

УТВЕРЖДАЮ
 Декан факультета


 Суслин А. В.
 (подпись) ФИО
 «31» 05 2022

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ ИЗДЕЛИЙ

Направление/специальность подготовки	15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств
Специализация/профиль/программа подготовки	Технология машиностроения
Уровень высшего образования	Магистратура
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	
6	11	3	108	34	0	0	34	74	0	0	74	зач.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

год набора группы: 2022

Программу составили:

Кафедра Е2 ТЕХНОЛОГИЯ И ПРОИЗВОДСТВО АРТИЛЛЕРИЙСКОГО
ВООРУЖЕНИЯ

Афанасьев Александр Сергеевич, д.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 МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ ИЗДЕЛИЙ

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:

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

ПСК-1.16 — способность выполнять математическое моделирование процессов, средств и систем машиностроительных производств с использованием современных технологий проведения научных исследований, разрабатывать теоретические и имитационные модели, позволяющие исследовать качество выпускаемых изделий, технологических процессов, средств и систем машиностроительных производств

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ПК-94

знания:

- современных средств автоматизации оценки и расчета технических рисков, показателей надежности изделий;
- систем автоматизированного проектирования Creo, NX, их функциональных возможностей для проектирования электронных 3D моделей специализированного инструмента, основных принципы работы в САД-системах Creo, NX;
- функциональных возможностей САЕ-приложений, Creo, NX, SW, SE для моделирования и инженерного анализа;
- просмотра, поиска и фильтрации знаний, данных, информации и цифрового контента;
- основ информационной безопасности;

умения:

- производить поиск, систематизацию информационных и технических материалов в области рисков надежности;
- оценивать степень новизны создаваемого специализированного инструмента по технологиям изготовления;
- использовать САД-системы для разработки и редактирования электронных моделей;
- использовать библиотеки электронных моделей;
- использовать САЕ-приложения Creo, NX, SW, SE для расчета параметров работоспособности;
- редактировать записи в базах знаний и справочниках конструкторско-технологических решений;
- проектировать деятельность с использованием цифровых ресурсов;

навыки:

- анализа с применением САД-, САЕ-систем технических требований, предъявляемых к изделиям;
- отработки на технологичность конструкторских элементов трехмерных моделей специализированного инструмента для обработки на станках с ЧПУ;
- определения потребных режущих инструментов;
- разработки и редактирования с применением САД-систем Creo, NX, SW, SE электронных моделей;
- расчета с применением САД-, САЕ-приложений Creo, NX, SW, SE требуемых параметров работоспособности;
- поиска нужных источников знаний, информации и данных, анализа 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 инженерных задач.

ПСК-1.16

знания:

- сущности и назначения моделирования объектов;
- математическое моделирование - исследование каких-либо явлений, процессов или систем объектов путем построения, применения и изучения их математических моделей;
- системы математических и компьютерных моделей, электронных документов изделия, описывающая структуру, функциональность и поведение изделия на различных стадиях жизненного цикла;
- положений ГОСТ 16504 оценки соответствия предъявляемым к изделию требованиям на основании результатов цифровых и (или) иных испытаний;

- системы цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (цифровой двойник);
 - цифровых (виртуальных) испытаний по определению количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата исследования свойств цифровой модели (или цифрового двойника) объекта;
 - видов и областей использования методов математического моделирования;
 - способов моделирование технических объектов с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, проводить виртуальные эксперименты эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов;
 - основ математического моделирования процессов и объектов и процессов в машиностроительных производствах, классификация методов моделирования систем и процессов, постановки и решения задач математического моделирования;
- умения:*
- определять сущность и назначение моделирования объектов, анализ видов и областей использования методов математического моделирования;
 - моделировать технические объекты и технологические процессы с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов;
 - правильно выбирать процессы и объекты машиностроительных производств, соответствующие им модели, правильно формулировать и классифицировать задачи моделирования различных систем и процессов, выбирать и разрабатывать методы их решения;
- навыки:*
- формализации и алгоритмизации объектов моделирования, применения методов математического моделирования к объектам машиностроительных производств;
 - моделирования технических объектов и технологических процессов с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования;
 - проведения экспериментов по заданным методикам с обработкой и анализом результатов;
 - анализа результатов моделирования процессов и объектов машиностроительных производств.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ ИЗДЕЛИЙ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ЭКСПЕРИМЕНТ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ, ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **НАДЕЖНОСТЬ И ДИАГНОСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ПРЕДДИПЛОМНАЯ ПРАКТИКА, В ТОМ ЧИСЛЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-2 — Способен разрабатывать современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
- ОПК-4 — Способен подготавливать научно-технические отчеты и обзоры по результатам выполненных исследований и проектно-конструкторских работ в области машиностроения
- ОПК-5 — способен организовывать и осуществлять профессиональную подготовку по образовательным программам в области машиностроения
- ПСК-1.11 — Способен разрабатывать методы технологического обеспечения качества при изготовлении и сборке изделий высокой сложности с выявлением причин, вызвавших несоответствия, разработкой и документированием необходимых изменений в технологические процессы
- ПСК-1.15 — Способен проводить научные эксперименты, оценивать результаты исследований, сравнивать новые экспериментальные данные с данными принятых моделей для проверки их адекватности и при необходимости предлагать изменения для улучшения моделей объектов и процессов в машиностроении
- ПСК-1.16 — Способен выполнять математическое моделирование процессов, средств и систем машиностроительных производств с использованием современных технологий проведения научных исследований, разрабатывать теоретические и имитационные модели, позволяющие исследовать качество выпускаемых изделий, технологических процессов, средств и систем машиностроительных производств

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	Практические занятия		ПК-94	ПСК-1.16
6	11	Раздел 1. Математическое моделирование, инженерный анализ. Математическая модель. Математическое моделирование. Адекватность модели. Инженерный и фундаментальный анализ. Компьютерная модель (электронная модель). Цифровая модель изделия. Цифровой двойник изделия; ЦД. Цифровые (виртуальные) испытания.	12	4	4	8	15	20
6	11	Раздел 2. Статический анализ. Твердотельная сетка конечных элементов Переменные параметры конструкции. Статический анализ, его параметры и управляющие характеристики. Упрощение модели для анализа. Точечные массы, пружины и балочные элементы. Конечные элементы типа оболочка. Срединные поверхности. Жесткие соединения. Расчетные области (регионы). 2-D плоское напряженное состояние. Модели сборочных единиц Прочностные свойства материала. Закрепления. Нагрузки. Точечная сварка. Контактный анализ. Анализ больших деформаций. Редактирование материалов. Статический анализ с преднапряжением.	20	6	6	14	25	20
6	11	Раздел 3. Тепловой анализ. Расчет напряжений, вызванных неравномерным нагревом. Совмещение результатов расчетов для механической и тепловой нагрузки Нестационарный тепловой расчет. Задание тепловых свойств материала.	24	8	8	16	25	15
6	11	Раздел 4. Динамический анализ. Динамические анализ временных характеристик (переходной). Динамический частотный анализ. Динамический анализ на ударную нагрузку. Динамический анализ случайных воздействий. Динамический анализ гармонических колебаний. Модальный анализ. Модальный анализ с преднапряжением.	26	8	8	18	20	25
6	11	Раздел 5. Стандартные исследования и оптимизация в инженерном анализе. Совместное использование прочностного, теплового анализа и модуля оптимизационных расчетов. Анализ чувствительности. Точность результатов однопроходной и многопроходной адаптации. Расчеты деталей, сборок.	26	8	8	18	15	20
Всего за 11 семестр			108	34	34	74	100	100
Всего по дисциплине			108	34	34	74	100	100

3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Математическое моделирование, инженерный анализ.	Математическое моделирование - исследование каких-либо явлений, процессов или систем объектов путем построения, применения и изучения их математических моделей. Цифровая модель изделия - система математических и компьютерных моделей, а также электронных документов изделия, описывающая структуру, функциональность и поведение вновь разрабатываемого или эксплуатируемого изделия на различных стадиях жизненного цикла, для которой на основании результатов цифровых и (или) иных испытаний по ГОСТ 16504 вы полнена оценка соответствия предъявляемым к изделию требованиям. Цифровой двойник изделия - система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (ли) его составными частями. Цифровые (виртуальные) испытания. Определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата исследования свойств цифровой модели (или цифрового двойника) объекта.	4
2	Раздел 2. Статический анализ.	Создание твердотельной сетки конечных элементов Подготовка переменных параметров конструкции. Точечная сварка. Контактный анализ. Анализ больших деформаций. Редактирование и удаление материалов. Применение точечной массы, пружин и балочных элементов. Использование конечных элементов типа оболочка. Задание срединной поверхности автоматическим способом Создание жестких соединений. Создание расчетных областей (регионов). Создание объемных расчетных областей (объемного регион). 2-D плоское напряженное состояние. Модели сборочных единиц	6

		Подготовка и запуск статического анализа. Задание прочностных свойств материала. Создание нового материала. Закрепление кромок. Закрепление поверхности. Закрепление циклической симметрии. Статический анализ с преднапряжением.	
3	Раздел 3. Тепловой анализ.	Расчет напряжений, вызванных неравномерным нагревом. Совмещение результатов расчетов для механической и тепловой нагрузки. Нестационарный тепловой расчет. Тепловой анализ блока. Оценка и обсуждение постановки задачи и результатов.	8
4	Раздел 4. Динамический анализ.	Проведение модального анализа. Проведение статического анализа с преднапряжением. Проведение модального анализа с преднапряжением. Проведение динамического анализа временных характеристик (переходной). Проведение динамического частотного анализа. Проведение динамического анализа на ударную нагрузку. Проведение динамического анализа случайных воздействий.	8
5	Раздел 5. Стандартные исследования и оптимизация в инженерном анализе.	Проведение анализа локальной чувствительности. Проведение анализа глобальной чувствительности. Сравнение точности результатов однопроходной и многопроходной адаптации. Прочностной расчет подшипника. Анализ шатуна.	8
Всего за 11 семестр			34

3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Математическое моделирование, инженерный анализ.	Адекватность модели - соответствие модели моделируемому изделию (процессу, явлению) по характеристикам. Компьютерная модель в компьютерной (вычислительной) среде, совокупность данных и программного кода, необходимого для работы с данными. Математическая модель сведения об объекте моделирования в виде математических символов и выражений.	8
2	Раздел 2. Статический анализ.	Основные теоретические положения МКЭ. Упрощение модели для анализа. Ручное построение срединной поверхности. Задание зеркального закрепления. Закрепление точки. Закрепление оболочковых моделей. Использование в закреплениях координатных систем. Задание нагрузки. Задание нагрузки с интерполяцией. Задание нагрузки давлением и гравитации. Изменение направления и величины нагрузки. Задание нагрузки, приложенной в точке.	14
3	Раздел 3. Тепловой анализ.	Задание тепловых свойств материала. Создание шаблонов для автоматической обработки результатов. Тепловой анализ узла. Оценка и обсуждение постановки задачи и результатов.	16
4	Раздел 4. Динамический анализ.	Анализ частоты резонанса камертона. Динамический анализ узла.	18
5	Раздел 5. Стандартные исследования и оптимизация в инженерном анализе.	Моделирование специализированного инструмента и специализированной оснастки при обработке заготовки на токарном станке. Моделирование и оценка прочности кольца, установленного в трехлапчатом патроне. Моделирование температурного поля специализированного инструмента и специализированной оснастки. Моделирование температурной деформации специализированного инструмента и специализированной оснастки.	18
Всего за 11 семестр			74

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
11				ВПЗ		ДР	ВПЗ			ДР	ВПЗ			ВПЗ		ДР	Вопр. Зач, зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ВПЗ – вопросы/задания по темам ПЗ;
- Вопр. Зач – вопросы к зачету;
- зач. – зачет.

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

- диагностическая работа;
- вопросы/задания по темам ПЗ;
- вопросы к зачету.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- зачет.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература по дисциплине:

1. . Основы проектирования в Creo Parametric. СПб.: НИЦ АРТ, 2021, эл. рес.
2. А. А. Алямовский. . SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2011, эл. рес.
3. А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева. . ANSYS в руках инженера. М.: УРСС, 2003, эл. рес.
4. А. В. Чигарев, А. С. Кравчук, А. Ф. Смалюк. . ANSYS для инженеров. М.: Машиностроение-1, 2004, эл. рес.
5. А. С. Афанасьев, К. М. Иванов, И. Г. Воронцова. . Системное проектирование конструкций и технологий изготовления изделий ответственного назначения. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011, 22 экз.
6. А. С. Павлов. . Решение задач механики деформируемого твёрдого тела в программе ANSYS. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2020, 42 экз.
7. В. А. Бруяка, В. Г. Фокин, Е. А. Солдусова. . Инженерный анализ в ANSYS Workbench. Самара: Изд-во СамГТУ, 2010, эл. рес.
8. В. А. Бруяка, В. Г. Фокин, Я. В. Кураева. . Инженерный анализ в ANSYS Workbench. Самара: Изд-во СамГТУ, 2013, эл. рес.
9. В. Н. Емельянов, С. О. Здравонин, С. С. Краев. . ANSYS-практикум. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005, эл. рес.
10. И. А. Киселёв, С. Ю. Страхов. . Основы моделирования процессов теплообмена в среде Solidworks. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017, 52 экз.

5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

1. . Основы проектирования в Creo Parametric. СПб.: НИЦ АРТ, 2021, 1 экз.

5.3. Периодические издания:

не требуются.

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

1. <http://library.voenmeh.ru> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова;
2. <https://urait.ru/> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов.;
3. <https://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 - 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. Solid Work Edition;
2. Siemens NX;
3. PTC Creo Simulate;
4. PTC Creo Parametric;
5. Creo Simulation Basic ENG;

6. Catia V5 Academic Learn Package;
7. ANSYS 2020 R2;
8. Ansys;
9. SolidWorks 2015 R5;
10. PTC Creo;
11. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced;
12. Ansys Multiphysics 2017 Teaching Advanced;
13. SOLIDWORKS 2015.

5.6. Информационные технологии:

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

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Практические занятия:

1. Интерактивная доска;
2. Трехнитяной прибор;
3. Solid Work Edition;
4. Siemens NX;
5. PTC Creo Simulate;
6. PTC Creo Parametric;
7. Creo Simulation Basic ENG;
8. Catia V5 Academic Learn Package;
9. ANSYS 2020 R2;
10. Ansys;
11. SolidWorks 2015 R5;
12. PTC Creo;
13. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced;
14. Ansys Multiphysics 2017 Teaching Advanced;
15. SOLIDWORKS 2015.

6.2. 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 **МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ ИЗДЕЛИЙ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств*. 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*:

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;

ПСК-1.16 способность выполнять математическое моделирование процессов, средств и систем машиностроительных производств с использованием современных технологий проведения научных исследований, разрабатывать теоретические и имитационные модели, позволяющие исследовать качество выпускаемых изделий, технологических процессов, средств и систем машиностроительных производств.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с определением количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата исследования свойств цифровой модели (или цифрового двойника) объекта.

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;
- вопросы к зачету.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **3 з.е., 108 ч**. Программой дисциплины предусмотрены практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**74 ч.**).

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 34 ч. аудиторных занятий, и 74 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.
Раздел 1. Математическое моделирование, инженерный анализ.		
Адекватность модели - соответствие модели моделируемому изделию (процессу, явлению) по характеристикам. Компьютерная модель в компьютерной (вычислительной) среде, совокупность данных и программного кода, необходимого для работы с данными. Математическая модель сведения об объекте моделирования в виде математических символов и выражений.	А. С. Афанасьев, К. М. Иванов, И. Г. Воронцова. . Системное проектирование конструкций и технологий изготовления изделий ответственного назначения: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011 (4)	8
Итого по разделу 1		8
Раздел 2. Статический анализ.		
Основные теоретические положения МКЭ. Упрощение модели для анализа. Ручное построение срединной поверхности. Задание зеркального закрепления. Закрепление точки. Закрепление оболочковых моделей. Использование в закреплениях координатных систем. Задание нагрузки. Задание нагрузки с интерполяцией. Задание нагрузки давлением и гравитации. Изменение направления и величины нагрузки. Задание нагрузки, приложенной в точке.	А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева. . ANSYS в руках инженера: М.: УРСС, 2003 (1) В. Н. Емельянов, С. О. Здоровенин, С. С. Краев. . ANSYS-практикум: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005 (1) С. И. Каратушин, Ю. А. Плешанова, Д. А. Храмова. . ANSYS Workbench в деталях машин: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (1) А. С. Павлов. . Решение задач механики деформируемого твёрдого тела в программе ANSYS: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2020 (1) А. А. Алямовский. . SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи: Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2011 (1) . Основы проектирования в Creo Parametric: СПб.: НИЦ АРТ, 2021 (2) В. А. Бруйка, В. Г. Фокин, Е. А. Солдусова. . Инженерный	14

	анализ в ANSYS Workbench: Самара: Изд-во СамГТУ, 2010 (1) А. В. Чигарев, А. С. Кравчук, А. Ф. Смалюк. . ANSYS для инженеров: М.: Машиностроение-1, 2004 (1)	
Итого по разделу 2		14
Раздел 3. Тепловой анализ.		
Задание тепловых свойств материала. Создание шаблонов для автоматической обработки результатов. Тепловой анализ узла. Оценка и обсуждение постановки задачи и результатов.	В. Н. Емельянов, С. О. Здоровенин, С. С. Краев. . ANSYS-практикум: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005 (3) И. А. Киселёв, С. Ю. Страхов. . Основы моделирования процессов теплообмена в среде Solidworks: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (2) . Основы проектирования в Creo Parametric: СПб.: НИЦ АРТ, 2021 (4)	16
Итого по разделу 3		16
Раздел 4. Динамический анализ.		
Анализ частоты резонанса камертона. Динамический анализ узла.	. Основы проектирования в Creo Parametric: СПб.: НИЦ АРТ, 2021 (4) В. А. Бруйка, В. Г. Фокин, Я. В. Кураева. . Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Самара: Изд-во СамГТУ, 2013 (3)	18
Итого по разделу 4		18
Раздел 5. Стандартные исследования и оптимизация в инженерном анализе.		
Моделирование специализированного инструмента и специализированной оснастки при обработке заготовки на токарном станке. Моделирование и оценка прочности кольца, установленного в трехкулачковом патроне. Моделирование температурного поля специализированного инструмента и специализированной оснастки. Моделирование температурной деформации специализированного инструмента и специализированной оснастки.	. Основы проектирования в Creo Parametric: СПб.: НИЦ АРТ, 2021 (4)	18
Итого по разделу 5		18

ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- вопросы/задания по темам ПЗ;
- вопросы к зачету;
- 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

Дать определение математического моделирования.

Дать определение цифровой модели изделия.

Дать определение цифрового двойника изделия.

Дать определение цифрового (виртуального) испытания.

Что такое адекватность модели, чем она оценивается.

Дать определение компьютерной модели в компьютерной (вычислительной) среде.

Дать определение математической модели.

Привести основные теоретические положения МКЭ.

Указать основные способы упрощения модели для инженерного анализа.

Что такое срединная поверхность. Ручное построение срединной поверхности.

Задание срединной поверхности автоматическим способом

Как задать зеркальное закрепление.

Способы закрепления точки.

В чем состоят особенности закрепления оболочковых моделей.

Как использовать в закреплениях координатные системы.

Задание нагрузки. Задание нагрузки с интерполяцией.

Задание нагрузки давлением и гравитации.

Изменение направления и величины нагрузки.

Задание нагрузки, приложенной в точке.

Создание твердотельной сетки конечных элементов

Подготовка переменных параметров конструкции.

Указать способы задания точечной сварки.

Охарактеризовать контактный анализ.

Охарактеризовать анализ больших деформаций.

Применение точечной массы, пружин и балочных элементов.

Использование конечных элементов типа оболочка.

Создание жестких соединений.

Создание расчетных областей (регионов). Создание объемных расчетных областей (объемного регион).

Дать характеристику 2-D плоского напряженного состояния.

Модели сборочных единиц

Подготовка и запуск статического анализа.

Задание прочностных свойств материала.

Создание нового материала.

Описать приемы редактирования материалов

Закрепление кромок.

Закрепление поверхности.

Закрепление циклической симметрии.

Статический анализ с преднапряжением.

Расчет напряжений, вызванных неравномерным нагревом.

Совмещение результатов расчетов для механической и тепловой нагрузки

Нестационарный тепловой расчет.

Оценка и обсуждение постановки задачи и результатов теплового анализа блока . .
Задание тепловых свойств материала.
Создание шаблонов для автоматической обработки результатов.
Оценка и обсуждение постановки задачи и результатов теплового анализа узла. .

Вопросы к зачету

Типы анализа Simulate.

Способы использования функционала Simulate.

Режимы Simulate: Структурный режим, тепловой режим.

Типы моделей, типы элементов идеализации, виды заданных сборочных связей, материалы. Двумерные модели и симметрия.

Оболочки, теория, характеристики, ограничения.

Простой и расширенный тип оболочки.

Определение и обнаружение оболочечной пары, использование соединений интерфейс и сварной шов.

Идеализации. Балки, пружина масса, весовая связь, жесткая связь.

Основные теоретические положения МКЭ.

Этапы реализации МКЭ: определение геометрии, нагрузок и ограничений; разбиение геометрии на сетку конечных элементов (КЭ); расчёт структурного поведения каждого КЭ;

Увязка поведения КЭ с соседним;

Численное решение матричной системы уравнений с вычислением перемещений.

Повышение качества результатов МКЭ за счёт улучшения сетки КЭ и увеличения точности перемещений в каждом КЭ.

Типы методов разбиения на КЭ: h-method,

p-method. Краткая характеристика.

Управление разбиением на КЭ. Параметры и способы управления: углы и максимальные значения отношения, максимальная и минимальная длина кромки;

Создание поверхностных областей и объёмных регионов; использование настроек управления AutoGEM;

Создание точек и массивов точек и определение их в качестве управляющих при разбиении (жесткая точка); создание кривых и поверхностей и определение их и их кромок в качестве управляющих (жесткая кривая, жесткая поверхность).

Рекомендации по разбиению на КЭ.

Определения напряжений и закон Гука.

Нормальные напряжения, касательные напряжения, объёмное напряжённое состояние.

Энергия деформации, теории разрушения.

Фундаментальные системы уравнений.

Основное дифференциальное уравнение, линейный и нелинейный статический анализ, модальный и динамический анализ.

Основные этапы процесса Simulate: предпроцессирование, анализ, постпроцессирование, исследование конструкции и её оптимизация (опционально).

Типы анализа Simulate. Способы использования функционала Simulate.

Подготовка модели непосредственно в Creo Parametric.

Упрощение сложной модели путём «дефичеризации».

Классификация сингулярности для геометрических элементов и нагрузок. Проверка модели на возможные источники сингулярности и её отладка.

Управление ассоциативностью между CAD и расчётной моделью.

Наследование и удаление геометрических элементов.

Управление системами единиц в конструкторской и расчётной моделях.

Однопроходная и многопроходная адаптация, быстрая проверка.

Выбор метода конвергенции при формировании анализа.

Характеристики сходимости.

Основы определения линейного статического анализа.

Элементы линейного статического анализа: набор нагрузок, набор ограничений.

Сетка отображения графика, освобождение инерции, необходимые характеристики и параметры результатов вычислений, метод сходимости, исключенные элементы.

Настройки выполнения анализа, рекомендации по использованию оперативной памяти, выбору значения переменной solgram.

Процедуры, выполняемые с результатами вычислений: сохранение, шаблоны результатов моделирования, форматирование легенды, управление ориентацией и положением модели, создание секущих плоскостей, запрос результатов, вывод графиков измерений, максимальные и минимальные величины, форматирование и печать результатов.

Структура и состав папки результатов моделирования (расчётов).

Этапы оценки результатов и качества решения: проверка определения модели предпроцессора,

мониторинг хода вычислений, оценка результатов постпроцессора, характеристик сходимости, сопоставление результатов вычислений с аналитическим решением.
 Определение свойств материала, линейный эластичный материал.
 Элементы геометрии Simulate: точки, опорные кривые, плоскости, координатные системы, области поверхности, объёмные регионы.
 Глобальные нагрузки, сила тяжести, центробежная, температура. Нагрузки, связанные с геометрией модели: силы, моменты, давление, нагрузка в подшипнике. Нагрузки в виде функций: пространственное распределение, функции (равномерное распределение, функция координат, интерполяция по объекту).
 Ограничения в декартовой, цилиндрической и сферической системах координат, симметричные ограничения, плоские, ограничения штифт, шар.
 Интерфейсы структурного анализа: объединяющий, свободный, контакт. Интерфейсы теплового анализа: адиабатный, объединяющий, тепловое сопротивление.
 Пользовательские и предопределённые измерения Simulate.
 Анализ больших деформаций, модальный анализ.
 Статический анализ с преднапряжением. Модальный анализ с преднапряжением. Виды динамического анализа: динамический анализ временных характеристик (переходной), динамический частотный анализ, динамический анализ на ударную нагрузку, динамический анализ случайных воздействий.
 Исследование чувствительности и оптимизация конструкций.
 Динамический анализ временных характеристик (переходной).
 Динамический частотный анализ.
 Динамический анализ на ударную нагрузку.
 Динамический анализ случайных воздействий.
 Динамический анализ гармонических колебаний.
 Модальный анализ.
 Модальный анализ с преднапряжением.
 Анализ частоты резонанса камертона.
 Динамический анализ узла.
 Проведение анализа локальной чувствительности.
 Проведение анализа глобальной чувствительности.
 Сравнение точности результатов однопроходной и многопроходной адаптации.
 Прочностной расчет подшипника.
 Анализ шагуна.
 Моделирование специализированного инструмента и специализированной оснастки при обработке заготовки на токарном станке.
 Моделирование и оценка прочности кольца, установленного в трехлапчатом патроне.
 Моделирование температурного поля специализированного инструмента и специализированной оснастки.
 Моделирование температурной деформации специализированного инструмента и специализированной оснастки.

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.

Для получения оценки «зачтено» обучающемуся необходимо вытянуть билет, включающий в себя три случайных вопроса из перечня, и дать на них развёрнутый ответ. При ответе на вопросы обучающийся должен демонстрировать:

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам дисциплины, а также по основным вопросам, выходящим за пределы учебной программы;
- точное использование научной терминологии, систематически грамотное и логически правильное изложение ответа на вопросы;
- безупречное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке научных и практических задач;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы и нестандартные ситуации;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой по дисциплине;
- умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях дисциплины и давать им критическую оценку, используя научные достижения других дисциплин;
- активное участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий;
- высокий уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций.

Оценку «не зачтено» получает обучающийся в случае:

- фрагментарные знания по дисциплине;
- отказ от ответа (выполнения письменной работы);
- знание отдельных источников, рекомендованных рабочей программой по дисциплине;
- неумение использовать научную терминологию;
- наличие грубых ошибок;
- низкий уровень культуры исполнения заданий;
- низкий уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме		Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %		НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Практические занятия		ПК-94	ПСК-1.16	
6	11	Раздел 1. Математическое моделирование, инженерный анализ.	12	4	4	8	15	20	Вопросы/ задания по темам ПЗ, Вопросы к зачету
6	11	Раздел 2. Статический анализ.	20	6	6	14	25	20	Вопросы/ задания по темам ПЗ, Вопросы к зачету
6	11	Раздел 3. Тепловой анализ.	24	8	8	16	25	15	Вопросы/ задания по темам ПЗ, Вопросы к зачету
6	11	Раздел 4. Динамический анализ.	26	8	8	18	20	25	Вопросы/ задания по темам ПЗ, Вопросы к зачету
6	11	Раздел 5. Стандартные исследования и оптимизация в инженерном анализе.	26	8	8	18	15	20	Вопросы/ задания по темам ПЗ, Вопросы к зачету
Всего за 11 семестр			108	34	34	74	100	100	
Всего по дисциплине			108	34	34	74	100	100	