

**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»

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

**Рабочая программа дисциплины**

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

---

Научная специальность: 2.6.17 Материаловедение

---

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><b>Знать</b> 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><b>Уметь</b> 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><b>Владеть</b> 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 полученных численных решений, оценивается погрешность полученных 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

<b>Зачтено</b>	<b>Не зачтено</b>
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. Сопrotивление 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