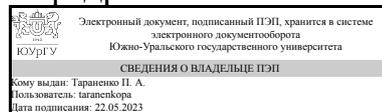


УТВЕРЖДАЮ:  
Заведующий выпускающей  
кафедрой



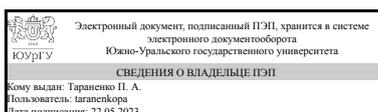
П. А. Тараненко

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

**дисциплины** 1.Ф.П0.14 Строительная механика пластин  
**для направления** 15.03.03 Прикладная механика  
**уровень** Бакалавриат  
**профиль подготовки** Компьютерное моделирование и испытания  
высокотехнологичных конструкций  
**форма обучения** очная  
**кафедра-разработчик** Техническая механика

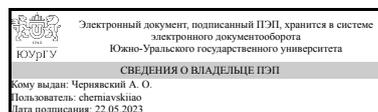
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 15.03.03 Прикладная механика, утверждённым приказом Минобрнауки от 09.08.2021 № 729

Зав.кафедрой разработчика,  
к.техн.н., доц.



П. А. Тараненко

Разработчик программы,  
д.техн.н., проф., профессор



А. О. Чернявский

## 1. Цели и задачи дисциплины

Главной целью дисциплины является формирование умения комплексно решать инженерные задачи оценки прочности машиностроительных конструкций и изделий путем построения расчетной схемы, записи дифференциальных уравнений равновесия и совместности деформаций, выбора метода решения, последующего анализа результатов расчета, оценки прочности конструкции и выработки практических рекомендаций.

## Краткое содержание дисциплины

В курсе изучаются методы определения напряжений в конструкциях. Рассматриваются толстостенные цилиндры, быстровращающиеся диски, пластинки и оболочки, тонкостенные стержни, кольцевые детали. Для конструкций каждого класса приводятся методы аналитического и численного решения задач, включая метод конечных элементов. Обсуждаются особенности применения и границы применимости различных методов.

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

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-2 Способен решать профессиональные задачи на основе представлений о процессах и явлениях, происходящих в природе, а также понимания о возможностях современных научных методов познания природы	Знает: основные гипотезы технической теории пластин Умеет: записывать и решать определяющие уравнения, описывающие напряженно-деформированное состояние пластин Имеет практический опыт: получения аналитических и численных (с использованием САЕ-программ) оценок напряженного состояния в задачах о пластинах
ПК-4 Способен на научной основе организовать свой труд и решать научно-технические задачи в области прикладной механики на основе достижений техники и технологий, классических теорий и методов, физико-механических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным наукоемким процессам, машинам и конструкциям	Знает: возможности современных численных методов решения задач о пластинах Умеет: выбирать методы и приемы моделирования, обеспечивающие эффективность и адекватность расчетных моделей Имеет практический опыт: применения соответствующих численных методов для определения напряженно-деформированного состояния конструкций из пластин

## 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Цифровое моделирование динамики машин и механизмов, Анализ механической системы твердых тел, Нестандартные задачи сопротивления материалов, Практикум по кинематике и динамике твердых тел,	Динамика машин, Строительная механика оболочек, Численные методы технической механики, Регрессионный анализ и планирование эксперимента, Цифровые методы анализа динамики конструкций,

Основы автоматизации инженерных расчетов	Устойчивость механических систем, Практикум по виду профессиональной деятельности, Теория колебаний континуальных систем, Статистическая механика, Строительная механика машин, Вычислительные методы решения инженерных задач, Теория колебаний, Основы планирования эксперимента
--	---

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

Дисциплина	Требования
Цифровое моделирование динамики машин и механизмов	Знает: современные пакеты 1D и 3D цифрового моделирования динамики сборок из абсолютно твердых тел, теоретические основы и методы цифрового моделирования Умеет: определять кинематические и динамические параметры конструкции (перемещения, скорости и ускорения точек), разрабатывать цифровые виртуальные модели исследуемых механических систем, учитывающих особенности их конструкции Имеет практический опыт: кинематического и динамического анализа систем твердых тел, работы с пакетами многотельной динамики (MultiBody Dynamics) для цифрового компьютерного моделирования динамических систем
Анализ механической системы твердых тел	Знает: компьютерные системы моделирования динамики механизмов из абсолютно твердых тел, теоретические основы и методы компьютерного моделирования Умеет: выполнять кинематический и динамический анализ механической системы, разрабатывать виртуальные модели исследуемых механических систем, учитывающих особенности их конструкции Имеет практический опыт: кинематического и динамического анализа механических систем, работы с пакетами многотельной динамики (MultiBody Dynamics) для компьютерного моделирования динамических систем, состоящих из твердых тел
Нестандартные задачи сопротивления материалов	Знает: общие закономерности неупругого однократного и повторно-переменного деформирования материалов, основы расчета на прочность по допускаемым напряжениям и по допускаемым нагрузкам, основные гипотезы механики деформируемого тела и, в частности, сопротивления материалов Умеет: записывать системы уравнений и неравенств, описывающих неупругое деформирование конструкций, формулировать возможные задачи: определение

	<p>предельных нагрузок, перемещений, остаточных напряжений, выделять круг задач, в которых особенности рассматриваемых процессов требуют применения специфических методов анализа Имеет практический опыт: решения задач определения нагрузок, напряжений и перемещений при однократном и повторном нагружении за пределами упругости, определения предельных нагрузок для конструкций различных типов: стержневых (работающих при растяжении-сжатии, кручении, изгибе) и не являющихся стержневыми (соединения элементов конструкций), формулировки задач расчетов за пределами упругости, определения перечня возможных результатов</p>
<p>Основы автоматизации инженерных расчетов</p>	<p>Знает: основные физические явления и процессы, системы компьютерной математики для решения задач в области прикладной механики с помощью существующих информационных технологий и компьютерных программ; основы проведения математических вычислений инженерных расчетов в компьютерной программе Mathcad, существующие информационные технологии и компьютерные программы для проведения инженерных расчетов; основы расчетов элементов конструкций и проведения математических вычислений с использованием вычислительных методов Умеет: проводить основные математические вычисления в системе Mathcad; применять стандартные математические функции программы Mathcad при проведении необходимых инженерных расчетов, расчетов на прочность, жёсткость и устойчивость типовых стержневых систем; применять физико-математические методы для решения практических задач; применять вероятностные и статические методы при обработке экспериментальных данных, проводить расчеты на прочность, жесткость и устойчивость типовых стержневых систем и элементов конструкций с помощью программ компьютерной математики; применять современные математические пакеты программ для обработки результатов эксперимента Имеет практический опыт: решения конкретных задач с помощью численных методов; самостоятельного проведения расчетов на прочность, жёсткость и устойчивость типовых элементов конструкций в программе MathCAD; обработки экспериментальных данных при практической работе на компьютере с применением современных вычислительных систем; навыками применения физико-математического аппарата и методов математического и компьютерного</p>

	моделирования в процессе профессиональной деятельности, расчета на прочность элементов конструкций с использованием современных вычислительных систем; применения математического аппарата для статистической обработки результатов эксперимента
Практикум по кинематике и динамике твердых тел	Знает: основные понятия и законы кинематики и динамики твердого тела и механической системы, методы кинематического и динамического анализа механической системы, фундаментальные понятия кинематики и динамики; основные аксиомы, законы и принципы теоретической механики для применения их в профессиональной деятельности Умеет: решать типовые задачи кинематики и динамики материальных объектов, анализировать полученный результат, применять теоремы кинематики, общие теоремы и принципы динамики к исследованию движения твердого тела и механической системы Имеет практический опыт: применения методов кинематического и динамического анализа для математического описания движения материальных объектов и решения полученных математических моделей, математического моделирования кинематического и динамического состояния механических систем и анализа полученных результатов

#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 з.е., 180 ч., 92,5 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам
		в часах
		Номер семестра
		5
Общая трудоёмкость дисциплины	180	180
<i>Аудиторные занятия:</i>	80	80
Лекции (Л)	32	32
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	48	48
Лабораторные работы (ЛР)	0	0
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	87,5	87,5
Задание 1. Расчет быстровращающихся дисков	40	40
Задание 2. Расчет круглых пластин	30	30
Подготовка к экзамену	17,5	17,5
Консультации и промежуточная аттестация	12,5	12,5
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	экзамен

#### 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Введение	2	2	0	0
2	Расчет напряжений в осесимметрично нагруженных толстостенных цилиндрах	10	4	6	0
3	Диски газовых турбин	20	8	12	0
4	Пластины	48	18	30	0

## 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Основные задачи курса. Задачи анализа и оптимального синтеза конструкций. Новые направления, возникающие в расчетах механических систем (САПР, оптимальное проектирование, вычислительный эксперимент). Содержание курса СММ и его связь с другими предметами. Объекты расчета, их расчетные схемы и классификация.	2
2	2	Осесимметрично нагруженные толстостенные цилиндры. Основные гипотезы; вывод разрешающих зависимостей; напряжения и деформации при действии внутреннего и наружного давлений.	2
3	2	Понятие о работе составных цилиндров. Оптимальные составные цилиндры. Формулы Гадолина. Температурные напряжения в осесимметричных толстостенных цилиндрах.	2
4	3	Диски газовых турбин. Краткое описание конструкций осевых и радиальных турбин, условий работы дисков и характерных видов разрушения. Задачи расчета дисков на прочность и жесткость. Расчетные схемы осевых и газовых турбин. Вывод основных уравнений для расчета дисков переменной толщины.	2
5	3	Расчет дисков постоянной толщины. Примеры расчета. Применение метода начальных параметров к расчету дисков (метод 2-х расчетов). Реализация метода на ЭВМ. Основные достоинства и недостатки метода, анализ возможных ошибок при реализации расчетов на ЭВМ.	2
6	3	Расчет дисков методом последовательных приближений. Реализация метода на ЭВМ. Преимущества и недостатки метода. Сопоставление результатов, полученных разными методами (метод послед. приближений, метод двух расчетов, в качестве "точного" решения - МКЭ).	2
7	3	Концентрация напряжения в окрестностях эксцентричных отверстий в дисках. Понятие об автоскреплении дисков. Расчет посадок дисков и определение освобождающих чисел оборотов. Расчет дисков на прочность.	2
8	4	Классификация пластин. Основные гипотезы. простейшие случаи изгиба пластин. Цилиндрический изгиб тонких пластин. примеры расчета. Чистый изгиб пластин.	2
9	4	Осесимметричный изгиб круглых пластин. Связь между перемещениями, деформациями и напряжениями. Дифференциальное уравнение изогнутой срединной поверхности и его интегрирование в случае постоянной толщины. Краевые условия. Примеры расчета круглых и кольцевых пластин.	2
10	4	Расчет пластин переменной толщины. Аналитические примеры, расчет пластин со степенным законом изменения толщины. Численные методы расчета. Метод начальных параметров. Метод конечных разностей. Основная система линейных алгебраических уравнений и ее решение методом прогонки.	2

11	4	Температурные напряжения в круглых и кольцевых пластинках. Температурные напряжения и деформации биметаллических пластин.	2
12	4	Общий случай изгиба пластин. Вывод основного дифференциального уравнения упругой поверхности пластины. Граничные условия при различных способах закрепления. Полуобратный метод и решение Навье	2
13	4	Потенциальная энергия деформации пластины. Вывод основных уравнений изгиба пластин из вариационного принципа Лагранжа. Вариационный метод расчета пластин. Метод Ритца. Пример расчета пластины вариационным методом. преимущества и недостатки приближенных вариационных методов.	2
14	4	Метод Галеркина. Расчет пластин с применением метода конечных разностей. Реализация расчетов на ЭВМ, анализ погрешностей вычислений.	2
15	4	Метод конечных элементов как вариант метода Ритца. Идея метода, подготовка данных. Применение пакета МКЭ ANSYS для расчета пластин. Общая характеристика пакета; система команд; подготовка данных для расчета (простейший пример).	2
16	4	Расчет пластин сложной формы с применением МКЭ.	2

## 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
01	2	Расчет толстостенных цилиндров, нагруженных давлением. Определение напряжений и деформаций.	2
02-03	2	Использование пакета MathCAD для расчета напряжений и деформаций в составных цилиндрах, температурных напряжений в цилиндрах.	4
04-05	3	Быстровращающиеся диски. Определение напряжений от центробежных сил и неравномерного нагрева (диски постоянной толщины, ступенчатые диски).	4
06-07	3	Численный расчет напряжений в диске осевой газовой турбины. Метод двух расчетов. Определение напряжений от центробежных сил и неравномерного нагрева.	4
08-09	3	Численный расчет напряжений в диске с учетом посадки на вал. Оценка прочности дисков.	4
10	4	Цилиндрический и чистый изгиб пластин. Определение напряжений и деформаций.	2
11	4	Расчет круглых и кольцевых пластин постоянной толщины. Определение напряжений и перемещений.	2
12	4	Конечно-разностная формулировка. Простейшие примеры	2
13-15	4	Метод прогонки. Расчет круглых пластин при действии механической нагрузки. Температурные напряжения в круглых пластинках.	6
16-18	4	Вариационные методы расчета пластин. Метод Ритца. Метод Бубнова - Галеркина.	6
19-21	4	Расчет прямоугольных пластин с применением МКЭ	6
22-24	4	Пластины сложной формы и конструкции из пластин (МКЭ)	6

## 5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

## 5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС

Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Задание 1. Расчет быстро вращающихся дисков	Бояршинов С.М. Строительная механика машин Чернявский А.О. Строительная механика машин. Конспект лекций	5	40
Задание 2. Расчет круглых пластин	Бояршинов С.М. Строительная механика машин Тимошенко С.П., Войновский-Кригер Т. Пластинки и оболочки Чернявский А.О. Строительная механика машин. Конспект лекций	5	30
Подготовка к экзамену	Бояршинов С.М. Строительная механика машин Тимошенко С.П., Войновский-Кригер Т. Пластинки и оболочки Чернявский А.О. Строительная механика машин. Конспект лекций	5	17,5

## 6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

### 6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се-мestr	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учитывается в ПА
1	5	Текущий контроль	Семестровое задание "Расчет дисков газовых турбин"	1	3	3 - выполнены все пункты задания (см. приложенный файл); 2 - не выполнены или выполнены лишь частично требования задания по тестированию разработанной расчетной процедуры на задачах, имеющих аналитическое решение и по оценке влияния разбиения на точность; 1 - в решении есть ошибки, которые студент не смог исправить без помощи преподавателя; 0 - решение отсутствует	экзамен
2	5	Текущий контроль	Семестровое задание "Расчет круглых пластин"	1	3	3 - выполнены все пункты задания (см. приложенный файл); 2 - не выполнены или выполнены лишь частично требования задания по тестированию разработанной расчетной процедуры на задачах, имеющих аналитическое решение и по оценке влияния разбиения на точность; 1 - в решении есть ошибки, которые студент не смог исправить без помощи	экзамен

						преподавателя; 0 - решение отсутствует	
3	5	Текущий контроль	Решение задач о напряженно-деформированном состоянии пластин и конструкций из пластин с помощью САЕ-пакетов (на примере пакета ANSYS)	1	3	3 - решение с доказательством корректности; 2 - решение получено, но доказательства корректности нет; 1 - для получения решения потребовалась помощь преподавателя; 0 - решение отсутствует	экзамен
4	5	Промежуточная аттестация	экзамен	-	5	За ответы на теоретические вопросы и решение задач экзаменационного билета	экзамен

## 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
экзамен	В соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе в ЮУрГУ, введенной приказом ректора от 24.05.2019 №179 с изменениями, введенными приказом от 10.03.2022 №25-13/09	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

## 6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ			
		1	2	3	4
ПК-2	Знает: основные гипотезы технической теории пластин		+		+
ПК-2	Умеет: записывать и решать определяющие уравнения, описывающие напряженно-деформированное состояние пластин		+		+
ПК-2	Имеет практический опыт: получения аналитических и численных (с использованием САЕ-программ) оценок напряженного состояния в задачах о пластинах			+	+
ПК-4	Знает: возможности современных численных методов решения задач о пластинах		+		+
ПК-4	Умеет: выбирать методы и приемы моделирования, обеспечивающие эффективность и адекватность расчетных моделей	+	+		+
ПК-4	Имеет практический опыт: применения соответствующих численных методов для определения напряженно-деформированного состояния конструкций из пластин		+		+

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

а) основная литература:

1. Тимошенко, С. П. Пластинки и оболочки Пер. с англ. В. И. Контовта; Под ред. Г. С. Шапиро. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Физматгиз, 1963. - 635 с. черт.
2. Бояршинов, С. В. Основы строительной механики машин Текст учеб. пособие для машиностроит. специальностей вузов С. В. Бояршинов. - М.: Машиностроение, 1973. - 456 с. черт.

б) *дополнительная литература:*

Не предусмотрена

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

Не предусмотрены

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

1. Чернявский, А. О. Практическое применение метода конечных элементов в зачетах расчета на прочность Учеб. пособие А. О. Чернявский; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Приклад. механика, динамика и прочности машин; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2001. - 89 с. ил.

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

1. Чернявский, А. О. Практическое применение метода конечных элементов в зачетах расчета на прочность Учеб. пособие А. О. Чернявский; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Приклад. механика, динамика и прочности машин; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2001. - 89 с. ил.

### Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Основная литература	Электронный каталог ЮУрГУ	Чернявский А.О. Строительная механика машин : Конспект лекций – Челябинск : Издательство ЮУрГУ , 2-е издание – 2009 г., 103 с. <a href="http://virtua.lib.susu.ru/cgi-bin/gw_2011_1_4/chameleon">http://virtua.lib.susu.ru/cgi-bin/gw_2011_1_4/chameleon</a>
2	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Светлицкий, В.А. Строительная механика машин. Механика стержней. В 2 т. Т.1. Статика. [Электронный ресурс] : учеб. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2009. — 408 с. <a href="http://e.lanbook.com/book/59518">http://e.lanbook.com/book/59518</a>
3	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Глазков, Ю.Ф. Специальные главы прочности. Расчет тонкостенных и стержневых конструкций методом конечных элементов. [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – Кемерово: КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2012. – 79 с. <a href="http://e.lanbook.com/book/69416">http://e.lanbook.com/book/69416</a>
4	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Карпов, В.В. Прочность и устойчивость подкрепленных оболочек вращения: В 2 ч. Часть 2. Вычислительный эксперимент при статическом механическом воздействии. [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2011. — 248 с. <a href="http://e.lanbook.com/book/59626">http://e.lanbook.com/book/59626</a>

Перечень используемого программного обеспечения:

Нет

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Нет

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

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Лекции	336 (2)	компьютер с установленным MS-Office, проектор
Практические занятия и семинары	332 (2)	Компьютеры с доступом к СКЦ ЮУрГУ