации силами оперативного персонала без использования сложных и дорогостоящих приборов.

Для решения поставленной задачи необходимо выполнить:

- моделирование дампов вибрационных сигналов при распространенных эксплуатационных дефектах: дисбаланс роторов, расцентровка составных валов и износ подшипников, потеря жесткости крепления машины (проблемы фундамента);
- расчетную оценку величины коэффициентов связи вибропараметров, установить доверительные границы коэффициентов при часто встречаемых комбинациях гармоник оборотной частоты ротора;
- аналитический обзор существующих методик диагностирования и разработку методических принципов экспресс-диагностики распространенных дефектов для типовых компоновок приводов роторных машин.

Расчет коэффициента

Коэффициент связи A:

$$A = \frac{S_{pp}}{V_e} \quad (1)$$

Находится размах виброперемещения, мкм:

$$S_{pp} = \max(s) + |\min(s)| \quad (2)$$

СКЗ виброскорости, мм/с:

$$V_e = \sqrt{\frac{\sum V_n^2}{n}} \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

Измеряемые численные параметры вибрации

С учетом размерностей параметров (мм/с – для виброскорости и мкм – для виброперемещения) выражения функциональной связи между СКЗ виброскорости и размахом виброперемещения имеет вид:

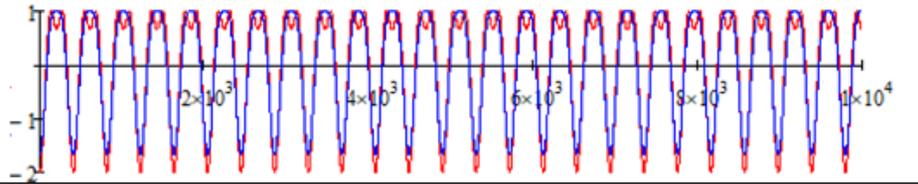
$$S_{pp} = \frac{1,414V_e \cdot 10^3}{\pi f} = A \cdot V_e \quad (4)$$

Таблица 1 - Количественная связь между СКЗ виброскорости V_e и размахом виброперемещения S_{pp} при различных оборотных частотах.

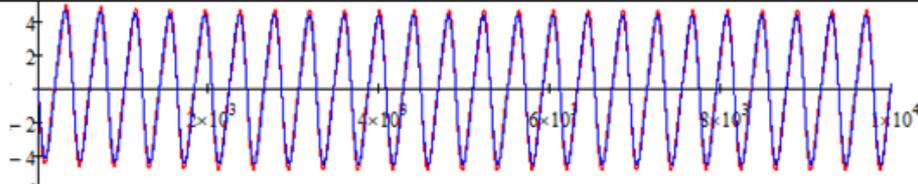
Параметр		Оборотная частота вибрации, Гц			
		50 Гц (3000 мин ⁻¹)	25 Гц (1500 мин ⁻¹)	16,7 Гц (1000 мин ⁻¹)	12,5 Гц (750 мин ⁻¹)
Виброперемещение	Размах S_{pp}	$9V_e$	$18V_e$	$27V_e$	$36V_e$

Формы модельных дампов

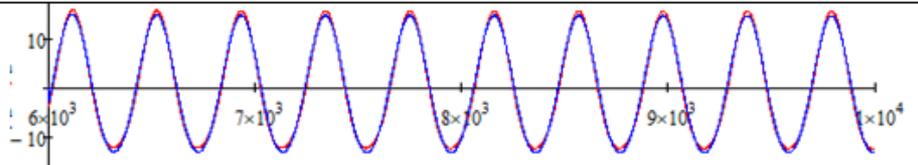
Виброускорение, м/с^2



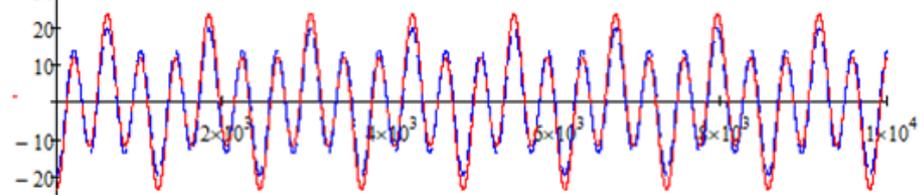
Виброскорость, мм/с



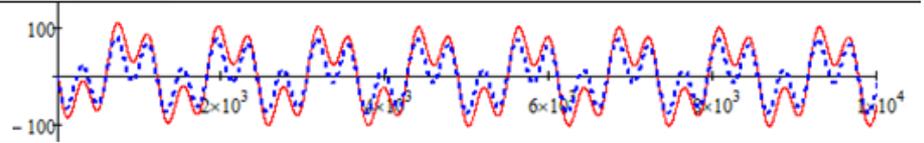
Виброперемещение, мкм



Виброускорение, м/с^2



Виброскорость, мм/с



Виброперемещение, мкм

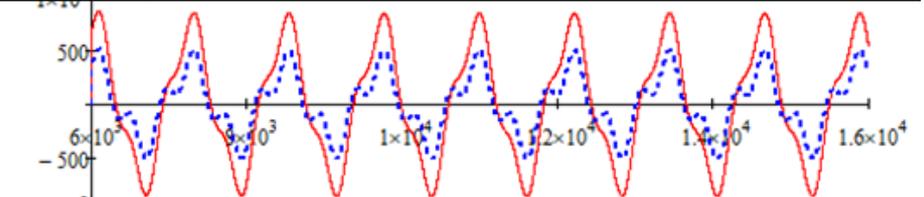


Рис.1 – Вид модельных дампов вибрации при дисбалансе (при оборотной частоте $f_0=49$ Гц)

Рис.2 - Вид модельных дампов вибрации при дефектах фундамента, люфтах в сопряжениях деталей (при оборотной частоте $f_0=49$ Гц)

Расчет доверительных интервалов при дисбалансе

Таблица 2 – Границы доверительного интервала изменения коэффициента связи при дисбалансе

Оборотная частота $f_0, \text{мин}^{-1}$ (Гц)	Оценка среднего значения коэффициента	СКО		Границы доверительного интервала	
		S(a)	S _{a0}	нижняя	верхняя
2940 (49)	9,34	0,135	0,034	9,3	9,4
1470 (24,5)	18,48			18,6	18,8
970 (16,2)	27,63			27,9	28,2
728 (12,1)	36,83			37,2	37,6

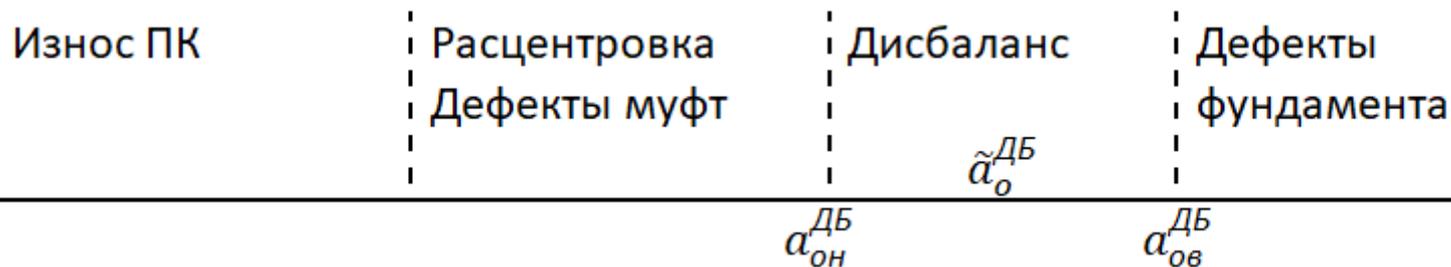


Рис.3 – Границы доверительного интервала

ОПЕРАТИВНАЯ КАРТА ИЗМЕРЕНИЙ

Оборудование	<i>Насос питательной воды</i>	Заводской номер	<i>12859</i>
Место установки	<i>Котло-турбинный цех</i>	Технолог. номер	<i>НПВ-1</i>
Тип, мощность ЭД, кВт	<i>4A132S2, 18</i>	Частота вращения, об/мин / Гц	<i>2940 / 49</i>

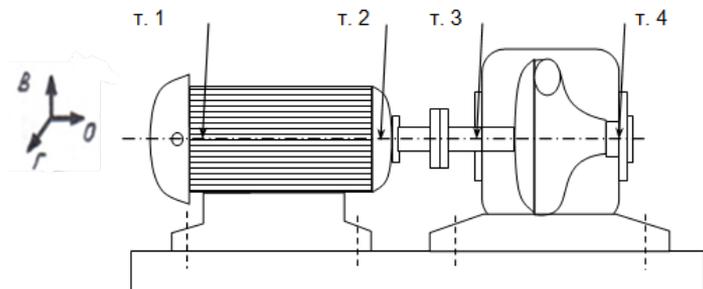
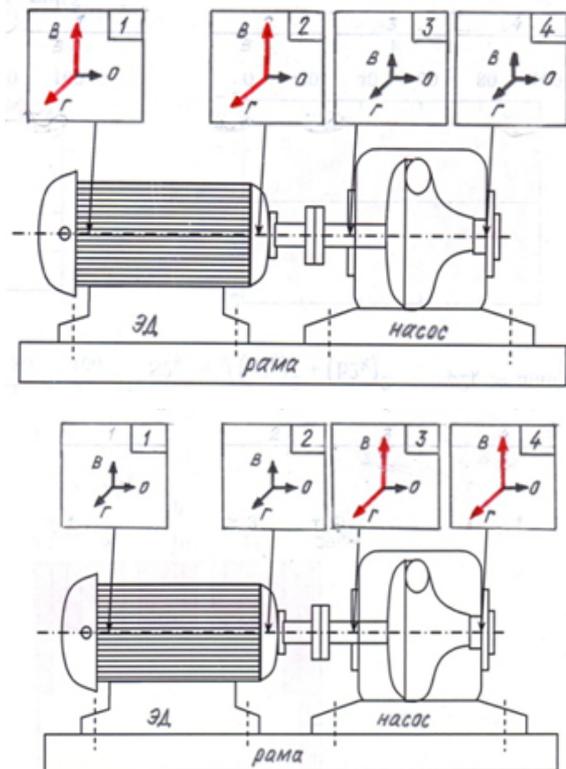


Рис. 4 – Маршрутная карта измерения вибрации

Контр. точки		СКЗ виброскорости V_e , мм/с	Размах виброперемещения S_{pp} , мкм	Коэффициент связи параметров $A = S_{pp} / V_e$
1	В	3,6	33	9,17
	Г	3,9	35	8,97
	О	1,3	12	9,23
2	В	3,3	30	9,09
	Г	4,0	36	9,0
	О	1,2	11	9,17
3	В	2,2	-	-
	Г	2,3	-	-
	О	0,9	-	-
4	В	1,9	-	-
	Г	2,0	-	-
	О	0,8	-	-

Экспресс-диагностика дисбаланса роторов агрегатов

Компоновка 1



дисбаланс рабочего колеса насоса

Таблица 3 - Топологическая карта экспресс-диагностики дисбаланса механизмов агрегата по общим (интегральным) параметрам вибрации (см. рис. 5)

Компоновка агрегата	Диагностические признаки	Примечание	
Компоновка 1	Дисбаланс ротора ЭД	СКЗ виброскорости V_e и размах виброперемещения S_{pp} в радиальных направлениях на подшипниках ротора электродвигателя (т. 1 и т. 2) значительно превышают вибрацию на подшипниках вала насоса (т. 3 и т. 4). Осевая составляющая вибрации на всех подшипниках невелика ¹⁾	Радиальные составляющие вибрации на подшипниках механизма в зависимости от уровня дисбаланса и пространственной анизотропии опор соотносятся по величине 0,85 – 1,2
	Дисбаланс рабочего колеса насоса	СКЗ виброскорости V_e и размах виброперемещения S_{pp} в радиальных направлениях на подшипниках вала насоса (т. 3 и т. 4) значительно превышают вибрацию на подшипниках ротора электродвигателя (т. 1 и т. 2). Осевая составляющая вибрации на всех подшипниках невелика ¹⁾	

Рис. 5 - Соотношения составляющих (проекций) вибрации на опорных подшипниках агрегатов различных компоновок

Таблица 4 - Количественная карта экспресс-диагностики дисбаланса механизмов агрегата по общим (интегральным) параметрам вибрации

Диагностические признаки		Количественные значения	Примечание
Границы доверительного (90%) интервала значений коэффициента связи параметра $A = S_{pp} / V_e$ на соответствующих подшипниках механизмов при различных оборотных частотах	49 Гц (2940 мин ⁻¹)	9,3 – 9,4	Указанные значения наблюдаются только на соответствующих подшипниках механизмов
	24,5 Гц (1470 мин ⁻¹)	18,6 – 18,8	
	16,2 Гц (970 мин ⁻¹)	27,9 – 28,2	
	12,1 Гц (728 мин ⁻¹)	37,2 – 37,6	
При изменении частоты вращения агрегата (частотно регулируемые привода) вибрация изменяется в квадратичной зависимости на соответствующих подшипниках механизмов		---	Наблюдается на соответствующих подшипниках механизмов
При неизменной частоте вращения вибрация практически не зависит от нагрузки агрегата и температуры		---	Практически на всех подшипниках агрегата
Соотношения величин радиальной вибрации на соответствующих подшипниках механизмов при различной степени разбалансированности		При малом дисбалансе горизонтальная составляющая (Г) превышает вертикальную (В) в 1,1 – 1,2 раза	Соотношение между составляющими вибрации будет определяться фактической анизотропией (неравножесткостью) подшипниковых опор
		По мере роста дисбаланса радиальные составляющие выравниваются и вертикальная может незначительно превышать горизонтальную (в 1,02 – 1,05 раза)	

Экспресс-диагностика ослабления жесткости крепления агрегатов

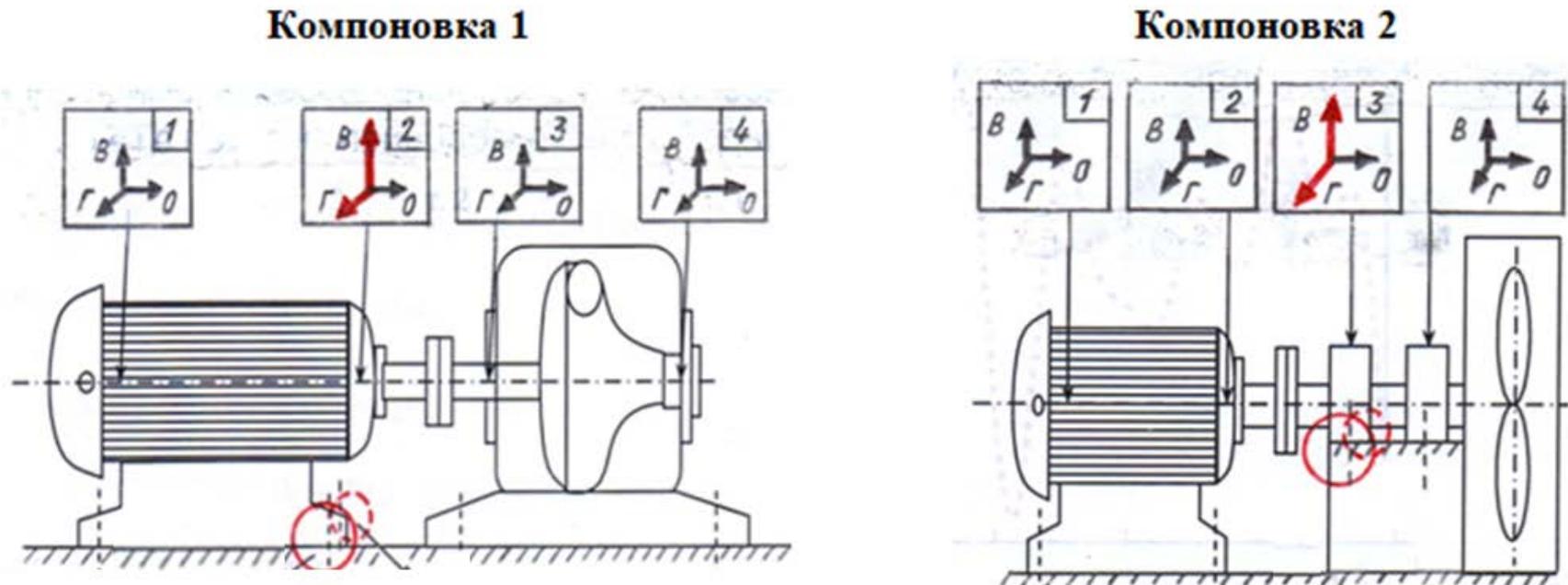


Рис.7 – Соотношения проекций вибрации на опорных подшипниках агрегатов различных компоновок

Заключение

В работе был разработан метод оперативной экспресс-диагностики машин в условиях эксплуатации силами оперативного персонала без использования дорогостоящих приборов.

В качестве диагностического признака была использована величина коэффициента связи интегральных параметров вибрации: СКЗ виброскорости и размаха виброперемещения, которая имеет частотную зависимость, а так же:

- смоделированы дампы вибрации при эксплуатационных дефектах;
- рассчитана оценка величины коэффициента связи, установлены доверительные границы при наиболее часто встречаемых комбинациях гармоник обратной частоты ротора;
- проанализированы методики диагностирования и разработаны методические принципы выполнения экспресс-диагностики: топологические и количественные карты диагностики распространенных дефектов для типовых компоновок приводов роторных машин.

Результаты работы имеют прикладное значение и могут быть рекомендованы к практическому применению на промышленных предприятиях, прежде всего, в генерирующих компаниях.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. В.И.ЛЕНИНА»
Кафедра теоретической и прикладной механики

Разработка метода экспресс-диагностики
промышленных роторных машин в условиях
эксплуатации

Обучающаяся:
студентка гр.4-33 А.О. Чекрыгина
Руководитель от университета:
к.т.н., доцент А. Б. Колобов

Иваново 2020