#### МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.И. ЛЕНИНА»

#### КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ

Направление: Экспериментальная механика и компьютерное моделирование Курс, группа: 4-33

Чувашов Вадим Анатольевич Выпускная квалификационная работа «Расчет упругого подвеса вибростенда»

> ПРОВЕРИЛ: Кандидат технических наук, доцент каф. ТиПМ Огурцов Ф.Б.

Иваново, 2017

# Конструкция электродинамического преобразователя



Рис. 1. Электродинамический преобразователь: 1 – магнит; 2 – каркас катушки с обмоткой; 3 – плоские пружины; 4 – корпус; 5 – вибрационный стол

1

## Основные требования к упругому подвесу

- 1. Малая жесткость конструкции в продольном направлении и высокая в поперечном.
- 2. Большой продольный ход конструкции при высокой величине максимальной поперечной силы.
- 3. Линейность силовой характеристики.
- 4. Линейность амплитудно-частотной характеристики.
- 5. Устойчивость к неизмеряемым компонентам вибрации.

## Предварительная схема подвеса



Рис. 2. Предварительная схема

## Цели и задачи

#### Цели:

Конструирование модели и проведение расчетов упругого подвеса электродинамического преобразователя ВЭДС-10.

4

#### Задачи:

- 1. Определить характеристики материала подвеса.
- 1. Построить 3-D модель в SolidWorks.
- 2. Выполнить статический расчет в ANSYS.
- 3. Выполнить динамический расчет в ANSYS.
- 4. Оптимизировать модель.

## Исследование характеристик материала



Рис. 3. Экспериментальная установка для измерения прогиба



Рис. 5. Схема эксперимента по определению прогиба



Рис. 4. Испытание образца на разрывной машине

Эквивалентный модуль Юнга (МПа)	20769				
Эквивалентная плотность (кг/м <sup>3</sup> )	2080				
Эквивалентное Допускаемое	93,91				
напряжение (МПа)					
Таблица 1. Характеристики фольгированного					
стеклотекстолита					

## Построение модели



Рис. 6. Модель упругого подвеса



Рис. 7. Модель каркаса рабочей катушки



Рис. 8. Модель механической части преобразователя

## Распределение напряжений при статическом

#### нагружении



Рис. 9. Диаграмма распределения напряжений при вертикальном нагружении



Рис. 11. Диаграмма распределения напряжений под действием крутящего момента



Рис. 10. Диаграмма распределения напряжений при поперечном нагружении



Рис. 12. Диаграмма распределения напряжений под действием изгибающего момента

## Перемещения конструкции при статическом

#### нагружении



#### Рис. 13. Диаграмма перемещений при вертикальном нагружении



Рис. 15. Диаграмма перемещений под действием крутящего момента



Рис. 14. Диаграмма перемещений при поперечном нагружении



Рис. 16. Диаграмма перемещений под действием изгибающего момента

8

# Динамический анализ модели

	Mode	✓ Frequency [Hz]
1	1,	37,339
2	2,	208,48
3	3,	208,64
4	4,	209,29
5	5,	209,44

Рис. 17. Собственные частоты свободной конструкции

	Mode	Frequency [Hz]
1	1,	20,24
2	2,	208,44
3	3,	208,62
4	4,	209,26
5	5,	209,44

Рис. 18. Собственные частоты нагруженной конструкции



Рис. 19. Формы колебаний нагруженной конструкции

#### Анализ результатов предварительного

#### расчета

Вид нагружения	Значение нагрузки	Макс. на	пряжение	Перемещение		
Продольная сила	99 H	93,66	5 МПа	4,3094 мм		
Поперечная сила	2890 H	93,98	6 МПа	0,21613 мм		
Крутящий момент	230 Н*м	93,37	3 МПа	0,11534 мм		
Изгибающий момент	90 Н*м	93,54	8 МПа	0,2023 мм		
Собственные частоты						
	Свободная констр	укция	Нагруженная конструкция			
1-ая	37,339 Гц		20,24 Гц			
2-ая	208,48 Гц		208,44 Гц			
3-я	208,64 Гц		208,62 Гц			
4-ая	209,29 Гц		209,26 Гц			
5-ая	209,44 Гц		209,44 Гц			

Таблица 2. Результаты предварительного расчета

## Оптимизация модели



- Рис. 20. Варьируемые параметры оптимизации:
- 1 радиус кривизны на концах пазов; 2 ширина пазов

№ слу- чая	Диаметр на концах пазов, мм	Ши- рина пазов, мм	Продоль- ная сила, Н	Продоль- ное перемеще ние, мм	Попереч- ная сила, Н	Поперечное перемеще- ние, мм
1	3	3	99 H	4,3084	2900	0,21397
2	4,5	3	98 H	4,6208	2875	0,22818
3	4,5	4,5	96 H	4,7321	2850	0,23012
4	5,7	3	96 H	5,2556	2810	0,23336
5	5,7	5,7	95 H	5,5427	2750	0,24101
6	7,2	3	94	5,7142	2700	0,25448
7	7,2	7,2	93	5,8943	2690	0,26331
8	9	3	92	6,3567	2650	0,28151
9	9	9	89	6,9941	2500	0,30212

Таблица 3. Шаги выполнения оптимизации

#### Анализ этапов оптимизации







Рис. 23. График изменения соотношения перемещений



Рис. 22. График изменения поперечного перемещения



Рис. 24. График изменения соотношения резонансных частот

## Результат оптимизации модели

Диаметр	Шири-	Продоль	Продольное	Попереч	Поперечное	
отверс-	на	-ная	перемещени	-ная	перемеще-	
тия, мм	пазов,	сила, Н	е, мм	сила, Н	ние, мм	
	мм					
9	4,5	90 H	6,5232	2600	0,2985	

Таблица 4. Результаты дополнительной оптимизации



Рис. 25. Итоговая оптимизированная модель

## Результаты расчетов оптимизированной

#### конструкции



Рис. 26. Диаграмма распределения напряжений при вертикальном нагружении



Рис. 28. Диаграмма перемещений под действием крутящего момента



Рис. 27. Диаграмма перемещений при поперечном нагружении



Рис. 29. Диаграмма перемещений под действием изгибающего момента

## Сравнительный анализ результатов

	Исходная модель				Оптимизированная модель			
Вид нагружения	Значение нагрузки	Макс. напряжение		Перемещение	Значение нагрузки	Макс. Напряжение		Перемещение
Продольная сила	99 H	93,665 МПа		4,3094 мм	90 H	93,57 МПа		6,5232 мм
Поперечная сила	2890 H	93,986 МПа		0,21613 мм	2600 H	93,784 MПа		0,2985 мм
Крутящий момент	230 Н*м	93,373 МПа		0,11534 мм	208 Н*м	93,606 МПа		0,18951 мм
Изгибающий момент	90 Н*м	93,548 МПа		0,2023 мм	70 Н*м	93,456 МПа		0,29049 мм
	Сравнение собственных частот							
	Свобод	ная	Н	Іагруженная	Свободная		Нагруженная	
	конструн	сция	К	онструкция	конструкция		конструкция	
1-ая	37,339	Гц		20,24 Гц 31,701 Ј		҇ц	17	7,125 Гц
2-ая	208,48	Гц		208,44 Гц	195,24 Гц		195,18 Гц	
3-я	208,64	Гц		208,62 Гц	195,46 Гц		195,42 Гц	
4-ая	209,29	Гц		209,26 Гц	196,09 I	҇ц	196,05 Гц	
5-ая	209,44	Гц		209,44 Гц	196,31 Гц		196,3 Гц	

Таблица 5. Сравнение результатов

## Итоги работы

- По результатам статического расчета были определены максимально допустимые нагрузки для конструкции механической части электродинамического преобразователя, а так же перемещения, которые возникают под их воздействием.
- В ходе выполнения динамического расчета были определены собственные частоты и формы колебаний свободной конструкции механической системы и конструкции, нагруженной массой.
- Проведена оптимизация, а именно увеличение радиуса кривизны на концах пазов подвесов и ширины самих пазов, в результате которой удалось получить более равномерное распределение напряжений по поверхности упругих подвесов преобразователя, а так же обеспечить его больший продольный ход. Также был увеличен диапазон рабочих частот преобразователя.