

УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета

\_\_\_\_\_  
 (подпись) Суслин А. В.  
 ФИО  
 «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ

Направление/специальность подготовки	27.03.04 Управление в технических системах
Специализация/профиль/программа подготовки	Автономные информационные и управляющие системы
Уровень высшего образования	Бакалавриат
Форма обучения	Очная
Факультет	Е Оружие и системы вооружения
Выпускающая кафедра	Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ
Кафедра-разработчик рабочей программы	Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

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	68	34	0	34	40	0	0	40	диф. зач.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

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

**27.03.04 Управление в технических системах**

год набора группы: 2024

Программу составил:

Кафедра Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И  
УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Павлов Александр Сергеевич, старший преподаватель

\_\_\_\_\_

Программа рассмотрена

на заседании кафедры-разработчика

рабочей программы **Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ**

Заведующий кафедрой Егоренков Л.С., к.т.н., снс

\_\_\_\_\_

Программа рассмотрена

на заседании выпускающей кафедры

**Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ**

Заведующий кафедрой Егоренков Л.С., к.т.н., снс

\_\_\_\_\_

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ**

## **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-3 — способность использовать фундаментальные знания для решения базовых задач управления в технических системах с целью совершенствования в профессиональной деятельности
ОПК-7 — способность производить необходимые расчёты отдельных блоков и устройств систем контроля, автоматизации и управления, выбирать стандартные средства автоматики, измерительной и вычислительной техники при проектировании систем автоматизации и управления

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ОПК-3**

*знания:*

история развития численных методов;  
основы метода конечных элементов;  
планирование вычислительного эксперимента;  
методы моделирования процессов в технических системах;

*умения:*

реализация численных методов в пакетах прикладных программ;  
решение задач с использованием численных методов и алгоритмов;

*навыки:*

использование численных методов при моделировании задач механики сплошных сред;  
проведение инженерного анализа технических систем.

### **ОПК-7**

*знания:*

моделирование и анализ статических и динамических процессов в технических системах;  
методы расчета, анализа и моделирования статических и динамических задач механики сплошных сред;

*умения:*

решение статических и динамических задач механики сплошных сред в системах инженерного анализа;

выбор средств автоматики, измерительной и вычислительной техники при проектировании автономных информационных и управляющих систем;

*навыки:*

проведение конструкторского анализа деталей и узлов технических систем;  
проведение оптимизации параметров технических систем.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению 27.03.04 *Управление в технических системах*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА, ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА, ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ, ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ, СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ, МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И ПРИБОРОВ, ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА, ЦИФРОВИЗАЦИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ПРОГРАММИРОВАНИЕ НА ЯЗЫКЕ ВЫСОКОГО УРОВНЯ, ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА, КОМПЬЮТЕРНЫЙ ПРАКТИКУМ, ФИЗИКА, ИНЖЕНЕРНАЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА.**

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ, МЕТОДЫ АНАЛИЗА СТОХАСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ, ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОНОМНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ, ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ, ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ УПРАВЛЯЮЩИЕ КОМПЛЕКСЫ, МЕХАТРОНИКА, РАКЕТНАЯ ТЕХНИКА.**

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен анализировать задачи профессиональной деятельности на основе положений, законов и методов в области естественных наук и математики
- ОПК-10 — Способен разрабатывать (на основе действующих стандартов) техническую документацию (в том числе в электронном виде) для регламентного обслуживания систем и средств контроля, автоматизации и управления
- ОПК-11 — Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности
- ОПК-2 — Способен формулировать задачи профессиональной деятельности на основе знаний, профильных разделов математических и естественнонаучных дисциплин (модулей)
- ОПК-3 — Способен использовать фундаментальные знания для решения базовых задач управления в технических системах с целью совершенствования в профессиональной деятельности
- ОПК-5 — Способен решать задачи развития науки, техники и технологии в области управления в технических системах с учетом нормативно-правового регулирования в сфере интеллектуальной собственности
- ОПК-6 — Способен разрабатывать и использовать алгоритмы и программы, современные информационные технологии, методы и средства контроля, диагностики и управления, пригодные для практического применения в сфере своей профессиональной деятельности
- ОПК-7 — Способен производить необходимые расчёты отдельных блоков и устройств систем контроля, автоматизации и управления, выбирать стандартные средства автоматизации, измерительной и вычислительной техники при проектировании систем автоматизации и управления
- 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-1.1 — Способен разрабатывать и исследовать электромеханические и электронные автономные системы управления действием высокодинамичных объектов в условиях повышенных внешних воздействий
- УК-1 — Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
- УК-6 — Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни

### 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-3	ОПК-7
3	6	<b>Раздел 1. Введение.</b> 1.1 Цели, предмет и задачи курса. 1.2 Общие сведения о моделировании технических систем. Основы планирования вычислительного эксперимента. 1.3 Конструкторский анализ и численное моделирование. Роль конструкторского анализа при проектировании АИУС. 1.4 Перечень и классификация расчетно-аналитических САЕ-систем. Основные этапы решения задач в САЕ-системах. САЕ-система Ansys. Краткие сведения о параметрическом языке APDL.	17	11	5	6	6	25	25
3	6	<b>Раздел 2. Численные методы анализа.</b> 2.1 Погрешности приближенных вычислений. 2.2 Численные методы решения нелинейных уравнений. 2.3 Системы линейных алгебраических уравнений. 2.4 Системы нелинейных уравнений. 2.5 Системы уравнений специального вида. 2.6 Системы однородных линейных уравнений. 2.7 Собственные значения и собственные векторы матриц. 2.8 Приближение функций. 2.9 Численное интегрирование. 2.10 Численные методы решения дифференциальных уравнений. 2.11 Методы приближенного решения краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений.	21	10	6	4	11	25	25
3	6	<b>Раздел 3. Метод конечных элементов в механике сплошных сред.</b> 3.1 Задачи механики сплошных сред характерные для АИУС. 3.2 Основные теоретические положения механики деформируемого твердого тела. 3.3 Метод конечных элементов (МКЭ) в механике деформируемого твердого тела. Решение систем равновесия статического расчета. Решение систем равновесия для динамических задач. 3.4 Вариационная формулировка МКЭ. Метод Ритца. Решение задачи методом Ритца. 3.5 Метод Бубнова-Галёркина (метод взвешенных невязок). Решение задачи методом Бубнова-Галёркина. 3.6 Достоинства и недостатки МКЭ. Погрешности МКЭ. Ошибки МКЭ. 3.7 Реализация МКЭ в САЕ-системах. Подходы к решению связанных междисциплинарных задач. 3.8 Описание контактных взаимодействий в САЕ-системах. 3.9 Линейный конструкторский анализ. 3.10 Нелинейный конструкторский анализ.	35	25	13	12	10	25	25
3	6	<b>Раздел 4. Моделирование нелинейных быстропротекающих процессов.</b> 4.1 Основы динамики сплошных сред. Гипотезы динамики сплошных сред. Методы описания. Особенности реализации в САЕ-системах. 4.2 Численное моделирование нелинейных быстропротекающих процессов характерных для АИУС. Основные теоретические положения для реализации задач явной динамики в расчетно-аналитических САЕ-системах. 4.3 Устойчивость решения. Критерий Куранта-Фридрихса-Леви. 4.4 Математическое описание кривых текучести пластических материалов в широком диапазоне деформаций, скоростей деформаций и температур. 4.5 Физические и феноменологические модели прочности материалов. Критерии разрушения материалов. 4.6 Уравнения состояния материалов. 4.7 Методы испытания материалов. Испытательное оборудование. 4.8 Методология идентификации моделей прочности, моделей разрушения и уравнений состояния материалов.	35	22	10	12	13	25	25
Всего за 6 семестр			108	68	34	34	40	100	100
Всего по дисциплине			108	68	34	34	40	100	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Введение.	Основные элементы управления в САЕ ANSYS. Графический интерфейс ANSYS Workbench. Работа с файлами модели. Препроцессорная и постпроцессорная обработка. Создание геометрии и импорт из CAD-систем. Графический интерфейс модуля создания и редактирования геометрии ANSYS Design Explorer. Разработка 2D и 3D геометрии. Работа с геометрическими примитивами.	4
2		Изучение модуля Ansys Static Structural.	2
3	Раздел 2. Численные методы анализа.	Практическое задание № 1. Решение задачи изгиба пластины в САЕ ANSYS в квазистатической постановке. Анализ адекватности модели.	2
4		Изучение модуля Ansys Transient Structural.	2
5	Раздел 3. Метод	Практическое задание №2. Анализ предохранителя ударного	4

	конечных элементов в механике сплошных сред.	механизма АИУС в квазистатической постановке. Анализ предохранителя ударного механизма АИУС в динамической постановке в неявной формулировке МКЭ.	
6		Практическое задание №3. Анализ прочности резьбового соединения АИУС в динамической постановке задачи в неявной формулировке МКЭ.	4
7		Практическое задание №4. Анализ прочности корпуса электронного блока АИУС при заданных внешних воздействиях в статической и динамической постановке задачи.	4
8		Изучение модулей Ansys Explicit, Ansys LS-DYNA.	2
9	Раздел 4. Моделирование нелинейных быстропротекающих процессов.	Практическое задание №5. Анализ прочности деталей и узлов АИУС в динамической постановке задачи в явной формулировке МКЭ.	2
10		Основы работы в Ansys Autodyn.	4
11		Практическое задание №6. Определение среднемассовых ускорений, действующих на инерционный замыкатель АИУС. Расчет инерционного замыкателя.	4
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. Введение.	Выбор и согласование тем курсовых работ. Оформление заданий на курсовые работы. Выполнение работ по этапу № 1 курсовой работы.	4
2		Изучение интерфейса ANSYS Workbench и ANSYS Design Explorer.	2
3	Раздел 2. Численные методы анализа.	Домашнее задание № 1. Оформление отчета по практическому заданию № 1.	2
4		Изучение численных методов решения систем дифференциальных уравнений в САЕ-системах.	2
5		Выполнение работ по этапу № 2 курсовой работы. Ознакомление с технической литературой и интернет-источниками в рамках тем курсовых работ. Изучение нормативной литературы (ГОСТы, ОСТы, нормали, технические условия) в рамках тем курсовых работ.	6
6		Изучение интерфейса ANSYS Static Structural.	1
7	Раздел 3. Метод конечных элементов в механике сплошных сред.	Выполнение работ по этапу № 3 курсовой работы. Изучение нормативной литературы (ГОСТы, ОСТы, нормали, технические условия) в рамках тем курсовых работ.	4
8		Домашнее задание №3. Оформление отчета по практическому заданию № 3.	2
9		Домашнее №2. Оформление задание отчета по практическому заданию № 2.	2
10		Изучение модуля ANSYS Transient Structural.	2
11	Раздел 4. Моделирование нелинейных быстропротекающих процессов.	Домашнее №4. Оформление отчета по практическому заданию № 4.	2
12		Изучение интерфейса ANSYS Explicit, ANSYS LS-DYNA, ANSYS Autodyn.	3
13		Домашнее задание №5. Оформление отчета по практическому заданию № 5.	2
14		Выполнение работ по этапам № 3 и № 4 курсовой работы. Оформление курсовой работы, подготовка к защите.	4
15		Домашнее задание №6. Оформление отчета по практическому заданию № 6.	2
Всего за 6 семестр			40

#### 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

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

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ДЗ – домашнее задание;
- Колл – коллоквиум;
- Вопр.Диф.Зач – вопросы к дифференцированному зачету;
- КР – курсовая работа;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

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

- диагностическая работа;
- домашнее задание;
- коллоквиум;
- вопросы к дифференцированному зачету;
- курсовая работа.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.



## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. В. Бабкин, В. В. Селиванов. . Основы механики сплошных сред. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004, эл. рес.
2. А. В. Бабкин, В. И. Колпаков, В. Н. Охитин. . Численные методы в задачах физики быстропротекающих процессов. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006, эл. рес.
3. В. В. Селиванов. Прикладная механика сплошных сред. Т. 2 Механика разрушения деформируемого тела. М.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1999, эл. рес.
4. В. И. Козлов. . Особенности конструкций взрывательных устройств к боеприпасам ствольной артиллерии и ракетным снарядам. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012, эл. рес.
5. В. М. Вержбицкий. . Основы численных методов. М.: Высш. шк., 2002, эл. рес.
6. Д. В. Криворучко, В. А. Залога. . Моделирование процессов резания методом конечных элементов; методологические основы. Сумы: Университетская книга, 2012, эл. рес.
7. К.-Ю. Бате, Э. Л. Вилсон. . Численные методы анализа и метод конечных элементов. М.: Стройиздат, 1982, эл. рес.
8. Н. Н. Фёдорова, С. А. Вальгер, М. Н. Данилов. . Основы работы в ANSYS 17. М.: ДМК Пресс, 2017, эл. рес.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

1. Деформация и разрушение материалов;
2. Информационно-измерительные и управляющие системы;
3. Металловедение и термическая обработка металлов;
4. Моделирование и анализ информационных систем.

### 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;
4. <http://ibooks.ru> — ЭБС Айбукс.ру - это большой выбор актуальной литературы для вашей библиотеки в электронном виде;
5. <http://www.tnt-ebook.ru> — TNT-EBOOK - Электронно-библиотечная система.

### 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. Google Chrome;
2. Matlab 2015a SP1;
3. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced;
4. SolidWorks 2015 R5;

5. КОМПАС-3D V17;
6. Microsoft Office;
7. DjVuReader.

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. Проектор;
2. Интерактивная доска;
3. Google Chrome;
4. Matlab 2015a SP1;
5. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced;
6. SolidWorks 2015 R5;
7. КОМПАС-3D V17;
8. Microsoft Office;
9. DjVuReader.

### **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 **ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *27.03.04 Управление в технических системах*. Дисциплина реализуется на факультете *Е Оружие и системы вооружения* БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой *Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ*.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ОПК-3 способность использовать фундаментальные знания для решения базовых задач управления в технических системах с целью совершенствования в профессиональной деятельности;

ОПК-7 способность производить необходимые расчёты отдельных блоков и устройств систем контроля, автоматизации и управления, выбирать стандартные средства автоматики, измерительной и вычислительной техники при проектировании систем автоматизации и управления.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с численными методами моделирования процессов, математическим моделированием, численным моделированием, конструкторским анализом деталей и узлов автономных информационных и управляющих систем, САЕ-системами инженерного анализа.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- домашнее задание;
- коллоквиум;
- вопросы к дифференцированному зачету;
- курсовая работа.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **3 з.е., 108 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**40 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 68 ч. аудиторных занятий, и 40 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. Введение.</b>		
Выбор и согласование тем курсовых работ. Оформление заданий на курсовые работы. Выполнение работ по этапу № 1 курсовой работы.	В. И. Козлов. . Особенности конструкций взрывательных устройств к боеприпасам ствольной артиллерии и ракетным снарядам: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012 (Разделы 1-5) А. В. Бабкин, В. И. Колпаков, В. Н. Охитин. . Численные методы в задачах физики быстропротекающих процессов: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006 (Глава 5)	4
Изучение интерфейса ANSYS Workbench и ANSYS Design Explorer.	Н. Н. Фёдорова, С. А. Вальгер, М. Н. Данилов. . Основы работы в ANSYS 17: М.: ДМК Пресс, 2017 (Главы 1-3)	2
Итого по разделу 1		6
<b>Раздел 2. Численные методы анализа.</b>		
Домашнее задание № 1. Оформление отчета по практическому заданию № 1.	Н. Н. Фёдорова, С. А. Вальгер, М. Н. Данилов. . Основы работы в ANSYS 17: М.: ДМК Пресс, 2017 (Главы 2-4)	2
Изучение численных методов решения систем дифференциальных уравнений в САЕ-системах.	К.-Ю. Бате, Э. Л. Вилсон. . Численные методы анализа и метод конечных элементов: М.: Стройиздат, 1982 (Главы 7-11)	2
Выполнение работ по этапу № 2 курсовой работы. Ознакомление с технической литературой и интернет-источниками в рамках тем курсовых работ. Изучение нормативной литературы (ГОСТы, ОСТы, нормали, технические условия) в рамках тем курсовых работ.	В. И. Козлов. . Особенности конструкций взрывательных устройств к боеприпасам ствольной артиллерии и ракетным снарядам: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012 (Разделы 1-5) В. М. Вержбицкий. . Основы численных методов: М.: Высш. шк., 2002 (Главы 1-5, 7, 14-19)	6
Изучение интерфейса ANSYS Static Structural.		1
Итого по разделу 2		11
<b>Раздел 3. Метод конечных элементов в механике сплошных сред.</b>		
Выполнение работ по этапу № 3 курсовой работы. Изучение нормативной литературы (ГОСТы, ОСТы, нормали, технические условия) в рамках тем курсовых работ.	В. И. Козлов. . Особенности конструкций взрывательных устройств к боеприпасам ствольной артиллерии и ракетным снарядам:	4

Домашнее задание №3. Оформление отчета по практическому заданию № 3.	М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012 (Разделы 1-5)	2
Домашнее №2. Оформление задание отчета по практическому заданию № 2.	В. В. Селиванов. Прикладная механика сплошных сред. Т. 2	2
Изучение модуля ANSYS Transient Structural.	Механика разрушения деформируемого тела: М.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1999 (Главы 1-2) В. М. Вержбицкий. . Основы численных методов: М.: Высш. шк., 2002 (Главы 14-19) К.-Ю. Бате, Э. Л. Вилсон. . Численные методы анализа и метод конечных элементов: М.: Стройиздат, 1982 (Главы 3-6) Н. Н. Фёдорова, С. А. Вальгер, М. Н. Данилов. . Основы работы в ANSYS 17: М.: ДМК Пресс, 2017 (Глава 4)	2
Итого по разделу 3		10
<b>Раздел 4. Моделирование нелинейных быстропротекающих процессов.</b>		
Домашнее №4. Оформление отчета по практическому заданию № 4.	А. В. Бабкин, В. И. Колпаков, В. Н. Охитин. . Численные методы в задачах физики быстропротекающих процессов: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006 (Главы 1-5)	2
Изучение интерфейса ANSYS Explicit, ANSYS LS-DYNA, ANSYS Autodyn.	В. И. Козлов. . Особенности конструкций взрывательных устройств к боеприпасам ствольной артиллерии и ракетным снарядам: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012 (Разделы 1-5)	3
Домашнее задание №5. Оформление отчета по практическому заданию № 5.	А. В. Бабкин, В. В. Селиванов. . Основы механики сплошных сред: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004 (Главы 1-4)	2
Выполнение работ по этапам № 3 и № 4 курсовой работы. Оформление курсовой работы, подготовка к защите.	В. В. Селиванов. Прикладная механика сплошных сред. Т. 2 Механика разрушения деформируемого тела: М.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1999 (Главы 3-7) Н. Н. Фёдорова, С. А. Вальгер, М. Н. Данилов. . Основы работы в ANSYS 17: М.: ДМК Пресс, 2017 (Глава 4)	4
Домашнее задание №6. Оформление отчета по практическому заданию № 6.	Д. В. Криворучко, В. А. Залога. . Моделирование процессов резания методом конечных элементов; методологические основы: Сумы: Университетская книга, 2012 (Разделы 1-3)	2
Итого по разделу 4		13

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- домашнее задание;
- коллоквиум;
- 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.

#### Домашнее задание

Перечень тем домашних заданий:

- решение задачи изгиба пластины в CAE ANSYS в квазистатической постановке. Анализ адекватности модели;
- анализ предохранителя ударного механизма АИУС в квазистатической постановке. Анализ предохранителя ударного механизма АИУС в динамической постановке в неявной формулировке МКЭ;
- анализ прочности резьбового соединения АИУС в динамической постановке задачи в неявной формулировке МКЭ;
- анализ прочности электронного блока АИУС при заданных воздействиях в статической и динамической постановке задачи в неявной формулировке МКЭ;
- анализ прочности деталей и узлов АИУС устройств в динамической постановке задачи в явной формулировке МКЭ;
- определение среднemasовых перегрузок, действующих на инерционный замыкатель АИУС. Расчет инерционного замыкателя.

Решения домашних заданий представляются в печатной или рукописной форме. Каждое задание содержит 1 задачу. Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя.

Оценка качества выполнения домашней работы осуществляется преподавателем по четырёхбалльной системе.

Оценка снижается:

- на 0,5 балла при небрежном выполнении,
- на 0,5 балла при низком качестве графического материала (расчетных схем, графиков и таблиц),
- на 2 бала при ошибках в аналитических и численных расчетах.

Итоговая оценка за домашнее задание:

- «отлично» - при сумме баллов от 4,5 до 5,
- «хорошо» - при сумме баллов от 4 до 4,5,
- «удовлетворительно» - при сумме баллов не менее 3.

По результатам сдачи обучающимся домашнего задания преподаватель выставляет оценку согласно вышеуказанным критериям, при этом контрольное мероприятие считается успешно пройденным в случае получения обучающимся оценки не ниже, чем «удовлетворительно».

#### Коллоквиум

Проводится в устной форме. На коллоквиум выносятся часть материала дифференцированного зачёта; оценка за коллоквиум учитывается при выставлении оценки по итогам дифференцированного зачёта.

Ответ оценивается преподавателем по четырёхбалльной системе; оцениваются корректность и полнота ответа.

Оценка выставляется согласно следующим критериям:

«отлично» - глубокое усвоение материала - полные, последовательные, грамотные и логически излагаемые ответы при видоизменении вопроса, правильно обоснованные решения, владение разносторонними навыками и приемами;

«хорошо» - знание программного материала - грамотное изложение, без существенных неточностей в ответе на вопрос, правильное применение теоретических знаний, владение необходимыми навыками при выполнении практических задач;

«удовлетворительно» - усвоение основного материала - при ответе допускаются неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушение последовательности в изложении материала, затруднения в выполнении практических заданий;

«неудовлетворительно» - незнание материала, при ответе возникают ошибки, затруднения при выполнении практических работ.

По результатам сдачи обучающимся коллоквиума преподаватель выставляет оценку согласно вышеуказанным критериям, при этом контрольное мероприятие считается успешно пройденным в случае получения обучающимся оценки не ниже, чем "удовлетворительно".

Перечень вопросов, выносимых на коллоквиум:

- численное моделирование как элемент конструкторского анализа АИУС;
- модель. Метод моделирования. Численное моделирование;
- погрешности вычислений. Классификация погрешностей;
- прямые численные методы решения систем линейных уравнений;
- итерационные численные методы решения систем линейных уравнений;
- численные методы решения систем нелинейных уравнений;
- решение систем уравнений с ленточными матрицами;
- явные численные методы решения дифференциальных уравнений;
- неявные численные методы решения дифференциальных уравнений;
- погрешности численных методов интегрирования;
- устойчивость численных методов интегрирования;
- метод конечных элементов. Достоинства и недостатки метода. Реализация в САЕ-системах;
- основные этапы решения задач механики сплошных сред в статической и динамической постановке с помощью метода конечных элементов. Дискретизация. Типы сеточного разбиения. Системы отсчета. Степени свободы. Типы конечных элементов;
- методы сеточной дискретизации в САЕ-системах;
- описание контактных взаимодействий в САЕ-системах. Классификация контактных задач. Типы контактов;
- методы описания контактных взаимодействий в САЕ-системах. Метод штрафных функций;
- вариационная формулировка метода конечных элементов. Метод Рэлея-Ритца;
- метод Бубнова-Галеркина (метод взвешенных невязок);
- погрешности и ошибки метода конечных элементов;
- сходимость и точность решения;
- методы проведения линейного прочностного анализа в САЕ-системах;
- методы проведения нелинейного прочностного анализа в САЕ-системах;
- методы проведения модального анализа АИУС в САЕ-системах;
- методы проведения гармонического анализа АИУС в САЕ-системах;
- методы проведения стационарного и нестационарного теплового анализа АИУС в САЕ-системах;
- методы проведения кинематического анализа АИУС в САЕ-системах.

### **Курсовая работа**

Темы курсовых работ обучающиеся выбирают в первые две недели после начала семестра.

Обучающемуся предлагается определить этапность выполнения работы: анализ поставленной задачи, изучение изделий или узлов механизмов по технической литературе, разработка блок-схемы или конструктивной схемы узла (или узлов) с улучшенными техническими характеристиками, проведение расчетов и моделирования, оформление иллюстративных и графических материалов.

Защита курсовой работы проводится на занятии в присутствии обучающихся в период зачётной недели, либо преподавателю (в случае, если защита проводится после окончания семестра в период экзаменационной сессии).

Требования к выполнению курсовой работы:

- объём не менее 10 страниц печатного текста (без учёта титульного листа, приложений, списка использованных источников и оглавления),
- обязательно включение в состав курсовой работы 5-8 графических иллюстраций (рисунки, чертежи,



слайды для демонстрации и т.п.),

- обязательно использование в процессе выполнения не менее трёх отечественных и одного зарубежного источников информации, опубликованных в последние 10 лет,

- остальные требования к оформлению согласно действующему на момент выполнения курсовой работы Положению по содержанию, оформлению организации выполнения и защиты курсовых проектов и курсовых работ.

Контроль текущего выполнения разделов курсовой работы проводится еженедельно в течение семестра. Защита курсовой работы проходит в форме доклада обучающегося о выполненной работе и демонстрации графического материала руководителю.

Результаты защиты курсовой работы определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «не защитил». Курсовая работа оценивается в день защиты.

Оценка «отлично» выставляется за курсовую работу, которая носит исследовательский характер, имеет грамотно изложенную теоретическую главу, глубокий анализ, логичное, последовательное изложение материала с соответствующими выводами и обоснованными предложениями, имеющими практическую значимость. Произведённые расчёты выполнены правильно и в полном объёме. Работа выполнена в установленный срок, грамотным языком. Оформление соответствует действующим стандартам, сопровождается достаточным объёмом табличного и графического материала. При защите курсовой работы обучающийся показывает глубокое знание вопросов темы, свободно оперирует данными исследования, вносит обоснованные предложения, а во время доклада использует наглядные пособия (таблицы, схемы, графики и т.п.), даёт чёткие и аргументированные ответы на вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется за курсовую работу, которая носит исследовательский характер, имеет грамотно изложенную теоретическую главу, проведён достаточно подробный анализ, последовательное изложение материала с соответствующими выводами, однако анализ источников неполный, выводы недостаточно аргументированы, в структуре и содержании работы есть отдельные погрешности, не имеющие принципиального характера. При защите курсовой работы студент показывает знание вопросов темы, оперирует данными исследования, вносит предложения по теме исследования, во время доклада использует наглядные пособия (таблицы, схемы, графики и т.п.) или раздаточный материал, без особых затруднений отвечает на поставленные вопросы.

Оценка «удовлетворительно» выставляется за курсовую работу, которая носит исследовательский или описательный характер, имеет теоретическую главу, базируется на практическом материале, однако просматривается непоследовательность изложения материала, анализ источников подменен библиографическим обзором, документальная основа работы представлена недостаточно. Проведённое исследование содержит поверхностный анализ, выводы неконкретны, рекомендации слабо аргументированы, в оформлении работы имеются погрешности, сроки выполнения работы нарушены. При защите курсовой работы студент проявляет неуверенность, показывает слабое знание вопросов темы, не всегда даёт исчерпывающие аргументированные ответы на заданные вопросы.

Оценка «не защитил» выставляется за курсовую работу, которая не соответствует заявленной теме, не имеет анализа, не отвечает требованиям, изложенным в методических указаниях. Выводы не соответствуют изложенному материалу или отсутствуют. При защите курсовой работы обучающийся затрудняется отвечать на поставленные вопросы по теме, не знает теории вопроса, при ответе допускает существенные ошибки. При защите не используются наглядные пособия (таблицы, схемы, графики и т.п.).

Курсовая работа не может быть принята и подлежит доработке в случае, если:

- оформление работы не соответствует действующему на момент выполнения курсовой работы Положению по содержанию, оформлению организации выполнения и защиты курсовых проектов и курсовых работ,
- содержательная часть и выводы по результатам работы не соответствует заданию на выполнение курсовой работы,
- в работе отсутствует необходимый графический материал,
- приведённые результаты свидетельствуют о неправильной обработке результатов измерений или расчётов.

По результатам выполнения обучающимся курсовой работы (или её окончательной доработки) преподаватель ставит на титульном листе работы оценку согласно вышеуказанным критериям, при этом контрольное мероприятие считается успешно пройденным в случае получения обучающимся оценки не ниже, чем «удовлетворительно».

Ориентировочный перечень направлений тем курсовых работ:

- 1) анализ предохранителя ударного механизма АИУС в квазистатической постановке. Анализ предохранителя ударного механизма АИУС в динамической постановке в неявной формулировке МКЭ;
- 2) анализ прочности резьбового соединения АИУС в динамической постановке задачи в неявной формулировке МКЭ;
- 3) анализ прочности электронного блока АИУС при заданных воздействиях в статической и динамической постановке задачи в неявной формулировке МКЭ;
- 4) анализ прочности деталей и узлов АИУС устройств в динамической постановке задачи в явной

формулировке МКЭ;

5) определение среднemasсовых перегрузок, действующих на инерционный замыкатель АИУС в процессе взаимодействия с преградой под заданными углами встречи. Расчет инерционного замыкателя.

### **Вопросы к дифференцированному зачету**

1. Численное моделирование как элемент конструкторского анализа АИУС. Роль конструкторского анализа при проектировании АИУС.
2. Понятия математической модели и метода моделирования.
3. Классификация математических моделей.
4. Требования, предъявляемые к математическим моделям.
5. Методы упрощения математических моделей.
6. Погрешности вычислений. Классификация погрешностей.
7. Прямые численные методы решения систем линейных алгебраических уравнений.
8. Итерационные численные методы решения систем линейных алгебраических уравнений.
9. Численные методы решения систем нелинейных алгебраических уравнений.
10. Решение систем уравнений с ленточными матрицами.
11. Численные методы решения дифференциальных уравнений. Явные методы.
12. Численные методы решения дифференциальных уравнений. Неявные методы.
13. Метод прогноза и коррекции.
14. Погрешности численных методов интегрирования.
15. Устойчивость численных методов интегрирования.
16. Вычислительный эксперимент. Разновидности вычислительного эксперимента.
17. Планирование вычислительного эксперимента.
18. Адекватность вычислительного эксперимента. Критерий Фишера.
19. Метод конечных элементов (МКЭ).
20. Разрешающая система уравнений МКЭ.
21. Метод Рэлея-Ритца.
22. Метод взвешенных невязок.
23. Погрешности и ошибки МКЭ.
24. Сходимость и точность решения МКЭ.
25. Устойчивость решения. Критерий Куранта-Фридрихса-Леви.
26. Реализация МКЭ в САЕ-системах.
27. Методы описания динамики сплошных сред. Метод Лагранжа.
28. Виды сеточных искажений. Алгоритм искусственной эрозии.
29. Методы описания динамики сплошных сред. Однокомпонентный и многокомпонентный методы Эйлера.
30. Математическое описание поведения материалов в широком диапазоне деформаций, скоростей деформаций и температур.
31. Феноменологические модели прочности материалов.
32. Физические модели прочности материалов.
33. Модели (критерии) разрушения материалов.
34. Уравнения состояния материала.
35. Линейный прочностной анализ АИУС.
36. Нелинейный прочностной анализ АИУС.
37. Динамический анализ АИУС.
38. Численное моделирование нелинейных быстропротекающих процессов.

### **Дифференцированный зачет**

Вопросы к зачёту оформляются в виде билета. Билет включает в себя два теоретических вопроса и одно практическое задание.

Оценка выставляется согласно следующим критериям:

«отлично» - глубокое усвоение материала - полные, последовательные, грамотные и логически излагаемые ответы при видоизменении вопроса, правильно обоснованные решения, владение разносторонними навыками и приемами;

«хорошо» - знание программного материала - грамотное изложение, без существенных неточностей в ответе на вопрос, правильное применение теоретических знаний, владение необходимыми навыками при выполнении практических задач;

«удовлетворительно» - усвоение основного материала - при ответе допускаются неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушение последовательности в изложении материала, затруднения в выполнении практических заданий;

«неудовлетворительно» - незнание материала, при ответе возникают ошибки, затруднения при выполнении практических работ.



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	Лекции	Практические занятия		ОПК-3	ОПК-7	
3	6	Раздел 1. Введение.	17	11	5	6	6	25	25	Коллоквиум, Домашнее задание, Курсовая работа
3	6	Раздел 2. Численные методы анализа.	21	10	6	4	11	25	25	Домашнее задание, Коллоквиум, Курсовая работа
3	6	Раздел 3. Метод конечных элементов в механике сплошных сред.	35	25	13	12	10	25	25	Домашнее задание, Курсовая работа
3	6	Раздел 4. Моделирование нелинейных быстропротекающих процессов.	35	22	10	12	13	25	25	Домашнее задание, Вопросы к дифференцированному зачету, Курсовая работа
Всего за 6 семестр			108	68	34	34	40	100	100	
Всего по дисциплине			108	68	34	34	40	100	100	

## Критерии оценивания

### ОПК-3

- Вопросы открытого типа:*
- № 1 К неявным численным методам решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений можно отнести:
- а) метод прогноза и коррекции;
  - б) метод Зейделя;
  - в) метод Рунге-Кутта;
  - г) метод Рунге-Кутты.
- № 2 Задача параметрического синтеза:
- а) получить информацию о характере функционирования объекта проектирования;
  - б) выбрать или рассчитать значения отдельных параметров проекта;
  - в) определить множество проектных решений;
  - г) разработать техническое задание на проектирование.
- № 3 Цель анализа:
- а) получить информацию о характере функционирования объекта проектирования;
  - б) выбрать или рассчитать значения отдельных параметров проекта;
  - в) определить множество возможных проектных решений;
  - г) разработать техническое задание на проектирование.
- № 4 Критерий устойчивости явного численного решения дифференциальных уравнений в частных производных:
- а) Куранта-Фридрихса-Леви;
  - б) Фишера;
  - в) Кохрена;
  - г) Джонсона-Кука.
- № 5 К вариационным методам можно отнести следующий метод:
- а) метод Рунге-Кутты;
  - б) метод Рунге-Кутты;
  - в) метод Якоби;
  - г) метод Крамера.
- № 6 К моделям прочности материалов можно отнести:
- а) модель Джонсона-Кука;
  - б) модель Стейнберга-Гуинана;
  - в) модель Зерилли-Армстронга;
  - г) модель Ми-Грюнайзена.
- № 7 К явным численным методам решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений можно отнести:
- а) метод прогноза и коррекции;

- б) метод Якоби;
- в) метод Рунге-Кутты;
- г) метод Бубнова-Галеркина.
- № 8 К итерационному методу решения систем линейных алгебраических уравнений можно отнести:
- а) метод Крамера;
- б) метод прогонки;
- в) метод Гаусса;
- г) метод Якоби.
- № 9 Метод конечных элементов относится:
- а) к аналитическим методам решения систем дифференциальных уравнений в частных производных;
- б) к аналитическим методам решения систем линейных алгебраических уравнений;
- в) к численным методам решения систем дифференциальных уравнений в частных производных;
- г) к численным методам решения систем нелинейных алгебраических уравнений.
- № 10 Метод простой итерации отличается от метода Гаусса-Зейделя тем, что:
- а) полученное приближение для одного неизвестного  $x_1$  используется при расчете этого же приближения для  $x_2$ ;
- б) матрица коэффициентов сводится к треугольной;
- в) нет обратного хода;
- г) матрица коэффициентов становится вырожденной.
- Вопросы закрытого типа:*
- № 1 Система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями:
- № 2 решения дискретной модели к соответствующим значениям решения исходной задачи при стремлении к нулю параметра дискретизации (например, шага интегрирования):
- № 3 Прогнозирование поведения и свойств объекта в различных условиях называется:
- № 4 Квадратная матрица, определитель которой равен нулю:
- № 5 Ошибки метода конечных элементов, являющиеся результатом геометрических различий границы рассматриваемой области и ее конечно-элементной модели:
- № 6 В матричной формулировке метода конечных элементов  $[K]\{C\}=\{F\}$  матрица  $[K]$  носит название:
- № 7 Координаты частицы сплошной среды, которые соответствуют ее текущему положению относительно фиксированной системы координат:
- № 8 Квадратная матрица с вещественными элементами, результат умножения которой на транспонированную матрицу равен единичной матрице:
- № 9 Этот прямой метод является наиболее распространенным приемом решения систем линейных уравнений, алгоритм последовательного исключения неизвестных:
- № 10 Метод решения краевой задачи, в котором благодаря использованию функций Грина, она сводится к интегральному уравнению на границе расчетной области:

#### **ОПК-7**

- Вопросы открытого типа:*
- № 1 Какую модель прочности из перечисленных целесообразно использовать для анализа высокоскоростного разрушения бетонной конструкции:

- а) Джонсона-Кука;
- б) Ху-Вашицу;
- в) Джонсона-Холмквиста;
- г) Стейнберга-Гуинана.
- № 2 Какую модель прочности из перечисленных целесообразно использовать для описания поведения грунтов и горных пород:
- а) Друкера-Прагера;
- б) Пэжины;
- в) Джонсона-Кука;
- г) Джона-Уилкинса-Ли.
- № 3 Метод сеточного разбиения Triangle Meshing в системе ANSYS Meshing позволяет:
- а) строить неструктурированные сетки с четырехугольными элементами;
- б) производить автоматическую декомпозицию сложной геометрии на отдельные блоки с последующим построением на каждом блоке структурированной или неструктурированной сетки;
- в) разбивать область неструктурированной сеткой с элементами треугольной формы;
- г) позволяет генерировать объемные структурированные сетки.
- № 4 Для каких областей анализа предназначены следующие программные модули CAE ANSYS:
- а) Static Structural;
- б) Transient Structural;
- в) Explicit Dynamics;
- г) Motion.
- Варианты ответов:
- 1) квазистатический прочностной анализ;
- 2) кинематический анализ;
- 3) динамический прочностной анализ;
- 4) анализ высокоскоростных нелинейных динамических процессов.
- № 5 К моделям прочности материалов можно отнести:
- а) модель Джонсона-Холмквиста;
- б) модель Рунге-Кутты;
- в) модель изотропного упрочнения;
- г) модель Мизеса.
- № 6 Линейные контакты в CAE ANSYS Mechanical, рассчитываемые за одну итерацию:
- а) Rough;
- б) Frictionless;
- в) No separation;

- г) Bonded.
- № 7 Нелинейные контакты в CAE ANSYS Mechanical, требующие использования метода Ньютона-Рафсона и большого числа итераций:
- а) Rough;
- б) Frictionless;
- в) No separation;
- г) Bonded.
- № 8 К методам описания динамики сплошной среды можно отнести:
- а) метод Лагранжа;
- б) метод Рунге-Кутты;
- в) метод Эйлера;
- г) метод Лагранжа-Эйлера.
- № 9 Какой метод из перечисленных целесообразно использовать для описания контактных взаимодействий:
- а) Рунге-Кутты;
- б) штрафных функций;
- в) Зейделя;
- г) Ньютона-Рафсона.
- № 10 Метод сеточного разбиения Multizone в системе ANSYS Meshing позволяет:
- а) строить неструктурированные сетки с четырехугольными и треугольными элементами;
- б) производить автоматическую декомпозицию сложной геометрии на отдельные блоки с последующим построением на каждом блоке структурированной или неструктурированной сетки;
- в) разбивать область неструктурированной сеткой с элементами треугольной формы;
- г) строить неструктурированные сетки с треугольными элементами.
- Вопросы закрытого типа:*
- № 1 Ошибки метода конечных элементов, обусловленные разностью между точным решением и его представлением в виде комбинации базисных функций заданного вида:
- № 2 Семейство численных методов, предназначенных для расчета движения большого количества частиц (гранулированных сред):
- № 3 Чрезмерные искажения расчетной сетки при использовании Лагранжевого решателя в CAE Ansys Autodyn по типу «песочных часов» («Hourglass»)
- устраняются путем введения следующего алгоритма:
- № 4 Эта гипотеза упрочнения постулирует, что поверхность текучести поступательно перемещается в новое положение в пространстве напряжений без изменения размеров и формы:
- № 5 Наихудшему качеству ортогональности ячеек сеток соответствует значение:
- № 6 Минимальной невязкой по методу Бубнова-Галеркина считается невязка, которая:
- № 7 Эта гипотеза упрочнения постулирует, что поверхность текучести увеличивается в размерах, сохраняя при этом свою начальную форму:
- № 8 Критерий качества сеточного разбиения Orthogonal Quality в системе ANSYS Meshing может принимать значения:
- № 9 Уравнение, связывающее между собой термодинамические параметры системы, такие как температура, давление, объем и массовая скорость, а также их



- № 10      приращения:  
Система, в общем случае состоящая из технических средств, программного, методического и организационного обеспечения и квалифицированного персонала, предназначенная для проведения полигонных испытаний как результата исследования свойств цифровой модели (или цифрового двойника) объекта испытаний: