

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: 5.1.2 Публично-правовые (государственно-правовые) науки

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 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

| 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. 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