

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе


_____ Н.В.Лобов

« 28 » ноября 20 19 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: _____ Устойчивость механических систем
(наименование)

Форма обучения: _____ очная
(очная/очно-заочная/заочная)

Уровень высшего образования: _____ магистратура
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

Общая трудоёмкость: _____ 144 (4)
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: _____ 15.04.03 Прикладная механика
(код и наименование направления)

Направленность: _____ Динамика и прочность машин, конструкций и механизмов
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель– изучение основных методов исследования устойчивости механических систем и элементов машиностроительных конструкций.

Задачи дисциплины:

- изучение способов оценки устойчивости механических систем с точки зрения обоснования надежности, безопасности и долговечности проектируемых машин, конструкций и приборов;
- освоение проектировочных и проверочных расчетов предельного состояния механических систем с учетом критериев устойчивости;
- формирование умения оценивать критические параметры потери устойчивости механических систем;
- формирование навыков реализации современных методик расчета предельного состояния механических систем с учетом критериев устойчивости.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

конструкции и их элементы, выполненные из упругих и упруговязких материалов, испытывающие статические и динамические нагрузки; методы решения спектральных задач для несимметричных матриц.

1.3. Входные требования

Не предусмотрены

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.1	ИД-1ПК-1.1	Знает основные методы и подходы к построению математических моделей оценки устойчивости динамических систем.	Знает основные методы и подходы к построению математических моделей различных объектов исследования с использованием научно-методического аппарата механики сплошной среды;	Экзамен

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.1	ИД-2ПК-1.1	Умеет формулировать уравнения математической модели оценки устойчивости динамической системы с использованием аппарата механики сплошной среды, принимая необходимые гипотезы,.	Умеет выделять из рассматриваемой проблемы задачу механики, формулировать уравнения математической модели рассматриваемого объекта с использованием научно-методического аппарата механики сплошной среды, принимая необходимые гипотезы, выполнять качественный анализ математической модели;	Курсовая работа
ПК-1.1	ИД-3ПК-1.1	Владеет навыками построения математических моделей оценки устойчивости динамических систем с использованием аппарата механики сплошной среды, с учетом необходимых гипотез.	Владеет навыками построения математических моделей рассматриваемого объекта с использованием научно-методического аппарата механики сплошной среды с учетом необходимых гипотез, а также выполнять качественный анализ математической модели.	Курсовая работа

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		1	2
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	45	45	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	16	16	
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	27	27	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	63	63	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)	18	18	
Общая трудоемкость дисциплины	144	144	

4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
2-й семестр				
Устойчивость состояния равновесия и стационарных режимов движения	5	0	9	21
Устойчивость состояния равновесия. Устойчивость стационарных режимов движения. Критические состояния механических систем. Теорема Лагранжа. Линейные и линеаризованные уравнения равновесия упругих систем. Метод Эйлера. Принцип Релея. Приближенные и численные методы определения собственных значений краевых задач. Критерий Сильвестра. Устойчивость движения системы с конечным числом степени свободы. Дифференциальные уравнения возмущенного движения системы. Исследование возможных решений уравнения возмущенного движения. Критерий Рауса-Гурвица. Потеря устойчивости при появлении несмежных форм равновесия, теория катастроф. Задача о ферме Мизеса. Следящие нагрузки. Статическая и динамическая постановка задачи устойчивости.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Устойчивость упругих систем	5	0	9	21
Основные понятия теории упругой устойчивости. Устойчивость пространственных упругих конструкций. Постановка задач устойчивости тонкостенных систем. Энергетический метод решения задач устойчивости. Метод Релея-Ритца в задачах устойчивости. Устойчивость прямолинейных стержней. Закритическое поведение стержней. Устойчивость пластин. Устойчивость оболочек. Постановка задачи об устойчивости пространственных упругих конструкций с учетом неконсервативности системы.				
Введение в теорию устойчивости. Определение устойчивости движения по Ляпунову.	6	0	9	21
Введение в теорию устойчивости. Уравнения в возмущениях. Функции Ляпунова и их применение. Определение устойчивости движения по Ляпунову. Прямой метод Ляпунова (второй метод Ляпунова). Теоремы об устойчивости движения. Теоремы о неустойчивости движения. Теорема Лагранжа, как следствие теоремы Ляпунова об устойчивости движения. Циклические координаты. Устойчивость по первому приближению. Критерий Найквиста-Михайлова. Метод D-разбиений. Влияние структуры сил на устойчивость движения.				
ИТОГО по 2-му семестру	16	0	27	63
ИТОГО по дисциплине	16	0	27	63

Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Применение теоремы Лагранжа-Дирихле к оценке устойчивости механических систем. Применения критерия Сильвестра к оценке устойчивости механических систем.
2	Изучение устойчивости равновесного состояния консервативных систем. Критическое состояние вала.
3	Изучение понятий «ферма Мизеса» и «несмежные формы равновесия» и их применение к оценке устойчивости механических систем.
4	Исследование методов оценки устойчивости упругих стержней (формула Эйлера, статический, динамический, энергетический подходы к решению задач устойчивости). Изучение понятия «следающие нагрузки». Анализ устойчивости стержня на упругом основании.
5	Изучение методов оценки устойчивости пластин и оболочек
6	Дифференциальные уравнения возмущенного движения. Оценка возмущенного движения конического маятника. Составление уравнения возмущенного движения в I приближении.

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
7	Применение теоремы Ляпунова об устойчивости движения механических систем к задачам об устойчивости механических систем.

Тематика примерных курсовых проектов/работ

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
1	Оценка устойчивости механической системы (варианты заданий)

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин; закрепление основ теоретических знаний.

5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению практических занятий, индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1. Основная литература		
1	Масленников А. М. Динамика и устойчивость сооружений : учебник и практикум / А. М. Масленников. - Москва: Юрайт, 2016.	4
2	Пановко Г. Я. Лекции по основам теории вибрационных машин и технологий : учебное пособие для вузов / Г. Я. Пановко. - Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008.	48

3	Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний : учебное пособие для вузов / Я. Г. Пановко. - Москва: Наука, 1991.	30
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Алфутов Н. А. Устойчивость движения и равновесия : учебник для вузов / Н. А. Алфутов, К. С. Колесников. - Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003.	50
2	Бабаков И. М. Теория колебаний : учебное пособие для вузов / И. М. Бабаков. - Москва: Дрофа, 2004.	112
3	Юмагулов М. Г. Введение в теорию динамических систем : учебное пособие для вузов / М. Г. Юмагулов. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2015.	2
2.2. Периодические издания		
1	Вестник машиностроения : научно-технический и производственный журнал / Машиностроение; Вестник машиностроения. - Москва: Машиностроение, 1921 - .	
2.3. Нормативно-технические издания		
	Не используется	
3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины		
	Не используется	
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента		
	Не используется	

6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Математическое моделирование колебаний систем твердых тел, закрепленных на упругих тел.	http://www.iprbookshop.ru/87386.html	сеть Интернет; свободный доступ

6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATLAB 7.9 + Simulink 7.4 Academic, ПНИПУ 2009 г.

6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	http://lib.pstu.ru/
Электронно-библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/
Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	http://www.consultant.ru/

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Курсовая работа	персональный компьютер	10
Лекция	учебная аудитория	1
Практическое занятие	учебная аудитория	1

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«Пермский национальный исследовательский политехнический
университет»**

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

«Устойчивость механических систем»

Приложение к рабочей программе дисциплины

Направление подготовки: 15.04.03 Прикладная механика

**Направленность (профиль)
образовательной программы:** Динамика и прочность машин, конструкций и
механизмов

Квалификация выпускника: «Магистр»

Выпускающая кафедра: Динамика и прочность машин

Форма обучения: Очная

Курс: 1

Семестр: 2

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану: 4 ЗЕ

Часов по рабочему учебному плану: 144 ч.

Форма промежуточной аттестации:

Экзамен: 2 семестр

Курсовая работа: 2 семестр

Пермь 2019

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины.

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

1.Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля.

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (1-го семестра учебного плана) и разбито на 3 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и практические занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, и которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, выполнении практических занятий и экзамена. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Виды контроля					
	Текущий		Рубежный		Итоговый	
	С	ТО	ОЛР	Т/КР		Экзамен
Усвоенные знания						
3.1 Знает основные методы и подходы к построению математических моделей оценки устойчивости машиностроительных конструкций.	С1					ТВ
Освоенные умения						

У.1 Умеет формулировать уравнения математической модели оценки устойчивости машиностроительных объектов с использованием аппарата механики сплошной среды.				КР1	ПЗ
Приобретенные владения					
В.1 Владеет навыками построения математической модели и использования эффективных численных методов расчета устойчивости конструкций.				КР2	КЗ

С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос); КЗ - кейс-задача (индивидуальное задание); ОЛР – отчет по лабораторной работе; Т/КР - рубежное тестирование (контрольная работа); ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание; КЗ – комплексное задание экзамена.

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде экзамена, проводимая с учетом результатов текущего и рубежного контроля.

2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;

- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;

- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланочного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после

прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – вовремя каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;

- контроль остаточных знаний.

2.1. Текущий контроль усвоения материала

Текущий контроль усвоения материала в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-х балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

2.2. Рубежный контроль

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений (табл.1.1) проводится в форме рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

2.2.1. Защита лабораторных работ

Проведение лабораторных работ в РПД не запланировано.

2.2.2. Рубежная контрольная работа

Согласно РПД запланировано 2 рубежные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первая КР по модулю 1 «Устойчивость состояния равновесия и стационарных режимов движения», вторая КР – по модулю 2 «Устойчивость упругих систем».

Типовые задания первой КР:

1. Анализ устойчивости состояния равновесия механической системы.
2. Исследование устойчивости стационарных режимов движения.
3. Оценка критического состояния

Типовые задания второй КР:

1. Применение энергетического метода решения задач устойчивости.
2. Оценка устойчивости пластин.

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.3. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде экзамена по дисциплине устно по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки освоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и

практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных компетенций. Форма билета представлена в общей части ФОС образовательной программы.

2.3.1. Типовые вопросы и задания для экзамена по дисциплине

Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Особенности определения устойчивости по Ляпунову.
2. Функции Ляпунова. Свойства функций Ляпунова.
3. Теорема Ляпунова об устойчивости движения.

Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:

1. Построить функцию Ляпунова в виде связки интегралов.
2. Оценить устойчивость шарнирно опертого стержня. (Динамическая постановка).
3. Определить критические скорости вращения упругого вала с дисками (без учета инерции поворота дисков).

Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений:

Типовые индивидуальные задания для контроля приобретенных владений проводятся по теме типовой курсовой работы «Оценка устойчивости механических систем», которая раскрывается по тематике индивидуальных заданий следующего типа:

1. Анализ результатов исследования устойчивости вращения одномассовой системы в случае двумерной и пространственной постановок.
2. Исследование движения материальной точки, находящейся в поле центральных сил, действующих по степенному закону.
3. Построение областей устойчивости системы в плоскости заданных параметров технических характеристик.

Перечень типовых ситуационных заданий и кейсов для проверки умений и владений представлен в Приложении 1. *Полный перечень теоретических вопросов и практических заданий в форме утвержденного комплекта экзаменационных билетов хранится на выпускающей кафедре.*

2.3.2. Шкалы оценивания результатов обучения на экзамене

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания путем выборочного контроля во время экзамена.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче экзамена для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и компетенций

3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при экзамене считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов компетенций приведены в общей части ФОС образовательной программы.

3.2. Оценка уровня сформированности компетенций

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде экзамена используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС программы.

Критерии оценки ситуационных заданий

Оценка «пять» ставится, если обучающийся осознанно излагает и оценивает суть данной ситуации, с аргументацией своей точки зрения, умеет анализировать, обобщать и предлагать верные пути решения складывающейся ситуации.

Оценка «четыре» ставится, если обучающийся понимает суть ситуации, логично строит свой ответ, но допускает незначительные неточности при определении путей решения.

Оценка «три» ставится, если обучающийся ориентируется в сущности складывающейся ситуации, но нуждается в наводящих вопросах, не умеет анализировать и не совсем верно намечает пути решения ситуации.

Оценка «два» ставится, если обучающийся не ориентируется и не понимает суть данной ситуации, не может предложить путей ее решения, либо допускает грубые ошибки.

Приложение 1.

Типовые ситуационные задания и кейсы для проверки умений и владений

Задание №__

Проверяемые результаты обучения: y1; v1.

Задание. Ответьте на вопросы задания

Ситуация 1. Колонна удерживает пролет моста. Какую нагрузку может выдержать колонна заданных размеров. Что такое критическая нагрузка. Как изменится величина критической нагрузки, если изменить параметры колонны (поперечное сечение, длина, материал).

Оцените опасность разрушения колонны, предложите алгоритм расчета.

Ситуация 2. Вал с дисками при вращении становится динамически неустойчивым.

Опишите особенности динамического поведения вала: в чем заключается «динамическая неустойчивость» и причины ее возникновения. Что такое критическая скорость вращения вала.

Предложите методику расчета критической скорости вала. Приведите пример расчета для вала, имеющего один диск (два диска).