

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

Суслин А. В.  
(подпись) ФИО

«31» мая 2022

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ МОДЕЛИ ПРОЧНОСТИ И МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ

Направление/специальность  
подготовки

24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика  
15.03.03 Прикладная механика

Специализация/профиль/программа  
подготовки

Цифровые технологии проектирования и конструирования  
Цифровое моделирование механических систем и процессов

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Форма обучения

Очная

Факультет

А Ракетно-космической техники  
Е Оружие и системы вооружения

Выпускающая кафедра

А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ  
Е7 МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

Кафедра-разработчик рабочей  
программы

Е7 МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)								ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
				АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
4	7	4	144	51	17	0	34	93	0	0	93	диф. зач.

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

**24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика**

**15.03.03 Прикладная механика**

год набора группы: 2022

Программу составили:

Кафедра Е7 МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА  
Крыжевич Геннадий Брониславович, д.т.н., преподаватель

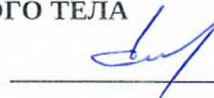


Кафедра Е7 МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА  
Санников Владимир Антонович, д.т.н., заведующий кафедрой



Программа рассмотрена  
на заседании кафедры-разработчика  
рабочей программы **Е7 МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА**

Заведующий кафедрой Санников В.А., д.т.н., проф.



Программа рассмотрена  
на заседании выпускающих кафедр

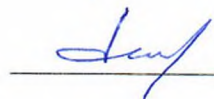
**А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ**

Заведующий кафедрой Бородавкин В.А., д.т.н., проф.



**Е7 МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА**

Заведующий кафедрой Санников В.А., д.т.н., проф.



# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ МОДЕЛИ ПРОЧНОСТИ И МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ**

## **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:

24.03.01 (A1)	ПСК-5.1 — способностью применять информационные технологии, современные системы компьютерной математики, технологии конечно-элементного анализа - программные системы компьютерного проектирования систем автоматизированного проектирования, программных систем инженерного анализа и компьютерного инжиниринга
15.03.03 (E7)	ПСК-8.1 — способность применять CAD/CAE технологии при моделировании поведения элементов механических систем, необходимом для решения производственных проектно-конструкторских задач
15.03.03 (E7)	ПСК-8.2 — способность учитывать особенности цифрового анализа технических систем при ударном, вибрационном, температурном нагружениях, наличии концентрации напряжений, контактных взаимодействиях, потери несущей способности, а также при усталостных разрушениях

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ПСК-5.1 (24.03.01, A1)**

*знания:*

компьютерных технологий расчета прочности;

*умения:*

применять критерии оценки прочности при численном моделировании;

*навыки:*

изменения параметров конструкции для обеспечения задач прочности.

### **ПСК-8.1 (15.03.03, E7)**

*умения:*

применения компьютерных технологий в расчетах;

*навыки:*

обработки результатов расчетов и формирование отчета.

### **ПСК-8.2 (15.03.03, E7)**

*знания:*

особенностей учета прочностных параметров при эксплуатации

элементов конструкций;

*умения:*

учитывать концентрацию напряжений, контактные напряжения и долговечность материалов элементов изделий;

*навыки:*

использования критериев прочности в компьютерных пакетах программ.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ МОДЕЛИ ПРОЧНОСТИ И МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлениям: 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика, 15.03.03 Прикладная механика.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА, ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ.**

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ, ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗДЕЛИЙ РКТ.**

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности
- ПСК-5.3 — способность к использованию специальных автоматизированных систем для проектирования изделий РКТ и ее составных частей и систем на основе сочетания передовых технологий и выполнения многовариантных расчетов



### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 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		ПСК-5.1 (24.03.01)	ПСК-8.1 (15.03.03)	ПСК-8.2 (15.03.03)
4	7	Раздел 1. Математические модели механики сплошных сред. 1.1. Уравнения математической физики. Граничные условия и нагрузки. Метод конечных сил (МКЭ). 1.2. Формирование определяющих соотношений МКЭ. Учет граничных условий и нагрузок. Методы решения систем уравнений.	27	9	3	6	18	20	20	20
4	7	Раздел 2. Математические модели критериев прочности. 2.1. Базовые математические модели прочности материалов: 1-й теории прочности наибольших относительных удлинений; 2-й теории наибольших относительных удлинений; 3-й теории наибольших касательных напряжений; 4-й энергетической; 5-й теории прочности Мора. 2.2. Критерии прочности, основанные на концепции предельной поверхности – модели прочности: С.Ф. Клованича; William-Warnke; Друкера-Прагера; Базанта.	29	11	3	8	18	20	20	20
4	7	Раздел 3. Обзор законов поведения материала, реализуемых программой ANSYS. 3.1. Обзор рабочих мест инженера по решению задач прочности (Kompas, 3Dv8, SolidWorks, ANSYS). 3.2. Классификация материалов и основных механических законов их поведения в ANSYS.	29	11	3	8	18	20	20	20
4	7	Раздел 4. Математические модели механики трещин. 4.1. Усталостная прочность: теория Гриффитса; модели разрушения, энергетический инвариантный интеграл; коэффициент интенсивности напряжений. 4.2. Моделирование деформирования и разрушения твердых тел с микроструктурой.	30	10	4	6	20	20	20	20
4	7	Раздел 5. Компьютерные модели динамического разрушения. 5.1. Динамическое деформирование конструкционных материалов и характеристики напряженно-деформированного состояния материала при динамических нагрузках. 5.2. Компьютерные модели динамического разрушения конструкционных упругопластических материалов.	29	10	4	6	19	20	20	20
Всего за 7 семестр			144	51	17	34	93	100	100	100
Всего по дисциплине			144	51	17	34	93	100	100	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Математические модели механики сплошных сред.	Методы решения систем уравнений.	2
2		Уравнения математической физики.	2
3		Формирование определяющих соотношений МКЭ.	1
4		Учет граничных условий и нагрузок.	1
5	Раздел 2. Математические модели критериев прочности.	Задачи обеспечения прочности конструкции в целом.	3
6		Учет малых и больших перемещений точек пространства ограниченных сред.	3
7		Математическая модель прочности ортотропных материалов.	2
8	Раздел 3. Обзор законов поведения материала, реализуемых программой ANSYS.	Нагрузки и граничные условия. Настройки решателя.	3
9		Реализация МКЭ в пакете ANSYS.	3
10		Геометрическое моделирование. Генерация конечно-элементной модели.	2
11	Раздел 4. Математические модели механики трещин.	Критерии прочности в механике разрушения по образованию трещин.	2

12		Критерии прочности в механике разрушения по раскрытию трещин.	2
13		Критерии прочности в механике разрушения по деформациям.	2
14	Раздел 5. Компьютерные модели динамического разрушения.	Анализ критериев прочности конструкций.	2
15		Описание процессов разрушения.	1
16		Типы параметров, описывающие разрушения.	2
17		Параметры повреждения.	1
Всего за 7 семестр			34

### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Математические модели механики сплошных сред.	Изучение вопросов задания граничных условия и нагружения, формирования определяющих соотношений МКЭ, методов решения систем уравнений.	6
2		Выбор объекта исследования и выстраивание студентом собственной образовательной траектории с учетом интересов студента при выборе объекта исследования в домашнем задании № 1 «Описание объекта исследования».	6
3		Изучение теоретического материала тем лекций 1, 2.	6
4	Раздел 2. Математические модели критериев прочности.	Изучение вопросов математических моделей прочности материалов.	6
5		Изучение теоретического материала тем лекций 3, 4, 5.	6
6		Выполнение и оформлнение домашнего задания № 1 «Описание объекта исследования».	6
7	Раздел 3. Обзор законов поведения материала, реализуемых программой ANSYS.	Изучение теоретического материала тем лекций 6, 7, 8.	6
8		Изучение вопросов использования пакетов ANSYS в задачах прочности.	6
9		Постановка задачи домашнего задания № 2 и его решение.	6
10	Раздел 4. Математические модели механики трещин.	Изучение вопросов математических моделей механики трещин.	5
11		Изучение теоретического материала тем лекций 9, 10.	5
12		Постановка задачи домашнего задания № 3 и его решение.	10
13	Раздел 5.	Оформление и защита домашнего задания № 3.	6
14	Компьютерные модели динамического разрушения.	Изучение теоретического материала тем лекций 11, 12, 13.	6
15		Изучение вопросов компьютерных моделей динамического разрушения.	7
Всего за 7 семестр			93

## 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
7		Вопр.Диф.Зач		ДЗ, Тест		ДР			ДЗ, Тест	ДР	Вопр.Диф.Зач				ДЗ, Тест	ДР	Вопр.Диф.Зач, ДЗ, диф. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Вопр.Диф.Зач – вопросы к дифференцированному зачету;
- ДЗ – домашнее задание;
- Тест – тест;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

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

- диагностическая работа;
- вопросы к дифференцированному зачету;
- домашнее задание;
- тест.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.



## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. . Расчёт стержневой системы методом конечных элементов. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019, 41 экз.
2. А. С. Павлов. . Решение задач механики деформируемого твёрдого тела в программе ANSYS. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2020, 42 экз.
3. В. А. Санников. . Введение в вычислительную механику. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014, 73 экз.
4. Д. А. Фёдоров. . Расчётно-аналитическое сопровождение проектно-конструкторских работ. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015, 45 экз.
5. Е. А. Николаева. . Основы механики разрушения. Пермь: Изд-во ПГТУ, 2010, эл. рес.
6. Е. В. Брытков. . Механика композиционных материалов. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2021, 37 экз.
7. Е. Г. Макаров. . Метод конечных элементов в прочностных расчётах. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015, эл. рес.
8. Е. Г. Макаров. . Теория пластичности и ползучести. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018, 63 экз.
9. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012, 63 экз.
10. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013, 8 экз.
11. Н. Р. Туркина. . Проектирование в среде SolidWorks. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017, 38 экз.
12. Ю. Г. Матвиенко. . Модели и критерии механики разрушения. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006, 15 экз.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

1. . Механика разрушения. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011, 0 экз.
2. А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева. . ANSYS в руках инженера. М.: УРСС, 2003, 1 экз.

### 5.3. Периодические издания:

1. Проблемы машиностроения и автоматизации;
2. Деформация и разрушение материалов.

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

1. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=474](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=474) — 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;
4. <https://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. Ansys Multiphysics 2017 Teaching Advanced;
2. Mathcad Education - University Edition Term;
3. SolidWorks 2015 R5;
4. Microsoft Office;
5. Matlab 2015a SP1;
6. КОМПАС-3D V17.

#### 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. Ansys Multiphysics 2017 Teaching Advanced;
3. Mathcad Education - University Edition Term;
4. SolidWorks 2015 R5;
5. Microsoft Office;
6. Matlab 2015a SP1;
7. КОМПАС-3D V17.

### **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 **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ МОДЕЛИ ПРОЧНОСТИ И МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлениям: 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика, 15.03.03 Прикладная механика. Дисциплина реализуется на факультете *Е* Оружие и системы вооружения БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой *Е7* МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ПСК-5.1 (24.03.01) способностью применять информационные технологии, современные системы компьютерной математики, технологии конечно-элементного анализа - программные системы компьютерного проектирования систем автоматизированного проектирования, программных систем инженерного анализа и компьютерного инжиниринга;

ПСК-8.1 (15.03.03) способность применять CAD/CAE технологии при моделировании поведения элементов механических систем, необходимом для решения производственных проектно-конструкторских задач;

ПСК-8.2 (15.03.03) способность учитывать особенности цифрового анализа технических систем при ударном, вибрационном, температурном нагружениях, наличии концентрации напряжений, контактных взаимодействиях, потери несущей способности, а также при усталостных разрушениях.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с вибрацией, прочностью и механикой разрушения элементов и конструкций.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- вопросы к дифференцированному зачету;
- домашнее задание;
- тест.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **4 з.е., 144 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**17 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**93 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 ч., из них 51 ч. аудиторных занятий, и 93 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. Математические модели механики сплошных сред.		
Изучение вопросов задания граничных условия и нагружения, формирования определяющих соотношений МКЭ, методов решения систем уравнений.	Е. Г. Макаров. . Метод конечных элементов в прочностных расчётах: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (1-2) . Расчёт стержневой системы методом конечных элементов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (1-3)	6
Выбор объекта исследования и выстраивание студентом собственной образовательной траектории с учетом интересов студента при выборе объекта исследования в домашнем задании № 1 «Описание объекта исследования».		6
Изучение теоретического материала тем лекций 1, 2.		6
Итого по разделу 1		18
Раздел 2. Математические модели критериев прочности.		
Изучение вопросов математических моделей прочности материалов.	К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012 (4) Е. В. Брытков. . Механика композиционных материалов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2021 (1-4) Е. А. Николаева. . Основы механики разрушения: Пермь: Изд-во ПГТУ, 2010 (1-3) Ю. Г. Матвиенко. . Модели и критерии механики разрушения: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006 (1-3)	6
Изучение теоретического материала тем лекций 3, 4, 5.		6
Выполнение и оформление домашнего задания № 1 «Описание объекта исследования».		6
Итого по разделу 2		18
Раздел 3. Обзор законов поведения материала, реализуемых программой ANSYS.		
Изучение теоретического материала тем лекций 6, 7, 8.	А. С. Павлов. . Решение задач механики деформируемого твёрдого тела в программе ANSYS: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2020 (1-2) . Механика разрушения: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011 (1-3)	6
Изучение вопросов использования пакетов ANSYS в задачах прочности.		6
Постановка задачи домашнего задания № 2 и его решение.		6
Итого по разделу 3		18
Раздел 4. Математические модели механики трещин.		

Изучение вопросов математических моделей механики трещин.	Д. А. Фёдоров. . Расчётно-аналитическое сопровождение	5
Изучение теоретического материала тем лекций 9, 10.	проектно-конструкторских работ: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (10)	5
Постановка задачи домашнего задания № 3 и его решение.	В. А. Санников. . Введение в вычислительную механику: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (2) К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013 (5) Е. Г. Макаров. . Теория пластичности и ползучести: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (4-5)	10
Итого по разделу 4		20
<b>Раздел 5. Компьютерные модели динамического разрушения.</b>		
Оформление и защита домашнего задания № 3.	Н. Р. Туркина. . Проектирование в среде SolidWorks: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (1-2)	6
Изучение теоретического материала тем лекций 11, 12, 13.	Д. А. Фёдоров. . Расчётно-аналитическое сопровождение проектно-конструкторских работ: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (11)	6
Изучение вопросов компьютерных моделей динамического разрушения.	А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева. . ANSYS в руках инженера: М.: УРСС, 2003 (6-7)	7
Итого по разделу 5		19



## ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- домашнее задание;
- вопросы к дифференцированному зачету;
- тест;
- 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

Домашнее задание оформляется в электронном виде в текстовом, графическом редакторах и содержит основной вид, чертеж детали или узла с необходимыми разрезами и сечениями, выполненный в соответствии с требованиями ЕСКД. Содержание: • ДЗ-1 представляет собой описание выбранного объекта и по форме соответствует реферату; • ДЗ-2 – это расчетно-графическая работа (продолжение ДЗ-1), выполненная с использованием одной из программ SolidWorks, ANSYS и/или их пакетов; • ДЗ-3 обобщает предыдущие два задания, является результатом практического применения теории изучаемой дисциплины. Оформленное ДЗ не может быть принято и подлежит доработке в случае: • отсутствия необходимых разделов; • отсутствия необходимого графического материала; • некорректно выполненных расчетов или описания проблемы.

Критерии. Прием ДЗ проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя по теме задания. Количество вопросов от 3 до 5. Если оформленное ДЗ (отчет) свидетельствует о правильном выполнении расчетов и в ходе защиты студент дает не менее 2 правильных ответов на 3 заданных преподавателем вопроса (или не менее 3 правильных ответов на 5 заданных вопросов) – ДЗ признается выполненным.

#### Вопросы к дифференцированному зачету

1. Уравнения математической физики МСС (граничные условия и нагрузки.)
2. Метод конечных элементов (МКЭ): формирование определяющих соотношений МКЭ; учет граничных условий и нагрузок; методы решения систем уравнений.
3. Факторы среды, влияющие на прочность конструкции: обзор, виды, устранение/ использование.
4. Задачи обеспечения прочности конструкции в целом: учет малых и больших перемещений точек пространства ограниченных сред.
5. Обзор рабочих мест инженера по решению задач прочности в Kompas/ SolidWorks/ ANSYS.
6. Математические модели критериев прочности материалов.
7. Базовые математические модели прочности материалов — 1-й теории прочности наибольших относительных удлинений; 2-й теории наибольших относительных удлинений; 3-й теории наибольших касательных напряжений.
8. Базовые математические модели прочности материалов — 4-й энергетической теории прочности; 5-й теории прочности Мора.
9. Критерии прочности, основанные на концепции предельной поверхности: модель прочности С.Ф. Клованича; модель прочности William-Warne.
10. Критерии прочности, основанные на концепции предельной поверхности: модель прочности Друкера-Прагера; модель критерия прочности Базанта.
11. Математическая модель прочности ортотропных материалов.
12. Модели прочности композиционных материалов и конструкций.
13. Модели прочности материалов, используемых в программе ANSYS.
14. Математические модели и численные исследования композитных материалов и конструкций.
15. Обзор исследований различных композитов в ANSYS — исследования железобетона.
16. Основные критерии прочности конструкций из композитов.
17. Критерии прочности конструкций из композитов при полном разрушении (- по разрушающей

нагрузке и максимальным деформациям; - по устойчивости формы или ее положения; - по усталостному разрушению; - по разрушению от совместного воздействия силовых факторов и неблагоприятных влияний внешней среды).

18. Критерии прочности в механике разрушения (- по образованию трещин; - по раскрытию трещин; - по деформациям).

19. Анализ критериев прочности конструкций.

20. Методы повышения конструкционной прочности.

21. Усталостная прочность: расчеты, методы оценки, примеры.

22. Динамическая прочность: расчеты, методы оценки, примеры.

23. Математические модели материалов.

24. Физические, химические и эксплуатационные свойства конструкционных материалов.

25. Механические модели реологических тел: определения, классификация, примеры.

26. Разрушение материалов: определения, типы, расчеты, примеры.

27. Модели разрушения.

28. Энергетический инвариантный интеграл.

29. Масштабный фактор в механике разрушения.

30. Вероятностные модели разрушения.

### **Тест**

Тест состоит из 10 вопросов и считается выполненным при количестве правильных ответов от 60% и более. По результатам тестирования присваиваются баллы по следующим критериям: 60-70% правильных ответов на вопросы теста – "удовлетворительно"; 71-89% правильных ответов на вопросы теста – "хорошо"; 90% и более правильных ответов на вопросы теста – "отлично".

### **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.

Минимальное количество вопросов преподавателя - 3, максимальное – 5 по материалу практических заданий. Оценка «зачтено - отлично» - верные ответы на 5 вопросов; Оценка «зачтено - хорошо»: - верные ответы на 3-4 вопроса; Оценка «зачтено - удовлетворительно»: - верные ответы на 2-3 вопроса, достаточный минимальный объем знаний по дисциплине. Оценка «не зачтено»: - фрагментарные знания по дисциплине; - отказ от ответа (исправления ошибок в материале заданий); - неумение использовать научную терминологию; - наличие грубых ошибок.

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		ПСК-5.1 (24.03.01)	ПСК-8.1 (15.03.03)	ПСК-8.2 (15.03.03)	
4	7	Раздел 1. Математические модели механики сплошных сред.	27	9	3	6	18	20	20	20	Домашнее задание, Вопросы к дифференцированному зачету
4	7	Раздел 2. Математические модели критериев прочности.	29	11	3	8	18	20	20	20	Домашнее задание, Вопросы к дифференцированному зачету, Тест
4	7	Раздел 3. Обзор законов поведения материала, реализуемых программой ANSYS.	29	11	3	8	18	20	20	20	Домашнее задание, Вопросы к дифференцированному зачету, Тест
4	7	Раздел 4. Математические модели механики трещин.	30	10	4	6	20	20	20	20	Домашнее задание, Вопросы к дифференцированному зачету
4	7	Раздел 5. Компьютерные модели динамического разрушения.	29	10	4	6	19	20	20	20	Домашнее задание, Вопросы к дифференцированному зачету, Тест
Всего за 7 семестр			144	51	17	34	93	100	100	100	
Всего по дисциплине			144	51	17	34	93	100	100	100	