

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

**«Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет»**

(ПНИПУ)



«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. ректора,  
председатель приемной  
комиссии ПНИПУ

*[Signature]*  
А.А. Ташкинов  
«01» июня 2023г.

**ПРОГРАММА**

вступительного испытания (междисциплинарного экзамена)  
для поступающих в магистратуру по направлению

**22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»**

профиль программы магистратуры:

**«Проектирование конструкций из композиционных материалов»**

Пермь 2023

Программа содержит перечень тем (вопросов) по дисциплинам профильной части учебного плана подготовки бакалавров по направлению 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов», профиль программы бакалавриата «Конструирование и производство изделий из композиционных материалов», вошедших в содержание билетов вступительных испытаний в магистратуру.

Составитель:

доцент кафедры механики  
композиционных материалов  
и конструкций канд. техн. наук

  
И.Ю. Ошева

Программа рассмотрена и одобрена к изданию методическим семинаром кафедры механики композиционных материалов и конструкций

Протокол № 18 от «31» мая 2023г.

Руководитель ОПОП  
канд. техн. наук

  
П.В. Писарев

И.о. зав. кафедрой механики  
композиционных материалов  
и конструкций  
канд. техн. наук

  
П.В. Писарев

# 1. ДИСЦИПЛИНЫ, ВКЛЮЧЕННЫЕ В ПРОГРАММУ ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ В МАГИСТРАТУРУ

1.1. Механика композиционных материалов

1.2. Проектирование и разработка технологии создания конструкций из композиционных материалов

## 2. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН

### 2.1. «Механика композиционных материалов»

#### Темы (вопросы)

1. *Метрика пространства и меры деформаций.* Линейные элементы и углы между ними. Тензоры малых деформаций и малых вращений. Геометрические соотношения Коши.

2. *Основные уравнения теории деформаций.* Уравнения совместности деформаций. Вычисление перемещений по заданному полю деформаций, формула Чезаро.

3. *Принцип напряжений.* Вектор напряжений. Тензор напряжений. Вычисление векторов напряжений на произвольной площадке по заданному тензору напряжений.

4. *Уравнения равновесия.* Уравнения равновесия в напряжениях. Условия равновесия в напряжениях на границе. Статически допустимые поля напряжений. Главные напряжения и главные направления.

5. *Общие положения теории определяющих соотношений.* Тензоры модулей упругости и упругих податливостей. Упругий потенциал. Физическая, технологическая и деформационная анизотропия упругих свойств. Обобщенный закон Гука.

6. *Упругие свойства конструкционных материалов и композитов.* Частные случаи анизотропии упругих свойств. Технические постоянные упругости. Соотношения термоупругости анизотропных материалов.

7. *Полная система уравнений упругости анизотропных материалов.* Уравнения равновесия в напряжениях и перемещениях. Геометрические и определяющие соотношения. Типы граничных условий.

8. *Типы краевых задач упругости анизотропных материалов.* Краевые задачи упругости анизотропных материалов в перемещениях и напряжениях. Теорема Клапейрона. Теорема об единственности решения краевых задач упругости анизотропных материалов.

9. *Основные определения физико-химии и механики композитов.* Определение композиционного материала. Объект исследования конструкции из композиционного материала. Основная задача – прогнозирование физикомеханических свойств композитов и расчет на жесткость конструкций. Понятие о конструировании композиционных материалов: варьируемые параметры структуры и свойств элементов структуры.

10. *Волокно и матрица.* Роль волокон, матриц и поверхностей раздела в формировании деформационных и прочностных свойств композитов

11. *Классификация и номенклатура композиционных материалов.*

12. *Физико-механические свойства волокон.* Удельные упругие прочностные характеристики.

13. *Физико-механические свойства матриц.*

14. *Физико-механические свойства однонаправленных волокнистых композитов.* Удельные упругие и прочностные характеристики

15. *Физико-химические процессы и явления при формировании композиционных материалов различных видов.* Поверхностные и объемные эффекты.

16. *Виды межфазного взаимодействия.* Типы связей между компонентами. Химические, фазовые и релаксационные превращения, смачивание, адгезия, адсорбция, капиллярные явления.

17. *Фазовая структура композитов.* Аморфное состояние. Высокоэластичное состояние. Стеклообразное состояние. Вязкотекучее состояние. Кристаллическое состояние.

18. *Основные принципы построения моделей композиционных материалов.* Понятие о модели микронеоднородной среды. Микроскопические и макроскопические величины. Их связь.

19. *Эффективные модули упругости.* 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, Хашина-Штрикмана.

20. *Постановка краевой задачи механики композитов с периодической и стохастической структурой.* Классификация краевых задач микромеханики композитов.

21. *Объемная схема расчета конструкций из композиционных материалов.* Исходная информация: Характеристики структуры, задание деформационных и прочностных свойств элементов структуры,

характеристики адгезионной связи, учет технологических параметров, описание геометрии конструкции и условий нагружения.

22. *Этапы решения задачи механики композитов.* Этапы решения задачи: прогнозирование макросвойств; расчет макронапряжений и макродеформаций; расчет микронапряжений и микродеформаций; критерии прочности и трещиностойкости, определение микроповрежденности и параметров микроразрушения и оценка надежности конструкций.

23. *Моментные функции различных порядков.* Понятие о моментных функциях различных порядков для описания структуры разупорядоченных композитов. Понятия макрооднородности и квазиизотропности микронеоднородной среды.

24. *Традиционный метод решения краевой задачи.* Традиционный метод решения краевой задачи для квазиизотропной среды, когда средой сравнения является среда с однородными свойствами. Построение функционала краевой задачи.

25. *Расчет структурных деформаций в квазиизотропных композитах.*

26. *Расчет структурных напряжений в квазиизотропных композитах.*

27. *Принцип локальности в механике композитов.*

28. *Метод локального приближения.*

29. *Метод периодических составляющих.*

30. *Вычисление эффективных модулей упругости в корреляционном приближении.*

31. *Расчет эффективных модулей упругости квазиизотропных композитов методом периодических составляющих.*

32. *Расчет эффективных модулей упругости однонаправленных волокнистых композитов методом периодических составляющих.*

33. *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. Расчет эффективных модулей упругости квазиизотропных композитов методом периодических составляющих.

34. *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.

35. *Упругопластические композиты*. Упругопластическая модель среды. Физические уравнения упругопластической однородной фазы: изотропный и анизотропный случаи. Физические уравнения упругопластических композитов. Прогнозирование макросвойств упругопластических композитов.

36. *Вязкоупругие композиты*. Вязкоупругая модель среды. Физические уравнения вязкоупругой однородной среды: изотропный и анизотропный случаи. Физические уравнения вязкоупругих композитов. Прогнозирование макросвойств вязкоупругих композитов.

### **Литература для подготовки**

Крауч С. Методы граничных элементов в механике твердого тела : пер. с англ. / С. Крауч, А. Старфилд. - М.: Мир, 1987.

Кристенсен Р. М. Введение в механику композитов : пер. с англ. / Р. М. Кристенсен. - Москва: Мир, 1982.

Кулезнев В. Н. Химия и физика полимеров : учебник для вузов / В. Н. Кулезнев, В. А. Шершнева. - М.: КолосС, 2007.

Победря Б. Е. Численные методы в теории упругости и пластичности : учебное пособие для вузов / Б. Е. Победря. - Москва: Изд-во МГУ, 1995.

Полимерные композиционные материалы. Прочность и технология / С. Л. Баженов [и др.]. - Долгопрудный: Интеллект, 2010.

Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология : учебное пособие для вузов / М. Л. Кербер [и др.]. - Санкт-Петербург: Профессия, 2008

Геллер Б. Э. Практическое руководство по физико-химии волокнообразующих полимеров : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Б. Э. Геллер, А. А. Геллер, В. Г. Чиртулов. - Москва: Химия, 1996.

Демидов С. П. Теория упругости : учебник для вузов / С. П. Демидов. - Москва: Высш. шк., 1979.

Композиционные материалы : справочник / В. В. Васильев [и др.]. - Москва: Машиностроение, 1990.

Михайлин Ю. А. Специальные полимерные композиционные материалы / Ю. А. Михайлин. - Санкт-Петербург: Науч. основы и технологии, 2014.

Новацкий В. Теория упругости : пер. с польск. / В. Новацкий. - Москва: Мир, 1975.

Победря Б.Е. Лекции по теории упругости / Б.Е.Победря,Д.В.Георгиевский. - М.: Эдиториал УРСС, 1999

Работнов Ю. Н. Механика деформируемого твердого тела : учебное пособие / Ю. Н. Работнов. - Москва: Наука, Физматлит, 1988.

Тагер А. А. Физикохимия полимеров : учебное пособие для вузов / А.А.Тагер. - Москва: Химия, 1978.

Технология и проектирование углерод-углеродных композитов и конструкций / Ю.В. Соколкин [и др.]. - М.: Наука, Физматлит, 1996.

## **2.2. «Проектирование и разработка технологии создания конструкций из композиционных материалов»**

### **Темы (вопросы)**

1. *Основные стадии проектирования изделий.* Техническое предложение. Эскизный проект. Технический (рабочий) проект. Организация стадий проектирования во времени.

2. *Особенности проектирования конструкций из КМ. Понятие конструктивно-технологической схемы изделия.* Взаимосвязь конструирования, технологии изготовления и расчетов на прочность, устойчивость и деформативности изделий из КМ. Отсутствие унифицированных технологий, большое количество необходимой нестандартной технологической оснастки. Учет пониженной по сравнению с металлами предельно достижимой точности исполнения размеров, границы достижимой точности для разных конструктивно-технологических схем. Влияние деформативности и теплового расширения технологической оснастки и изделия на конечные размеры. Учет особенностей мехобработки деталей из КМ. Особенности в задании размеров, допусков формы и расположения, выборе конструкторских баз и т.д. Технологические припуски.

3. *Основные факторы, влияющие на принятие конструкторских решений.* Функциональное назначение. Силовые факторы, температура эксплуатации, действие агрессивных сред и др. Анизотропия КМ. Возможности существующих технологий, наличие основного и вспомогательного оборудования, необходимость проектирования спецоснастки, требуемая точность исполнения размеров и ее достижимость, относительная нестабильность размеров КМ, доступность основных и вспомогательных материалов. Тиражируемость.

4. *Инженерные методы оценки прочности, устойчивости и деформативности конструкций из КМ.* Схема кольца для шпангоутов. Безмоментные оболочки вращения при осесимметричном нагружении. Безмоментные оболочки вращения при неосесимметричном нагружении.

5. *Основные типы конструкций из КМ.* Баллоны давления. Отсеки и др. оболочечные конструкции, работающие на устойчивость. Трехслойные панели и оболочки (сэндвичи). Сопловые блоки. Оболочечные конструкции ЛА, работающие на прочность и жесткость. Люки, технологические вырезы и отверстия. Узлы крепления навесных агрегатов. Другие типы конструкций.

6. *Типовые элементы конструкций из КМ.* Силовая оболочка. Подкрепляющие элементы (ребра жесткости, стрингеры). Соединительные элементы (шпангоуты, фланцы, законцовки). Типы соединений деталей из КМ, их преимущества и недостатки.

7. *Инженерные оценки прочности, устойчивости и деформативности деталей из КМ при действии технологических нагрузок на различных технологических стадиях изготовления изделий.* Изменение размеров при отверждении и формовании. Учет термоупругих напряжений. Устойчивость тонкостенных элементов при отверждении под давлением.

8. *Основные технологии производства изделий из композиционных материалов.* Выкладка препрега (ручная и автоматизированная). Пропитка под давлением. Напыление рубленым волокном. Процессы RTM. Процессы формования (автоклавное, в прессформах, вакуумное и др.).

9. *Механическая обработка изделий из композиционных материалов.* Особенности механического сверления отверстий в КМ разных типов. Обработка резанием фланцевых узлов. Лазерная и водоструйная резка и сверление.

10. *Типовые технологические дефекты и дефекты механической обработки.* Непроклей, смоляные карманы. Расслоения. Пористость. Непропитка армирующих наполнителей. Выкрашивания связующих и волокон в отвержденных изделиях.

11. *Мероприятия по оценке и назначению ресурса, паспортизации и сертификации конструкций из КМ.* Нормативно-техническая документация, регламентирующая процедуры оценки и назначения ресурса изделий, паспортизации и сертификации конструкций из КМ. Методы оценки ресурса. Типы ресурсов наработки изделий, методики назначения ресурса. Методы подтверждения ресурса изделий из КМ.

### **Литература для подготовки**

Васильев В. В. Механика конструкций из композиционных материалов / В. В. Васильев. - Москва: Машиностроение, 1988.

Воробей В. В. Соединения конструкций из композиционных материалов / В. В. Воробей, О. С. Сироткин. - Ленинград: Машиностроение, 1985.



Композиционные материалы : справочник / В. В. Васильев [и др.]. - Москва: Машиностроение, 1990.

Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология : учебное пособие для вузов / М. Л. Кербер [и др.]. - Санкт-Петербург: Профессия, 2008.

Композиционные материалы : справочник / В. В. Васильев [и др.]. - Москва: Машиностроение, 1990.

Ковтунов А. И., Мямин С. В., Семистенова Т. В. Слоистые композиционные материалы [электронный ресурс] электронное учебное пособие Тольятти : ТГУ, 2017

Андрюшкин, А.Ю. Композиционные материалы в производстве летательных аппаратов: учебное пособие для вузов. [Электронный ресурс] / А.Ю.Андрюшкин, В.К.Иванов. – Элек-трон.дан. СПб.: БГТУ «Военмех» им. Д.Ф.Устинова, 2010. – 136 с.

Заикин, А. Е. Полимерные композиционные материалы. Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2018

### 3. ПРИМЕР ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА



**пермский  
политех**

АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА МЕХАНИКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИИ

22.04.01 Материаловедение  
и технологии материалов

Профиль «Проектирование конструкций  
из композиционных материалов»

**ВСТУПИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ**  
(междисциплинарный экзамен)

#### Билет № 1

№	Теоретический вопрос	Количество баллов
1	Упругие свойства конструкционных материалов и композитов. Частные случаи анизотропии упругих свойств. Технические постоянные упругости	30
2	Принцип локальности в механике композитов	35
3	Основные факторы, влияющие на принятие конструкторских решений при проектировании изделий из композиционных материалов	35

И.о. заведующего кафедрой

\_\_\_\_\_ П.В. Писарев

«01» июля 2023 г.

#### 4. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

К сдаче вступительных испытаний допускаются лица в соответствии с Правилами приема, установленными в ПНИПУ на следующий учебный год. Вступительные испытания (междисциплинарный экзамен) проводятся в письменном виде. Экзаменационный билет содержит три вопроса. На проведение вступительного испытания отводится не более 4 астрономических часов, из них 20-25 минут на доклад и ответы на вопросы. Абитуриенты, сдающие вступительный экзамен, должны продемонстрировать глубокие теоретические знания в области направления подготовки бакалавра 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов», уметь логично и аргументированно излагать материал. Ответ должен быть точно на поставленный вопрос, полно и глубоко раскрывающий суть вопроса. Освещение смежных вопросов приветствуется, но не может заменить полный ответ на поставленный вопрос. Вступительные испытания оцениваются по стобалльной шкале. Результаты вступительных испытаний доводятся до сведения поступающих на следующий день после сдачи междисциплинарного экзамена согласно правилам, установленным в Положении о вступительных испытаниях и конкурсном отборе в магистратуру ПНИПУ. В день объявления результатов поступающий имеет право подать в апелляционную комиссию апелляцию о несогласии с полученной оценкой. Апелляция проводится в соответствии с Положением об апелляционной комиссии ПНИПУ.

Выпускникам бакалавриата, поступающим на направление магистратуры, соответствующее направлению ранее освоенной ими образовательной программы в качестве вступительного испытания в магистратуру засчитываются результаты государственной итоговой аттестации согласно процедуре перевода:

Оценка выпускной квалификационной работы	Результат вступительного испытания, баллы
5 (отлично)	100
4 (хорошо)	80
3 (удовлетворительно)	50

Учет индивидуальных достижений поступающих:

№ п/п	Перечень учитываемых индивидуальных достижений	Количество начисляемых баллов
1	Наличие научных публикаций в периодических изданиях, индексируемых в наукометрических базах данных Web of Science, Scopus, РИНЦ, а так же входящих в список ВАК, другие периодические издания по решению приемно-отборочной комиссии факультета	до 25
2	Участие с докладами на Всероссийских и Международных конференциях	до 10
3	Победители и призеры Всероссийских и Международных предметных олимпиад по направлению магистратуры (определяет приемно-отборочной комиссии факультета)	до 10
4	Победители и призеры конкурсов курсовых и дипломных работ по направлению магистратуры (определяет приемно-отборочной комиссии факультета)	до 10
5	Другие достижения по решению приемно-отборочной комиссии факультета	до 5

Указанные баллы начисляются абитуриенту, представившему документы, подтверждающие его индивидуальные достижения, но не более чем 25 баллов в сумме