

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

Суслин А. В.  
(подпись) ФИО  
« 11 » 05 20 22

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ САЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ГТД

Направление/специальность подготовки	24.03.05 Двигатели летательных аппаратов
Специализация/профиль/программа подготовки	Технология производства газотурбинных двигателей и энергетических установок
Уровень высшего образования	Бакалавриат
Форма обучения	Очная
Факультет	Е Оружие и системы вооружения
Выпускающая кафедра	Е2 ТЕХНОЛОГИЯ И ПРОИЗВОДСТВО АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ВООРУЖЕНИЯ
Кафедра-разработчик рабочей программы	Е2 ТЕХНОЛОГИЯ И ПРОИЗВОДСТВО АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ВООРУЖЕНИЯ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
3	6	3	108	51	17	0	34	57	0	18	39	диф. зач.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)**

**24.03.05 Двигатели летательных аппаратов**

год набора группы: 2022

Программу составили:

Кафедра Е2 ТЕХНОЛОГИЯ И ПРОИЗВОДСТВО АРТИЛЛЕРИЙСКОГО  
ВООРУЖЕНИЯ

Афанасьев Александр Сергеевич, к.т.н., профессор

Кафедра Е2 ТЕХНОЛОГИЯ И ПРОИЗВОДСТВО АРТИЛЛЕРИЙСКОГО  
ВООРУЖЕНИЯ

Александров Александр Сергеевич, старший преподаватель

Программа рассмотрена

на заседании кафедры-разработчика

рабочей программы **Е2 ТЕХНОЛОГИЯ И ПРОИЗВОДСТВО АРТИЛЛЕРИЙСКОГО  
ВООРУЖЕНИЯ**

Заведующий кафедрой Иванов К.М., д.т.н., проф.

Программа рассмотрена

на заседании выпускающей кафедры

**Е2 ТЕХНОЛОГИЯ И ПРОИЗВОДСТВО АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ВООРУЖЕНИЯ**

Заведующий кафедрой Иванов К.М., д.т.н., проф.

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

## **CAE МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ГТД**

### **Разделы рабочей программы**

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### **Приложения к рабочей программе дисциплины**

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

# 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-2 — способность понимать принципы работы современных информационных технологий и программных средств и использовать их при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-5 — способность использовать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

## **ОПК-2**

*знания:*

Основных способов приобретения с помощью информационных технологий и использования в проектировании и отработке изделий и деталей ГТД новых знаний и умений.

Современных информационных технологий, информационных систем и ресурсов, обеспечивающих проведение проектной оптимизации деталей и узлов ГТД, их виртуальных испытаний создания цифровых двойников;

Основных принципов построения современных компьютерных программ;

Состава и структуры CAD CAE CAM систем, основных принципов их построения, методик разработки конструкторских, расчетных, технологических моделей ГТД, методологии решения задач оптимизации

Современных компьютерных программ для инженерных термогазодинамических исследований ГТД.;

*умения:*

Самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе проведения проектной оптимизации деталей и узлов ГТД, их виртуальных испытаний, создания цифровых двойников;

Находить, классифицировать и использовать информационные технологии, базы данных, web-ресурсы, специализированное программное

обеспечение для получения новых профессиональных знаний в области проектирования, отработки конструкций и производства деталей и узлов ГТД.

Самостоятельно разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов ГТД.;

*навыки:*

Подготовки исходных данных, алгоритмизации расчетов, анализа и интерпретации полученных результатов.

Термогазодинамических исследований газотурбинных двигателей

Приобретения с помощью информационных технологий и использования в практической деятельности новых знаний и умений, в том числе, в области проектирования, отработки конструкций и производства деталей и узлов ГТД.

Управления знаниями в области современных технологий, баз данных, web-использования ресурсов, специализированного программного обеспечения и т.п. и их практическим применением;

Работы в CAD CAE CAM системах высокого уровня.

Обоснования конкретных технических решений.;

## **ОПК-5**

*знания:*

Особенностей ГТД различных типов и схем

Методик выбора параметров и расчета характеристик ГТД

Требований, предъявляемых к авиационным ГТД в системе летательного аппарата

Основных эксплуатационных свойств ГТД и способов их конструктивного обеспечения

Основных понятий динамической системы САУ ГТД

Перспектив развития ГТД

Конструкции элементов современных и перспективных ГТД;

Прогрессивных технологий, используемых при изготовлении элементов ГТД.;

*умения:*

Проводить термогазодинамические расчеты ГТД при сильном изменении теплофизических свойств рабочего тела

Проводить согласование ГТД с требуемыми характеристиками летательного аппарата

Проводить построение программы управления авиационным ГТД

Осуществлять моделирование системы автоматического управления авиационного двигателя

Анализировать взаимосвязи между конструкторскими и технологическими задачами, направленными на достижение оптимальных трудовых и материальных затрат при конструировании

деталей ГТД;

Выбирать методы получения деталей ГТД;

*навыки:*

Работы с отечественной и зарубежной научно-технической информацией по конструкциям ГТД

Анализа взаимосвязи между конструкторскими и технологическими задачами, направленными на достижение оптимальных трудовых и материальных затрат.

Оценки эффективности ГТД в системе летательного аппарата

Оценки эксплуатационных свойств ГТД

Оценки изменения характеристик авиационных двигателей в зависимости от повреждений и длительности эксплуатации.

Самостоятельной разработки алгоритмов вычислений на электронно-вычислительной машине..

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **САЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ГТД** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.03.05 Двигатели летательных аппаратов*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ВВЕДЕНИЕ В ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА, СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ, ИНЖЕНЕРНАЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА, УСТРОЙСТВО, ОСНОВЫ ТЕОРИИ И КОНСТРУКЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММИРОВАНИЕ, ЦИФРОВИЗАЦИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ТЕРМОДИНАМИКА, САД ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ГТД, АВТОМАТИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ.**

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ГОСУДАРСТВЕННАЯ ИТОГОВАЯ АТТЕСТАЦИЯ.**

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общинженерные знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности
- ОПК-2 — Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и программных средств и использовать их при решении задач профессиональной деятельности
- ОПК-3 — Способен участвовать в разработке технической документации, связанной с профессиональной деятельностью с использованием стандартов, норм и правил
- ОПК-5 — Способен использовать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники
- ОПК-6 — Способен анализировать, систематизировать и обобщать информацию о современном состоянии и перспективах развития отрасли двигателестроения и энергетической техники
- ОПК-8 — Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения
- ПК-91 — способен к коммуникации и кооперации в цифровой среде, использованию различных цифровых средств, позволяющих во взаимодействии с другими людьми достигать поставленных целей
- ПК-92 — способен к саморазвитию в условиях неопределенности, формулировать себе образовательные цели под возникающие жизненные задачи, выбирать способы решения и направления развития
- ПК-93 — способен генерировать новые идеи для решения задач цифровой экономики, абстрагироваться от стандартных моделей, перестраивать сложившиеся способы решения задач, выдвигать альтернативные варианты действий с целью выработки новых оптимальных алгоритмов
- ПК-94 — способен к управлению информацией и данными, поиску источников информации и данных, восприятию, анализу, запоминанию и передаче информации с использованием цифровых средств, а также с помощью алгоритмов при работе с полученными из различных источников данными с целью эффективного использования полученной информации для решения задач
- ПК-95 — способен к критическому мышлению в цифровой среде, оценке информации, ее достоверности, построению логических умозаключений на основании поступающих информации и данных
- УК-1 — Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
- УК-2 — Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ОПК-2	ОПК-5
3	6	<b>Раздел 1. Процессы и характеристики рабочего процесса современных ГТД.</b> Параметры современных ГТД. Требования к характеристикам рабочего процесса ГТД. Методы определения характеристик ГТД. Термогазодинамический анализ характеристик ГТД. Рабочие процессы компрессора, камеры сгорания и турбины ГТД. Процессы в пограничных слоях вблизи пера лопаток, на втулке и периферии, а также учёт радиальных зазоров и перетекания. Рабочий процесс камеры сгорания: многокомпонентный состав рабочего тела, изменяющийся в процессе химических реакций, мощное тепловыделение в процессе горения, значительные градиенты температур и небольшие значения скоростей потока. Нестационарность процессов, большое количество химических реакций, процессы теплообмена, излучение, описывать физические свойства компонентов рабочего тела в полиномиальной зависимости от температуры потока. Задача сквозного исследования рабочих процессов в компрессоре, камере сгорания и турбине ГТД. Критерия согласованности работы узлов: компрессора, камеры сгорания и турбины. Статические и динамические нагрузки в элементах ГТД.	27	12	4	8	15	20	20
3	6	<b>Раздел 2. Метод конечных элементов.</b> Введение в метод конечных элементов. Сущность метода конечных элементов. Аналитические методы и численные методы, метод конечных элементов (МКЭ) Одномерная задача о распределении температуры в стержне. Типы структурного статического анализа. Малые и большие перемещения. Определение напряжений, деформаций. Объемное напряженное состояние. Теории прочности в сопротивлении материалов. Энергетическое условие пластичности (условие пластичности Мизеса). Определение напряжений, деформаций. Закон Гука. Инженерные расчеты, определяющие качество деталей ГТД. Этапы метода конечных элементов. Основные соотношения. Фундаментальные системы уравнений. Основное дифференциальное уравнение. Матрица жесткостей, матрица демпфирования. Основные типы конечных элементов. Типы структурного динамического и теплового анализа. Линейный и нелинейный статический анализ. Разбиение модели на сетку конечных элементов и точность расчета. «Ограничение» и «нагрузка». Виды нагрузок. Виды ограничений. Интерполяция, порядок полинома. Предел сходимости. Реализация метода конечных элементов в программных комплексах. Использование метода конечных элементов для оптимизации конструкции мелкоразмерных элементов деталей ГТД.	29	14	4	10	15	20	20
3	6	<b>Раздел 3. Подходы к моделированию рабочего процесса в компрессоре, камере сгорания и турбине ГТД.</b> Особенности моделирования численными методами газовой динамики компрессора, камеры сгорания и турбины ГТД на режиме запуска Особенности моделирования численными методами газовой динамики компрессора, камеры сгорания и турбины ГТД на основных режимах. Алгоритмы моделирования рабочего процесса в компрессоре, камере сгорания и турбине ГТД на различных режимах работы. Моделирование течения, уравнения Навье – Стокса, осредненные по Рейнольдсу (RANS), модели, описывающие турбулентность. Требования к качеству расчетной сетки: регулярная структура максимально точно ориентированная по линиям, значительная пространственная дискретизация, обеспечение низких значений безразмерного коэффициента стенки. Сложная геометрия проточной части камеры сгорания, неструктурированные сетки, состоящие из тетраэдров с использованием призматических слоев на стенках. Общие положения технологии сквозного моделирования рабочего процесса в компрессоре, камере сгорания и турбине ГТД в едином универсальном программном комплексе Возможности современных программ по газодинамическому расчёту компрессора, камеры сгорания и турбины ГТД. ANSYS Fluent, ANSYS CFX, Numeca FINE/Turbo. Требования значительных вычислительных ресурсов для газодинамических расчетов компрессора, камеры сгорания и турбины по отдельности. Исходные данные моделирования рабочего процесса ГТД в едином универсальном программном комплексе и допущения.	29	14	4	10	15	20	20
3	6	<b>Раздел 4. Современные комплексы моделирования CAD, CAE.</b> Программные комплексы моделирования НДС. CAD комплексы. CAE комплексы. Моделирование аэродинамики. Моделирование НДС. Моделирование процессов горения. Возможности и специализация различных программных комплексов. ПК ANSYS.	21	9	3	6	12	20	20
3	6	<b>Раздел 5. Тема 10. Виртуальные испытания ГТД.</b> Испытания ГТД. Натурные испытания. Моделирование установившихся и переходных режимов работы ГТД. Проведение виртуальных испытаний ГТД. Виртуальное моделирование характеристик турбин. Виртуальное моделирование характеристик компрессора.	2	2	2	0	0	20	20
Всего за 6 семестр			108	51	17	34	57	100	100
Всего по дисциплине			108	51	17	34	57	100	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
-------	----------------------	----------------------------	-------------------



	раздела дисциплины		
1	Раздел 1. Процессы и характеристики рабочего процесса современных ГТД.	Компрессоры современных ГТД. Параметры компрессоров. Исследование характеристик компрессоров. Турбины современных ГТД. Параметры турбин. Исследование характеристик турбин. Процессы в камерах сгорания ГТД. Параметры камер сгорания. Исследование характеристик камеры сгорания.	8
2	Раздел 2. Метод конечных элементов.	Инженерный анализ деталей ГТД. Подготовка CAD модели детали ГТД к анализу. Удаление геометрических элементов. Проверка на наличие сингулярностей. Ассоциативность между CAD моделью модели детали ГТД и расчетной моделью. Определение свойств материала модели детали ГТД. Разбиение на конечные элементы. Типы конечных элементов. Стандартное исследование модели модели детали ГТД. Исследование чувствительности модели. Оптимизация модели. Глобальное и локальное исследование чувствительности модели смодели детали ГТД. Оптимизация модели модели детали ГТД. Конструкторские и функциональные параметры и их ограничения.	10
3	Раздел 3. Подходы к моделированию рабочего процесса в компрессоре, камере сгорания и турбине ГТД.	Технология моделирования рабочего процесса ГТД Схема меридионального сечения проточной части газогенератора. Проточная часть. 3D модель компрессора, камеры сгорания и турбины ГТД. Расчетные модели рабочих процессов элементов ГТД. Результаты термогазодинамического расчета. Значения частоты вращения ротора, расхода топлива и температуры атмосферного воздуха на входе в двигатель. Технология CAE-моделирование рабочего процесса компрессора, камеры сгорания и турбины ГТД в программном комплексе ANSYS CFX. Технология CAE моделирования рабочего процесса компрессора, камеры сгорания и турбины ГТД на режиме запуска Технология CAE моделирования рабочего процесса компрессора, камеры сгорания и турбины ГТД на крейсерском и взлетном режимах Настройка решателя программного комплекса Ansys CFX при моделировании рабочего процесса компрессора, камеры сгорания и турбины ГТД Валидация результатов расчета рабочего процесса ГТД	10
4	Раздел 4. Современные комплексы моделирования CAD, CAE. Программные комплексы моделирования НДС.	Программный пакет ANSYS: область применения, возможности, характеристики, примеры решаемых задач.	6
Всего за 6 семестр			34

### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Процессы и характеристики рабочего процесса современных ГТД.	Подготовка к лекциям и практическим занятиям: изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	15
2	Раздел 2. Метод конечных элементов.	Подготовка к лекциям и практическим занятиям: изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	15
3	Раздел 3. Подходы к моделированию рабочего процесса в компрессоре, камере сгорания и турбине ГТД.	Подготовка к лекциям и практическим занятиям: изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	15



4	Раздел 4. Современные комплексы моделирования САД, САЕ. Программные комплексы моделирования НДС.	Подготовка к лекциям и практическим занятиям: изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	12
<b>Всего за 6 семестр</b>			57

### 3.4. Курсовая работа

СОДЕРЖАНИЕ ЭТАПА	ПЕРИОД ИСПОЛНЕНИЯ (недели семестра)	ПЛАНИРУЕМОЕ ВРЕМЯ (час)
Этап 1. Разработка 3D модели. (компрессора, камеры сгорания или турбины ГТД).	1 - 4	6
Этап 2. Термогазодинамический расчет.	5 - 9	4
Этап 3. Моделирование рабочего процесса компрессора, камеры сгорания или турбины ГТД	10 - 13	6
Этап 4. Валидация результатов расчета рабочего процесса ГТД	14 - 16	2
<b>Всего за 6 семестр</b>		18

## 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
6				КР, ТекК	ВПЗ	ДР			КР, ТекК	ДР			КР	ВПЗ		ДР	Вопр.Диф.Зач, диф. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ВПЗ – вопросы/задания по темам ПЗ;
- КР – курсовая работа;
- Вопр.Диф.Зач – вопросы к дифференцированному зачету;
- ТекК – вопросы для текущего контроля;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы/задания по темам ПЗ;
- курсовая работа;
- вопросы к дифференцированному зачету;
- вопросы для текущего контроля.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. В. Побелянский, А. А. Левихин. . Проектирование авиационных и ракетных двигателей с применением CAD/CAM/CAE-систем. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019, эл. рес.
2. А. З. Копылов. . Гидрогазодинамические расчёты в SolidWorks средствами модуля FlowSimulation. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013, эл. рес.
3. Е. Г. Макаров. . Метод конечных элементов в прочностных расчётах. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015, эл. рес.
4. И. А. Киселёв, С. Ю. Страхов. . Основы моделирования процессов теплообмена в среде Solidworks. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017, 52 экз.
5. П. С. Гончаров, И. А. Артамонов, Т. Ф. Халитов. . NX Advanced Simulation. Инженерный анализ. М.: ДМК Пресс, 2012, эл. рес.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

не требуются.

### 5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <http://urait.ru> — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов.;
2. <http://library.voenmeh.ru> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова;
3. <http://e.lanbook.com> — ЭБС Лань.

### Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;
- <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

### Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=457](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457) - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

### 5.5. Программное обеспечение:

1. PTC Creo;
2. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced;
3. Ansys Multiphysics 2017 Teaching Advanced;
4. SOLIDWORKS 2015;
5. Solid Work Edition;
6. Solid Work Drawing;
7. Solid Work Composer Sync;
8. Solid Work Composer Player;
9. Solid Work Composer Edition;
10. Solidcam 2017;
11. Siemens NX;
12. PTC Creo Simulate;
13. PTC Creo Parametric;
14. Catia V5 Academic Learn Package;
15. ANSYS 2020 R2;

- 16. Ansys;
- 17. SolidWorks 2015 R5;
- 18. КОМПЛЕКС РЕШЕНИЙ АСКОН 2014.

5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Лекционные занятия:**

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

### **6.2. Практические занятия:**

1. Интерактивная доска;
2. PTC Creo;
3. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced;
4. Ansys Multiphysics 2017 Teaching Advanced;
5. SOLIDWORKS 2015;
6. Solid Work Edition;
7. Solid Work Drawing;
8. Solid Work Composer Sync;
9. Solid Work Composer Player;
10. Solid Work Composer Edition;
11. Solidcam 2017;
12. Siemens NX;
13. PTC Creo Simulate;
14. PTC Creo Parametric;
15. Catia V5 Academic Learn Package;
16. ANSYS 2020 R2;
17. Ansys;
18. SolidWorks 2015 R5;
19. КОМПЛЕКС РЕШЕНИЙ АСКОН 2014.

### **6.3. Прочее:**

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

### Аннотация рабочей программы

Дисциплина **САЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ГТД** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.03.05 Двигатели летательных аппаратов*. Дисциплина реализуется на факультете *Е Оружие и системы вооружения БГТУ "ВОЕНМЕХ"* им. Д.Ф. Устинова кафедрой *Е2 ТЕХНОЛОГИЯ И ПРОИЗВОДСТВО АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ВООРУЖЕНИЯ*.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ОПК-2 способность понимать принципы работы современных информационных технологий и программных средств и использовать их при решении задач профессиональной деятельности;  
ОПК-5 способность использовать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с компьютерным моделированием деталей и узлов ГТД в САЕ системах высокого уровня в парадигме виртуальных испытаний. .

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы/задания по темам ПЗ;
- курсовая работа;
- вопросы к дифференцированному зачету;
- вопросы для текущего контроля.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **3 з.е., 108 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**17 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**57 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 51 ч. аудиторных занятий, и 57 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
<b>Раздел 1. Процессы и характеристики рабочего процесса современных ГТД.</b>		
Подготовка к лекциям и практическим занятиям: изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	А. В. Побелянский, А. А. Левихин. . Проектирование авиационных и ракетных двигателей с применением CAD/CAM/CAE-систем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (1) П. С. Гончаров, И. А. Артамонов, Т. Ф. Халитов. . NX Advanced Simulation. Инженерный анализ: М.: ДМК Пресс, 2012 (2)	15
Итого по разделу 1		15
<b>Раздел 2. Метод конечных элементов.</b>		
Подготовка к лекциям и практическим занятиям: изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	И. А. Киселёв, С. Ю. Страхов. . Основы моделирования процессов теплообмена в среде Solidworks: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (3) А. В. Побелянский, А. А. Левихин. . Проектирование авиационных и ракетных двигателей с применением CAD/CAM/CAE-систем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (3) Е. Г. Макаров. . Метод конечных элементов в прочностных расчётах: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (2, 3)	15
Итого по разделу 2		15
<b>Раздел 3. Подходы к моделированию рабочего процесса в компрессоре, камере сгорания и турбине ГТД.</b>		
Подготовка к лекциям и практическим занятиям: изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	П. С. Гончаров, И. А. Артамонов, Т. Ф. Халитов. . NX Advanced Simulation. Инженерный анализ: М.: ДМК Пресс, 2012 (3) А. В. Побелянский, А. А. Левихин. . Проектирование авиационных и ракетных двигателей с применением CAD/CAM/CAE-систем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (4)	15
Итого по разделу 3		15
<b>Раздел 4. Современные комплексы моделирования САД, САЕ. Программные комплексы моделирования НДС.</b>		
Подготовка к лекциям и практическим занятиям: изучение предусмотренных программой	А. В. Побелянский, А. А. Левихин. . Проектирование авиационных и ракетных двигателей с применением CAD/CAM/CAE-систем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф.	12

дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	Устинова, 2019 (1 - 5) А. З. Копылов. . Газогазодинамические расчёты в SolidWorks средствами модуля FlowSimulation: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (4)	
Итого по разделу 4		12



## ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонды оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- вопросы/задания по темам ПЗ;
- вопросы для текущего контроля;
- курсовая работа;
- вопросы к дифференцированному зачету;
- дифференцированный зачет.

### Критерии оценивания

#### Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

#### Вопросы/задания по темам ПЗ

Перечень вопросов/заданий по темам ПЗ располагаются в УМК дисциплины.

Вопросы/задания по темам ПЗ составляются на основе рабочей программы дисциплины и охватывают ее разделы и темы. Они должны целостно отражать объем проверяемых теоретических и практических знаний. Вопросы носят равноценный характер. Формулировки вопросов должны быть четкими, краткими, понятными, исключающими двойное толкование. Количество вопросов в перечне должно превышать количество вопросов, необходимых для составления зачетных листов. На основе разработанного и объявленного студентам перечня вопросов к дифференцированному зачету составляются опросные листы, содержание которых до студентов не доводится.

#### Вопросы для текущего контроля

Перечень вопросов для текущего контроля располагается в УМК дисциплины:

Шкала оценивания:

- количество правильных ответов до 60 % - оценка «не зачтено»
- количество правильных ответов от 60 до 100 % - оценка «зачтено»

#### Курсовая работа

Задания по курсовой работе находятся в УМК дисциплины.

1. Шкала оценивания: «отлично».

Критерии оценивания: Обучающийся выполнил курсовую работу в полном объеме. Работа характеризуется глубиной проработки всех разделов содержательной части. Работа оформлена с соблюдением установленных правил. Обучающийся свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач, сформулированных в задании. На все вопросы дает правильные и обоснованные ответы, убедительно защищает свою точку зрения.

2. Шкала оценивания: «хорошо».

Критерии оценивания: Обучающийся выполнил курсовую работу в полном объеме. Работа характеризуется глубиной проработки всех разделов содержательной части. Работа оформлена с соблюдением установленных правил. Обучающийся владеет теоретическим материалом, может применять его самостоятельно или по указанию преподавателя. На большинство вопросов дает правильные ответы. Защищает свою точку зрения достаточно обоснованно.

3. Шкала оценивания: «удовлетворительно».

Критерии оценивания: Обучающийся выполнил курсовую работу в основном правильно, но без достаточно глубокой проработки некоторых разделов. Обучающийся усвоил только основные разделы теоретического материала и по указанию преподавателя (без инициативы и самостоятельности) применяет его практически. На вопросы отвечает неуверенно или допускает ошибки. Неуверенно защищает свою точку зрения.

4. Шкала оценивания: «неудовлетворительно».

Критерии оценивания: Обучающийся не может защитить свои решения, допускает грубые ошибки при ответах на вопросы или не отвечает на них.

### **Вопросы к дифференцированному зачету**

Перечень вопросов к дифференцированному зачету располагаются в УМК дисциплины. Вопросы к дифференцированному зачету составляются на основе рабочей программы дисциплины и охватывают ее разделы и темы. Они должны целостно отражать объем проверяемых теоретических и практических знаний. Вопросы носят равноценный характер. Формулировки вопросов должны быть четкими, краткими, понятными, исключающими двойное толкование. Количество вопросов в перечне должно превышать количество вопросов, необходимых для составления зачетных листов. На основе разработанного и объявленного студентам перечня вопросов к дифференцированному зачету составляются опросные листы, содержание которых до студентов не доводится.

### **Дифференцированный зачет**

Обучающийся имеет право на получение минимальной положительной оценки при условии успешного прохождения текущего контроля успеваемости в форме диагностической работы в соответствии с графиком раздела 4.

На зачете студенту предоставляются 30 тестовых вопросов по всем разделам курса, время на подготовку ответов 45 минут.

Критерии и шкалы оценивания дифференцированного зачета:

1. Шкала оценивания: «зачтено-отлично».

Критерии оценивания: Обучающийся правильно ответил на теоретические вопросы. Показал отличные знания в рамках учебного материала. Правильно выполнил практические задания. Показал отличные умения и владения навыками применения полученных знаний и умений при решении задач в рамках учебного материала. Ответил на все дополнительные вопросы

Уровень освоения компетенций: Высокий

2. Шкала оценивания: «зачтено-хорошо».

Критерии оценивания: Обучающийся с небольшими неточностями ответил на теоретические вопросы. Показал хорошие знания в рамках учебного материала. С небольшими неточностями выполнил практические задания. Показал хорошие умения и владения навыками применения полученных знаний и умений при решении задач в рамках учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов

Уровень освоения компетенций: Повышенный

3. Шкала оценивания: «зачтено-удовлетворительно».

Критерии оценивания: Обучающийся с существенными неточностями ответил на теоретические вопросы. Показал удовлетворительные знания в рамках учебного материала. С существенными неточностями выполнил практические задания. Показал удовлетворительные умения и владения навыками применения полученных знаний и умений при решении задач в рамках учебного материала. Допустил много неточностей при ответе на дополнительные вопросы

Уровень освоения компетенций: Пороговый

4. Шкала оценивания: «не зачтено».

Критерии оценивания: Обучающийся при ответе на теоретические вопросы и при выполнении практических заданий продемонстрировал недостаточный уровень знаний и умений при решении задач в рамках учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов

Уровень освоения компетенций: Компетенции не сформированы.

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %		НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ОПК-2	ОПК-5	
3	6	Раздел 1. Процессы и характеристики рабочего процесса современных ГТД.	27	12	4	8	15	20	20	Вопросы/задания по темам ПЗ, Курсовая работа, Вопросы для текущего контроля
3	6	Раздел 2. Метод конечных элементов.	29	14	4	10	15	20	20	Вопросы/задания по темам ПЗ, Курсовая работа, Вопросы для текущего контроля
3	6	Раздел 3. Подходы к моделированию рабочего процесса в компрессоре, камере сгорания и турбине ГТД.	29	14	4	10	15	20	20	Вопросы/задания по темам ПЗ, Курсовая работа, Вопросы для текущего контроля
3	6	Раздел 4. Современные комплексы моделирования САД, САЕ. Программные комплексы моделирования НДС.	21	9	3	6	12	20	20	Вопросы/задания по темам ПЗ, Курсовая работа, Вопросы для текущего контроля
3	6	Раздел 5. Тема 10. Виртуальные испытания ГТД.	2	2	2	0	0	20	20	Вопросы к дифференцированному зачету, Вопросы/задания по темам ПЗ, Курсовая работа, Вопросы для текущего контроля
Всего за 6 семестр			108	51	17	34	57	100	100	
Всего по дисциплине			108	51	17	34	57	100	100	