

**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: 2.1.4 Водоснабжение, канализация, строительные системы  
охраны водных ресурсов

---

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<br>(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,<br>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<br>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