

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
"САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ"

Кафедра № 1

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель образовательной программы

д.ф.-м.н., доц.

(должность, уч. степень, звание)

А.О. Смирнов

(инициалы, фамилия)

(подпись)

«15» декабря 2025 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Цифровое проектирование и моделирование в прикладной механике»

(Наименование дисциплины)

| | |
|---|--|
| Код направления подготовки/ специальности | 01.03.02 |
| Наименование направления подготовки/ специальности | Прикладная математика и информатика |
| Наименование направленности/ специализации | Прикладная математика и информатика в наукоемком производстве |
| Форма обучения | очная |
| Год приема | 2026 |

Санкт-Петербург– 2026

Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил (а)

доцент, к.т.н., доцент

Е.Э. Аман

08.12.25

(должность, уч. степень, звание)

(подпись, дата)

(инициалы, фамилия)

Программа одобрена на заседании кафедры № 1

«08» декабря 2025 г, протокол № 05

Заведующий кафедрой № 1

д.ф.-м.н.,доц.

(уч. степень, звание)

08.12.25

(подпись, дата)

А.О. Смирнов

(инициалы, фамилия)

Заместитель директора института ФПТИ по методической работе

доц.,к.т.н.,доц.

(должность, уч. степень, звание)

08.12.25

(подпись, дата)

Н.Ю. Ефремов

(инициалы, фамилия)

Аннотация

Дисциплина «Цифровое проектирование и моделирование в прикладной механике» входит в образовательную программу высшего образования – программу бакалавриата по направлению подготовки/ специальности 01.03.02 «Прикладная математика и информатика» направленности/специализации «Прикладная математика и информатика в наукоемком производстве». Дисциплина реализуется кафедрой «№1».

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих компетенций:

ПК-2 «Способен участвовать в работах по постановке и анализу задач моделирования наукоемкой продукции и процессов ее изготовления с использованием современных цифровых инструментов и информационных технологий»

ПК-5 «Способен использовать современные информационные технологии, стандартные средства автоматизации расчетов и проектирования в разработке проектов автоматизации наукоемких производств»

ПК-7 «Способен выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей наукоемкой продукции и процессов ее изготовления, стандартные методы и средства проектирования»

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с применением методов конечно-элементного анализа (МКЭ) для решения задач прикладной механики. В рамках дисциплины изучаются теоретические основы МКЭ, технология построения цифровых моделей, проведение статических, динамических и тепловых расчетов, а также интерпретация результатов моделирования применительно к задачам наукоемкого производства.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: *лекции, практические занятия, самостоятельная работа обучающегося.*

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация в форме экзамена (8 семестр).

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

Язык обучения по дисциплине «русский»

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

1.1. Цели преподавания дисциплины

Целью освоения дисциплины «Цифровое проектирование и моделирование в прикладной механике» является формирование у обучающихся системных знаний и практических навыков в области применения современных цифровых инструментов инженерного анализа для решения задач прикладной механики. Дисциплина направлена на подготовку специалистов, способных участвовать в полном цикле цифрового проектирования наукоемкой продукции: от постановки задачи и построения математической модели до проведения вычислительного эксперимента и анализа полученных результатов.

1.2. Дисциплина входит в состав части, формируемой участниками образовательных отношений, образовательной программы высшего образования (далее – ОП ВО).

1.3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП ВО.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен обладать следующими компетенциями или их частями. Компетенции и индикаторы их достижения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень компетенций и индикаторов их достижения

| Категория (группа) компетенции | Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции |
|--------------------------------|---|--|
| Профессиональные компетенции | ПК-2 Способен участвовать в работах по постановке и анализу задач моделирования наукоемкой продукции и процессов ее изготовления с использованием современных цифровых инструментов и информационных технологий | ПК-2.3.1 знать актуальную нормативную документацию в области автоматизации и управления; математические методы разработки моделей ПК-2.У.1 уметь ставить и анализировать задачи моделирования объектов и процессов ПК-2.В.1 владеть современными информационными технологиями разработки моделей с использованием цифровых инструментов |
| Профессиональные компетенции | ПК-5 Способен использовать современные информационные технологии, стандартные средства автоматизации расчетов и проектирования в разработке проектов автоматизации наукоемких производств | ПК-5.3.1 знать возможности применения современных методов прикладной математики и информатики в решении задач автоматизации и оптимального управления в наукоемком производстве ПК-5.У.1 уметь анализировать нормативную документацию в профессиональной области; применять современные информационные технологии, стандартные средства автоматизации расчетов и проектирования в разработке проектов для производственных и социальных предприятий, некоммерческих организаций, учреждений социальной сферы и др. ПК-5.В.1 владеть основными методами |

| | | |
|------------------------------|--|---|
| | | анализа функционирования АСУП |
| Профессиональные компетенции | ПК-7 Способен выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей наукоемкой продукции и процессов ее изготовления, стандартные методы и средства проектирования | <p>ПК-7.3.1 знать методы разработки математических моделей объектов автоматизации и управления</p> <p>ПК-7.У.1 уметь применять прикладные программные средства для анализа и синтеза моделей объектов и процессов</p> <p>ПК-7.В.1 владеть навыками использования пакетов и средств автоматизированного проектирования</p> |

2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина может базироваться на знаниях, ранее приобретенных обучающимися при изучении следующих дисциплин:

- «Математика. Аналитическая геометрия и линейная алгебра»,
- «Математика. Математический анализ»,
- «Механика»

Знания, полученные при изучении материала данной дисциплины, имеют как самостоятельное значение, так и используются при изучении других дисциплин:

- «Методы и средства измерений, испытаний и контроля»,
- «Основы технического анализа промышленной продукции»

3. Объем и трудоемкость дисциплины

Данные об общем объеме дисциплины, трудоемкости отдельных видов учебной работы по дисциплине (и распределение этой трудоемкости по семестрам) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Объем и трудоемкость дисциплины

| Вид учебной работы | Всего | Трудоемкость по семестрам |
|---|--------|---------------------------|
| | | №8 |
| 1 | 2 | 3 |
| Общая трудоемкость дисциплины, ЗЕ/ (час) | 3/ 108 | 3/ 108 |
| Из них часов практической подготовки | 20 | 20 |
| Аудиторные занятия, всего час. | 30 | 30 |
| в том числе: | | |
| лекции (Л), (час) | 10 | 10 |
| практические/семинарские занятия (ПЗ), (час) | 20 | 20 |
| лабораторные работы (ЛР), (час) | | |
| курсовой проект (работа) (КП, КР), (час) | | |
| экзамен, (час) | 36 | 36 |
| Самостоятельная работа, всего (час) | 42 | 42 |
| Вид промежуточной аттестации: зачет, дифф. зачет, экзамен (Зачет, Дифф. зач, Экз.) | Экз., | Экз., |

4. Содержание дисциплины

4.1. Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и видам занятий.

Разделы, темы дисциплины и их трудоемкость приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Разделы, темы дисциплины, их трудоемкость

| Разделы, темы дисциплины | Лекции (час) | ПЗ (СЗ) (час) | ЛР (час) | КП/КР (час) | СР (час) |
|--|-----------------|------------------|-------------|----------------|----------|
| Семестр 8 | | | | | |
| Раздел 1. Введение в цифровое проектирование и метод конечных элементов | 4 | 10 | | | 20 |
| Тема 1.1. Роль цифрового моделирования в наукоемком производстве. | 2 | 2 | | | 10 |
| Тема 1.2. Основы метода конечных элементов: базовые понятия, вариационная постановка, функции формы, матрицы жесткости | 2 | 4 | | | 10 |
| Раздел 2. Работа в программном комплексе ANSYS | | | | | |
| Тема 2.1. Архитектура ANSYS Workbench. Интерфейс, типы проектов, интеграция с CAD-системами | 6 | 10 | | | 22 |
| Тема 2.2. Создание конечно-элементной сетки: типы элементов, глобальные и локальные настройки, качество сетки | 2 | 4 | | | 8 |
| | 2 | 4 | | | 7 |
| Тема 2.3. Задание граничных условий, нагрузок, свойств материалов. Настройка решателя. Запуск расчета и визуализация результатов | 2 | 2 | | | 7 |
| Итого в семестре: | 10 | 20 | | | 42 |
| Итого | 10 | 20 | 0 | 0 | 42 |
| | | | | | |

Практическая подготовка заключается в непосредственном выполнении обучающимися определенных трудовых функций, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

4.2. Содержание разделов и тем лекционных занятий.

Содержание разделов и тем лекционных занятий приведено в таблице 4.

Таблица 4 – Содержание разделов и тем лекционного цикла

| Номер раздела | Название и содержание разделов и тем лекционных занятий |
|---------------|--|
| 1 | Раздел 1. Введение в цифровое проектирование и метод конечных элементов Тема 1.1. Роль цифрового моделирования в наукоемком производстве. Тема 1.2. Основы метода конечных элементов: базовые понятия, вариационная постановка, функции формы, матрицы жесткости |
| 2 | Раздел 2. Работа в программном комплексе ANSYS Тема 2.1. Архитектура ANSYS Workbench. Интерфейс, типы проектов, интеграция с CAD-системами Тема 2.2. Создание конечно-элементной сетки: типы элементов, глобальные и локальные настройки, качество сетки Тема 2.4. Задание граничных условий, нагрузок, свойств материалов. Настройка решателя. Запуск расчета и визуализация результатов |

4.3. Практические (семинарские) занятия

Темы практических занятий и их трудоемкость приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Практические занятия и их трудоемкость

| № п/п | Темы практических занятий | Формы практических занятий | Трудоемкость, (час) | Из них практической подготовки, (час) | № раздела дисциплины |
|-----------|---|---|---------------------|---------------------------------------|----------------------|
| Семестр 8 | | | | | |
| 1 | Создание проекта Тема 1.2. Основы метода конечных элементов: базовые понятия, вариационная постановка, функции формы, матрицы жесткости | Работа в САЕ-системе | 2 | | |
| 2 | Построение параметрической модели в DesignModeler Тема 1.2. Основы метода конечных элементов: базовые понятия, вариационная постановка, функции формы, матрицы жесткости | Работа в отдельном модуле | 4 | | |
| 3 | Матрица жесткости Тема 1.2. Основы метода конечных элементов: базовые понятия, вариационная постановка, функции формы, матрицы жесткости | Практическое задание под руководством преподавателя | 4 | | |
| 4 | Решение задачи статического прочностного расчета для балки Тема 2.1. Архитектура ANSYS Workbench. Интерфейс, типы проектов, интеграция с CAD-системами | Работа в отдельном модуле | 4 | | |
| 5 | Построение и оптимизация конечно-элементной сетки Тема 2.2. Создание конечно-элементной сетки: типы | Работа в отдельном модуле | 4 | | |

| | | | | | |
|-------|---|---------------------------|----|--|--|
| | элементов, глобальные и локальные настройки, качество сетки | | | | |
| 6 | Решение задачи статического прочностного расчета для сложной детали Тема 2.3. Задание граничных условий, нагрузок, свойств материалов. Настройка решателя. Запуск расчета и визуализация результатов | Компьютерный практикум | 2 | | |
| Всего | | | 20 | | |

4.4. Лабораторные занятия

Темы лабораторных занятий и их трудоемкость приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Лабораторные занятия и их трудоемкость

| № п/п | Наименование лабораторных работ | Трудоемкость, (час) | Из них практической подготовки, (час) | № раздела дисциплины |
|---------------------------------|---------------------------------|------------------------|--|----------------------------|
| Учебным планом не предусмотрено | | | | |
| | | | | |
| Всего | | | | |

4.5. Выполнение курсового проекта/ курсовой работы

Учебным планом не предусмотрено

4.6. Самостоятельная работа обучающихся

Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость

| Вид самостоятельной работы | Всего, час | Семестр 8, час |
|--|---------------|-------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| Изучение теоретического материала дисциплины (ТО) | 20 | 20 |
| Курсовое проектирование (КП, КР) | | |
| Расчетно-графические задания (РГЗ) | | |
| Выполнение реферата (Р) | | |
| Подготовка к текущему контролю успеваемости (ТКУ) | 10 | 10 |
| Домашнее задание (ДЗ) | | |

| | | |
|--|----|----|
| Контрольные работы заочников (КРЗ) | | |
| Подготовка к промежуточной аттестации (ПА) | 12 | 12 |
| Всего: | 42 | 42 |

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся указаны в п.п. разделов 6-11.

6. Перечень печатных и электронных учебных изданий
Перечень печатных и электронных учебных изданий приведен в таблице 8.
Таблица 8– Перечень печатных и электронных учебных изданий

| Шифр/ URL адрес | Библиографическая ссылка | Количество экземпляров в библиотеке (кроме электронных экземпляров) |
|---|---|---|
| Библиотека ГУАП | Статический анализ методом конечных элементов: учеб.-метод. пособие / Е. Э. Аман, И. Н. Лукьяненко; под ред. проф., д-ра физ.-мат. наук А. О. Смирнова. – СПб.: ГУАП, 2025. – 124 с | 5 |
| URL: https://e.lanbook.com/book/121830 Режим доступа: для авториз. пользователей. | Макаров, Е. Г. Метод конечных элементов в прочностных расчётах : учебное пособие / Е. Г. Макаров. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2017. — 136 с. — ISBN 978-5-906920-49-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. | |
| URL: https://e.lanbook.com/book/382265 Режим доступа: для авториз. пользователей. | Брытков, Е. В. Численное моделирование прочностных задач в среде ANSYS : учебное пособие / Е. В. Брытков. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2022. — 40 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система | |

**7. Перечень электронных образовательных ресурсов
информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

| № п/п | Наименование |
|-------|--|
| 1 | Электронная информационно-образовательная среда ГУАП «Интегрированная среда обучения» (https://pro.guap.ru/) разработана сотрудниками ГУАП (введена в эксплуатацию приказом ГУАП от 06.06.2017 № 05-215/17), перечень модулей и их функциональное назначение изложены по ссылке https://guap.ru/it/system/iso |
| 2 | Официальный сайт образовательной организации в сети «Интернет» (https://guap.ru/), разработан сотрудниками ГУАП (введен в эксплуатацию Приказом ГУАП от 23.03.2023 № 05-145/23) |
| 3 | Microsoft Office 2019 (договор ГУАП, информация о лицензии представлена по ссылке https://guap.ru/it/system/iso/po |
| 4 | LibreOffice 5 (Лицензия LGPLv3) |
| 5 | MozillaFirefox(лицензии GPL/LGPL/MPL) |
| 6 | Платформа nanoCAD, договор ГУАП, информация о лицензии представлена по ссылке https://guap.ru/it/system/iso/po |

8. Перечень информационных технологий

8.1. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Перечень используемого программного обеспечения представлен в таблице 10.

Таблица 10– Перечень программного обеспечения

| № п/п | Наименование |
|-------|------------------|
| | Не предусмотрено |

8.2. Перечень информационно-справочных систем,используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Перечень используемых информационно-справочных систем представлен в таблице 11.

Таблица 11– Перечень информационно-справочных систем

| № п/п | Наименование |
|-------|------------------|
| | Не предусмотрено |

9. Материально-техническая база

Состав материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине, представлен в таблице12.

Таблица 12 – Состав материально-технической базы

| № п/п | Наименование составной части материально-технической базы | Номер аудитории (при необходимости) |
|-------|---|-------------------------------------|
| 1 | Аудитория для проведения занятий лекционного типа - | Фонд лекционных |

| | | |
|---|--|----------------------------|
| | оснащена специализированной (учебной) мебелью; техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории (в том числе, возможность доступа в ЭИОС ГУАП через точку доступа WiFi); переносным набором демонстрационного оборудования | аудиторий ГУАП |
| 2 | Помещение для самостоятельной работы - оснащено специализированной (учебной) мебелью; компьютерной техникой с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде Специализированная мебель; технические средства обучения, служащие для представления учебной информации большой аудитории; лабораторное оборудование (ПЭВМ - 14 шт., объединенных в локальную вычислительную сеть с выходом в вычислительную сеть ГУАП и Интернет) | 24-12 (ул. Гастелло, д.15) |
| 3 | Аудитория для проведения занятий семинарского типа (в том числе практических занятий), для текущего контроля и промежуточной аттестации, для проведения групповых индивидуальных консультаций, помещение для воспитательной работы – оснащена специализированной (учебной) мебелью; техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации (в том числе, возможность доступа в ЭИОС ГУАП через точку доступа WiFi или по локальной вычислительной сети). Специализированная мебель; технические средства обучения, служащие для представления учебной информации большой аудитории; лабораторное оборудование (ПЭВМ - 14 шт., объединенных в локальную вычислительную сеть с выходом в вычислительную сеть ГУАП и Интернет) | 24-12 (ул. Гастелло 15) |

10. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

10.1. Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

| Вид промежуточной аттестации | Перечень оценочных средств |
|------------------------------|---|
| Экзамен | Список вопросов к экзамену; Экзаменационные билеты*; Тесты. |

Примечание: *экзаменационные билеты формируются на основе вопросов и задач таблицы 15.

10.2. В качестве критериев оценки уровня сформированности (освоения) компетенций обучающимися применяется 5-балльная шкала оценки сформированности компетенций, которая приведена в таблице 14. В течение семестра может использоваться 100-балльная шкала модульно-рейтинговой системы Университета, правила использования которой, установлены соответствующим локальным нормативным актом ГУАП.

Таблица 14 – Критерии оценки уровня сформированности компетенций

| Оценка компетенции 5-балльная шкала | Характеристика сформированных компетенций |
|--|--|
| «отлично» «зачтено» | Обучающийся: – глубоко и всесторонне усвоил программный материал; – уверенно, логично, последовательно и грамотно его излагает; – опираясь на знания основной и дополнительной литературы, тесно связывает усвоенные научные положения с практической деятельностью направления; – умело обосновывает и аргументирует выдвигаемые им идеи; – делает выводы и обобщения; – свободно владеет системой специализированных понятий. – правильно выполнил от 90% до 100% тестовых заданий**. |
| «хорошо» «зачтено» | Обучающийся: – твердо усвоил программный материал, грамотно и по существу излагает его, опираясь на знания основной литературы; – не допускает существенных неточностей; – увязывает усвоенные знания с практической деятельностью направления; – аргументирует научные положения; – делает выводы и обобщения; – владеет системой специализированных понятий. – правильно выполнил от 70% до 89% тестовых заданий**. |
| «удовлетворительно» «зачтено» | – обучающийся усвоил только основной программный материал, по существу излагает его, опираясь на знания только основной литературы; – допускает несущественные ошибки и неточности; – испытывает затруднения в практическом применении знаний направления; – слабо аргументирует научные положения; – затрудняется в формулировании выводов и обобщений; – частично владеет системой специализированных понятий. – правильно выполнил от 51% до 69% тестовых заданий**. |
| «неудовлетворительно» «не зачтено» | – обучающийся не усвоил значительной части программного материала; – допускает существенные ошибки и неточности при рассмотрении проблем в конкретном направлении; – испытывает трудности в практическом применении знаний; – не может аргументировать научные положения; – не формулирует выводов и обобщений. – правильно выполнил менее 51% тестовых заданий**. |

10.3. Типовые контрольные задания или иные материалы.

Вопросы (задачи) для экзамена представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Вопросы (задачи) для экзамена

| № п/п | Перечень вопросов (задач) для экзамена | Код индикатора |
|-------|--|----------------|
| 1 | Понятие метода конечных элементов (МКЭ). История развития. Области применения. | ПК-2.3.1 |
| 2 | Вариационная постановка задачи для одномерного элемента. Функции формы. | |
| 3 | Архитектура и основные компоненты пакета ANSYS Workbench. | |
| 4 | Построение геометрии в ANSYS DesignModeler. Импорт CAD-моделей. | |
| 5 | Построение конечно-элементной сетки. Типы элементов, | ПК-2.У.1 |

| | | |
|----|---|----------|
| | критерии качества сетки. | |
| 6 | Задание граничных условий и нагрузок в ANSYS Mechanical. | |
| 7 | Статический прочностной расчет. Анализ напряженно-деформированного состояния (НДС). | |
| 8 | Динамический анализ: модальный анализ (собственные частоты и формы колебаний). | |
| 9 | Тепловые расчеты: стационарная и нестационарная теплопроводность. | ПК-2.В.1 |
| 10 | Верификация и валидация результатов моделирования. Сходимость. | |
| 11 | Способы визуализации результатов в ANSYS. Построение графиков, эпюр, изополей. | |
| 12 | Практическая задача: выполнить статический прочностной расчет детали в ANSYS, проанализировать НДС и сделать вывод о прочности. | ПК-5.3.1 |
| 13 | Понятие метода конечных элементов (МКЭ). История развития. Области применения. | |
| 14 | Вариационная постановка задачи для одномерного элемента. Функции формы. | |
| 15 | Архитектура и основные компоненты пакета ANSYS Workbench. | |
| 16 | Построение геометрии в ANSYS DesignModeler. Импорт CAD-моделей. | ПК-5.У.1 |
| 17 | Построение конечно-элементной сетки. Типы элементов, критерии качества сетки. | |
| 18 | Задание граничных условий и нагрузок в ANSYS Mechanical. | |
| 19 | Статический прочностной расчет. Анализ напряженно-деформированного состояния (НДС). | |
| 20 | Динамический анализ: модальный анализ (собственные частоты и формы колебаний). | ПК-5.В.1 |
| 21 | Тепловые расчеты: стационарная и нестационарная теплопроводность. | |
| 22 | Верификация и валидация результатов моделирования. Сходимость. | |
| 23 | Способы визуализации результатов в ANSYS. Построение графиков, эпюр, изополей. | |
| 24 | Практическая задача: выполнить статический прочностной расчет детали в ANSYS, проанализировать НДС и сделать вывод о прочности. | ПК-7.3.1 |
| 25 | Критерии сходимости конечно-элементного решения. Способы оценки погрешности. | |
| 26 | Понятие и назначение суперэлементов в ANSYS. Области применения. | |
| 27 | Особенности моделирования контактных взаимодействий в ANSYS Mechanical. Типы контактов. | |
| 28 | Нелинейные задачи в прикладной механике: физическая и геометрическая нелинейность. Способы их решения в ANSYS. | ПК-7.У.1 |
| 29 | Анализ устойчивости (потеря устойчивости) конструкций | |

| | | |
|----|--|----------|
| | в ANSYS. Методика проведения и интерпретация результатов. | |
| 30 | Понятие эквивалентных напряжений (по Мизесу, Треска) и их применение в прочностном анализе. | |
| 31 | Методы оптимизации конструкции на основе результатов конечно-элементного анализа в ANSYS. | |
| 32 | Инструменты параметрической оптимизации в ANSYS Workbench (DesignXplorer, параметрические исследования). | ПК-7.В.1 |
| 33 | Сопряжённые задачи (FSI – взаимодействие жидкости и конструкции) в ANSYS. Особенности моделирования. | |
| 34 | Применение метода конечных элементов для решения задач теплопроводности и термоупругости. | |
| 35 | Использование ANSYS для моделирования композитных материалов. Многослойные оболочки и критерии разрушения. | |
| | Особенности построения сетки для тонкостенных конструкций и элементов с концентраторами напряжений. | |
| | Адаптивное построение сетки (h-адаптация, p-адаптация) в ANSYS. Назначение и применение. | |
| | Основы модального анализа: определение собственных частот и форм колебаний в ANSYS. | |
| | Гармонический анализ в ANSYS: назначение, постановка задачи, анализ частотных характеристик. | |
| | Проведение спектрального анализа (анализ реакции на случайные вибрации) в ANSYS. | |
| | Постановка и решение задачи нестационарного теплового анализа в ANSYS. Граничные условия 3-го рода. | |
| | Расчёт термонапряжённого состояния: последовательный и прямой способы решения в ANSYS. | |
| | Верификация результатов моделирования: сравнение с аналитическими решениями и экспериментальными данными. | |
| | Валидация модели: понятие, цели, методы. Валидация на основе экспериментальных данных. | |
| | Методы визуализации и постобработки результатов: эпюры напряжений, деформаций, изополя, графики. | |
| | Понятие коэффициента запаса прочности. Способы оценки запаса прочности по результатам расчёта в ANSYS. | |
| | Практическая задача: выполнить тепловой расчёт пластины в ANSYS, построить распределение температуры и оценить термонапряжённое состояние. | |

Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета представлены в таблице 16.
Таблица 16 – Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета

| № п/п | Перечень вопросов (задач) для зачета / дифф. зачета | Код индикатора |
|-------|---|----------------|
| | Учебным планом не предусмотрено | |

Перечень тем для выполнения курсового проекта/ курсовой работы представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Перечень тем для выполнения курсового проекта / курсовой работы

| № п/п | Примерный перечень тем для выполнения курсового проекта/ курсовой работы |
|-------|--|
| | Учебным планом не предусмотрено |

Вопросы для проведения промежуточной аттестации в виде тестирования представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Примерный перечень вопросов для тестов

| № п/п | Примерный перечень вопросов для тестов | Код индикатора |
|-------|---|----------------|
| 1 | Какое уравнение лежит в основе линейного статического анализа МКЭ? А) $[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = F(t)$; Б) $[K]\{u\} = F$; В) $[K]\{u\} = 0$; Г) $[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = 0$. Правильный ответ: Б | ПК-5.3.1 |
| 2 | Какие из перечисленных явлений относятся к источникам нелинейности в механике? (выберите несколько) А) малые деформации; Б) пластичность материала; В) контакт с трением; Г) большие перемещения; Д) линейная упругость. Правильные ответы: Б, В, Г | |
| 3 | Установите соответствие между типом анализа и его назначением: 1) Модальный анализ; 2) Стационарный тепловой анализ; 3) Гармонический анализ. А) расчёт распределения температуры; Б) определение собственных частот; В) расчёт отклика на синусоидальную нагрузку. Ответ: 1-Б, 2-А, 3-В | |
| 4 | Установите последовательность этапов компьютерного моделирования: А) постпроцессорная обработка; Б) построение сетки; В) постановка задачи и геометрия; Г) решение; Д) задание материалов и граничных условий. Правильный порядок: В → Б → Д → Г → А | |
| 5 | Опишите (развернутый ответ) методику верификации конечно-элементной модели с помощью сеточной сходимости. Какие шаги необходимо выполнить и как оценить погрешность? (Ответ: построить три сетки (грубую, среднюю, мелкую), провести расчёты, сравнить ключевой параметр (например, максимальное напряжение), вычислить относительное изменение, применить экстраполяцию Ричардсона и рассчитать индекс GCI.) | |
| 6 | В каком случае при модальном анализе появляются нулевые собственные частоты? А) при полном закреплении; Б) при отсутствии закрепления (свободное тело); В) при задании нагрузки; Г) при использовании контактов Bonded. Правильный ответ: Б | ПК-5.У.1 |
| 7 | Какие граничные условия могут быть заданы в стационарном тепловом анализе? (выберите несколько) А) температура (Temperature); Б) удельный тепловой поток (Heat Flux); В) смещение (Displacement); Г) конвекция (Convection); Д) излучение (Radiation). Правильные ответы: А, Б, Г, Д | |
| 8 | Установите соответствие между типом контакта и его поведением: 1) Bonded; 2) Frictional; 3) No Separation. А) возможна передача касательных сил с трением, но разделение допустимо; Б) поверхности «склеены», относительное перемещение невозможно; | |

| | | |
|----|--|----------|
| | В) возможно скольжение с трением, разделение допустимо. Ответ: 1-Б, 2-В, 3-А | |
| 9 | Установите последовательность действий при выполнении сопряжённого термо-прочностного расчёта в Workbench: А) импорт температуры как нагрузки в статический анализ; Б) создание проекта Steady-State Thermal; В) создание проекта Static Structural; Г) соединение решений (Solution) перетаскиванием; Д) задание тепловых граничных условий и решение. Правильный порядок: Б → Д → В → Г → А | |
| 10 | Напишите развернутый ответ. Какие основные настройки нелинейного расчёта (Large Deflection, автоматический подшаг, метод решения) влияют на сходимость? Как выбрать начальный шаг по времени? (Ответ: Large Deflection – учёт геометрической нелинейности; Auto Time Stepping – автоматическое уменьшение шага при трудностях; Solver Type – Direct (Sparse) для оболочек/балок, Iterative (PCG) для объёмных моделей; начальный шаг рекомендуется задавать 0.1–0.01 от полной нагрузки; при несходимости – уменьшать начальный подшаг или включать стабилизацию.) | |
| 11 | Что позволяет выполнить операция Solution Combination (комбинирование решений)? А) объединить результаты нескольких статических расчётов с весовыми коэффициентами; Б) удалить результаты; В) изменить сетку; Г) применить топологическую оптимизацию. Правильный ответ: А | ПК-5.В.1 |
| 12 | Какие из перечисленных критериев используются для оценки качества сетки в расчётах МКЭ? (выберите несколько) А) Skewness (скос); Б) Orthogonal Quality (ортогональное качество); В) Aspect Ratio (соотношение сторон); Г) Цвет фона; Д) Jacobian Ratio (соотношение Якоби). Правильные ответы: А, Б, В, Д | |
| 13 | Установите соответствие между этапом научного исследования и его содержанием: 1) верификация; 2) валидация; 3) калибровка. А) сравнение с физическим экспериментом; Б) подбор параметров модели под известные данные; В) проверка правильности численного решения. Ответ: 1-В, 2-А, 3-Б | |
| 14 | Установите последовательность этапов подготовки научной статьи по вычислительному моделированию: А) написание раздела «Результаты»; Б) формулировка выводов; В) обзор литературы и постановка задачи; Г) описание математической модели и метода; Д) создание иллюстраций (эпюр, графиков). Правильный порядок: В → Г → А → Д → Б (возможны варианты, но важно логическое построение) | |
| 15 | Напишите развернутый ответ. Каковы основные требования журналов ВАК/Scopus к представлению результатов вычислительного эксперимента (разрешение эпюр, цветовые схемы, единицы измерения)? Как правильно оформить сравнение с аналитическим решением? (Ответ: эпюры не должны использовать красный-зелёный спектр (хорошо – синий-белый-красный); указывать числовые диапазоны в легенде; все оси графиков должны быть подписаны с единицами; для сравнения – таблица или график с погрешностью; ссылка на аналитическую формулу обязательна.) | |

Перечень тем контрольных работ по дисциплине обучающихся заочной формы обучения, представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Перечень контрольных работ

| № п/п | Перечень контрольных работ |
|-------|----------------------------|
| | Не предусмотрено |

10.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания индикаторов, характеризующих этапы формирования компетенций, содержатся в локальных нормативных актах ГУАП, регламентирующих порядок и процедуру проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся ГУАП.

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

11.1. Методические указания для обучающихся по освоению лекционного материала

Основное назначение лекционного материала – логически стройное, системное, глубокое и ясное изложение учебного материала. Назначение современной лекции в рамках дисциплины не в том, чтобы получить всю информацию по теме, а в освоении фундаментальных проблем дисциплины, методов научного познания, новейших достижений научной мысли. В учебном процессе лекция выполняет методологическую, организационную и информационную функции. Лекция раскрывает понятийный аппарат конкретной области знания, её проблемы, дает цельное представление о дисциплине, показывает взаимосвязь с другими дисциплинами.

Планируемые результаты при освоении обучающимися лекционного материала:

- получение современных, целостных, взаимосвязанных знаний, уровень которых определяется целевой установкой к каждой конкретной теме;
- получение опыта творческой работы совместно с преподавателем;
- развитие профессионально-деловых качеств, любви к предмету и самостоятельного творческого мышления.
- появление необходимого интереса, необходимого для самостоятельной работы;
- получение знаний о современном уровне развития науки и техники и о прогнозе их развития на ближайшие годы;
- научиться методически обрабатывать материал (выделять главные мысли и положения, приходить к конкретным выводам, повторять их в различных формулировках);
- получение точного понимания всех необходимых терминов и понятий.

Лекционный материал может сопровождаться демонстрацией слайдов и использованием раздаточного материала при проведении коротких дискуссий об особенностях применения отдельных тематик по дисциплине.

Структура предоставления лекционного материала:

- вводная часть (формулировка темы, целей и задач, актуальность);
- основная часть (изложение теоретического материала с демонстрацией примеров и иллюстраций);
- заключительная часть (резюме, выводы, ответы на вопросы, рекомендации по литературе).

Методические указания по освоению лекционного материала размещены в ЭИОС ГУАП «Интегрированная среда обучения» (<https://pro.guap.ru/>) в разделе дисциплины, а также доступны в виде презентаций на кафедре № 1.

11.2. Методические указания для обучающихся по прохождению практических занятий

Практическое занятие является одной из основных форм организации учебного процесса, заключающаяся в выполнении обучающимися под руководством преподавателя комплекса учебных заданий с целью усвоения научно-теоретических основ учебной дисциплины, приобретения умений и навыков, опыта творческой деятельности.

Целью практического занятия для обучающегося является привитие обучающимся умений и навыков практической деятельности по изучаемой дисциплине.

Планируемые результаты при освоении обучающимся практических занятий:

- закрепление, углубление, расширение и детализация знаний при решении конкретных задач;
- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности;
- овладение новыми методами и методиками изучения конкретной учебной дисциплины;
- выработка способности логического осмысления полученных знаний для выполнения заданий;
- обеспечение рационального сочетания коллективной и индивидуальной форм обучения.

Требования к проведению практических занятий

На практических занятиях обучающиеся выполняют сквозные практические задания в среде ANSYS Workbench, последовательно осваивая все этапы конечно-элементного моделирования:

- создание или импорт геометрической модели;*
- назначение свойств материалов;*
- построение конечно-элементной сетки с обоснованием выбора типа элементов и параметров дискретизации;*
- задание граничных условий и нагрузок;*
- настройка решателя и выполнение расчёта;*
- постобработка и анализ результатов (визуализация полей напряжений, деформаций, перемещений, построение графиков);*
- оформление отчёта с выводами.*

Каждое занятие начинается с краткого инструктажа преподавателя, затем студенты работают индивидуально или в парах. В конце занятия проводится защита выполненного задания с обсуждением полученных результатов. Особое внимание уделяется проверке сходимости решения и оценке достоверности результатов.

Методические указания по прохождению практических занятий размещены в ЭИОС ГУАП (<https://pro.guap.ru/>) в разделе дисциплины и содержат пошаговые инструкции по выполнению заданий.

11.3. Методические указания для обучающихся по прохождению самостоятельной работы

В ходе выполнения самостоятельной работы, обучающийся выполняет работу по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Для обучающихся по заочной форме обучения выполнение контрольных работ является элементом текущего контроля успеваемости и самостоятельной работы

В процессе выполнения самостоятельной работы у обучающегося формируется целесообразное планирование рабочего времени, которое позволяет ему развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий

уровень успеваемости в период обучения, помогает получить навыки повышения профессионального уровня.

Методическими материалами, направляющими самостоятельную работу обучающихся являются:

- учебно-методический материал по дисциплине;
- методические указания по выполнению контрольных работ (для обучающихся по заочной форме обучения).

Виды самостоятельной работы по дисциплине:

Изучение теоретического материала – работа с конспектами лекций, учебной литературой и электронными ресурсами по темам: основы МКЭ, конечно-элементная дискретизация, типы элементов, способы задания граничных условий, статические и динамические расчёты, тепловые задачи. Рекомендуется вести краткий конспект основных определений, формул и алгоритмов.

Выполнение домашних заданий – самостоятельное решение задач по построению конечно-элементных моделей в ANSYS. Задания включают: моделирование простых конструкций (балка, пластина, кронштейн), проведение статического и модального анализа, оформление отчётов. Домашние задания направлены на закрепление навыков работы в САЕ-системе и подготовку к экзамену.

Подготовка к текущему контролю – повторение пройденного материала, выполнение тренировочных тестов, решение типовых задач.

Подготовка к промежуточной аттестации – систематизация изученного материала, изучение вопросов к экзамену, разбор практических задач, выполнение пробных расчётов.

Методическими материалами, направляющими самостоятельную работу обучающихся, являются:

конспекты лекций и презентации, размещённые в ЭИОС ГУАП;

учебные пособия, указанные в разделе 6;

методические указания по выполнению домашних заданий (размещены на кафедре № 1 и в ЭИОС);

справочная система ANSYS Help.

Методические указания по прохождению самостоятельной работы размещены в ЭИОС ГУАП (<https://pro.guap.ru/>) в разделе дисциплины.

11.4. Методические указания для обучающихся по прохождению текущего контроля успеваемости.

Текущий контроль успеваемости предусматривает контроль качества знаний обучающихся, осуществляемого в течение семестра с целью оценивания хода освоения дисциплины.

Формы текущего контроля:

Защита результатов практических занятий – по окончании каждого практического занятия обучающийся должен продемонстрировать выполненное задание, пояснить выбранные параметры модели (тип элементов, размер сетки, граничные условия) и интерпретировать полученные результаты. Оценка учитывает правильность выполнения, обоснованность принятых решений и качество оформления.

Проверка выполнения домашних заданий – домашние задания сдаются в электронном виде (отчёты в формате PDF) и защищаются устно. Проверяется корректность постановки задачи, выбор параметров модели, достоверность результатов и обоснованность выводов.

Тестирование по разделам дисциплины – проводится 2 контрольных тестирования в семестре (по итогам разделов 1–2 и 3). Тесты содержат вопросы на знание теории МКЭ, архитектуры ANSYS, этапов моделирования, типов элементов, граничных условий и способов интерпретации результатов.

Учёт результатов текущего контроля при промежуточной аттестации:

Результаты текущего контроля суммируются в рейтинговой системе (100-балльная шкала) и влияют на допуск к экзамену. Студент, имеющий высокий рейтинг (более 70 баллов), может получить на экзамене дополнительные вопросы повышенной сложности или освобождаться от части теоретических вопросов при ответе (по решению преподавателя). Обучающиеся, не выполнившие домашние задания или имеющие пропуски практических занятий без уважительной причины, получают дополнительные вопросы на экзамене.

11.5. Методические указания для обучающихся по прохождению промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация обучающихся предусматривает оценивание промежуточных и окончательных результатов обучения по дисциплине. Она включает в себя:

– экзамен – форма оценки знаний, полученных обучающимся в процессе изучения всей дисциплины или ее части, навыков самостоятельной работы, способности применять их для решения практических задач. Экзамен, как правило, проводится в период экзаменационной сессии и завершается аттестационной оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

По дисциплине предусмотрена промежуточная аттестация в форме экзамена.

Требования к проведению экзамена:

Экзамен проводится в период экзаменационной сессии и завершается аттестационной оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Форма проведения экзамена – устный ответ по экзаменационному билету с выполнением практического задания. Экзаменационный билет включает два теоретических вопроса и одну практическую задачу.

Структура экзаменационного билета:

Теоретический вопрос № 1 – проверка знаний основ метода конечных элементов, математических моделей, типов конечных элементов, способов построения сетки, задания граничных условий (соответствует индикаторам ПК-2.3.1, ПК-7.3.1, ПК-5.3.1).

Теоретический вопрос № 2 – проверка знаний особенностей работы в ANSYS Workbench, проведения статических, динамических, тепловых расчётов, постобработки и верификации результатов (соответствует индикаторам ПК-2.У.1, ПК-5.У.1, ПК-7.У.1).

Практическая задача – обучающемуся предлагается описать алгоритм решения конкретной задачи в ANSYS: выбрать тип анализа, обосновать выбор элементов, указать способ построения сетки и задания граничных условий, интерпретировать ожидаемые результаты (соответствует индикаторам ПК-2.В.1, ПК-5.В.1, ПК-7.В.1).

Критерии оценивания на экзамене:

оценка «отлично» – полные, развёрнутые и глубокие ответы на все вопросы, правильное решение практической задачи с обоснованием всех этапов, уверенное владение терминологией и методами;

оценка «хорошо» – полные ответы на вопросы, но допущены незначительные ошибки или неточности; практическая задача решена верно, но без достаточных обоснований;

оценка «удовлетворительно» – ответы на вопросы неполные, содержание в основном соответствует теме, но имеются ошибки; практическая задача решена с ошибками или не до конца;

оценка «неудовлетворительно» – отсутствие ответа на вопросы или грубые ошибки по основным разделам дисциплины; практическая задача не решена или решена неверно.

Время на подготовку – не более 60 минут.

На экзамене разрешается пользоваться справочной документацией ANSYS (распечатанной или в электронном виде), а также конспектами лекций и учебными пособиями. Использование готовых моделей из интернета или обмен информацией между студентами запрещён.

Порядок проведения экзамена:

Проверка допуска к экзамену (отсутствие академических задолженностей, наличие выполненных домашних заданий).

Получение экзаменационного билета.

Подготовка в письменной или устной форме (по желанию студента).

Устный ответ преподавателю с демонстрацией знаний и практических навыков.

Дополнительные вопросы (при необходимости) для уточнения уровня сформированности компетенций.

Методические материалы для подготовки к экзамену (список вопросов, примеры практических заданий, перечень рекомендуемой литературы) размещены в ЭИОС ГУАП (<https://pro.guap.ru/>) и на кафедре № 1.

Лист внесения изменений в рабочую программу дисциплины

| Дата внесения изменений и дополнений. Подпись внесшего изменения | Содержание изменений и дополнений | Дата и № протокола заседания кафедры | Подпись зав. кафедрой |
|---|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |