

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по образовательной  
деятельности

 И.Ю.Черникова

« 24 » декабря 20 24 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Аналитические и численные методы прогнозирования физико-механических и теплофизических характеристик композиционных материалов  
\_\_\_\_\_ (наименование)

**Форма обучения:** \_\_\_\_\_ очная  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Уровень высшего образования:** \_\_\_\_\_ магистратура  
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

**Общая трудоёмкость:** \_\_\_\_\_ 144 (4)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов  
\_\_\_\_\_ (код и наименование направления)

**Направленность:** Перспективные технологии создания конструкций газотурбинных двигателей и мотогондол из композиционных материалов  
\_\_\_\_\_ (наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель учебной дисциплины - формирование знаний и навыков у студента для оценки физикомеханических и теплофизических характеристик композиционных материалов, определение напряженно-деформированного состояния конструкций авиационной техники из композиционных материалов.

Задачи:

- освоение студентом методов прогнозирования физико-механических и теплофизических характеристик КМ;
- освоение умений применять различные технологические приемы при проектировании и изготовлении изделий авиационной техники из полимерных композиционных материалов;
- владение основными навыками использования различных методов исследования физикомеханических процессов и явлений.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- Физико-механические и теплофизические характеристики авиационной техники из КМ;
- Напряженно-деформированное состояние деталей авиационной техники из КМ;
- Принципы построения моделей композиционных материалов.

### 1.3. Входные требования

Не предусмотрены

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
-------------	-------------------	---	--	-----------------

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК -1.1	ИД-1ПК-1.1	Знать: - современные методы проектирования технологических процессов, используемых в профессиональной деятельности; - основные понятия физико-химии и механики композитов; - классификацию, номенклатуру и свойства композиционных материалов; - принципы построения моделей композиционных материалов; - понятие о моментных функциях; - алгоритм построения функционала краевой задачи.	Знает основные механические характеристики композиционных материалов и экспериментальные методы их определения; современные методы исследований материалов	Зачет
ПК -1.1	ИД-2ПК-1.1	Уметь: - выбирать и применять инновационные методы и технологии проектирования в профессиональной деятельности; - составлять объемную схему расчета конструкций из композиционных материалов.	Умеет подбирать методики лабораторных исследований неметаллических композиционных материалов в соответствии с поставленной задачей и проводить испытания по заданным методикам, обрабатывать и анализировать результаты, в т.ч. статистическими методами	Зачет
ПК -1.1	ИД-3ПК-1.1	Владеть: - навыками сбора исходных данных для составления технического задания на проектирование технологического процесса создания материалов и их отработки с целью достижения требуемого уровня физико-механических свойств; - навыками расчета эффективных модулей упругости;	Владеет навыками инженерного сопровождения проведения физико-химических анализов на соответствие качества материалов действующим стандартам, техническим условиям, технологической документации	Зачет

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		3	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	54	54	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	36	36	
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	16	16	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	90	90	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен			
Дифференцированный зачет	9	9	
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	144	144	

### 4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
3-й семестр				
Основные понятия физико-химии и механики композитов	4	0	2	10
Тема 1. Основные определения. Определение композиционного материала. Объект исследования конструкции из композиционного материала. Основная задача – прогнозирование физикомеханических и теплофизических свойств композитов, расчет на жесткость конструкций. Понятие о конструировании композиционных материалов: варьируемые параметры структуры и свойств элементов структуры. Тема 2. Волокно и матрица. Роль волокон, матриц и поверхностей раздела в формировании деформационных и прочностных свойств композитов.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Классификация, номенклатура и свойства композиционных материалов	4	0	2	11
Тема 3. Классификация и номенклатура композиционных материалов. Тема 4. Физико-механические и теплофизические свойства волокон. Удельные упругие прочностные характеристики. Тема 5. Физико-механические и теплофизические свойства матриц. Тема 6. Физико-механические и теплофизические свойства однонаправленных волокнистых композитов. Удельные упругие и прочностные характеристики.				
Физико-химические и теплофизические процессы при создании композиционных материалов	4	0	2	11
Тема 7. Физико-химические и теплофизические процессы и явления при формировании композиционных материалов различных видов. Поверхностные и объемные эффекты. Тема 8. Виды межфазного взаимодействия. Типы связей между компонентами. Смачивание, адгезия, адсорбция, капиллярные явления. Тема 9. Фазовая структура композитов. Аморфное состояние. Высокоэластичное состояние. Стеклообразное состояние. Вязкотекучее состояние. Кристаллическое состояние				
Принципы построения моделей композиционных материалов	4	0	2	10
Тема 10. Основные принципы построения моделей композиционных материалов. Понятие о модели микронеоднородной среды. Микроскопические и макроскопические величины. Их связь. Тема 11. Модель Фойгта для расчета эффективных модулей упругости периодической и стохастической структуры. Модель Рейсса для расчета эффективных модулей упругости периодической и стохастической структуры. Вилки Фойгта-Рейсса, ХашинаШтрикмана. Тема 12. Постановка краевой задачи механики композитов с периодической и стохастической структурой. Классификация краевых задач микромеханики композитов.				
Объемная схема расчета конструкций из композиционных материалов	4	0	2	10
Тема 13. Исходная информация: характеристики структуры, задание деформационных и прочностных свойств элементов структуры, характеристики адгезионной связи, учет технологических параметров, описание геометрии конструкции и условий нагружения. Тема 14. Этапы решения задачи механики композитов. Этапы решения задачи: прогнозирование макросвойств; расчет макронапряжений и				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
макродоформаций; расчет микронапряжений и микродоформаций; критерии прочности и трещиностойкости, определение микроразрушения и параметров микроразрушения и оценка надежности конструкций.				
Понятие о моментных функциях. Построение функционала краевой задачи	6	0	2	13
Тема 15. Моментные функции различных порядков. Понятие о моментных функциях различных порядков для описания структуры разупорядоченных композитов. Понятия макрооднородности и квазиизотропности микронеоднородной среды. Тема 16. Традиционный метод решения краевой задачи для квазиизотропной среды, когда средой сравнения является среда с однородными свойствами. Построение функционала краевой задачи.				
Расчет эффективных модулей упругости	4	0	2	12
Тема 17. Вычисление эффективных модулей упругости в корреляционном приближении. Тема 18. Расчет эффективных модулей упругости квазиизотропных композитов методом периодических составляющих. Тема 19. Расчет эффективных модулей упругости однонаправленных волокнистых композитов методом периодических составляющих				
Прогнозирование макроскопических упругих свойств композиционных материалов	6	0	2	13
Тема 20. Прогнозирование макроскопических упругих свойств слоистых композитов. Упругие свойства трансверсально-изотропной среды. Модели и методы приближенного вычисления макросвойств слоистых композитов. Точное решение для упругих модулей слоистых композитов. Примеры решения задач. Расчет эффективных модулей упругости квазиизотропных композитов методом периодических составляющих. Тема 21. Прогнозирование макроскопических упругих свойств перекрестно и объемноармированных композитов. Понятие элементарного слоя. Упругие свойства ортотропной среды. Прогнозирование свойств перекрестноармированных композитов: подходы, модели, приближения. Прогнозирование свойств объемноармированных композитов на основе свойств однонаправленных композитов. Примеры решения.				
ИТОГО по 3-му семестру	36	0	16	90
ИТОГО по дисциплине	36	0	16	90

## Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Тензор деформаций Коши. Геометрические соотношения Коши
2	Вычисление перемещения по заданному полю деформаций.
3	Симметрия упругих свойств анизотропных материалов
4	Технические упругие постоянные анизотропных и изотропных материалов
5	Вычисление эффективных модулей упругости по моделям Фойгта и Рейсса. Построение вилки Фойгта-Рейсса, Хашина-Штрикмана.
6	Постановка краевой задачи механики композитов с периодической и стохастической структурой.
7	Определение основных этапов решения задач механики композитов на примерах.
8	Решение краевой задачи механики композитов традиционным методом
9	Расчет структурных деформаций в квазиизотропных композитах.
10	Расчет структурных напряжений в квазиизотропных композитах.
11	Расчет эффективных модулей однонаправленных волокнистых композитов.
12	Расчет эффективных модулей упругости слоистых композитов.
13	Расчет эффективных модулей объемно-армированных композитов.
14	Прогнозирование упругопластических свойств композитов
15	Прогнозирование вязкоупругих свойств композитов.

## 5. Организационно-педагогические условия

### 5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

### 5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

## 6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

### 6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
<b>1. Основная литература</b>		
1	Крауч С., Старфилд А. Методы граничных элементов в механике твердого тела : пер. с англ. Москва : Мир, 1987. 328 с.	15
2	Кристенсен Р. М. Введение в механику композитов : пер. с англ. Москва : Мир, 1982. 334 с.	9



3	Кулезнев В. Н., Шершнеv В. А. Химия и физика полимеров : учебник для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. Москва : КолосС, 2007. 367 с.	34
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Композиционные материалы : справочник / Васильев В. В., Протасов В. Д., Болотин В. В., Алфутов Н. А. Москва : Машиностроение, 1990. 510 с.	48
2	Работнов Ю. Н. Механика деформируемого твердого тела : учебное пособие. 2-е изд., испр. Москва : Наука : Физматлит, 1988. 712 с.	46
3	Тагер А. А. Физикохимия полимеров : учебное пособие для вузов. 3-е изд., перераб. Москва : Химия, 1978. 544 с.	29
4	Технология и проектирование углерод-углеродных композитов и конструкций / Соколкин Ю.В., Воинов А.М., Ташкинов А.А., Постных А. М., Чекалкин А. А. М. : Наука : Физматлит, 1996. 239 с.	22
<b>2.2. Периодические издания</b>		
1	Вестник ПНИПУ. Механика : журнал. Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2012 - .	1
2	Механика композиционных материалов и конструкций : всероссийский научный журнал. Москва : Ин-т прикл. механики РАН, 1995 - .	1
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
	Не используется	
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		
	Не используется	

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов	Буткарева, Н. Г. Компьютерное моделирование в прикладной механике : учебное пособие / Н. Г. Буткарева, А. З. Красильников. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2019. — 52 с.	<a href="https://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-157092">https://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-157092</a>	локальная сеть; авторизованный доступ

### 6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATHCAD 14 Academic, ПНИПУ 2009 г.
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Mathematica Professional Version (лиц. L3263-7820*)
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	ANSYS (лиц. 1062978 )

### 6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Springer Nature e-books	<a href="http://link.springer.com/">http://link.springer.com/</a> <a href="http://jwww.springerprotocols.com/">http://jwww.springerprotocols.com/</a> <a href="http://materials.springer.com/">http://materials.springer.com/</a> <a href="http://zbmath.org/">http://zbmath.org/</a> <a href="http://npg.com/">http://npg.com/</a>
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	<a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	<a href="https://elib.pstu.ru/">https://elib.pstu.ru/</a>
Образовательная платформа Юрайт	<a href="https://urait.ru/">https://urait.ru/</a>
Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Электронно-библиотечная система IPRsmart	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	локальная сеть
Информационно-справочная система нормативно-технической документации "Техэксперт: нормы, правила, стандарты и законодательства России"	<a href="http://325290.inkip.ru/docs">http://325290.inkip.ru/docs</a>

### 7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лекция	маркерная доска	1
Лекция	ноутбук	1
Лекция	проектор	1

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Практическое занятие	компьютер	12
Практическое занятие	маркерная доска	1
Практическое занятие	проектор	1

## **8. Фонд оценочных средств дисциплины**

Описан в отдельном документе