

Министерство науки и образования РФ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.  
Устинова»



УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе и  
ИКТ

С.А. Матвеев

2018 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### Проектирование конструкций из композитных материалов

*(наименование дисциплины)*

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ:

**24.06.01 Авиационная и ракетно-космическая техника**

*(указывается код и наименование направления подготовки)*

НАПРАВЛЕННОСТЬ ПОДГОТОВКИ:

**05.07.05 Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов**

*(указывается наименование направленности)*

КВАЛИФИКАЦИЯ: **Исследователь. Преподаватель-исследователь**

ФОРМА ОБУЧЕНИЯ: **очная**

ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ: **зачет**

Санкт-Петербург – 2018

## 1 Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)

Цель дисциплины - дать аспиранту знания, позволяющие с современных научных позиций овладеть подходами, связанными с основными тенденциями науки и техники в области разработки и проектирования и исследования конструкций ракетно-космической техники, выполненных из композиционных материалов. Полученные знания призваны способствовать повышению уровня фундаментальной подготовки аспиранта и успешному завершению работы над диссертацией.

Основная задача дисциплины – привитие навыков в разработке конструкций ракетно-космической техники выполненных их композиционных материалов и исследованию процессов, происходящих в таких системах, на различных стадиях их жизненного цикла.

Дисциплина вносит вклад в формирование следующих профессиональных компетенций:

- Владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области авиационной и ракетно-космической техники (ОПК-1);
- Владение культурой научного исследования в области авиационной и ракетно-космической техники, в том числе с использованием новейших инновационно-коммуникационных технологий (ОПК-2);
- Способностью к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области авиационной и ракетно-космической техники с учетом правил соблюдения авторских прав (ОПК-3).
- Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-4)

Дисциплина вносит вклад в формирование следующих профессиональных компетенций, определяемых направленностью (профилем) программы аспирантуры в рамках направления подготовки:

- Способность собирать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области ракетно-космической техники (ПК-1);
- Способностью и готовностью с помощью компьютерной техники планировать и проводить научные эксперименты, обрабатывать, анализировать и оценивать результаты исследований, способностью с помощью компьютерной техники обрабатывать, анализировать, синтезировать и критически резюмировать информацию (ПК-2);
- Способностью принимать участие в фундаментальных и прикладных исследованиях по решению проблем, возникающих при проектировании и опытно-конструкторских разработках (ПК-3).
- Способностью проводить научные исследования по отдельным разделам (заданиям) научной работы в качестве ответственного исполнителя или совместно с научным руководителем (ПК-4)
- Способностью и готовностью разрабатывать математические модели, описывающие процессы, происходящие в разрабатываемых ракетно-космических комплексах, выбирать методы их решений и анализировать полученные результаты (ПК-5)

В результате освоения дисциплины (модуля) аспиранты будут знать:

- теоретические основы механики конструкций из композиционных материалов
- методы экспериментального исследования конструкций ракетно-космической техники из композиционных материалов
- типовые технологические процессы формообразования деталей из композиционных материалов;
- современные приемы создания математических моделей, описывающих характеристики конструкций, выполненных из композиционных материалов.

уметь:

- использовать расчетные методы для определения характеристик конструкций ракетно-космической техники, выполненной из композиционных материалов;
  - Разрабатывать модели объектов исследования (конструкций из КМ) и процессов, происходящих в них на различных стадиях жизненного цикла изделия, владея:
    - навыками создания и использования программных средств для изучения процессов, связанных со статическим, динамическим и тепловым нагружением конструкций, выполненных из композиционных материалов;
    - навыками разработки методик экспериментального исследования элементов конструкций, выполненных из композиционного материала;
- приобретут опыт деятельности:
- по изучению процесса проектирования и конструирования изделий ракетно-космической техники, выполненной из композиционного материала;
  - по обобщению результатов экспериментальных исследований элементов конструкций, выполненных из композиционных материалов.

## 2 Место дисциплины (модуля) в структуре программы аспирантуры

Дисциплина относится к вариативным дисциплинам программы аспирантуры.

Трудоёмкость освоения дисциплины составляет две зачетные единицы (з.е.) или 72 академических часа в том числе 51 час аудиторных занятий и 21 час самостоятельной работы.



### 3. Виды учебной работы и тематическое содержание дисциплины (модуля)

#### 3.1 Виды учебной работы

Таблица 1

Вид учебной работы	Трудоемкость, акад. час
<b>Аудиторные занятия, в том числе:</b>	<b>51</b>
Лекционные занятия (ЛЗ)	34
Научно-практические занятия (НПЗ)	17/
Семинары (С)	-
Исследовательские лабораторные работы (ИЛР)	-
Индивидуальные консультации (К)	-
<b>Самостоятельная работа (СР), в том числе:</b>	<b>21</b>
Подготовка к научно-практическим занятиям (ПНПЗ)	11
Проработка материала лекций (ПМЛ)	10
Всего:	72

#### 3.2. Содержание дисциплины (модуля) по разделам и видам учебной работы

Таблица 2

№ п/п	Раздел дисциплины (модуля)	Трудоемкость по видам учебной работы (час.)							Формы самостоя тельной работы
		всего	очная форма обучения						
			ЛЗ	НПЗ	ИЛР	С	К	СР	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Основные понятия о видах композиционных материалов	4	2	-				2	
2	Элементы структурной механики конструкций, выполненных из КМ	8	4	2				2	
3	Балки и стержни, выполненные из КМ	4	3	-				1	
4	Пластины и панели, выполненные из КМ	6	2	2				2	
5	Оболочки, выполненные из КМ	6	2	2				2	
6	Основы теории прочности и разрушения	6	2	2				2	
7	Соединения элементов конструкций из КМ	5	4	-				1	
8	Компьютерное моделирование и расчет на прочность конструкций	14	4	7				3	

№ п/п	Раздел дисциплины (модуля)	Трудоемкость по видам учебной работы (час.)						Формы самостоятельной работы	
		всего	очная форма обучения						
			ЛЗ	НПЗ	ИЛР	С	К		СР
	из композиционных материалов в пакете «ANSYS»								
9	Методы оптимального проектирования конструкций ракетно-космической техники выполненных из КМ	11	6	2			3		
10	Особенности конструкторско-технологической и экспериментальной отработки конструкций ракетно-космической техники из КМ	8	5	-			3		
	Итого:	72	34	17			21		

Тематика лекционных занятий

Таблица 3

№ раздела	№ лекции	Основное содержание	Кол-во часов	Литература
1	1	Цели задачи курса. Основные понятия о видах композиционных материалов 1.1. Основные сведения о современных композиционных материалах и конструкциях КА на их основе. 1.2. Определение и классификация композитов. 1.3. Волокнистые композиционные материалы. 1.4. Технологические процессы, применяемые при создании конструкций из КМ, особенности поведения конструкций из КМ при различных условиях эксплуатации	2	
2	2	Элементы структурной механики конструкций, выполненных из КМ 2.1. Уравнения теории упругости анизотропной среды в ортогональных и криволинейных координатах 2.2.. Построение матриц жесткости и податливости анизотропного упругого тела	2	
2	3	2.3. Физический смысл составляющих тензора упругих постоянных ортотропного тела. 2.4. Температурные и гидротермические воздействия. 2.5. Слои композиционных материалов, анализ сложных КМ.	2	

3	4	<p>Балки и стержни, выполненные из КМ.</p> <p>3.1. Основы теории анизотропных балок и стержней.</p> <p>3.2. Некоторые простые решения задач для балок из КМ.</p> <p>3.3. Изгиб слоистых балок, уточненная теория.</p> <p>3.4. Осевое нагружение шарнирно опертой балки, выполненной из КМ.</p> <p>3.5. Задачи на собственное значение для композитных балок: собственные колебания и устойчивость.</p> <p>3.6. Термоупругость балок из КМ, основные допущения, методы решения.</p>	3	
4	5	<p>Пластины и панели, выполненные из КМ.</p> <p>4.1. Уравнения равновесия пластины. Решение Навье для пластины из КМ</p> <p>4.2. Решение Навье для равномерно нагруженной шарнирно опертой пластины. Решение Леви для пластины из КМ: собственные колебания и упругая устойчивость.</p> <p>4.3. Статический и динамический анализ пластин из КМ с учетом влияния поперечных сдвиговых деформаций</p> <p>Некоторые замечания о композиционных конструкциях на основе пластинчатых элементов.</p>	2	
5	6	<p>Оболочки, выполненные из КМ.</p> <p>5.1. Анализ цилиндрических оболочек, выполненных из КМ при осесимметричном нагружении.</p> <p>5.2. Общее решение осесимметричной задачи для цилиндрических оболочек из КМ. Реакция длинной осесимметричной оболочки из КМ на краевое перемещение.</p> <p>5.3. Устойчивость цилиндрической оболочки из КМ при разных видах нагружения. Колебания оболочки, выполненной из КМ.</p>	2	
6	7	<p>Основы теории прочности и разрушения</p> <p>6.1. Разрушение монолитных изотропных материалов</p> <p>6.2. Основные положения теории прочности анизотропного тела.</p> <p>6.3. Теория прочности слоя. Анализ прочности слоистых материалов</p>	2	
7	8	<p>Соединения элементов конструкций из КМ.</p> <p>7.1. Анализ конструктивных схем соединений, используемых в конструкции КА, выполненной из КМ.</p> <p>7.2. Расчет на прочность клеевого соединения. Прочностной расчет механических соединений, выполненных из КМ.</p> <p>7.3. Расчет клее- механических соединений. Расчет клеесварных соединений</p>	4	



8	9	Компьютерное моделирование и расчет на прочность конструкций из композиционных материалов в среде «ANSYS» 8.1 Особенности применения пакета «ANSYS» при расчете слоистых конструкций из КМ.	4	
9	10	Методы оптимального проектирования конструкций ракетно-космической техники выполненных из КМ. 9.1 Общая постановка задачи оптимизации элементов конструкции из КМ. 9.2 Оптимизация анизотропных свойств упругих тел	2	
9	11	9.3 Условия оптимальности в трехмерной задаче минимизации податливости упругого тела	2	
9	12	9.4 Выбор формы анизотропии тел и задачи совместной оптимизации формы и ориентации осей анизотропии	2	
10	13	Особенности конструкторско-технологической и экспериментальной отработки конструкций ракетно-космической техники, выполненной из КМ. 10.1 Основные конструкторско-технологические требования, предъявляемые к изделиям ракетно-космической техники, выполненным из КМ.	2	
10	14	10.2 Методы формования и принципы технологических операций переработки композитов	2	
10	15	10.3 Требования к контролю и испытаниям изделий ракетно-космической техники, выполненных из КМ	1	
		Итого	34	

*Примечание:* ЛЗ – лекционное занятие, НПЗ – научно-практические занятия, ИЛЗ – исследовательские лабораторные занятия работа, С – семинары, К – индивидуальные консультации; СР – самостоятельная работа обучающихся;

Тематика исследовательско–практических (или семинарских) занятий<sup>\*)</sup>

Таблица 4

№ раздела	№ занятия	Наименование	Кол-во часов	Литература
2	3	Анализ влияния структурной анизотропии на характеристики пакета КМ при различных видах нагружении.	2	
4	4	Разработка методики расчета для оценки напряженно-деформированного состояния пластины, выполненной из КМ.	2	
5	5	Разработка методики расчета оболочки, выполненной из КМ для оценки её напряженно-деформированного состояния при осесимметричном нагружении.	2	

6	6	Анализ моделей прочности конструкций, выполненных из слоистых композиционных материалов с учетом их структурной организации.	2	
8	8	Разработка конечно-элементной модели расчета структурного элемента конструкции, выполненного из КМ в пакете «ANSYS».	7	
9	11	Анализ методов оптимизации при проектировании пластины из КМ в задаче термоупругости.	2	
		Итого:	17	

Программой дисциплины лабораторные занятия не предусмотрены

### 3.4 Перечень занятий, проводимых в активной и интерактивной формах

В активной и интерактивной форме проводятся аудиторные учебные занятия по отдельным разделам и темам дисциплины, указанным в табл. 6

Таблица 6

№ раздела	Вид аудиторного занятия в активной и/или интерактивной форме и его тематика	Кол-во часов
4	НПЗ Разработка методики расчета для оценки напряженно-деформированного состояния пластины, выполненной из КМ	2
5	НПЗ Разработка методики расчета оболочки, выполненной из КМ для оценки её напряженно-деформированного состояния при осесимметричном нагружении.	2
6	НПЗ Анализ моделей прочности конструкций, выполненных из слоистых композиционных материалов с учетом их структурной организации	2
9	НПЗ Анализ методов оптимизации при проектировании пластины из КМ в задаче термоупругости.	2
	Итого:	8

### 4. Перечень заданий для самостоятельной работы\*

Программой дисциплины выдача заданий для самостоятельной работы не предусмотрена.

### 5. Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация по дисциплине

Оценка качества освоения дисциплины включает текущий контроль успеваемости и промежуточную аттестацию в форме зачета.

#### 5.1 Текущий контроль успеваемости по дисциплине

Контрольные мероприятия текущего контроля

Таблица 8

Вид контрольного мероприятия	Наименование	Срок проведения (№ недели)	Контролируемый объем (№№ разделов)
Устный опрос	Защита НПЗ № 1, 2	8	4,5
Устный опрос	Защита НПЗ № 3,4	16	6,9



## 5.2 Оценочные средства промежуточной аттестации

Для промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине образован фонд оценочных средств в виде контрольных вопросов

Примерные контрольные вопросы:

1. Классификация композитов, особенности волокнистых композиционных материалов, методы технологические процессы изготовления изделий из КМ
2. Уравнения теории упругости анизотропной среды в ортогональных и криволинейных координатах.
3. Матрица жесткости и податливости анизотропного упругого тела.
4. Слои композиционных материалов, анализ сложных КМ.
5. Изгиб слоистых балок, уточненная теория. Осевое нагружение шарнирно опертой балки, выполненной из КМ.
6. Решение Навье для равномерно нагруженной шарнирно опертой пластины.
7. Общее решение осесимметричной задачи для цилиндрических оболочек из КМ.
8. Общее решение осесимметричной задачи для цилиндрических оболочек из КМ. Реакция длинной осесимметричной оболочки из КМ на краевое перемещение.
9. Расчет на прочность клеевого соединения. Прочностной расчет механических соединений, выполненных из КМ.
10. Задача оптимизации элементов конструкции из КМ.
11. Методы формования и принципы технологических операций переработки композитов
12. Особенности конструкторско-технологической и экспериментальной отработки конструкций ракетно-космической техники, выполненной из КМ.

## 5.3 Образовательные технологии по дисциплине

Обучение по дисциплине ведется с применением инновационных технологий: лекции-консультации, лекции-дискуссии.

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используются следующие информационно-телекоммуникационные технологии:

- информационно-справочник система БГТУ «ВОЕНМЕХ»;
- программные средства, разработанные на кафедре «Космические аппараты и двигатели»
- программные средства: Mathcad, «ANSYS», КОМПАС.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1 Основная литература:

Таблица 9

№ п/п	Автор	Наименование	Издательство	Год издания*
----------	-------	--------------	--------------	-----------------

1	Кулик В.И	Механическая и физико-техническая обработка композиционных материалов: учебное пособие [для вузов]	БГТУ «ВОЕНМЕХ»	2004
2	А.М. Дальский [и др.]; ред. А.М. Дальский; науч. ред. Г.А. Нуждин.	Технология конструкционных материалов	Машиностроение	2004

## 6.2 Дополнительная литература:

Таблица 10

№ п/п	Автор	Наименование	Издательство	Год издания*
1	Г.А. Молодцов, В.Е. Биткин, В.Ф. Симонов, Ф.Ф. Урмансов	Формостабильные и интеллектуальные конструкции из композиционных материалов	Машиностроение,	2000
2	Васильев В.В	Механика конструкций из композиционных материалов	Высшая школа	1988
3	В.В. Васильев и др	Композиционные материалы: Справочник	Машиностроение	1990
4	Видельман В.Э., Соколкин Ю.В., Ташкинов А.А.	Механика неупругого деформирования и разрушения композиционных материалов	Физматлит	1997
5	Амбарцумян С.А.	Теория анизотропных пластин: Прочность, устойчивость и колебания	Физматлит	1997

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1 Специализированные лаборатории (в том числе научные) и классы, основное учебное оборудование (комплексы, установки и стенды):

- специализированная аудитория ИСС, оснащенная компьютером, мультимедиапроектором, экраном;
- компьютерный класс кафедры ВЦ АЗ, оснащенный 16 персональными компьютерами, объединенными в локальную сеть кафедры, имеющую доступ к электронной библиотеке и выход в Интернет.

### 7.2 Средства обеспечения освоения дисциплины

- комплект слайдов по дисциплине;
- специализированное программное обеспечение: Mathcad, ANSYS, КОМПАС.