

«

»

“ ”

“ ”

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Математическое моделирование технологических машин**

: 15.03.05

: 2 3, : 4 5

		4	5
1	( )	0	3
2		0	108
3	, .	2	27
4	, .	2	2
5	, .	0	10
6	, .	0	0
7	, .	0	3
8	, .	0	2
9	, .		13
10	, .	0	79
11	( , , )		
12			

( ): 15.03.05

-

1000 11.08.2016 ., : 25.08.2016 .

: 1, ,

( ): 15.03.05

-

, 5 20.06.2017

- , 5 21.06.2017

:

, . . . . .

:

, . . . . .

:

. . . . .

# 1.

1.1

<b>Компетенция ФГОС: ПК.11 способность выполнять работы по моделированию продукции и объектов машиностроительных производств с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, применять алгоритмическое и программное обеспечение средств и систем машиностроительных производств; в части следующих результатов обучения:</b>	
2.	, ,
3.	
4.	
<b>Компетенция ФГОС: ПК.13 способность проводить эксперименты по заданным методикам, обрабатывать и анализировать результаты, описывать выполнение научных исследований, готовить данные для составления научных обзоров и публикаций; в части следующих результатов обучения:</b>	
3.	
4.	

# 2.

2.1

( , , , )	
-----------	--

<b>.11. 2</b>	
, ,	
1.знать о достижениях науки и техники, современных методах создания математических моделей	; ;
2.знать принципы построения моделей, способы их математического описания	; ;
<b>.11. 4</b>	
3.знать программное обеспечение позволяющее производить расчеты математических моделей	; ;
4.знать типовые модели, позволяющие наиболее быстро и надежно проводить исследование моделей	; ;
<b>.13. 3</b>	
5.знать о роли математического моделирования механизмов при конструировании новых и исследованиях существующих конструкциях технологических машин	; ;
<b>.11. 3</b>	
6.знать методы расчетов частот свободных колебаний при кручении и изгибе элементов конструкции	; ;
7.знать решения определенного типа задач, применительно к технологическим машинам и их механизмам	; ;
<b>.11. 2</b>	
, ,	
8.уметь разрабатывать математические модели объектов	; ;
9.конструировать и рассчитывать основные узлы машины с учетом динамического характера приложения технологической нагрузки	; ;
<b>.13. 4</b>	

10. уметь анализировать и делать выводы о качестве и надежности работы узлов и машины в целом на основе динамических моделей				
<b>.11. 4</b>				
11. уметь проектировать сложные технические системы с учетом динамического характера поведения машины				
<b>.13. 4</b>				
12. уметь анализировать и оценивать качество конструкций узлов технологических машин				

### 3.

3.1

<b>: 4</b>				
:				
1.	0	2	2, 3, 5	
<b>: 5</b>				
:				
2.	0	0,5	2, 3, 5, 6	
:				
3.	0	0,5	1, 3, 5	
:				
4.	0	0,5	11, 2, 3, 8	
:				
5.	0	0,5	1, 2, 3, 5	

3.2

<b>: 5</b>				
:				
1.	0,5	2	1, 2, 3, 4, 5	

2.	0,5	2	1, 3, 7, 8	
:				
5.	1	2	1, 10, 2, 3, 4, 9	
:				
3.	1	2	1, 12, 2, 3, 4	(2,3 - )
:				
4.	1	2	1, 10, 11, 12, 2, 3, 4, 7, 8, 9	

**4.**

<b>: 4</b>				
1			1, 10, 11, 12, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	10
<p style="text-align: center;">:</p> <p>.. - ; [ : . . . , . . . ]. - , 2016. - 19, [1] .. : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234042">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234042</a> [ ]:</p> <p>- , [2017]. - / . . . ; . . . - . : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234798">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234798</a> . - .</p>				
<b>: 5</b>				
1			10, 11, 12, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	48
<p style="text-align: center;">3</p> <p>.. - , [2017]. - / . . . , . . . [ ]:</p> <p>- . - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234798">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234798</a> . - .</p>				
2			1, 10, 11, 12, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	11
				0

3		10, 11, 12, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	10	4
<p>[ ]: / . . . . ; . . . . - . . . . , [2017]. - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000233947">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000233947</a>. - . . . . [ ]: / . . . . ; . . . . - . . . . - . . . . , [2017]. - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234798">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234798</a>. - . . . .</p>				
4		1, 10, 11, 12, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	10	5
<p>[ ]: . . . . - / . . . . , . . . . ; . . . . - . . . . , [2017]. - : <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234798">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234798</a>. - . . . .</p>				

## 5.

- , ( . 5.1).

5.1

	e-mail:pjui@mail.ru; :http://ciu.nstu.ru/kaf/persons/959;
	e-mail:pjui@mail.ru;
	e-mail:pjui@mail.ru;
	;

5.2

1		.11; .13;
<p><b>Формируемые умения:</b> у2. уметь использовать основные методы построения математических моделей процессов, систем, их элементов и систем управления; у3. уметь оценивать точность и достоверность результатов; у3. уметь реализовывать простые алгоритмы имитационного моделирования; у4. владеть навыками работы с программной системой для математического и имитационного моделирования; у4. уметь планировать эксперимент и обрабатывать его результаты на персональном компьютере</p>		
<p><b>Краткое описание применения:</b> Лекции и практические занятия проводятся в интерактивной форме, методом обращения к знаниям и компетенциям студента</p>		

**6.**

( ),

- 15-

ECTS.

. 6.1.

1

6.1

: 5		
<i>Лекция:</i>	5	5
<i>Практические занятия:</i>	10	30
<i>Контрольные работы:</i>		
	25	45
<i>Зачет:</i>		
	10	20

6.2

6.2

.11	2.	+	+
	3.	+	+
	4.	+	+
.13	3.	+	+
	4.	+	+

1

**7.**

1. Подгорный Ю. И. Анализ и синтез механизмов : учебное пособие / Ю. И. Подгорный, О. В. Максимчук, М. В. Лукин ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2007. - 101, [2] с. : ил. - Режим доступа: [http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2007/2007\\_podgor.rar](http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2007/2007_podgor.rar)
2. Применение пакета прикладных программ для кинематического анализа и синтеза механизмов технологических машин : учебное пособие / [Ю. И. Подгорный и др.] ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2016. - 74, [1] с. : ил., табл. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000232674](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232674)

3. Кинематический анализ и синтез механизмов технологических машин с применением пакета прикладных программ : учебное пособие / [Ю. И. Подгорный и др.] ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2016. - 74, [1] с. : ил.. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000233396](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000233396)
4. Левин В. Е. Динамика машин : конспект лекций / В. Е. Левин, Л. Н. Патрикеев ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2009. - 136, [2] с. : ил.. - Режим доступа: <http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2009/levin.pdf>
5. Математическое моделирование технических систем: учебник - М.:НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 592 с.: 70x100 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат) (Переплёт 7БЦ) ISBN 978-5-16-011996-0 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=549747> - Загл. с экрана.

1. Математическое моделирование технологических машин : рабочая программа и методические указания для студентов МТФ направления 552900 (специальности 120200) и специальности 170600 всех форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т; [сост. Ю. И. Подгорный]. - Новосибирск, 2003. - 13 с. : ил.. - Режим доступа: <http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2003/2563.rar>
2. Подгорный Ю. И. Исследование и выбор параметров при синтезе и эксплуатации механизмов технологических машин : [Монография] / Ю. И. Подгорный, Ю. А. Афанасьев, А. В. Кириллоов. - Новосибирск, 2002. - 195 с. : ил.. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000018394](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000018394)
3. Подгорный Ю. И. Исследование и проектирование механизмов технологических машин : монография / Ю. И. Подгорный, Ю. А. Афанасьев ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2000. - 190 с. : ил.. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000012668](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000012668)

1. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>
2. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>
4. ЭБС "Znanium.com" : <http://znanium.com/>
5. :

## 8.

### 8.1

1. Организация самостоятельной работы студентов Новосибирского государственного технического университета : методическое руководство / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Ю. В. Никитин, Т. Ю. Сурнина]. - Новосибирск, 2016. - 19, [1] с. : табл.. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000234042](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234042)
2. Скиба В. Ю. Системы компьютерной поддержки инженерных решений [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / В. Ю. Скиба ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2017]. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000233947](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000233947). - Загл. с экрана.
3. Скиба В. Ю. Математическое моделирование технологических машин [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / В. Ю. Скиба, Ю. И. Подгорный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2017]. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000234798](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234798). - Загл. с экрана.



8.2

1 Компас 3D

2 MathCAD

3 Windows

9.

-

1	6	,

1	BenQ W1200 DLP 1800 ANSI 1080P( .5, .250)	

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра проектирования технологических машин

“УТВЕРЖДАЮ”  
ДЕКАН МТФ  
к.т.н., доцент В.В. Янпольский  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ \_\_\_\_ г.

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

#### **Математическое моделирование технологических машин**

Образовательная программа: 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, профиль: Конструкторско-технологический

1. **Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины**

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине **Математическое моделирование технологических машин** приведена в Таблице.

Таблица

Формируемые компетенции	Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)	Темы	Этапы оценки компетенций	
			Мероприятия текущего контроля (курсовой проект, РГЗ(Р) и др.)	Промежуточная аттестация (экзамен, зачет)
ПК.11/НИ способность выполнять работы по моделированию продукции и объектов машиностроительных производств с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, применять алгоритмическое и программное обеспечение средств и систем машиностроительных производств	у2. уметь использовать основные методы построения математических моделей процессов, систем, их элементов и систем управления	Колебательные явления в механизмах. Классификация колебаний Малые колебания системы около положения устойчивого равновесия. Выбор обобщенных координат системы. Уравнение Лагранжа второго рода. Методы обработки данных. Понятия интерполяции, аппроксимации Описание расчетных моделей дифференциальными уравнениями Определение моментов инерции простейших геометрических фигур с использованием графических пакетов Определение частот свободных колебаний для моделей, приведенных к системе с меньшим числом масс (2- массовой) Определение частот свободных колебаний при кручении и изгибе Понятие модели. Общие этапы процесса моделирования Понятия о приведенных массах, моментах инерции. Крутильные колебания валов. Уменьшение степеней свободы в расчетных схемах. Определение частот свободных колебаний. Решение задач на интерполяцию и аппроксимацию	Контрольная работа, разделы: 1.Определение моментов инерции и масс составляющих элементов конструктивной схемы. 2. Определение жесткостных характеристик соединительных валов. Отчет по ЛБ и защита лабораторной работы №1	Зачет, вопросы: 1-8
ПК.11/НИ	у3. уметь реализовывать простые алгоритмы имитационного моделирования	Методы обработки данных. Понятия интерполяции, аппроксимации Определение частот свободных колебаний при кручении и изгибе Решение задач на интерполяцию и аппроксимацию	Контрольная работа, разделы: 2.Привести расчетную модель к безразмерному виду. Записать дифференциальные уравнения движения приведенной модели.	Зачет, вопросы: 14-19
ПК.11/НИ	у4. владеть навыками работы с программной системой для	Колебательные явления в механизмах. Классификация колебаний Малые колебания системы около положения	Контрольная работа, разделы: 3.Провести расчет частотного	Зачет, вопросы: 9-13

	математического и имитационного моделирования	устойчивого равновесия. Выбор обобщенных координат системы. Уравнение Лагранжа второго рода. Методы обработки данных. Понятия интерполяции, аппроксимации Описание расчетных моделей дифференциальными уравнениями Определение моментов инерции простейших геометрических фигур с использованием графических пакетов Определение частот свободных колебаний для моделей, приведенных к системе с меньшим числом масс (2- массовой) Определение частот свободных колебаний при кручении и изгибе Понятие модели. Общие этапы процесса моделирования Понятия о приведенных массах, моментах инерции. Крутильные колебания валов. Уменьшение степеней свободы в расчетных схемах. Определение частот свободных колебаний. Решение задач на интерполяцию и аппроксимацию	диапазона приведенной модели, используя математический пакет. Отчет по ЛБ и защита лабораторной работы №2	
ПК.13/НИ способность проводить эксперименты по заданным методикам, обрабатывать и анализировать результаты, описывать выполнение научных исследований, готовить данные для составления научных обзоров и публикаций	у3. уметь оценивать точность и достоверность результатов	Малые колебания системы около положения устойчивого равновесия. Выбор обобщенных координат системы. Уравнение Лагранжа второго рода. Методы обработки данных. Понятия интерполяции, аппроксимации Определение моментов инерции простейших геометрических фигур с использованием графических пакетов Понятие модели. Общие этапы процесса моделирования Понятия о приведенных массах, моментах инерции. Крутильные колебания валов. Уменьшение степеней свободы в расчетных схемах. Определение частот свободных колебаний.	Контрольная работа, разделы: 4. Провести оценку полученным значениям, используя уточненные методы определения частотных характеристик	Зачет, вопросы: 14-24
ПК.13/НИ	у4. уметь планировать эксперимент и обрабатывать его результаты на персональном компьютере	Описание расчетных моделей дифференциальными уравнениями Определение частот свободных колебаний для моделей, приведенных к системе с меньшим числом масс (2- массовой) Определение частот свободных колебаний при кручении и изгибе	Отчет по лабораторной работе №3.	Зачет, вопросы: 14-16

## **2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 5 семестре - в форме дифференцированного зачета, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.11/НИ, ПК.13/НИ.

Зачет проводится в письменной форме, по билетам

Кроме того, сформированность компетенций проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

В 5 семестре обязательным этапом текущей аттестации является контрольная работа. Требования к выполнению контрольной работы, состав и правила оценки сформулированы в паспорте контрольной работы.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенций ПК.11/НИ, ПК.13/НИ, за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

### **Общая характеристика уровней освоения компетенций.**

**Ниже порогового.** Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, пробелы могут носить существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

**Пороговый.** Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

**Базовый.** Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

**Продвинутый.** Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.

## Паспорт зачета

по дисциплине «Математическое моделирование технологических машин», 5 семестр

### 1. Методика оценки

Зачет проводится в письменной форме по билетам. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из диапазона вопросов общих теоретического плана, второй вопрос из диапазона вопросов, относящихся к построению моделей механизмов (список вопросов приведен ниже), третий вопрос предусматривает решение задачи. В ходе экзамена преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня.

### Форма билета для зачета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Факультет МТФ

Билет № \_\_\_\_\_

к зачету по дисциплине «Математическое моделирование технологических машин»

---

1. Вопрос 1. Понятие модели.
2. Вопрос 2. Метод уменьшения степеней свободы в расчетных схемах.
3. Задача.

Утверждаю: зав. кафедрой \_\_\_\_\_ должность, ФИО  
(подпись)

(дата)

### 2. Критерии оценки

- Ответ на зачетный билет считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает принципиальные ошибки оценка составляет менее 3 баллов.
- Ответ на зачетный билет засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает непринципиальные ошибки, а также

ошибки, связанные с размерностью при решении задач, в этом случае оценка составляет 3...7 баллов.

- Ответ на зачетный билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов, не допускает ошибок при решении задачи, оценка составляет 8...17 баллов.
- Ответ на зачетный билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ подходов, проводит комплексный анализ, выявляет проблемы, предлагает механизмы решения, способен представить количественные характеристики определенных процессов, приводит конкретные примеры из практики, не допускает ошибок и способен обосновать выбор метода построения расчетной модели и рационального метода решения задачи, оценка составляет 18...20 баллов.

### 3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

### 4. Вопросы к зачету по дисциплине «Математическое моделирование технологических машин»

1. Модели технологических машин. Этапы процесса моделирования. Определения.
2. Колебательные явления в машинах. Классификация колебательных процессов.
3. Практическое значение явления биений для элементов технологических машин. Определение периода, частоты.
4. Приведенные модели и их колебания около положения устойчивого равновесия.
5. Определение потенциальной энергии для приведенной модели технологической машины.
6. Определение кинетической энергии для приведенной модели технологической машины.
7. Определение обобщенных сил сопротивления для приведенной модели технологической машины.
8. Определение диссипативной функции для приведенной модели технологической машины.
9. Приведение масс, моментов инерции и жесткостей для технологической машины.
10. Приведение вращающихся масс. Масса обратно – поступательно движущихся частей.
11. Приведение величины моментов инерции масс для сложных разветвленных систем.
12. Приведение рассредоточенных масс.
13. Приведение жесткостей для сложных рычажных систем.
14. Свободные колебания технологической машины. Уравнение колебаний системы машины, представленной одной степенью свободы.
15. Свободные колебания приведенной модели машины, представленной двумя степенями свободы.
16. Крутильные колебания валов технологических машин с конечным числом степеней свободы.

17. Уменьшение степеней свободы приведенных моделей технологических машин.
18. Вынужденные колебания технологической машины, представленной как систему с одной степенью свободы.
19. Вынужденные колебания технологической машины, представленной как систему с одной степенью свободы в случае периодической возмущающей силы.
20. Критические скорости вращения валов технологических машин.
21. Матричные методы определения частот свободных колебаний при изгибе и кручении приведенных моделей технологических машин.
22. Матричные методы определения вынужденных колебаний при изгибе приведенных моделей технологических машин
23. Колебания в механизмах технологических машин с упругими муфтами и валами.
24. Колебания в механизмах технологических машин с одним линейным упругим звеном.

**Задача.** Условия задачи: Определить частоту собственных колебаний для трехмассовой модели

Исходные данные:

$$\begin{array}{ll}
 J_{11} = 0,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2; & C_{22} = 4,5 \cdot 10^6 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{рад}; \\
 J_{12} = 0,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2; & C_{33} = 4,5 \cdot 10^6 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{рад}; \\
 J_{21} = 0,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2; & D1 = 80 \text{ мм}; \\
 J_{32} = 0,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2; & D2 = 100 \text{ мм}; \\
 J_{43} = 0,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2; & D3 = 80 \text{ мм}; \\
 J_{44} = 0,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2; & D4 = 100 \text{ мм}.
 \end{array}$$

Коэффициенты инерции:

$$a_{11} = 3,844; \quad a_{22} = 3,344; \quad a_{33} = 0,5; \quad a_{21} = 3,344; \quad a_{23} = 0,781; \quad a_{13} = 0,781;$$

причем следует иметь в виду, что  $a_{12} = a_{21}$ ;  $a_{31} = a_{13}$ ;  $a_{32} = a_{23}$ .

Решение проводить в математическом пакете Mathcad.



## Паспорт контрольной работы

по дисциплине «Математическое моделирование технологических машин», 5 семестр

### 1. Методика оценки

Защита контрольной работы проводится в устной форме, тематика вопросов должна отвечать содержанию контрольной работы.

### 2. Критерии оценки

Работа считается выполненной **неудовлетворительно**, если части К.Р. не выполнены: анализ модели не представлен, в приведенной модели, нет обоснования получения приведенной жесткости, оценка составляет 0...24 баллов.

Работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если части К.Р. выполнены формально: анализ модели не представлен, в приведенной модели, нет обоснования получения приведенной жесткости, оценка составляет 25...31 баллов.

Работа считается выполненной **на базовом** уровне, если анализ модели выполнен в полном объеме, представлен анализ получения приведенной жесткости модели, но не представлены значения приведенных инерционно-массовых характеристик, оценка составляет 32...38 баллов.

Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если анализ объекта выполнен в полном объеме, если анализ модели выполнен в полном объеме, представлен анализ получения приведенной жесткости модели, представлены значения приведенных инерционно-массовых характеристик, правильно сделаны выводы, оценка составляет 39...45 баллов.

### 3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за контрольную работу учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

### 4. Пример варианта контрольной работы

Ниже приводится схема редуктора и варианты заданий для контрольной работы и пример выполнения задания.

1. Исходные данные – задание: По заданной конструктивной схеме редуктора получить расчетную математическую модель.

Задание на КР студент получает исходя его порядкового номера журнала посещаемости и соответствующих таблиц 1,2.

2. Основная часть работы: Построение расчетной модели, для чего студент должен для своего варианта определить инерционно-массовые и жесткостные характеристики валов и показать на расчетной схеме моменты инерции для всех шестерен, а также податливые участки валов, на которых размещаются шестерни и ротор электродвигателя. В дальнейшем используя уравнение Лагранжа второго рода записать дифференциальные уравнения движения для полученной расчетной модели и рассчитать частоту свободных колебаний.

3. Выводы. Студент должен оценить значения, полученные в результате расчета частот свободных колебаний с вынужденными частотами для двигателя. В случае обнаружения совпадения наметить мероприятия для их устранения.

4. Список использованной литературы Список литературы приведен в рабочей программе.

Объем пояснительной записки 10 – 12 страниц компьютерного набора. Формат бумаги А4 – 210 х 297 мм. На титульном листе должны быть указаны дисциплина, номер задания, наименование РГЗ, фамилия, имя и группа студента. Титульный лист оформляется по образцу, приведенному на рисунке 1. Основные составляющие КР: содержание, введение, основная часть, заключение или выводы, список использованной литературы. Брошюровка работы должна быть книжной; поля сверху – 2,0 см, слева -1,5 см, внизу – 2,0 см, справа – 3 см. Шрифт набора текста должен быть 12 14 пунктов. Межстрочный интервал – полуторный. Рисунки должны быть выполнены в векторном графическом редакторе (компас, AutoCAD и др.) и могут быть расположены на отдельной странице. Подрисовочная надпись должна располагаться под рисунком. Нумерация рисунков сквозная. Список литературы оформляется по ГОСТ

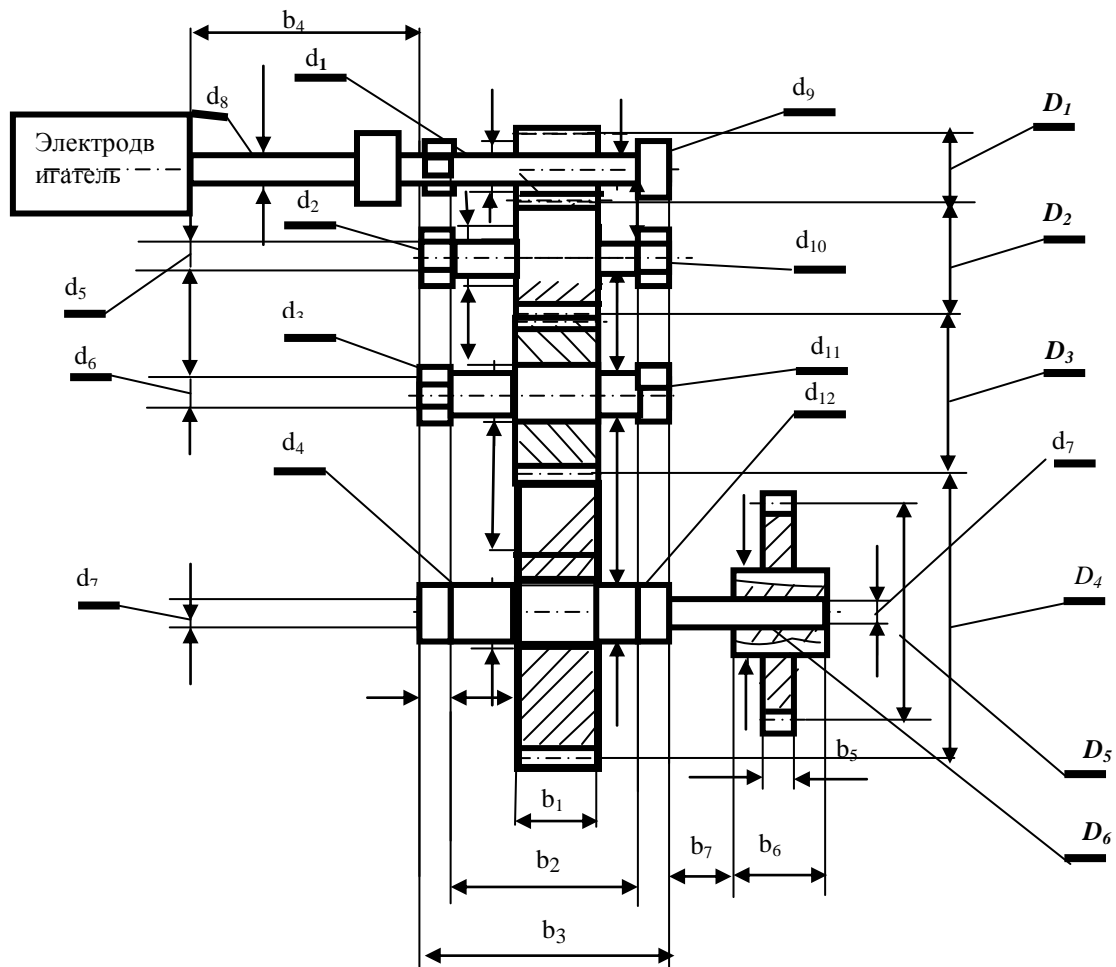


Рисунок 1 - Расчетная схема редуктора

Т а б л и ц а 1 - Исходные данные для расчетов собственных частот редуктора.

Геометрические характеристики редуктора, мм								
№ вар.	$d_1=d_2$ $=d_3=d_4$	$d_5=d_6$ $=d_7$	$d_9=d_{10}$ $=d_{11}=d_{12}$	$d_7$	$d_8$	$b_4$	$b_3=b_6$	$D_8$
1	40	30	35	30	30	100	120	80
2	42	32	35	32	32	102	122	82
3	44	34	35	34	34	104	124	84
4	46	36	35	36	36	106	126	86
5	48	38	40	38	38	108	128	88
6	50	40	45	40	40	110	130	90
7	52	40	45	40	40	112	132	92
8	54	40	45	40	40	114	134	94
9	56	40	45	40	40	116	136	96
10	58	40	45	40	40	118	138	98
11	60	40	45	40	40	120	140	100
12	62	40	45	40	40	122	142	102
13	64	40	45	40	40	124	144	104
14	66	40	45	40	40	126	146	106
15	68	40	45	40	40	130	150	108
16	70	40	45	40	40	132	152	110
17	72	40	45	40	40	134	154	112
18	74	40	45	40	40	136	156	114
19	76	40	45	40	40	138	158	116
20	78	40	45	40	40	140	160	118
21	80	40	45	40	40	142	162	120
22	82	40	45	40	40	144	164	122
23	84	40	45	40	40	146	166	124
24	86	40	45	40	40	148	168	126

Продолжение табл. 1

Геометрические характеристики редуктора, мм								
№ вар.	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	$D_5$	$D_6$	$b_1$	$b_2$
1	80	100	80	100	320	100	20	80
2	82	102	82	102	322	102	22	82
3	84	104	84	104	324	104	24	84
4	86	106	86	106	326	106	26	86
5	88	108	88	108	328	108	28	88
6	90	110	90	110	330	110	30	90
7	92	112	92	112	332	112	32	92
8	94	114	94	114	334	114	34	94
9	96	116	96	116	336	116	36	96
10	98	118	98	118	338	118	38	98
11	100	120-	100	120-	340	120	40	100
12	102	122	102	122	342	122	42	102
13	104	124	104	124	344	124	44	104
14	106	126	106	126	346	126	46	106
15	108	128	108	128	348	130	48	108
16	110	130	110	130	350	132	50	110
17	112	132	112	132	352	134	52	112
18	114	134	114	134	354	136	54	114
19	116	136	116	136	356	138	56	116
20	118	138	118	138	358	140	58	118
21	120	140	120	140	360	142	60	120
22	122	142	122	142	362	144	32	122
23	124	144	124	144	368	146	34	124
24	126	146	126	146	370	146	36	126

При расчетах принимать значения  $b_4 = b_7 = 400$  мм. Маховый момент электродвигателей единой серии 4А приведен в таблице 2.

Таблица 2 - Исходные значения маховых моментов роторов электродвигателей.

№ вариантов задания	Мощность электродвигателя, кВт	Маховый момент, кг*м <sup>2</sup> (GD <sup>2</sup> )
1 - 3	1,0	29,3*10 <sup>-4</sup>
4 - 6	1,2	42,2*10 <sup>-4</sup>
7 - 9	1,9	73*10 <sup>-4</sup>
10 - 12	2,5	85*10 <sup>-4</sup>
13 - 15	3,5	1,42*10 <sup>-2</sup>
16 - 18	4,8	2,37*10 <sup>-2</sup>
19 - 21	6,3	3,0*10 <sup>-2</sup>
22 - 24	8,0	4,0*10 <sup>-2</sup>

**ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ**

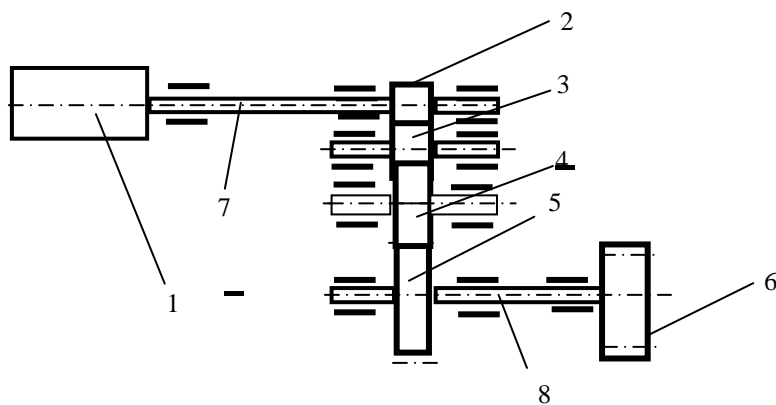
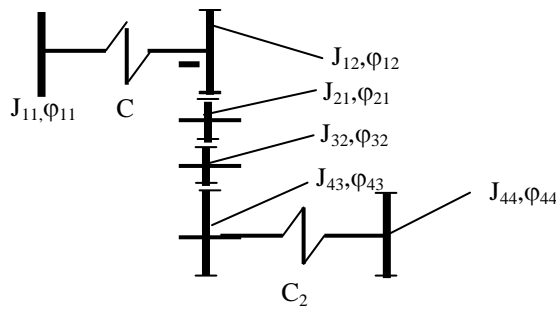


Рис.2. Расчетная схема редуктора: 1 – электродвигатель; 2,3,4,5 – зубчатые колеса; 6 - звездочка; 7,8 – соединительные звенья

### Порядок решения задачи

1. Разработать эквивалентную динамическую модель редуктора.
2. Определиться с обобщенными координатами.
3. Записать общие выражения для кинетической и потенциальной энергий.
4. Используя уравнения Лагранжа второго рода, описать представленную модель дифференциальными уравнениями движения.
5. Решить уравнения движения, определив значения частотных характеристик динамической модели редуктора.
6. Сделать выводы.

### Эквивалентная динамическая модель редуктора



Определимся с обобщенными координатами

$$\begin{aligned}
 \varphi_{11} &= q_1; \\
 \varphi_{12} &= \varphi_{11} + q_2 = q_1 + q_2; \\
 \varphi_{21} &= \varphi_{12} \cdot i_{21} = (q_1 + q_2) \cdot i_{21}; \\
 \varphi_{32} &= \varphi_{21} \cdot i_{32} = (q_1 + q_2) \cdot i_{21} \cdot i_{32}; \\
 \varphi_{43} &= \varphi_{32} \cdot i_{43} = (q_1 + q_2) \cdot i_{21} \cdot i_{32} \cdot i_{43}; \\
 \varphi_{44} &= (q_1 + q_2) \cdot i_{21} \cdot i_{32} \cdot i_{43} + q_3.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Выражения для кинетической и потенциальной энергий запишутся:

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{1}{2} [J_{11} \cdot \dot{\varphi}_{11}^2 + J_{12} \cdot \dot{\varphi}_{12}^2 + J_{21} \cdot \dot{\varphi}_{21}^2 + J_{32} \cdot \dot{\varphi}_{32}^2 + J_{43} \cdot \dot{\varphi}_{43}^2 + J_{44} \cdot \dot{\varphi}_{44}^2] = \\
 &= \frac{1}{2} [J_{11} \cdot \dot{q}_1^2 + J_{12} \cdot (\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2 + J_{21} \cdot (\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2 \cdot i_{21}^2 + J_{32} \cdot (\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2 \cdot i_{21}^2 \cdot i_{32}^2 + \\
 &+ J_{43} \cdot (\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2 \cdot i_{21}^2 \cdot i_{32}^2 \cdot i_{43}^2 + J_{44} \cdot ((\dot{q}_1 + \dot{q}_2) \cdot i_{21} \cdot i_{32} \cdot i_{43} + \dot{q}_3)^2] = \\
 &= \frac{1}{2} \left[ \begin{aligned}
 &J_{11} \dot{q}_1^2 + J_{12} \dot{q}_1^2 + 2J_{12} \dot{q}_1 \dot{q}_2 + J_{12} \dot{q}_2^2 + J_{21} \dot{q}_1^2 i_{21}^2 + 2J_{21} \dot{q}_1 \dot{q}_2 i_{21}^2 + J_{21} \dot{q}_2^2 i_{21}^2 + J_{32} \dot{q}_1^2 i_{21}^2 i_{32}^2 + \\
 &+ 2J_{32} \dot{q}_1 \dot{q}_2 i_{21}^2 i_{32}^2 + J_{32} \dot{q}_2^2 i_{21}^2 i_{32}^2 + J_{43} \dot{q}_1^2 i_{21}^2 i_{32}^2 i_{43}^2 + 2J_{43} \dot{q}_1 \dot{q}_2 i_{21}^2 i_{32}^2 i_{43}^2 + J_{43} \dot{q}_2^2 i_{21}^2 i_{32}^2 i_{43}^2 + \\
 &+ J_{44} \dot{q}_1^2 i_{21}^2 i_{32}^2 i_{43}^2 + 2J_{44} \dot{q}_1 \dot{q}_2 i_{21}^2 i_{32}^2 i_{43}^2 + J_{44} \dot{q}_2^2 i_{21}^2 i_{32}^2 i_{43}^2 + \\
 &+ 2J_{44} \dot{q}_1 \dot{q}_3 i_{21}^2 i_{32}^2 i_{43}^2 + 2J_{44} \dot{q}_2 \dot{q}_3 i_{21}^2 i_{32}^2 i_{43}^2 + J_{44} \dot{q}_3^2
 \end{aligned} \right] \\
 \Pi &= \frac{1}{2} [(\varphi_{12} - \varphi_{11})^2 \cdot C_1 + (\varphi_{44} - \varphi_{43})^2 \cdot C_2] = \frac{1}{2} (C_1 \cdot q_2^2 + C_2 \cdot q_3^2), \tag{2}
 \end{aligned}$$

Введем обозначения

$$\begin{aligned}
a_{11} &= J_{11} + J_{12} + J_{21}i_{21}^2 + J_{32}i_{21}^2i_{32}^2 + J_{43}i_{21}^2i_{32}^2i_{43}^2 + J_{44}i_{21}^2i_{32}^2i_{43}^2; \\
a_{22} &= J_{12} + J_{21}i_{21}^2 + J_{32}i_{21}^2i_{32}^2 + J_{43}i_{21}^2i_{32}^2i_{43}^2 + J_{44}i_{21}^2i_{32}^2i_{43}^2; \\
a_{33} &= J_{44}; \\
a_{12} &= J_{12} + J_{21}i_{21}^2 + J_{32}i_{21}^2i_{32}^2 + J_{43}i_{21}^2i_{32}^2i_{43}^2 + J_{44}i_{21}^2i_{32}^2i_{43}^2; \\
a_{23} &= J_{44}i_{21}^2i_{32}^2i_{43}^2; \\
a_{13} &= J_{44}i_{21}^2i_{32}^2i_{43}^2,
\end{aligned} \tag{3}$$

Вспользуемся уравнением Лагранжа второго рода в обобщенных координатах

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = \frac{-\partial \Pi}{\partial q_i}, \tag{4}$$

Тогда частные производные запишутся

$$\begin{aligned}
\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_1} &= a_{11} \cdot \dot{q}_1 + a_{12} \dot{q}_2 + a_{13} \dot{q}_3; \\
\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_2} &= a_{21} \dot{q}_1 + a_{22} \dot{q}_2 + a_{23} \dot{q}_3; \\
\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_3} &= a_{31} \dot{q}_1 + a_{32} \dot{q}_2 + a_{33} \dot{q}_3,
\end{aligned}$$

Взяв производные по времени, получим

$$\begin{aligned}
\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_1} \right) &= a_{11} \ddot{q}_1 + a_{12} \ddot{q}_2 + a_{13} \ddot{q}_3; \\
\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_2} \right) &= a_{21} \ddot{q}_1 + a_{22} \ddot{q}_2 + a_{23} \ddot{q}_3; \\
\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_3} \right) &= a_{31} \ddot{q}_1 + a_{32} \ddot{q}_2 + a_{33} \ddot{q}_3,
\end{aligned} \tag{5}$$

Из общего выражения потенциальной энергии

$$\Pi = \frac{1}{2} [c_{11}q_1^2 + c_{22}q_2^2 + c_{33}q_3^2 + 2c_{12}q_1q_2 + 2c_{23}q_2q_3 + 2c_{13}q_1q_3],$$

будем иметь значения приведенных жесткостей

$$c_{22} = C_1; c_{33} = C_2, \tag{6}$$

С учетом вышеприведенных зависимостей запишем дифференциальные уравнения движения

$$\begin{cases} a_{11}\ddot{q}_1 + a_{12}\ddot{q}_2 + a_{13}\ddot{q}_3 = 0; \\ a_{21}\ddot{q}_1 + a_{22}\ddot{q}_2 + a_{23}\ddot{q}_3 + c_{22}q_2 = 0; \\ a_{31}\ddot{q}_1 + a_{32}\ddot{q}_2 + a_{33}\ddot{q}_3 + c_{33}q_3 = 0, \end{cases} \tag{7}$$

Обозначим

$$\begin{aligned}
q_1 &= A_1 \text{Sin}(\omega t + \varphi); \\
q_2 &= A_2 \text{Sin}(\omega t + \varphi); \\
q_3 &= A_3 \text{Sin}(\omega t + \varphi),
\end{aligned} \tag{8}$$

Подставив (8) в (7) и, сокращая на  $\text{Sin}(\omega t + \varphi)$ , получим

$$\begin{cases} -a_{11}A_1\omega^2 - a_{12}A_2\omega^2 - a_{13}A_3\omega^2 = 0; \\ -a_{21}A_1\omega^2 - a_{22}A_2\omega^2 - a_{23}A_3\omega^2 + C_1A_2 = 0; \\ -a_{31}A_1\omega^2 - a_{32}A_2\omega^2 - a_{33}A_3\omega^2 + C_2A_3 = 0, \end{cases} \quad (9)$$

Из первых двух уравнений (9) определим

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{-(a_{12}A_2\omega^2 + a_{13}A_3\omega^2)}{a_{11}\omega^2}; \\ A_3 &= \frac{a_{11}a_{22}\omega^4 A_2 - a_{12}\omega^4 A_2 - a_{11}\omega^2 A_2 C_1}{a_{12}a_{13}\omega^4 - a_{11}a_{23}\omega^2}, \end{aligned} \quad (10)$$

Подставив оба выражения (10) в третье уравнение (9) и произведя преобразования, получим

$$\begin{aligned} &(a_{11}a_{22}a_{33} - a_{11}a_{23}^2 - a_{12}^2a_{33} + 2a_{12}a_{13}a_{23} - a_{13}^2a_{22})\omega^4 + \\ &(a_{13}^2C_1 - a_{11}a_{22}C_2 + a_{12}^2C_2 - a_{11}a_{33}C_1)\omega^2 + a_{11}C_1C_2 = 0, \end{aligned} \quad (11)$$

Обозначим

$$\begin{aligned} A &= a_{11}a_{22}a_{33} - a_{11}a_{23}^2 - a_{12}^2a_{33} - a_{33}a_{12}^2 + 2a_{12}a_{13}a_{23}; \\ B &= a_{12}^2C_2 + a_{13}^2C_1 - a_{11}a_{22}C_2 - a_{11}a_{33}C_1; \\ C &= a_{11}C_1C_2; \\ p &= \omega^2, \end{aligned} \quad (12)$$

Получим

$$Ap^2 + Bp + C = 0, \quad (13)$$

Решив уравнение (13), найдем значение корней уравнения

Предлагается решить задачу в системе MathCAD :

Ниже приведен листинг программы решения задачи.



## Листинг решения примера в математическом пакете Mathcad

Пример. Определение значений частотных характеристик динамической модели редуктора

Исходные данные:

Моменты инерции масс	Жесткости
$J11 := 0.5$ $J32 := 0.5$	$c22 := 4.5 \cdot 10^6$
$J12 := 0.5$ $J43 := 0.5$	$c33 := 4.5 \cdot 10^6$
$J21 := 0.5$ $J44 := 0.5$	$D1 := 80$ $D2 := 100$ $D3 := 80$ $D4 := 100$

Рассчитаем передаточные отношения:

$i21 := \frac{D2}{D1}$	$i21 = 1.25$	$i32 := \frac{D3}{D2}$	$i32 = 0.8$	$i43 := \frac{D4}{D3}$	$i43 = 1.25$
------------------------	--------------	------------------------	-------------	------------------------	--------------

Рассчитаем коэффициенты дифференциальных уравнений (7) по формулам (3):

$a11 := J11 + J12 + J21 \cdot i21^2 + J32 \cdot i21^2 \cdot i32^2 + J43 \cdot i21^2 \cdot i32^2 \cdot i43^2 + J44 \cdot i21^2 \cdot i32^2 \cdot i43^2$	$a11 = 3.844$	
$a22 := J12 + J21 \cdot i21^2 + J32 \cdot i21^2 \cdot i32^2 + J43 \cdot i21^2 \cdot i32^2 \cdot i43^2 + J44 \cdot i21^2 \cdot i32^2 \cdot i43^2$	$a22 = 3.344$	
$a33 := J44$	$a33 = 0.5$	
$a21 := J12 + J21 \cdot i21^2 + J32 \cdot i21^2 \cdot i32^2 + J43 \cdot i21^2 \cdot i32^2 \cdot i43^2 + J44 \cdot i21^2 \cdot i32^2 \cdot i43^2$	$a21 = 3.344$	
$a23 := J44 \cdot i21^2 \cdot i32^2 \cdot i43^2$	$a23 = 0.781$	
$a13 := J44 \cdot i21^2 \cdot i32^2 \cdot i43^2$	$a13 = 0.781$	
$a12 := a21$	$a31 := a13$	$a32 := a23$

Определим значения приведенных жесткостей по формулам (6):

$C1 := c22$	$C2 := c33$
-------------	-------------

Рассчитаем коэффициенты биквадратного уравнения (13) по формулам (12):

$A := a11 \cdot a22 \cdot a33 - a11 \cdot a23^2 - a22 \cdot a13^2 - a33 \cdot a12^2 + 2 \cdot a12 \cdot a13 \cdot a23$	$A = 0.531$
$B := a12^2 \cdot C2 + a13^2 \cdot C1 - a11 \cdot a22 \cdot C2 - a11 \cdot a33 \cdot C1$	$B = -1.343 \times 10^7$
$C := a11 \cdot C1 \cdot C2$	$C = 7.784 \times 10^{13}$

Поиск корней уравнения с помощью функции  $\text{polyroots}(v)$ , где  $v$  - вектор коэффициентов

$v := (C \ B \ A)^T$     $p := \text{polyroots}(v)$

Корни биквадратного уравнения (13):

$$p = \begin{pmatrix} 9 \times 10^6 \\ 1.629 \times 10^7 \end{pmatrix}$$

Собственные частоты:

$w1 := \sqrt{p_0}$	$w1 = 3 \times 10^3$	$w2 := \sqrt{p_1}$	$w2 = 4.037 \times 10^3$
--------------------	----------------------	--------------------	--------------------------

Press F1 for help   AUTO   NUM Page 1

## Паспорт практических работ

по дисциплине

по дисциплине «Математическое моделирование технологических машин», 5 семестр

### 1. Методика оценки

Для защиты практических работ студентам предлагается выполнить следующий типовой набор заданий. Распределение заданий практических занятий по проверяемым компетенциям указано в таблице «Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины».

Выставление оценок на практическом занятии осуществляется на основе выполнения всех заданий. Защита практических работ в соответствии с уровнем знаний: "удовлетворительно" – 10...15 баллов; "хорошо" – 16...25 баллов; "отлично" – 26...30 баллов.

### 2. Критерии оценки

*Работа считается не выполненной*, если студент не смог обобщить практический и теоретический материал, допустил принципиальные ошибки по всему перечню практических работ, не смог аргументировать свои действия. В этом случае уровень знаний оценивается 0...9 баллов.

*Работа считается выполненной на **пороговом уровне***, если студент освоил практический материал, но не смог обобщить теоретический материал; оценка составляет 10...15 баллов.

*Работа считается выполненной на **базовом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, допустил несколько ошибок при определении параметров математической модели, не достаточно четко аргументировал свои действия, оценка составляет 16...25 баллов.

*Работа считается выполненной на **продвинутом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, привел достаточно четкую аргументацию своих действий при построении математической модели, оценка составляет 26...30 баллов.

### 3. Перечень практических работ

В рамках выполнения практических работ по дисциплине студенты должны научиться определять инерционно-массовые характеристики отдельных деталей и сборок. Разрабатывать приведенные модели, описывать их дифференциальными уравнениями, производить расчет частот свободных колебаний. При необходимости использовать такие методы как интерполяция и аппроксимация для определения промежуточных значений или построения кривых. При выполнении практических заданий студенты должны провести анализ полученным значениям, сделать выводы.

#### **Практическая работа №1 «Определение моментов инерции простейших геометрических фигур»**

*Задание:*

Студенты выполняют групповые задания по определению простейших геометрических фигур, включая валы, шестерни, звездочки. Моделирование элементов производится в графических редакторах с последующим определением МЦХ деталей.

## **Практическая работа № 2 «Решение задач на интерполяцию и аппроксимацию»**

### *Задание:*

Студенты выполняют групповые задания по интерполяции и аппроксимации. Интерполяция производится на конкретном примере кулачка. Задание выбирается для конкретного профиля кулачка, синтезированного по циклоидальному закону. Интерполяция производится на ЭВМ в математическом пакете.

## **Практическая работа № 3 «Описание расчетных моделей дифференциальными уравнениями»**

### *Задание:*

Студенты выполняют групповые задания по определению расчетных моделей для конкретного механизма. При определении расчетных моделей используется уравнение Лагранжа второго рода.

Каждый студент получает конкретное задание (карточку), создает расчетную модель, приводя ее к конкретному валу привода технологической машины

## **Практическая работа № 4 «Определение частот свободных колебаний для моделей приведенных к системе с меньшим числом масс»**

### *Задание:*

Студенты выполняют групповые задания по построению расчетных много массовых моделей

Каждый студент получает конкретное задание (карточку), создает расчетную модель, приводя ее к конкретному валу привода технологической машины. Вторым этапом работы является сведение много массовой расчетной модели к 2 – 3 массовой

## **Практическая работа № 5 «Определение частот свободных колебаний при кручении и изгибе»**

### *Задание:*

Студенты выполняют групповые задания по построению расчетных много массовых моделей

Каждый студент получает конкретное задание (карточку), создает расчетную модель, приводя ее к конкретному валу привода технологической машины. Вторым этапом работы является сведение много массовой расчетной модели к 2 – 3 массовой и производят расчет частот свободных колебаний при кручении. Для определения частот свободных колебаний при изгибе раздаются специальные карточки, на которых изображены схемы валок с конструктивными элементами. Студенты, используя стандартные условия закрепления балок.