

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

Структурное подразделение «Конструирования и стандартизации в машиностроении
(307)»

УТВЕРЖДЕНА:
на заседании кафедры КСМ
Протокол №8 от 24 февраля 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

**«ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ТИПОВЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
МАШИН»**

Научная специальность: 2.5.15 Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки
летательных аппаратов

Документ подписан простой электронной
подписью
Составитель программы: Цвик Лев Беркович
Дата подписания: 22.08.2025

Документ подписан простой электронной
подписью
: Кузнецов Николай Константинович
Дата подписания: 26.08.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1 Дисциплина «Инженерный анализ работы типовых конструктивных элементов машин» обеспечивает формирование следующих результатов освоения программы аспирантуры

Код, наименование результата освоения программы	Код, наименование результата освоения дисциплины (модуля)
Р-1 Готовность к самостоятельной научно-исследовательской и педагогической деятельности на основании способности к генерированию новых идей и поиска нестандартных решений в профессиональной деятельности	('Р-1.5 Обладает способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических научных задач',) Обладает способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических научных задач

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код наименования результата освоения дисциплины (модуля)	Результат обучения
Р-1.5 - Обладает способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических научных задач	<p>Знать основные уравнения механики упругого трёхмерного деформирования: закон Гука, условия равновесия, уравнения связи деформаций и напряжений в упругом теле, граничные условия для напряжений и перемещений в деформируемых конструктивных элементах машин и аппаратов в условиях статического нагружения.</p> <p>Уметь поставить задачу теории упругости, позволяющую моделировать напряжённо-деформированного состояния типовых конструктивных элементов машин и аппаратов: растягиваемых стержней, круглых и прямоугольных пластин, а также массивных тел, в том числе пластин с отверстиями, а также контактирующих тел сферической и цилиндрических тел</p> <p>Владеть методами численного моделирования напряжённо-деформированного состояния типовых конструктивных элементов машин и аппаратов с</p>

	помощью программных комплексов, реализующих численное моделирование основных характеристик, определяющих прочность и работоспособность типовых конструктивных элементах
--	---

2 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 3 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)	
	Всего	Семестр № 3
Общая трудоемкость дисциплины	108	108
Аудиторные занятия, в том числе:	24	24
лекции	12	12
лабораторные работы	0	0
практические/семинарские занятия	12	12
Контактная работа, в том числе	0	0
в форме работы в электронной информационной образовательной среде	0	0
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	84	84
Трудоемкость промежуточной аттестации	0	0
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Зачет	Зачет

3 Структура и содержание дисциплины

3.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Семестр № 3

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)		№	Кол. Час.	
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Трёхмерный анализ упругой работы несущих конструктивных элементов	3	2							Собеседование
2	Основы метода конечных элементов, трёхмерный компьютерный КЭ-анализ деформирования									Отчет

	растягиваемого бруса									
3	Конечно-элементный анализ напряжённо-деформированного состояния прямоугольной пластины с малым круговым отверстием									Отчет
4	Концентрация напряжений в прямоугольной пластине с эллиптическим отверстием									Отчет
5	Построение дискретной КЭ-модели кругового тонкостенного полого цилиндра, нагруженного на одном из своих концов осесимметричной краевой силой,	1, 2	8			1	2	1, 1, 1	12	Отчет
6	Осесимметричное контактное взаимодействие упругих тел различной кривизны (решение задачи Герца)									Отчет
	Промежуточная аттестация									Зачет
	Всего		10				2		12	

3.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Семестр № 3

№	Тема	Краткое содержание
1	Трёхмерный анализ упругой работы несущих конструктивных элементов	Трёхмерный анализ упругой работы элементарного объёма материала, уравнения равновесия, закон Гука, соотношения Коши, краевые условия, постановка задач механики деформирования в перемещениях; основы расчёта конструктивных элементов на прочность
2	Основы метода конечных элементов, трёхмерный компьютерный КЭ-анализ деформирования растягиваемого бруса	Изучается виртуальная модель основанная на использовании программных средств для вычислительной техники; построение дискретной виртуальной модели рассматриваемого деформируемого тела; инженерный анализ получаемых результатов осуществляется с помощью программного комплекса FEMAP-

		<p>NASTRAN. Построение виртуальной математической модели и инженерный КЭ-анализ напряжённо-деформированного состояния на примере анализа одноосного растяжения бруса прямоугольного сечения</p>
3	<p>Конечно-элементный анализ напряжённо-деформированного состояния прямоугольной пластины с малым круговым отверстием</p>	<p>Изучается виртуальная модель основанная на использовании программных средств для вычислительной техники; построение дискретной виртуальной модели рассматриваемой пластины осуществляется с помощью программного комплекса FEMAP-NASTRAN, численный анализ растяжения прямоугольных пластин с малым круговым отверстием, оценка погрешности получаемых конечно-элементных приближений на основе использования модельного аналитического решения соответствующей задачи теории упругости; инженерное значение построенных решений</p>
4	<p>Концентрация напряжений в прямоугольной пластине с эллиптическим отверстием</p>	<p>Построение виртуальной геометрической модели пластины с отверстием, конечно-элементный анализ её напряжённо-деформируемого состояния; оценка погрешности получаемых приближений с помощью модельного аналитического решения рассматриваемой задачи; инженерное значение построенных решений; изучается виртуальная модель основанная на использовании программных средств для вычислительной техники; построение дискретной виртуальной модели рассматриваемого деформируемого тела; инженерный анализ получаемых результатов осуществляется с помощью программного комплекса FEMAP-NASTRAN.</p>
5	<p>Построение дискретной КЭ-модели кругового тонкостенного полого цилиндра, нагруженного на одном из своих концов осесимметричной краевой силой,</p>	<p>Изучается виртуальная модель основанная на использовании программных средств для вычислительной техники; осуществляется построение дискретной виртуальной модели рассматриваемого деформируемого тела; инженерный анализ получаемых результатов осуществляется с помощью программного комплекса FEMAP-NASTRAN. Осуществляется построение виртуальной дискретной КЭ-модели кругового тонкостенного цилиндра, нагруженного осесимметричной краевой силой, оценка размера зоны краевого эффекта с помощью сравнения получаемого численного решения и соответствующего модельного решения задачи теории тонких оболочек; инженерное значение построенных решений</p>
6	<p>Осесимметричное контактное взаимодействие</p>	<p>Осуществляется построение дискретной виртуальной модели рассматриваемых деформируемых тел; инженерный анализ</p>

упругих тел различной кривизны (решение задачи Герца)	получаемых результатов осуществляется с помощью программного комплекса FEMAP-NASTRAN. Изучается теория упругого контактного взаимодействия выпуклых тел - рассматривается частный случай - контактное взаимодействие упругой сферы и упругого полупространства, строится виртуальная дискретная модель рассматриваемых упругих тел; осуществляется инженерный анализ получаемых численных решений, оценивается погрешность получаемых КЭ-приближений
---	--

3.3 Перечень лабораторных работ

Лабораторных работ не предусмотрено

3.4 Перечень практических занятий

Семестр № 3

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Трёхмерный анализ работы массивного куба при различных условиях закрепления	2
2	Осесимметричное растяжение круглой пластины с круговым отверстием	2
3	Трёхмерный анализ деформирования растягиваемой прямоугольной пластины с эллиптическим отверстием; осесимметричное нагружение полого цилиндра внутренним давлением; осесимметричное деформирование тонкостенного полого цилиндра перерезывающей силой	4
4	Численный анализ контактного взаимодействия упругих конструктивных элементов с помощью МКЭ и соответствующих компьютерных технологий	4

3.5 Самостоятельная работа

Семестр № 3

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Выполнение компьютерных экспериментов и компьютерных лабораторных работ в дистанционном режиме	84

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: Метод преднамеренных ошибок, дискуссия, дебаты, мозговой штурм

4 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

4.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

4.1.1 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

- 1) Цвик Л.Б., Зеньков Е.В. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ И МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.-Учебное пособие, ИрННТУ. - 2022
- 2) Цвик Л.Б. Зеньков Е.В. Трёхмерный инженерный анализ модельных напряжённых состояний упругих тел. - Иркутск, ИрННТУ. - 2017

4.1.2 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

1. Цвик Л.Б. Компьютерные технологии и моделирование полей напряжений и деформаций. . Изд-во ИрГТУ 2005г.
2. Шимкович Д.Г. Расчёт конструкций в MSC/ NASTRAN/ - Vjcrdf/ - 2003 г.
3. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. - М.1979г.

5 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине

5.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля

5.1.1 семестр 3 | Отчет

Описание процедуры.

Отчёт защищается в ходе собеседования по выполненным работам

Критерии оценивания.

Уровень усвоения учебного материала оценивается по следующим критериям:

- 1) насколько глубоко и полно студент овладел знаниями по предмету;
- 2) насколько усвоен навык применения знаний при выполнении компьютерных экспериментов;
- 3) насколько обучаемый умеет использовать полученные знания для решения конкретных задач, изученных в процессе выполнения компьютерных экспериментов;
- 4) насколько обучаемый логичен и последователен в ходе решения задач, изученных в процессе обучения;
- 5) насколько четко и логично обучаемый излагает ход решения рассмотренных в ходе выполнения учебного плана задач;
- 6) насколько связно реализован и адекватно описан компьютерный эксперимент, в процессе которого решены модельные задачи, предусмотренные учебным планом;
- 7) насколько полно соблюдены стандарты оформления отчётов по выполненным практическим занятиям (сноски, библиография и т.д.).

5.1.2 семестр 3 | Собеседование

Описание процедуры.

Оценивание осуществляется в процессе собеседования и защиты отчётов по выполнению письменных работ.

Критерии оценивания.

При оценивании выполненной письменной работы в процессе собеседования учитывается

- терминологическая корректность и точность речи;
- логичность и связность речи;
- оценка структуры писанного текста;
- последовательности изложения этапов алгоритма решения рассматриваемых задач;
- соответствие заданию;
- проверка, насколько работа соответствует поставленной задаче, теме и требованиям оформления отчётов по выполненной работе.

5.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

5.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания результата освоения дисциплины (модуля) в рамках промежуточной аттестации

Код и наименование результата освоения дисциплины (модуля)	Критерии оценивания	Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации
Р-1.5 Обладает способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических научных задач	знание предмета, понимание материала, умение применять знания, навыки критического мышления, а также качество выполнения лабораторных работ и оформление отчётов по результатам выполнения лабораторных работ	устные опросы, защита отчётов по результатам выполнения лабораторных работ, проверка знаний в форме зачёта

5.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

5.2.2.1 Семестр 3, Типовые оценочные средства для проведения зачета по дисциплине

5.2.2.1.1 Описание процедуры

Процедура оценивания осуществляется в ходе собеседования по билетам. Например, в случае вопроса об основных группах уравнений, входящих в математическую модель статики деформирования для получения оценки "зачтено" необходимо назвать следующие группы уравнений:

- уравнения закона Гука;
- уравнения связи напряжений и перемещений (соотношения Коши);
- уравнения равновесия;
- уравнения, описывающие граничные условия рассматриваемой математической модели

Пример задания:

Назовите основные группы уравнений, составляющие математическую модель деформирования упругих тел.

5.2.2.1.2 Критерии оценивания

Зачтено	Не зачтено
студент показывает полные и глубокие знания программного материала, логично и аргументировано отвечает на поставленный вопрос, а также дополнительные вопросы, показывает высокий уровень теоретических знаний	студент показывает недостаточные знания программного материала, не способен аргументировано и последовательно его излагать, допускаются грубые ошибки в ответах, неправильно отвечает на поставленный вопрос или затрудняется с ответом

6 Основная учебная литература

1. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.Б. Сопроотивление материалов: учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 2009. – 559с.
2. Биргер, Исаак Аронович Расчет на прочность деталей машин: Справочник / И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1993 - 639 с.

7 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости: Пер. с англ./Под ред. Г. С. Шапиро.— 2-е изд.— М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979, 560 с.

8 Ресурсы сети Интернет

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>

9 Профессиональные базы данных

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

10 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем

1. Microsoft Office 2007 Standard - 2003 Suites и 2007 Suites - поставка 2010
2. Siemens Femap with Nastran

11 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Оборудование аудитории И-223, К-207