

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 научных исследованиях»
(Наименование дисциплины)

Код направления подготовки/ специальности	01.04.02
Наименование направления подготовки/ специальности	Прикладная математика и информатика
Наименование направленности/ специализации	Математическое и компьютерное моделирование
Форма обучения	Очная
Год приема	2026

Санкт-Петербург– 2026

Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил (а)

Доц., к.т.н., доц.

(должность, уч. степень, звание)

08.12.25

(подпись, дата)

Е.Э. Аман

(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 научных исследованиях» входит в образовательную программу высшего образования – программу магистратуры по направлению подготовки/ специальности 01.04.02 «Прикладная математика и информатика» направленности/специализации «Математическое и компьютерное моделирование». Дисциплина реализуется кафедрой «№1».

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих компетенций:

ПК-5 «Способен разрабатывать и применять компьютерное программное обеспечение для решения задач моделирования в профессиональной деятельности»

Содержание дисциплины «Цифровое проектирование и моделирование в научных исследованиях» охватывает круг вопросов, связанных с теоретическими основами и практическим применением численных методов (МКЭ и МКО) для решения задач механики деформируемого твёрдого тела, теплопередачи и гидрогазодинамики, включая линейные и нелинейные постановки (геометрическая, физическая и контактная нелинейность), модальный и динамический анализ, многошаговое нагружение, а также сопряжённый термо-прочностной расчёт. Особое внимание уделяется методологии верификации и валидации вычислительных экспериментов – построению сеточной сходимости с экстраполяцией Ричардсона, оценке погрешности, контролю критериев сходимости и интерпретации результатов. Дисциплина формирует у магистрантов навыки корректной постановки расчётных задач, анализа и визуализации результатов (эпюры, графики, таблицы), а также их оформления в формате научных публикаций (статей и тезисов), что обеспечивает комплексную подготовку к проведению самостоятельных исследований и подготовке публикаций.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: *лекции, лабораторные работы, самостоятельная работа обучающегося, курсовой проект/ курсовая работа.*

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация в форме экзамена (2 семестр).

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

Язык обучения по дисциплине «русский»

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

1.1. Цели преподавания дисциплины

Цели преподавания дисциплины «Цифровое проектирование и моделирование в научных исследованиях» заключаются в получении обучающимися необходимых знаний, умений и навыков в области применения численных методов (МКЭ и МКО) для решения актуальных задач механики твёрдого деформируемого тела, теплопередачи и гидрогазодинамики с учётом линейных и нелинейных эффектов, включая геометрическую и физическую нелинейность, контактные взаимодействия, модальный и динамический анализ, а также многошаговое и сопряжённое термо-прочностное моделирование. Дисциплина направлена на создание поддерживающей образовательной среды, позволяющей магистрантам освоить методологию верификации и валидации вычислительных экспериментов – от построения сеточной сходимости и оценки погрешности до контроля критериев сходимости решения. Кроме того, она предоставляет возможность развить и продемонстрировать способность анализировать и интерпретировать результаты моделирования, оформлять их в виде научных публикаций (статей, тезисов, графических материалов), что в полной мере соответствует полидисциплинарному характеру образовательной программы магистратуры по направлению «Прикладная математика и информатика».

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-5 Способен разрабатывать и применять компьютерное программное обеспечение для решения задач моделирования в профессиональной деятельности	ПК-5.3.1 знать инструментальные средства и методологии разработки программного обеспечения для моделирования объектов и процессов ПК-5.У.1 уметь применять инструментальные средства и методологии разработки программного обеспечения для моделирования объектов и процессов ПК-5.В.1 владеть методологиями разработки программного обеспечения для моделирования объектов и процессов

2. Место дисциплины в структуре ОП

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

- «Механика»,
- «Цифровое проектирование и моделирование в прикладной механике»,
- «Математические основы систем управления»

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

- «Программная инженерия»,
- «Научно-исследовательская практика»,

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
		№2
1	2	3
Общая трудоемкость дисциплины, ЗЕ/ (час)	4/ 144	4/ 144
Из них часов практической подготовки	34	34
Аудиторные занятия, всего час.	51	51
в том числе:		
лекции (Л), (час)	17	17
практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)		
лабораторные работы (ЛР), (час)	17	17
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)	17	17
экзамен, (час)	36	36
Самостоятельная работа, всего (час)	57	57
Вид промежуточной аттестации: зачет, дифф. зачет, экзамен (Зачет, Дифф. зач, Экз.)	Экз., Курс. Пр.	Экз., Курс. Пр.

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 (час)	СРС (час)
Семестр 2					
Раздел 1. Основы цифрового моделирования физических процессов			12		20
Тема 1.1. Введение в компьютерное инженерное моделирование. Классификация моделей	12		2		
Тема 1.2. Математические основы: методы конечных элементов и конечных объемов	3		2		5
Тема 1.3. Особенности нелинейных задач (геометрическая, физическая, контактная нелинейность)	3		2		5
	3		2		5
Тема 1.4. Инструментарий CAE- систем: обзор и принципы работы	3		2		5
Раздел 2. Методология и практика цифровых исследований	5		5		37
Тема 2.1. Верификация и валидация вычислительных экспериментов	2		2		10
Тема 2.2. Параметрические исследования и оптимизация конструкций	2		3		10
Тема 2.3. Подготовка научных публикаций по результатам моделирования	1				17

Выполнение курсового проекта				17	
Итого в семестре:	17		17	17	57
Итого	17	0	17	17	57

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	<p>Раздел 1. Основы цифрового моделирования физических процессов</p> <p>Тема 1.1. Введение в компьютерное инженерное моделирование. Классификация моделей</p> <p>Место цифрового моделирования в современной науке и технике. Понятие модели, математической модели, имитационной модели. Классификация моделей: детерминированные и стохастические, статические и динамические, дискретные и непрерывные. Понятие цифрового двойника.</p> <p>Тема 1.2. Математические основы: методы конечных элементов и конечных объемов</p> <p>Основное уравнение МКЭ: $[K]\{u\} = \{F\}$. Метод Галёркина, принцип минимума потенциальной энергии. Дискретизация расчётной области, функции формы. Метод конечных объёмов: интегральная форма законов сохранения, баланс потоков. Области применения МКЭ и МКО.</p> <p>Тема 1.3. Особенности нелинейных задач (геометрическая, физическая, контактная нелинейность)</p> <p>Условия возникновения нелинейностей. Геометрическая нелинейность (большие перемещения, повороты, деформации). Физическая нелинейность: пластичность, гиперупругость, ползучесть. Контактная нелинейность: типы контактов, алгоритмы (штрафные функции, множители Лагранжа, MPC). Метод Ньютона-Рафсона, критерии сходимости, бисекция.</p> <p>Тема 1.4. Инструментарий CAE- систем: обзор и принципы работы</p> <p>Типовой интерфейс CAE- систем (препроцессор, решатель, постпроцессор). Обзор ПО. Особенности выбора ПО для различных физических задач.</p>
2	<p>Раздел 2. Методология и практика цифровых исследований</p> <p>Тема 2.1. Верификация и валидация вычислительных экспериментов</p> <p>Понятия верификации (правильность решения уравнений) и валидации (соответствие модели реальности). Методы верификации: сходимость по сетке (экстраполяция Рундсона, индекс GCI), сравнение с аналитическими решениями. Методы валидации: сопоставление с физическим экспериментом, чувствительность к параметрам.</p> <p>Тема 2.2. Параметрические исследования и оптимизация конструкций</p> <p>Постановка параметрического исследования: выбор параметров,</p>

	<p>диапазонов, целевых функций. Методы планирования вычислительного эксперимента (полный факторный, латинский гиперкуб). Методы оптимизации: топологическая, параметрическая. Использование встроенных оптимизаторов CAE- систем.</p> <p>Тема 2.3. Подготовка научных публикаций по результатам моделирования</p> <p>Структура научной статьи (аннотация, введение, методы, результаты, обсуждение, выводы). Представление результатов моделирования: эпюры, графики, таблицы, векторные поля. Требования к иллюстрациям в журналах ВАК, Scopus, WoS. Академическое письмо, правила цитирования.</p>
--	--

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 дисцип Лины
Учебным планом не предусмотрено					
Всего					

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 дисцип Лины
Семестр 2				
1	Построение и исследование сеточной сходимости на примере растяжения стержня (варьирование размера элемента, оценка GCI).	2		1
2	Линейный статический анализ консольной балки: вычисление прогиба, сравнение с аналитическим решением.	2		1
3	Модальный анализ простой конструкции: определение собственных частот и форм колебаний (влияние граничных условий).	2		1
4	Влияние типа конечного элемента и плотности сетки на результаты (сравнение линейных и квадратичных элементов).	2		1
5	Параметрическое исследование: влияние геометрии (высота сечения балки) на максимальные напряжения и массу.	2		1
6	Стационарный тепловой анализ пластины с конвекцией и излучением: построение	2		1

	эпюр температур и тепловых потоков.			
7	Нелинейный контактный анализ: сравнение типов контакта (Bonded, Frictional, No Separation), оценка проникновения.	2		2
8	Комплексное моделирование научного исследования (на выбор: термо-прочностной расчёт или многошаговый анализ с комбинированием решений).	3		2
Всего		17		

4.5. Выполнение курсового проекта/ курсовой работы

Цель курсового проекта:

Часов практической подготовки:

Примерные темы заданий на курсовой проект приведены в разделе 10 РПД.

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 2, час
1	2	3
Изучение теоретического материала дисциплины (ТО)	25	25
Курсовое проектирование (КП, КР)	17	17
Расчетно-графические задания (РГЗ)		
Выполнение реферата (Р)		
Подготовка к текущему контролю успеваемости (ТКУ)	5	5
Домашнее задание (ДЗ)		
Контрольные работы заочников (КРЗ)		
Подготовка к промежуточной аттестации (ПА)	10	10
Всего:	57	57

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)
--------------------	--------------------------	---

https://e.lanbook.com/book/59285 Режим доступа: для авториз. пользователей.	Самарский, А. А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры : монография / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. — 2-е изд. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2005. — 320 с. — ISBN 5-9221-0120-X. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.	
https://e.lanbook.com/book/295757 Режим доступа: для авториз. пользователей.	Сирота, Д. Ю. Уравнения математической физики : учебное пособие / Д. Ю. Сирота. — Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2022. — 180 с. — ISBN 978-5-00137-341-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система	
https://e.lanbook.com/book/106555 Режим доступа: для авториз. пользователей.	Зарубин, В. С. Математика в техническом университете : учебник : в 21 выпуск / В. С. Зарубин. — 3-е изд. — Москва : МГТУ им. Баумана, 2007 — Выпуск 21 : Математическая статистика — 2010. — 495 с. — ISBN 978-5-7038-3194-6. — 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»

URL адрес	Наименование
https://pro.guap.ru/	Элементы электронного курса по дисциплине размещены внутри ЭИОС ГУАП «Интегрированная среда обучения»
https://lms.guap.ru	Онлайн-курс по дисциплине размещен системе дистанционного обучения ГУАП

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
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

8.2. 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
1	Электронный каталог библиотеки ГУАП с доступом к базе полнотекстовых изданий (https://lib.guap.ru), доступ через личный кабинет читателя библиотеки ГУАП
2	ЭБС «Лань» (https://e.lanbook.com/), доступ через личный кабинет читателя библиотеки ГУАП, а также по IP -адресам ГУАП
3	ЭБС Znanium (https://znanium.ru/), доступ через личный кабинет читателя библиотеки ГУАП, а также по IP -адресам ГУАП
4	Научная электронная библиотека «КиберЛенинка» (https://cyberleninka.ru/), свободный доступ

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 - оснащена специализированной (учебной) мебелью; техническими средствами обучения, служащими для	Фонд лекционных аудиторий ГУАП

	представления учебной информации большой аудитории (в том числе, возможность доступа в ЭИОС ГУАП через точку доступа WiFi); переносным набором демонстрационного оборудования	
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; Тесты.
Выполнение курсового проекта	Экспертная оценка на основе требований к содержанию курсового проекта.

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	Характеристика сформированных компетенций
--------------------	---

5-балльная шкала	
«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	Опишите основное уравнение МКЭ в статике $[K]\{u\}=\{F\}$. Какие допущения лежат в основе линейного анализа? При каком условии задача становится нелинейной?	ПК-5.3.1
2	Сравните метод конечных элементов (МКЭ) и метод конечных объёмов (МКО). Укажите области применения, физические законы, лежащие в основе, и типичные примеры задач.	
3	Что такое геометрическая, физическая и контактная нелинейность? Приведите примеры из инженерной практики.	
4	Опишите метод Ньютона-Рафсона для решения	

	нелинейных задач. Что такое невязка (residual) и критерии сходимости?	
5	Какие типы конечных элементов используются в МКЭ? В чём различие между элементами низкого и высокого порядка? Когда следует использовать линейные, а когда квадратичные элементы?	
6	В чём различие между верификацией и валидацией вычислительной модели? Какие методы верификации вы знаете (сеточная сходимость, аналитическое решение)?	ПК-5.У.1
7	Сформулируйте алгоритм исследования сеточной сходимости (построение трёх сеток, экстраполяция Ричардсона, индекс GCI). Как оценить погрешность дискретизации?	
8	Поставьте параметрическое исследование для оптимизации балки по массе при ограничении по прочности. Определите целевые функции, ограничения, варьируемые параметры.	
9	Опишите порядок действий при проведении модального анализа: от геометрии до интерпретации результатов. Что означают собственные частоты и формы колебаний? Почему перемещения в модальном анализе относительны?	
10	Как выбрать тип контактного алгоритма (Pure Penalty, Augmented Lagrange, Normal Lagrange, MPC) для конкретной задачи? От чего зависит выбор метода?	
11	Для стационарного теплового анализа запишите уравнение теплопроводности. Укажите основные граничные условия (температура, тепловой поток, конвекция, излучение). Как выполняется сопряжённый термо-прочностной расчёт?	ПК-5.В.1
12	Какие типы контактов поддерживаются в изучаемом ПО? Опишите поведение контактов Bonded, No Separation, Frictional, Rough, Frictionless. Как влияет контактная жёсткость на проникание?	
13	Что такое многошаговый анализ? Как задать изменение нагрузки или граничных условий по шагам? Приведите пример. Как использовать комбинирование решений (Solution Combination) для масштабирования результатов?	
14	Структура научной статьи по результатам компьютерного моделирования. Какие разделы обязательно должны присутствовать? Какие требования предъявляются к иллюстрациям (эпюры, графики, векторные поля)?	
15	Какие метрики качества сетки являются наиболее важными для нелинейных расчётов (Skewness, Aspect Ratio, Orthogonal Quality, Jacobian Ratio)? Как низкое качество сетки влияет на сходимость и точность?	

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 курсового проектирования/выполнения курсовой работы
1	Исследование сеточной сходимости при расчёте концентратора напряжений в пластине с отверстием.
2	Сравнительный анализ линейного и нелинейного модального анализа для преднапряжённой балки.
3	Параметрическая оптимизация кронштейна по массе с сохранением прочности.
4	Стационарный тепловой анализ корпуса электронного устройства: выбор материала изоляции.
5	Моделирование контактного взаимодействия в болтовом соединении с предварительной затяжкой.
6	Оценка остаточной деформации стальной детали при пластическом нагружении (билинейная модель упрочнения).
7	Сопряжённый термо-прочностной расчёт фланцевого соединения трубопровода.
8	Многошаговый статический анализ опоры: последовательное приложение монтажной, эксплуатационной и аварийной нагрузок.
9	Верификация и валидация модели изгиба балки: сравнение с аналитическим решением и экспериментом.
10	Подготовка научной статьи по результатам вычислительного эксперимента (тема – по выбору студента).

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) $[M]\{x''\}+[C]\{x'\}+[K]\{x\}=F(t)$; Б) $[K]\{u\}=F$; В) $[K]\{u\}=0$; Г) $[M]\{x''\}+[K]\{x\}=0$. 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:

- соответствует темам лекций п. 4.2.

11.2. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ

В ходе выполнения лабораторных работ обучающийся должен углубить и закрепить знания, практические навыки, овладеть современной методикой и техникой эксперимента в соответствии с квалификационной характеристикой обучающегося. Выполнение лабораторных работ состоит из экспериментально-практической, расчетно-аналитической частей и контрольных мероприятий.

Выполнение лабораторных работ обучающимся является неотъемлемой частью изучения дисциплины, определяемой учебным планом, и относится к средствам, обеспечивающим решение следующих основных задач обучающегося:

- приобретение навыков исследования процессов, явлений и объектов, изучаемых в рамках данной дисциплины;

- закрепление, развитие и детализация теоретических знаний, полученных на лекциях;

- получение новой информации по изучаемой дисциплине;

- приобретение навыков самостоятельной работы с лабораторным оборудованием и приборами.

Задание и требования к проведению лабораторных работ

Лабораторные работы по дисциплине «Цифровое проектирование и моделирование в научных исследованиях» проводятся в аудитории кафедры № 1 (ауд. 24-12). Для проведения лабораторных работ используются компьютеры с предустановленным ПО, позволяющие выполнять работы по имитационному моделированию по всем основным разделам дисциплины «Цифровое проектирование и моделирование в научных исследованиях». Порядок проведения лабораторной работы:

1. Вводная часть

- получение обучающимся допуска к работе (устный опрос)

- получение обучающимся задания

- сообщение преподавателем указаний к работе (описание лабораторной установки, напоминание о порядке выполнения работы и исследуемых параметрах, показ способов выполнения отдельных операций, предупреждение о возможных ошибках)

2. Основная часть

- выполнение обучающимся поставленной задачи

- сообщение преподавателем (в случае необходимости) дополнительных указаний (повторный показ или разъяснение исполнительских действий)

3. Заключительная часть

В заключительной части студент должен продемонстрировать полученные результаты преподавателю.

Структура и форма отчета о лабораторной работе

Отчет о лабораторной работе должен содержать следующие разделы:

- цель лабораторной работы

- формулировка задания

- основная часть (должна содержать описание лабораторной установки, необходимые таблицы, графики, экспериментальные данные и результаты расчетов)
- вывод (описываются итоги работы, проводится анализ полученных результатов)

Требования к оформлению отчета о лабораторной работе

11.3. Требования к оформлению отчета о лабораторной работе изложены в действующем стандарте ГОСТ 7.32-2001 «Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления», который можно найти в Интернете на сайте ГУАП http://guap.ru/guap/standart/titl_main.shtml

11.4. Методические указания для обучающихся по прохождению курсового проектирования/выполнения курсовой работы

Курсовой проект/ работа проводится с целью формирования у обучающихся опыта комплексного решения конкретных задач профессиональной деятельности.

Курсовая работа позволяет обучающемуся:

- систематизировать и закрепить полученные теоретические знания и практические умения по профессиональным учебным дисциплинам и модулям в соответствии с требованиями к уровню подготовки, установленными программой учебной дисциплины, программой подготовки специалиста соответствующего уровня, квалификации;
- применить полученные знания, умения и практический опыт при решении комплексных задач, в соответствии с основными видами профессиональной деятельности по направлению/ специальности/ программе;
- углубить теоретические знания в соответствии с заданной темой;
- сформировать умения применять теоретические знания при решении нестандартных задач;
- приобрести опыт аналитической, расчётной, конструкторской работы и сформировать соответствующие умения;
- сформировать умения работы со специальной литературой, справочной, нормативной и правовой документацией и иными информационными источниками;
- сформировать умения формулировать логически обоснованные выводы, предложения и рекомендации по результатам выполнения работы;
- развить профессиональную письменную и устную речь обучающегося;
- развить системное мышление, творческую инициативу, самостоятельность, организованность и ответственность за принимаемые решения;
- сформировать навыки планомерной регулярной работы над решением поставленных задач.

Структура пояснительной записки курсовой работы

Цель курсовой работы по дисциплине «Цифровое проектирование и моделирование в научных исследованиях»:

Цель курсовой работы по дисциплине «Цифровое проектирование и моделирование в научных исследованиях» заключается в:

1. Углублении и систематизации теоретических и практических знаний, полученных при изучении дисциплины
2. Формировании навыков:
 - самостоятельной исследовательской работы
 - практической деятельности в области цифрового проектирования
 - работы с современными инструментами моделирования
3. Развитии умений:
 - анализировать и обобщать научные данные
 - применять методы цифрового моделирования
 - оценивать достоверность результатов
 - представлять полученные результаты

4. Приобретении опыта:

- проведения научно-исследовательских работ
- использования специализированного программного обеспечения

5. Подготовке к:

- выполнению выпускной квалификационной работы
- профессиональной деятельности в области научных исследований
- решению практических задач с помощью методов цифрового моделирования

Курсовая работа по дисциплине «Цифровое проектирование и моделирование в научных исследованиях» выполняется в формате научных статей, которые отражают как промежуточные, так и итоговые результаты проведенного исследования.

Требования к оформлению статей:

Промежуточные результаты оформляются в виде: статей-обзоров по исследуемой проблематике, статей о разработанных математических моделях, статей о проведенных вычислительных экспериментах, статей с предварительными результатами исследования.

Итоговый результат представляется в виде: полноформатной научной статьи с комплексными результатами исследования, аналитической статьи с обобщением полученных данных, статьи с практическими рекомендациями по применению результатов.

Структура каждой научной статьи должна включать:

1. аннотацию
2. ключевые слова
3. введение
4. основную часть
5. результаты и обсуждение
6. заключение
7. список литературы

При написании статей необходимо соблюдать требования к оформлению научных публикаций, правила цитирования источников, нормы академической этики

Каждая статья должна иметь:

Обоснованную научную новизну

Практическую значимость

Выводы

Так же может содержать направления дальнейших исследований

Результаты работы должны быть изданы в научных журналах и представлению на научных конференциях ГУАП.

Требования к оформлению пояснительной записки курсовой работы

Все расчеты выполняются в соответствии с требованиями ЕСКД.

Пояснительная записка к курсовой работе оформляется в соответствии со следующими ГОСТ:

1. ГОСТ 7.32-2017 «Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления».
2. ГОСТ 2.105-2019 «ЕСКД. Общие требования к текстовым документам».
3. ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления».

ГОСТы можно найти в Интернете на сайте ГУАП

<http://guap.ru/guap/standart/>

Учебно-методическая литература содержится в таблице 8:

11.5. 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, самостоятельная работа может включать в себя контрольную работу.

В процессе выполнения самостоятельной работы, у обучающегося формируется целесообразное планирование рабочего времени, которое позволяет им 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).

В ходе выполнения самостоятельной работы обучающийся изучает теоретический материал дисциплины, решает типовые задачи и задания курсовой работы, размещенные в ИСО ГУАП: <http://pro.guap.ru/> <https://lms.guap.ru/>

11.6. 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.

Текущий контроль успеваемости обучающихся проводится в соответствии с СТО ГУАП СМК 3.76 «Положение о текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации студентов и аспирантов ГУАП, обучающихся по образовательным программам высшего образования».

По дисциплине «Цифровое проектирование и моделирование в научных исследованиях» предусматриваются следующие возможные методы текущего контроля успеваемости обучающихся:

- устный опрос на занятиях;
- защита курсовых работ;
- тестирование.

11.7. 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».

Вариантом промежуточной аттестации наряду с устным экзаменом по прикладной механике может быть письменное тестирование.

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