

# ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:  
Декан факультета  
Аэрокосмический

ЮУрГУ	Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП	
Кому выдан: Карташев А. Л.	
Пользователь: kartashev	
Дата подписания: 14.03.2019	

А. Л. Карташев

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА к ОП ВО от 26.06.2019 №084-2294

**дисциплины** ДВ.1.08.02 Динамика и прочность турбомашин  
**для направления** 15.03.03 Прикладная механика  
**уровень** бакалавр **тип программы** Бакалавриат  
**профиль подготовки** Прикладная механика, динамика и прочность машин  
**форма обучения** очная  
**кафедра-разработчик** Техническая механика

Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 15.03.03 Прикладная механика, утверждённым приказом Минобрнауки от 12.03.2015 № 220

Зав.кафедрой разработчика,  
д.техн.н., проф.

ЮУрГУ	Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП	
Кому выдан: Сапожников С. Б.	
Пользователь: sapolzhnikovsb	
Дата подписания: 14.03.2019	

С. Б. Сапожников

Разработчик программы,  
к.техн.н., доцент

ЮУрГУ	Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП	
Кому выдан: Тараненко П. А.	
Пользователь: taranenko	
Дата подписания: 13.03.2019	

П. А. Тараненко

Челябинск

## 1. Цели и задачи дисциплины

Главной целью дисциплины является формирование умения комплексно решать инженерные задачи о динамике и прочности машиностроительных конструкций и изделий путем построения расчетной схемы, записи дифференциальных уравнений движения, выбора метода решения, последующего анализа результатов расчета, оценки прочности конструкции и выработки практических рекомендаций. Достижение этой цели позволит выпускнику оценивать прочность машиностроительных конструкций при динамических воздействиях.

## Краткое содержание дисциплины

Устойчивость механических систем. Устойчивость движения. Понятие устойчивости. Общая постановка задачи устойчивости по А.М. Ляпунову. Теоремы Ляпунова об устойчивости движения по первому приближению. Алгебраические критерии устойчивости. Критерий Рауса-Гурвица. Устойчивость систем прямого регулирования: регулятор – турбина. Устойчивость простейшей модели крыла. Дивергенция и флаттер. Устойчивость иглы форсунки дизельного двигателя. Устойчивость пневмомеханической системы. Вихри Кармана. Груз на движущейся ленте. Динамика роторов. Устойчивость вращающегося вала. Критическая частота вращения. Самоцентрирование диска. Ротора жесткие и гибкие. Влияние гироскопического момента диска на критические частоты вращения ротора. Критические частоты вращения анизотропного ротора. Влияние веса диска при горизонтальном расположении ротора на его критические частоты. Влияние масляной пленки в подшипниках на устойчивость ротора. Влияние гистерезисных свойств вала на устойчивость ротора. Влияние венцовых, надбандажных и лабиринтных сил. Пороговая мощность турбоагрегата. Формы движения одномассового ротора. Автоколебания механических систем. Автоколебания. Классификация автоколебательных систем. Стационарные режимы и предельные циклы. Дельта-метод построения фазовых траекторий. Уравнения Рэлея и Ван-дер-Поля. Применение метода медленно меняющихся амплитуд. Хаотические колебания в динамических системах. Хаотическая динамика странного аттрактора. Разрывные автоколебания. Способ поэтапного интегрирования для кусочно-линейных систем. Система с сухим трением. Вынужденные колебания в автоколебательных системах. Явление синхронизации в природе и в технике. Динамика существования видов. Параметрические колебания. Примеры параметрических колебаний. Энергетические соотношения. Уравнения параметрических колебаний. Диаграмма Айнса-Стретта. Влияние вязкого трения на параметрические колебания. Обращенный математический маятник. Сопоставление свойств силового и параметрического резонансов. Удар. Удар по пружине. Удар по буферу. Вертикальный удар по пружине. Вертикальный удар по балке. Модель "молот-наковальня". Распространение волн продольных деформаций. Задача С.П. Тимошенко. Изгибающий удар по балке. Учет местных и общих деформаций. Теория Герца о соударении массивных тел. Виброизоляция при ударном воздействии.

## 2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения	Планируемые результаты
---------------------------------	------------------------

ОП ВО (компетенции)	обучения по дисциплине (ЗУны)
ПК-5 способностью составлять описания выполненных научно-исследовательских работ и разрабатываемых проектов, обрабатывать и анализировать полученные результаты, готовить данные для составления отчетов и презентаций, написания докладов, статей и другой научно-технической документации	Знать: методы расчета критических частот роторов. Уметь: рассчитывать критические частоты роторов аналитически и численно. Владеть: пакетом Ansys Workbench в части расчета критических частот и построения диаграммы Кэмпбелла.
ПК-7 готовностью выполнять расчетно-экспериментальные работы в области прикладной механики на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, физико-механических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и конструкциям	Знать: методы балансировки роторов. Уметь: выполнять расчет установившихся вынужденных колебаний роторов аналитически и численно. Владеть: пакетом Ansys Workbench в части расчета вынужденных колебаний роторов.
ПК-10 способностью составлять описания выполненных расчетно-экспериментальных работ и разрабатываемых проектов, обрабатывать и анализировать полученные результаты, готовить данные для составления отчетов и презентаций, написания докладов, статей и другой научно-технической документации	Знать: методы исследования автоколебательных систем. Уметь: выполнять расчеты динамики автоколебательных систем. Владеть: численными методами оценки установившихся режимов автоколебательных систем и пакетом MathCAD.
ПК-2 способностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности	Знать: основы теории устойчивости движения. Уметь: оценивать устойчивость движения механических систем. Владеть: методами оценки устойчивости движения механических систем.

### 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Б.1.13 Сопротивление материалов, Б.1.05.02 Математический анализ, Б.1.16 Строительная механика машин, Б.1.12 Теоретическая механика	Не предусмотрены

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
Б.1.13 Сопротивление материалов	Умение строить эпюры в стержнях и в пространственных рамках. Умение выполнять расчеты на прочность и жесткость при простых видах нагружения. Умение раскрывать статическую неопределенность в стержневых системах. Метод сил и метод перемещений.
Б.1.12 Теоретическая механика	Знания об обобщенных координатах. Знания о

	малых свободных колебаниях механической системы с конечным числом степеней свободы и их свойства. Знания об уравнениях движения механической системы в обобщенных координатах. Знания о собственных частотах и собственных формах. Элементарная теория удара. Понятие об устойчивости равновесия.
Б.1.05.02 Математический анализ	Умение выполнять интегрирование и дифференцирование функций. Умение вычислять определенные интегралы. Умение находить экстремумы функций одной и нескольких переменных. Умение раскладывать функцию в ряд Фурье.
Б.1.16 Строительная механика машин	Умение выполнять расчет на прочность дисков, пластин и оболочек. Знание аналитических методов расчета прямоугольных и круглых пластин. Базовые понятия о методе конечных элементов.

#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч.

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	8
Общая трудоёмкость дисциплины	108	108	
<i>Аудиторные занятия:</i>			
Лекции (Л)	24	24	
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	36	36	
Лабораторные работы (ЛР)	0	0	
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	48	48	
Подготовка к экзамену	48	48	
Вид итогового контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-		экзамен

#### 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
01	Устойчивость механических систем	12	6	6	0
02	Динамика роторов	12	4	8	0
03	Автоколебания механических систем	16	8	8	0
04	Параметрические колебания	6	2	4	0
05	Удар	14	4	10	0

#### 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во

			часов
01	01	Понятие устойчивости равновесия. Общее понятие устойчивости движения. Общая постановка задачи об устойчивости по А.М. Ляпунову. Определение устойчивости по А.М. Ляпунову. Геометрическая интерпретация устойчивости по А.М. Ляпунову. Некоторые особенности определения устойчивости по А.М. Ляпунову.	2
02	01	Теоремы А.М. Ляпунова об устойчивости по первому приближению. Условие устойчивости линейных систем.	2
03	01	Карта корней характеристического уравнения. Алгебраические критерии устойчивости. Критерий Рауса-Гурвица.	2
04	02	Уравнения движения вращающегося вала с диском. Диаграмма Кэмпбелла. Влияние гироскопических моментов на собственные частоты ротора	2
05	02	Виды прецессии ротора. Динамика симметричного одномассового ротора. Явление самоцентрирования.	2
06	03	Об автоколебательных системах. Системы с мягким и жестким самовозбуждением. Уравнения Рэлея и Ван-дер-Поля. Дельта-метод построения фазовых траекторий.	2
07	03	Метод медленно меняющихся амплитуд	2
08	03	Исследование уравнения Рэлея методом медленно меняющихся амплитуд	2
09	03	Исследование уравнения Ван-дер-Поля методом медленно меняющихся амплитуд	2
10	04	Введение. Примеры параметрических колебаний. Энергетические соотношения. Уравнения параметрических колебаний	2
11	05	Введение. Удар по пружине. Удар по буферу. Вертикальный удар по пружине.	2
12	05	Вертикальный удар по балке. Модель молот-наковальня.	2

## 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
01	01	Устойчивость простейшей модели крыла. Дивергенция и флаттер.	2
02	01	Устойчивость систем прямого регулирования: регулятор – турбина (регулятор Уатта). Устойчивость иглы форсунки дизельного двигателя.	2
03	01	Решение задачи о флаттере в пакете MathCAD	2
04	02	Устойчивость вращающегося одномассового ротора.	2
05	02	Критические скорости анизотропно упругих роторов. Влияние веса диска на критические частоты ротора. Влияние гистерезисных свойств вала на критические состояния ротора.	2
06	02	Самовозбуждающиеся колебания ротора. Влияние масляной пленки на критические состояния ротора. О прецессии ротора под действием сил со стороны масляного слоя. О прецессии ротора под действием венцовых сил. Надбандажные и лабиринтные силы. Пороговая мощность турбины.	2
07	02	Решение задачи динамики ротора в пакете MathCAD	2
08	03	Колебания груза на движущейся ленте	2
09	03	Синхронизация в природе и технике	2
10	03	Разрывные (релаксационные) автоколебания. Колебания двухмассовой системы с сухим трением	2
11	03	Решение задачи о колебаниях груза на движущейся ленте в пакете Amesim	2
12	04	Диаграмма Айнса-Стретта. Влияние вязкого трения на параметрические колебания. Обращенный математический маятник. Сопоставление свойств силового и параметрического резонансов.	2

13	04	Решение задач параметрических колебаний в пакете Mathcad	2
14	05	Распространение волн продольных деформаций	2
15	05	Задача С.П. Тимошенко. Изгибающий удар по балке. Учет местных и общих деформаций.	2
16	05	Теория Герца о соударении массивных тел	2
17	05	Виброизоляция при ударном воздействии	2
18	05	Решение задач ударного нагружения в пакете MathCAD	2

### 5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

### 5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС		
Вид работы и содержание задания	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц)	Кол-во часов
Подготовка к экзамену	Основная литература: [4], Глава 1; [5], стр. 298-304; [6], стр. 113-118; [8], Глава 3; [9], стр. 153-157, [1], стр. 354-360, 364, 368-372; [2], стр. 343, 380; [6], стр. 207-211; [9], стр. 347, [2], [1], стр. 75, 298-302; [7]; [9], стр. 240; дополнительная литература: [1-4]; методические пособия [1]; учебно-методические материалы в электронном виде [1-3].	48

## 6. Инновационные образовательные технологии, используемые в учебном процессе

Инновационные формы учебных занятий	Вид работы (Л, ПЗ, ЛР)	Краткое описание	Кол-во ауд. часов
Интерактивная лекция	Лекции	Разрывные (релаксационные) автоколебания. Колебания двухмассовой системы с сухим трением	2

### Собственные инновационные способы и методы, используемые в образовательном процессе

Не предусмотрены

Использование результатов научных исследований, проводимых университетом, в рамках данной дисциплины: нет

## 7. Фонд оценочных средств (ФОС) для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

### 7.1. Паспорт фонда оценочных средств

Наименование разделов	Контролируемая компетенция ЗУНы	Вид контроля	№№ заданий
-----------------------	---------------------------------	--------------	------------

дисциплины		(включая текущий)	
Устойчивость механических систем	ПК-2 способностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности	Экзамен	1-25
Динамика роторов	ПК-5 способностью составлять описания выполненных научно-исследовательских работ и разрабатываемых проектов, обрабатывать и анализировать полученные результаты, готовить данные для составления отчетов и презентаций, написания докладов, статей и другой научно-технической документации	Экзамен	26-53
Удар	ПК-7 готовностью выполнять расчетно-экспериментальные работы в области прикладной механики на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, физико-механических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и конструкциям	Экзамен	56-75
Параметрические колебания	ПК-10 способностью составлять описания выполненных расчетно-экспериментальных работ и разрабатываемых проектов, обрабатывать и анализировать полученные результаты, готовить данные для составления отчетов и презентаций, написания докладов, статей и другой научно-технической документации	Экзамен	54-104
Параметрические колебания	ПК-2 способностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности	Экзамен	100-101

## 7.2. Виды контроля, процедуры проведения, критерии оценивания

Вид контроля	Процедуры проведения и оценивания	Критерии оценивания
Экзамен	Проводится письменно. К экзамену допускаются все студенты. На подготовку ответов на экзаменационные вопросы отводится 120 минут. Каждый билет состоит из 5 вопросов (по одному вопросу на каждый раздел дисциплины). Ответ на каждый вопрос оценивается по 20-балльной шкале. Вопросы для подготовки к экзамену приведены в прилагаемых файлах.	Отлично: 86 и более баллов Хорошо: 66-85 баллов Удовлетворительно: 51-65 баллов Неудовлетворительно: 50 и менее баллов

## 7.3. Типовые контрольные задания

Вид контроля	Типовые контрольные задания
Экзамен	04 Параметрические колебания 2018.doc; 01-03 Контрольные вопросы по динамике машин 2018.doc; 05 Ударное нагружение 2018.doc

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

## Печатная учебно-методическая документация

### а) основная литература:

1. Бидерман, В. Л. Теория механических колебаний Текст Учебник для вузов по спец."Динамика и прочность машин". - М.: Высшая школа, 1980. - 408 с. ил.
2. Костюк, А. Г. Динамика и прочность турбомашин Текст учебник для вузов по направлению "Энергомашиностроение" А. Г. Костюк. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательский дом МЭИ, 2007. - 474 с. ил.
3. Алфутов, Н. А. Устойчивость движения и равновесия Учеб. для вузов по направлению подгот. дипломир. специалистов в обл. машиностроения и систем упр. Н. А. Алфутов, К. С. Колесников; Под ред. К. С. Колесникова. - 2-е изд., стер. - М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. - 252,[1] с.
4. Малкин, И. Г. Теория устойчивости движения. - 2-е изд., испр. - М.: Наука, 1966. - 530 с.
5. Пановко, Я. Г. Устойчивость и колебания упругих систем: Современ. концепции, парадоксы и ошибки. - 4-е изд., перераб. - М.: Наука, 1987. - 352 с. ил.
6. Меркин, Д. Р. Введение в теорию устойчивости движения Учеб. пособие Д. Р. Меркин. - 4-е изд., стер. - СПб. и др.: Лань, 2003. - 304 с.
7. Харкевич, А. А. Автоколебания А. А. Харкевич. - М.: Государственное издательство технико-теоретической л, 1953
8. Бабаков, Н. А. Теория автоматического управления Ч. 1 Теория линейных систем автоматического управления Учеб. для вузов по спец."Автоматика и телемеханика": В 2-х ч. Под ред. А. А. Воронова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1986. - 367 с. ил.
9. Пановко, Я. Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. - 4-е изд., перераб. и доп. - Л.: Политехника, 1990. - 272 с. ил.

### б) дополнительная литература:

1. Светлицкий, В. А. Задачи и примеры по теории колебаний Ч. 1 Учеб. пособие для втузов. - М.: Издательство МГТУ, 1994. - 307 с. ил.
2. Светлицкий, В. А. Задачи и примеры по теории колебаний Ч. 2 Учеб. пособие для втузов. - М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1998. - 262,[1] с. ил.
3. Ильин, М. М. Теория колебаний Учеб. для вузов по направлению подгот. дипломир. специалистов в обл. машиностроения и приборостроения М. И. Ильин, К. С. Колесников, Ю. С. Саратов; Под ред. К. С. Колесникова; Федер. целевая программа "Гос. поддержка интеграции высш. образования и фундам. науки"; Федер. целевая программа "Гос. поддержка интеграции высш. образования и фундам. науки". - 2-е изд., стер. - М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. - 271 с. ил.

### в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

### г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Романов, В. А., Слива О. К. Аналитическая динамика и теория колебаний. Учебное пособие / В. А. Романов, О. К. Слива. – Челябинск, Издательский Центр ЮУрГУ, 2011. – 136 с.

*из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:*

### **Электронная учебно-методическая документация**

№	Вид литературы	Наименование разработки	Наименование ресурса в электронной форме	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
1	Дополнительная литература	Алдошин, Г.Т. Теория линейных и нелинейных колебаний. [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2013. — 320 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/4640">http://e.lanbook.com/book/4640</a> — Загл. с экрана.	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Интернет / Авторизованный
2	Основная литература	Стрелков, С.П. Введение в теорию колебаний. [Электронный ресурс] : учеб. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2005. — 440 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/603">http://e.lanbook.com/book/603</a> — Загл. с экрана.	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Интернет / Авторизованный
3	Основная литература	Гуськов, А.М. Свободные колебания консервативных нелинейных систем с одной степенью свободы. [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.М. Гуськов, С.В. Яреско, С.В. Яреско. — Электрон. дан. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. — 44 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/52456">http://e.lanbook.com/book/52456</a> — Загл. с экрана.	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Интернет / Авторизованный
4	Дополнительная литература	Паровые и газовые турбины для электростанций. [Электронный ресурс] : учеб. / Костюк А.Г. [и др.]. — Электрон. дан. — М. : Издательский дом МЭИ, 2016. — 557 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/72260">http://e.lanbook.com/book/72260</a> — Загл. с экрана.	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Интернет / Авторизованный

### **9. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса**

Перечень используемого программного обеспечения:

1. Dassault Systèmes-SolidWorks Education Edition 500 CAMPUS(бессрочно)
2. ANSYS-ANSYS Academic Multiphysics Campus Solution (Mechanical, Fluent, CFX, Workbench, Maxwell, HFSS, Simplorer, Designer, PowerArtist, RedHawk)(бессрочно)
3. PTC-MathCAD(бессрочно)

Перечень используемых информационных справочных систем:

Нет

## **10. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Лекции	336 (2)	Проектор, экран.
Практические занятия и семинары	334 (2)	Компьютер, проектор, экран, Ansys, MathCAD
Экзамен	336 (2)	Проектор, экран