

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета ФМАТ

И.Г. Дроздов

« 1 » сентября 2023



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Современные технологии авиационных
конструкций из полимерно-композиционных
материалов»

Специальность 24.05.07 Самолето- и вертолетостроение

Специализация специализация «Самолетостроение»

Квалификация выпускника инженер

Нормативный период обучения 5 лет и 6 мес

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2023

Автор программы

К.С. Сафонов

Заведующий кафедрой
Самолетостроения

Е.Н. Некравцев

Руководитель ОПОП

Е.Н. Некравцев

Воронеж 2023

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Целью освоения дисциплины является изучение передовых производственных технологий производства изделий из полимерных композиционных материалов для производства авиационной техники. Основная задача курса освоение студентом знаний основных современных технологий производства изделий из полимерных композиционных материалов, освоение умений применять различные технологические приемы при проектировании и изготовлении изделий авиационной техники из полимерных композиционных материалов, владеть основными навыками разработки технологического процесса производства изделий из ПКМ.

1.2. Задачи освоения дисциплины

1. Освоение студентом знаний основных современных технологий производства изделий из полимерных композиционных материалов;
2. Освоение умений применять различные технологические приемы при проектировании и изготовлении изделий авиационной техники из полимерных композиционных материалов;
3. Владеть основными навыками разработки технологического процесса производства изделий из ПКМ.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Современные технологии авиационных конструкций из полимерно-композиционных материалов» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Современные технологии авиационных конструкций из полимерно-композиционных материалов» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-4 - Способен разрабатывать технические проекты авиационной техники, ее модернизации или модификации;

ПК-5 - Способен разрабатывать проектную конструкторскую документацию на механические конструкции, узлы и агрегаты систем ЛА.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-4	знать: <ul style="list-style-type: none">- современные технологии производства авиационных конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ);- возможности и ограничения различных технологических методов (RTM, вакуумная инфузия, препреговая технология, намотка, пултрузия) при проектировании;- принципы технологической подготовки проектных решений для конструкций из ПКМ;

	<p>- критерии оценки технологичности проектируемых деталей и узлов из ПКМ.</p> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - выбирать технологию изготовления детали из ПКМ на этапе технического проектирования с учетом требований к качеству, серийности и стоимости; - обосновывать выбор технологических решений в проектной документации; - оценивать технологичность проектируемых конструкций из ПКМ; - анализировать влияние выбранной технологии на конструктивные параметры изделия. <p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методами технологической подготовки проектных решений для конструкций из ПКМ; - навыками оценки технологичности проектируемых деталей из ПКМ; - навыками выбора рациональной технологии изготовления на основе анализа технико-экономических показателей.
ПК-5	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - требования нормативной документации (ЕСКД, отраслевые стандарты) к конструкторской документации на изделия из ПКМ; - особенности отображения в чертежах слоистых композиционных материалов (схемы укладки, обозначения, технические требования); - правила оформления спецификаций и ведомостей на детали и узлы из ПКМ; - типовые конструктивные решения для соединения и стыковки элементов из ПКМ. <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - разрабатывать конструкторскую документацию на детали и узлы из ПКМ с учетом технологических особенностей их производства; - назначать технические требования на изготовление, контроль и приемку деталей из ПКМ; - разрабатывать схемы укладки слоев для слоистых композиционных материалов; - выбирать и обосновывать конструктивные параметры соединений деталей из ПКМ. <p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками работы с САД-системами (Компас-3D) при проектировании конструкций из ПКМ; - методиками оформления конструкторской документации в

соответствии с ЕСКД для изделий из ПКМ;
 - навыками разработки технических требований на изготовление и контроль деталей из ПКМ;
 - методами конструирования деталей из ПКМ с учетом анизотропии свойств.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Современные технологии авиационных конструкций из полимерно-композиционных материалов» составляет 4 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		5
Аудиторные занятия (всего)	54	54
В том числе:		
Лекции	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	36	36
Самостоятельная работа	90	90
Виды промежуточной аттестации – зачет с оценкой	+	+
Общая трудоемкость: академические часы	144	144
зач.ед.	4	4

очно-заочная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		4
Аудиторные занятия (всего)	54	54
В том числе:		
Лекции	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	36	36
Самостоятельная работа	90	90
Виды промежуточной аттестации – зачет с оценкой	+	+
Общая трудоемкость: академические часы	144	144
зач.ед.	4	4

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	ЛР	СРС	Всего, час
-------	-------------------	--------------------	------	----	-----	------------

1	Проектирование конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ)	Понятие о полимерном композиционном материале (ПКМ). Дисперсно наполненные ПКМ. Механические свойства твердофазных дисперсно наполненных ПКМ. Анизотропия свойств ПКМ и ее учет при проектировании. Критерии выбора материала для авиационных конструкций. Принципы конструирования деталей из ПКМ: схемы армирования, зоны локального усиления, конструкторско-технологические ограничения.	2	4	10	16
2	Технология пропитки под давлением и инфузия. Выбор технологии на этапе проектирования	Применение технологии RTM на примере изделий авиационной, ракетно-космической, автомобильной и морской техники. Понятие о процессе вакуумной инфузии. Поэтапный процесс изготовления изделия методом вакуумной инфузии. Основные требования, предъявляемые к исходным материалам при изготовлении композитных деталей. Методика выбора технологии (RTM, вакуумная инфузия) на этапе технического проектирования с учетом серийности, геометрии и требований к качеству. Влияние выбранной технологии на конструктивные параметры детали.	4	8	20	32
3	Технология контактного формования и изготовления композитной оснастки. Оценка технологичности	Модели, оснастка, прототипы. Технологии изготовления композитной оснастки методом контактного формования. Проблемы контактного формования и способы их решения. Оценка технологичности проектируемых деталей из ПКМ: критерии технологичности, влияние конструкции на сложность изготовления. Разработка технических требований к оснастке.	4	8	20	32
4	Обработка и ремонт изделий из ПКМ. Конструкторское обеспечение ремонтпригодности	Обрезка, соединение, обработка поверхности ПКМ. Шлифовка поверхности и механическая обработка. Дефекты, повреждения и ремонт. Конструктивные решения, обеспечивающие ремонтпригодность изделий из ПКМ: зоны доступа, конструкция соединений, типовые ремонтные схемы. Оформление в конструкторской документации требований к ремонту.	4	8	20	32
5	Метод намотки, пултрузия, препреговая технология. Разработка конструкторской документации	Изготовление полимерных цилиндров методом намотки. Пултрузия профилей из армированных термопластов.	4	8	20	32

		Формование изделий из препрегов. Горячее пресование. Мокрый способ формования. Особенности разработки конструкторской документации на детали из препрегов: схемы укладки, технические требования на изготовление, обозначения в чертежах. Оформление спецификаций и ведомостей на материалы.				
			18	36	90	144

очно-заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	СРС	Всего, час
1	Проектирование конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ)	Понятие о полимерном композиционном материале (ПКМ). Дисперсно наполненные ПКМ. Механические свойства твердофазных дисперсно наполненных ПКМ. Анизотропия свойств ПКМ и ее учет при проектировании. Критерии выбора материала для авиационных конструкций. Принципы конструирования деталей из ПКМ: схемы армирования, зоны локального усиления, конструкторско-технологические ограничения.	2	4	10	16
2	Технология пропитки под давлением и инфузия. Выбор технологии на этапе проектирования	Применение технологии RTM на примере изделий авиационной, ракетно-космической, автомобильной и морской техники. Понятие о процессе вакуумной инфузии. Поэтапный процесс изготовления изделия методом вакуумной инфузии. Основные требования, предъявляемые к исходным материалам при изготовлении композитных деталей. Методика выбора технологии (RTM, вакуумная инфузия) на этапе технического проектирования с учетом серийности, геометрии и требований к качеству. Влияние выбранной технологии на конструктивные параметры детали.	4	8	20	32
3	Технология контактного формования и изготовления композитной оснастки. Оценка технологичности	Модели, оснастка, прототипы. Технологии изготовления композитной оснастки методом контактного формования. Проблемы контактного формования и способы их решения. Оценка технологичности проектируемых деталей из ПКМ: критерии технологичности, влияние конструкции на сложность изготовления. Разработка технических требований к	4	8	20	32

		оснастке.				
4	Обработка и ремонт изделий из ПКМ. Конструкторское обеспечение ремонтпригодности	Обрезка, соединение, обработка поверхности ПКМ. Шлифовка поверхности и механическая обработка. Дефекты, повреждения и ремонт. Конструктивные решения, обеспечивающие ремонтпригодность изделий из ПКМ: зоны доступа, конструкция соединений, типовые ремонтные схемы. Оформление в конструкторской документации требований к ремонту.	4	8	20	32
5	Метод намотки, пултрузия, препреговая технология. Разработка конструкторской документации	Изготовление полимерных цилиндров методом намотки. Пултрузия профилей из армированных термопластов. Формование изделий из препрегов. Горячее пресование. Мокрый способ формования. Особенности разработки конструкторской документации на детали из препрегов: схемы укладки, технические требования на изготовление, обозначения в чертежах. Оформление спецификаций и ведомостей на материалы.	4	8	20	32
Итого			18	36	90	144

5.2 Перечень лабораторных работ

Лабораторная работа № 1. Синтез дисперсно-наполненного ПКМ и прогнозирование его свойств. Оценка применимости материала для проектируемой конструкции.

Лабораторная работа № 2. Разработка технологической карты на изготовление детали методом вакуумной инфузии. Обоснование выбора метода в проектной документации.

Лабораторная работа № 3. Анализ дефектов композитной конструкции и разработка карты ремонта. Формулирование технических требований к ремонту в конструкторской документации.

Лабораторная работа № 4. Сравнительный анализ технологий изготовления: выбор оптимального метода. Оформление раздела «Технологические решения» в техническом проекте.

Лабораторная работа № 5. Расчет прочности многослойной композитной панели (ламината). Разработка схемы армирования и оформление в чертеже.

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной

работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-4	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - современные технологии производства авиационных конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ); - возможности и ограничения различных технологических методов (RTM, вакуумная инфузия, препреговая технология, намотка, пултрузия) при проектировании; - принципы технологической подготовки проектных решений для конструкций из ПКМ; - критерии оценки технологичности проектируемых деталей и узлов из ПКМ. 	Посещение лекций. Выполнение и защита лабораторных работ.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - выбирать технологию изготовления детали из ПКМ на этапе технического проектирования с учетом требований к качеству, серийности и стоимости; - обосновывать выбор технологических решений в проектной документации; - оценивать технологичность проектируемых конструкций из ПКМ; - анализировать влияние выбранной технологии на конструктивные параметры изделия. 	Посещение лекций. Выполнение и защита лабораторных работ.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методами технологической подготовки проектных решений для конструкций из ПКМ; - навыками оценки технологичности проектируемых 	Посещение лекций. Выполнение и защита лабораторных работ.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	деталей из ПКМ; - навыками выбора рациональной технологии изготовления на основе анализа технико-экономических показателей.			
ПК-5	знать: - требования нормативной документации (ЕСКД, отраслевые стандарты) к конструкторской документации на изделия из ПКМ; - особенности отображения в чертежах слоистых композиционных материалов (схемы укладки, обозначения, технические требования); - правила оформления спецификаций и ведомостей на детали и узлы из ПКМ; - типовые конструктивные решения для соединения и стыковки элементов из ПКМ.	Посещение лекций. Выполнение и защита лабораторных работ.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь: - разрабатывать конструкторскую документацию на детали и узлы из ПКМ с учетом технологических особенностей их производства; - назначать технические требования на изготовление, контроль и приемку деталей из ПКМ; - разрабатывать схемы укладки слоев для слоистых композиционных материалов; - выбирать и обосновывать конструктивные параметры соединений деталей из ПКМ.	Посещение лекций. Выполнение и защита лабораторных работ.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть: - навыками работы с САД-системами (Компас-3D) при проектировании конструкций из ПКМ; - методиками оформления конструкторской документации в соответствии с ЕСКД для изделий из ПКМ; - навыками разработки технических требований на изготовление и контроль деталей из ПКМ; - методами конструирования деталей из ПКМ с учетом анизотропии свойств.	Посещение лекций. Выполнение и защита лабораторных работ.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 5 семестре для очной формы обучения, 5 семестре для очно-заочной формы обучения, 5 семестре для заочной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;
«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-4	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - современные технологии производства авиационных конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ); - возможности и ограничения различных технологических методов (RTM, вакуумная инфузия, препреговая технология, намотка, пултрузия) при проектировании; - принципы технологической подготовки проектных решений для конструкций из ПКМ; - критерии оценки технологичности проектируемых деталей и узлов из ПКМ. 	Тест	Выполнение на 90-100%	Выполнение на 80-90%	Выполнение на 70-800%	В тесте менее 70% правильных ответов
	<p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - выбирать технологию изготовления детали из ПКМ на этапе технического проектирования с учетом требований к качеству, серийности и стоимости; - обосновывать выбор технологических решений в проектной документации; - оценивать технологичность проектируемых конструкций из ПКМ; - анализировать влияние выбранной технологии на конструктивные параметры изделия. 	Решение стандартных практических задач, написание курсового проекта	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методами технологической подготовки проектных решений для конструкций из ПКМ; - навыками оценки технологичности проектируемых деталей из ПКМ; - навыками выбора рациональной технологии изготовления на основе анализа технико-экономических показателей. 	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

ПК-5	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - требования нормативной документации (ЕСКД, отраслевые стандарты) к конструкторской документации на изделия из ПКМ; - особенности отображения в чертежах слоистых композиционных материалов (схемы укладки, обозначения, технические требования); - правила оформления спецификаций и ведомостей на детали и узлы из ПКМ; - типовые конструктивные решения для соединения и стыковки элементов из ПКМ. 	Тест	Выполнение на 90-100%	Выполнение на 80-90%	Выполнение на 70-800%	В тесте менее 70% правильных ответов
	<p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - разрабатывать конструкторскую документацию на детали и узлы из ПКМ с учетом технологических особенностей их производства; - назначать технические требования на изготовление, контроль и приемку деталей из ПКМ; - разрабатывать схемы укладки слоев для слоистых композиционных материалов; - выбирать и обосновывать конструктивные параметры соединений деталей из ПКМ. 	Решение стандартных практических задач, написание курсового проекта	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками работы с САД-системами (Компас-3D) при проектировании конструкций из ПКМ; - методиками оформления конструкторской документации в соответствии с ЕСКД для изделий из ПКМ; - навыками разработки технических требований на изготовление и контроль деталей из ПКМ; - методами конструирования деталей из ПКМ с учетом анизотропии свойств. 	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Что такое полимерный композиционный материал (ПКМ)?

- а) Сплавы на основе полимеров
- б) Гомогенная смесь нескольких полимеров
- в) Гетерогенная система, состоящая из полимерной матрицы и упрочняющего наполнителя
- г) Материал, получаемый исключительно методом литья под давлением

2. Основная цель введения дисперсного наполнителя в полимерную матрицу:

- а) Модификация свойств матрицы (упрочнение, снижение усадки, изменение электропроводности)
- б) Увеличение пластичности материала
- в) Снижение стоимости материала без изменения свойств
- г) Повышение температуры стеклования матрицы

3. Технология RTM (Resin Transfer Molding) характеризуется тем, что:

- а) Армирующий материал пропитывается смолой до укладки в форму
- б) Сухое армирование укладывается в закрытую форму, куда под давлением закачивается смола
- в) Формование происходит под атмосферным давлением
- г) Это метод непрерывного формования профилей

4. Ключевое отличие процесса вакуумной инфузии от RTM заключается в том, что:

- а) Используются разные типы смол
- б) При инфузии форма является односторонней, а вакуум создается под пленкой, а при RTM форма закрытая и жесткая
- в) Инфузия применяется только для термопластов
- г) При инфузии не используется вакуум

5. Что такое препрег?

- а) Готовое изделие из ПКМ
- б) Сухой армирующий материал
- в) Предварительно пропитанный полимерным связующим армирующий материал
- г) Инструмент для уплотнения композита

6. Основная проблема, характерная для контактного формования (hand lay-up):

- а) Высокая стоимость оснастки
- б) Невозможность изготовления крупногабаритных изделий
- в) Высокая вероятность образования пор и непропитов из-за ручного процесса
- г) Очень длительный цикл формования

7. Какой метод механической обработки НЕ рекомендуется для ПКМ

из-за риска расслоения?

- а) Фрезерование
- б) Использование тупого инструмента или слишком высоких скоростей резания**
- в) Аккуратное сверление
- г) Лазерная резка

8. Что такое гелькоут (gel coat)?

- а) Клей для соединения композитных деталей
- б) Декоративно-защитное покрытие, наносимое на форму перед формованием**
- в) Разделительная смазка для формы
- г) Вид наполнителя для смолы

9. Какой метод производства является непрерывным и используется для изготовления длинномерных профилей постоянного сечения?

- а) Вакуумная инфузия
- б) Намотка
- в) Пултрузия**
- г) Прессование

10. Для чего предназначен метод намотки?

- а) Для изготовления плоских панелей
- б) Для производства дисперсно-наполненных композитов
- в) Для изготовления полых тел вращения (трубы, баллоны)**
- г) Для создания прототипов

11. Что является главным преимуществом композиционных материалов?

- а) Низкая стоимость производства
- б) Простота утилизации
- в) Высокая удельная прочность и жесткость (прочность/плотность)**
- г) Изотропность свойств

12. Что чаще всего является причиной образования пор в изделии, полученном методом вакуумной инфузии?

- а) Слишком низкая температура в цеху
- б) Негерметичность вакуумного пакета или утечка вакуума**
- в) Слишком быстрое закачивание смолы
- г) Использование тканого армирования

13. Какой метод НЕ является методом формования изделий из ПКМ?

- а) Пултрузия
- б) Намотка
- в) Экструзия полимерных гранул**
- г) Прессование препрегов

14. Что такое «жизнеспособность» (pot life) смолы?

- а) Срок годности смолы в закрытой таре
- б) Время, в течение которого смола сохраняет удобообрабатываемую вязкость после смешивания с отвердителем**
- в) Время полного отверждения смолы

г) Время, необходимое для вакуумирования пакета

15. Какой вид дефекта возникает из-за недостаточного уплотнения слоев при контактном формовании?

а) Трещины

б) Расслоение (delamination)

в) Коробление

г) Пожелтение

16. Какой параметр является определяющим при выборе схемы армирования слоистого композита для элемента конструкции, работающего на изгиб?

А) Симметричность укладки относительно срединной поверхности

Б) Максимальное расположение высокомодульных слоев в зонах максимальных напряжений

В) Использование только тканых армирующих наполнителей

Г) Минимальное количество слоев

17. Что означает обозначение « $0^\circ/90^\circ/\pm 45^\circ 0^\circ/90^\circ/\pm 45^\circ$ » в конструкторской документации на изделие из композиционного материала?

А) Температурный режим формования

Б) Схему укладки слоев с указанием ориентации волокон и симметричностью относительно срединной поверхности

В) Химический состав связующего

Г) Параметры термообработки

18. Какой раздел конструкторской документации на деталь из ПКМ содержит требования к схеме укладки слоев?

А) Спецификация

Б) Технические требования на чертеже

В) Ведомость материалов

Г) Пояснительная записка

19. Какое требование является определяющим при проектировании соединения композитных деталей болтами?

А) Минимальное количество болтов

Б) Обеспечение равномерного распределения нагрузки и минимизация концентрации напряжений в зоне отверстия

В) Использование только титановых болтов

Г) Отсутствие герметизации

20. Что оценивается при анализе технологичности проектируемой детали из ПКМ?

А) Только стоимость материала

Б) Сложность изготовления, возможность применения выбранной технологии, доступность зон формования

В) Только прочностные характеристики

Г) Только массу детали

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Композит изготовлен на основе эпоксидной смолы (плотность 1.2 г/см^3) с наполнителем из стеклянных волокон (плотность 2.5 г/см^3). Массовая доля волокон составляет 60%. Рассчитайте плотность композиционного материала.
- а) 1.55 г/см^3
 - б) 1.68 г/см^3
 - в) 1.85 г/см^3
 - г) 2.01 г/см^3
2. В композите массой 100 г содержится 65 г стекловолокна (плотность 2.6 г/см^3) и 35 г полиэфирной смолы (плотность 1.15 г/см^3). Чему равна объемная доля волокна?
- а) 40%
 - б) 55%
 - в) 65%
 - г) 72%
3. Предел прочности однонаправленного углепластика при растяжении вдоль волокон рассчитывается по правилу смесей. Если прочность волокна 3500 МПа, прочность матрицы 80 МПа, а объемная доля волокна 0.6, то какова расчетная прочность композита? (Учтите, что доля волокна выше критической).
- а) 80 МПа
 - б) 1500 МПа
 - в) 2120 МПа
 - г) 3500 МПа
4. Рассчитайте критическую длину волокна, если его диаметр 10 мкм, прочность на растяжение 2500 МПа, а прочность сдвига на границе с матрицей составляет 50 МПа.
- а) 0.125 мм
 - б) 0.250 мм
 - в) 0.500 мм
 - г) 1.000 мм
5. Теоретическая плотность препрега рассчитывается как 1.58 г/см^3 . Фактическая плотность отвержденного образца составила 1.52 г/см^3 . Оцените объемную пористость материала.
- а) 1.5%
 - б) 3.8%
 - в) 5.8%
 - г) 6.5%
6. Для изготовления детали методом вакуумной инфузии требуется уложить 5 слоев стеклоткани плотностью 600 г/м^2 каждый. Площадь детали 2 м^2 . Рассчитайте, сколько смолы (в кг) потребуется для ее пропитки, если массовое соотношение стекло/смола должно быть 60/40.

- а) 2.4 кг
- б) 4.0 кг
- в) 6.0 кг
- г) 9.0 кг

7. Для изготовления трубы диаметром 500 мм и длиной 6 м с толщиной стенки 8 мм и высокими требованиями к прочности и герметичности выберите наиболее подходящий метод.

- а) Контактное формование
- б) Намотка
- в) Вакуумная инфузия
- г) Пултрузия

8. При отверждении литевой смолы линейная усадка составляет 0.6%. Какой будет конечная длина изделия (в мм), если модель имела длину 250 мм?

- а) 248.50 мм
- б) 248.50 мм
- в) 251.50 мм
- г) 250.60 мм

9. Для изготовления крупногабаритной панели кузова автомобиля серийностью 50 тыс. штук в год выбирается материал оснастки. Какой вариант наиболее предпочтителен?

- а) Дерево
- б) Сталь
- в) Гипс
- г) Композит на основе эпоксидной смолы

10. Для сверления отверстий в углепластике рекомендуется использовать:

- а) Стальные сверла стандартной геометрии
- б) Твердосплавные сверла с острым углом заточки и специальной геометрией
- в) Ударные сверла
- г) Сверла с титановым покрытием

11. Для панели крыла БАС размерами 500×300 мм, работающей на изгиб с максимальным изгибающим моментом 500 Н·м, разработайте схему армирования из однонаправленного углепластика. Определите необходимое количество слоев в зонах растяжения и сжатия, обоснуйте выбор.

12. Разработайте эскиз чертежа детали «кронштейн» из углепластика. Укажите на чертеже: схему укладки слоев, технические требования к изготовлению, допуски и посадки для зон механической обработки.

13. Для детали «обтекатель антенны» сложной формы из стеклопластика с высокими требованиями к точности геометрии и качеству поверхности выберите технологию изготовления из следующих: контактное формование, вакуумная инфузия, прессование препрегов. Обоснуйте выбор с учетом

серийности (100 шт./год).

14. Проведите анализ технологичности детали «лонжерон» сложного профиля из углепластика. Укажите конструктивные элементы, усложняющие изготовление, и предложите изменения для повышения технологичности.

15. Составьте перечень технических требований для чертежа детали «панель» из стеклопластика, изготавливаемой методом вакуумной инфузии. Включите требования к: схемам укладки, содержанию связующего, допустимым дефектам, методам контроля.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Компания планирует выпускать 10 000 единиц в год корпуса беспилотного летательного аппарата (БПЛА) сложной аэродинамической формы. Требуются высокие механические свойства и стабильность геометрии. Бюджет на оснастку ограничен. Проанализируйте «за» и «против» технологий вакуумной инфузии и прессования препрегов. Какой метод вы бы рекомендовали и почему?

- а) Вакуумная инфузия, так как она дешевле для малых серий.
- б) Прессование препрегов, так как оно обеспечивает высокую стабильность и качество при такой серийности, несмотря на высокую стоимость оснастки.
- в) Вакуумная инфузия, так как она позволяет использовать более дешевые материалы.
- г) Прессование препрегов, так как оно не требует вакуумного оборудования.

2. Вам необходимо изготовить панель размером 2м x 1м методом вакуумной инфузии. Пакет армирования состоит из 4 слоев стеклоткани плотностью 600 г/м² и 2 слоев стекломата 450 г/м². Рассчитайте необходимое количество эпоксидной смолы (в кг), если проектное соотношение стекло/смола в готовом изделии должно составлять 50/50 по массе. Учтите, что в системе останется ~5% смолы.

- а) ~3.5 кг
- б) ~4.8 кг
- в) ~5.5 кг
- г) ~7.2 кг

3. После изготовления детали методом ручного формования на ее поверхности обнаружены множественные пузыри и непропиты. Что является наиболее вероятной причиной и как это исправить в будущем?

- а) Смола слишком быстро отверждалась. Нужно увеличить температуру в цехе.
- б) Недостаточное уплотнение прикаточным валиком. Необходимо тщательнее прокатывать каждый слой для удаления воздуха.

- в) Слишком низкая влажность воздуха. Нужно увлажнить помещение.
- г) Неправильная геометрия детали. Нужно изменить конструкцию.

4. На поверхности композитной лопасти ветрогенератора обнаружено повреждение от удара: трещина и локальное расслоение диаметром около 100 мм. Какая последовательность ремонтных работ является правильной?

- а) Наложить заплату из стеклоткани с смолой поверх повреждения.
- б) 1. Вырезать поврежденный участок. 2. Сделать скос по периметру. 3. Послойно уложить заплату. 4. Вакуумировать для уплотнения.
- в) Просверлить отверстия по краям трещины чтобы остановить ее рост и заполнить полость шпаклевкой.
- г) Прогреть поврежденную область для восстановления структуры материала.

5. Цикл отверждения эпоксидной смолы при 60°C составляет 5 часов. На сколько примерно сократится время полного цикла, если повысить температуру до 80°C ? (Считать, что правило Вант-Гоффа выполняется, и температурный коэффициент $\gamma = 2$).

- а) Цикл сократится на 1 час.
- б) Цикл сократится на 2 часа.
- в) Цикл сократится примерно в 2 раза (до ~ 2.5 часов).
- г) Цикл не изменится, так как температура слишком высокая.

6. Требуется изготовить 100 кронштейнов. Себестоимость одного изделия из алюминиевого сплава (мехобработка из плиты) составляет 1500 руб. Себестоимость изготовления композитного кронштейна (оснастка + материалы + работа) оценивается в 2000 руб. за первое изделие, но падает до 800 руб. за штуку при учете амортизации оснастки на весь тираж. Какой вариант выгоднее и почему?

- а) Выгоднее алюминий, так как дешевле первого образца.
- б) Выгоднее композит
- в) Выгоднее алюминий, так как он надежнее.
- г) Задачи одинаковы по стоимости.

7. Проектируется силовой кронштейн, работающий на растяжение. Критически важно минимизировать вес. Какой материал армирования обеспечит наивысшую удельную прочность (прочность/плотность)?

- а) Стекловолоконное волокно
- б) Углеродное волокно
- в) Арамидное волокно (кевлар)
- г) Базальтовое волокно

9. При испытаниях на растяжение образца из углепластика разрушение произошло не по середине, а в захватах машины. Началось оно с расслоения

и выдергивания волокон. В чем наиболее вероятная причина?

- а) Слишком высокая скорость нагружения.
- б) Концентрация напряжений в зоне контакта с захватами и недостаточная прочность на межслойный сдвиг.
- в) Неправильное направление волокон в образце.
- г) Использование слишком плотной ткани.

9. Каким методом неразрушающего контроля (НК) лучше всего оперативно обнаруживать расслоение в монолитной кромке углепластиковой панели после мехобработки?

- а) Визуальный осмотр
- б) Ультразвуковой контроль (УЗК) или методом тап-теста (простукивания)
- в) Измерение твердости
- г) Рентгеновский контроль

10. Необходимо надежно соединить две композитные панели из терморезистивной смолы. Требуется высокая прочность и герметичность. Какой метод соединения является наиболее предпочтительным?

- а) Механическое соединение на заклепках.
- б) Склеивание высокопрочным конструкционным клеем.
- в) Сварка ультразвуком.
- г) Стягивание винтами.

11. Разработка конструкторской документации на деталь из ПКМ. Спроектируйте кронштейн крепления двигателя БАС массой 2 кг, работающий в условиях вибрации с перегрузкой до 6g. Разработайте:

- эскиз чертежа детали с указанием размеров и схемы армирования;
- технические требования на изготовление;
- спецификацию материалов.

12. Проектирование узла соединения. Разработайте узел соединения двух композитных панелей из углепластика с помощью болтового соединения. Выполните:

- выбор типа соединения (встык, внахлест);
- расчет количества болтов;
- конструктивные мероприятия по снижению концентрации напряжений в зоне отверстий;
- эскиз узла с указанием всех элементов.

13. Технологическая подготовка проектного решения. Для корпуса БАС сложной аэродинамической формы, изготавливаемого методом вакуумной инфузии, разработайте:

- обоснование выбора метода;
- требования к оснастке;
- рекомендации по схеме армирования;

- раздел «Технологические решения» в составе технического проекта.

14. Проектирование с учетом ремонтпригодности. Разработайте конструкцию съемной панели доступа из углепластика для фюзеляжа БАС. Обеспечьте:

- возможность многократного демонтажа;
- герметичность соединения;
- защиту кромок от расслоения.

Выполните чертёж панели с указанием конструктивных особенностей.

15. Оценка технологичности и оптимизация конструкции. Проведите анализ технологичности предложенной детали из ПКМ (по выбору преподавателя). Разработайте предложения по изменению конструкции для повышения технологичности. Оформите заключение в виде таблицы «Существующее решение – Предлагаемое изменение – Обоснование».

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Дайте определение полимерному композиционному материалу (ПКМ). Назовите основные компоненты и их функции.
2. В чем заключается синергетический эффект в композиционных материалах?
3. Классификация ПКМ по типу армирующего наполнителя (на примерах).
4. Опишите механизм упрочнения в дисперсно-наполненных ПКМ. Какие факторы влияют на эффективность упрочнения?
5. Сформулируйте правило смесей для оценки плотности и модуля упругости композита.
6. Что такое "критическая длина волокна"? От каких параметров она зависит и на что влияет?
7. Опишите суть и основные этапы технологии ручного (контактного) формования. Ее преимущества и недостатки.
8. Раскройте принцип технологии вакуумной инфузии. Чем она принципиально отличается от RTM?
9. Опишите процесс изготовления изделий из препрегов. Что такое "схема укладки" (lay-up)?
10. В чем сущность метода намотки? Для изготовления каких типов изделий он primarily применяется?
11. Опишите процесс пултрузии. Какие изделия и почему производят этим методом?
12. Что такое "гелькоут"? Какую функцию он выполняет и где применяется?
13. Дайте определение препрегу. Какие бывают виды препрегов (по типу связующего)?
14. Перечислите основные требования, предъявляемые к материалам (армирование, связующее) для вакуумной инфузии.
15. Что такое модель, оснастка (форма) и прототип? Из каких материалов их изготавливают?

16. Каковы основные проблемы, возникающие при контактном формовании, и способы их решения?
17. Какие факторы влияют на выбор материала для изготовления оснастки?
18. Особенности механической обработки (сверление, фрезерование, обрезка) ПКМ. Рекомендации по выбору инструмента.
19. Перечислите основные виды дефектов в готовых изделиях из ПКМ (пористость, непропит, расслоение) и их возможные причины.
20. Какие методы неразрушающего контроля (НК) применяются для выявления дефектов в ПКМ? (например, УЗК, тепловой контроль).
21. Основные этапы и принципы ремонта поврежденных композитных конструкций.
22. Объясните понятие "анизотропия свойств" применительно к ПКМ. Чем она обусловлена?
23. В чем заключается главное преимущество ПКМ по удельным характеристикам (прочность, жесткость) перед традиционными материалами?
24. Приведите примеры применения ПКМ в авиационной и космической технике. Чем обусловлен их выбор в этих областях?
25. Приведите примеры применения ПКМ в автомобилестроении и спортивной индустрии.
26. Сравните свойства и области применения изделий из стекло- и углепластика.
27. Как изменится плотность композита при увеличении объемной доли более плотного наполнителя?
28. Как повлияет на прочность однонаправленного композита увеличение длины волокна выше критической?
29. Почему при формовании изделий из ПКМ важно учитывать усадку полимерного связующего?
30. Объясните, почему прочность ламината $[0^\circ/90^\circ]$ при растяжении вдоль оси 0° будет выше, чем у ламината $[90^\circ/90^\circ]$.
31. Каковы основные принципы конструирования деталей из слоистых композиционных материалов?
32. Как учитывается анизотропия свойств ПКМ при проектировании? Приведите примеры.
33. Какие требования предъявляются к конструкторской документации на детали из ПКМ? В чем их специфика?
34. Как на чертеже детали из ПКМ обозначается схема укладки слоев? Приведите пример.
35. Какие технические требования необходимо включать в чертеж детали, изготавливаемой методом вакуумной инфузии?
36. Какие критерии используются для оценки технологичности детали из ПКМ?
37. Как выбор технологии изготовления влияет на конструктивные параметры детали?
38. Какие конструктивные решения обеспечивают ремонтпригодность

изделий из ПКМ?

39. Как разработать схему армирования для элемента, работающего на изгиб?

40. В чем особенности разработки спецификации на детали из ПКМ?

7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачёт проводится по билетам, каждый из которых содержит 3 вопроса.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент ответил на 1 или не одного вопроса.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент ответил на 2 вопроса.

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент ответил на 3 вопроса, но не полно, с замечаниями.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент ответил на 3 вопроса полностью

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Проектирование конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ)	ПК-4, ПК-5	Тест, прикладные задачи, стандартные задачи
2	Технология пропитки под давлением и инфузия. Выбор технологии на этапе проектирования	ПК-4, ПК-5	Тест, прикладные задачи, стандартные задачи
3	Технология контактного формования и изготовления композитной оснастки. Оценка технологичности	ПК-4, ПК-5	Тест, прикладные задачи, стандартные задачи
4	Обработка и ремонт изделий из ПКМ. Конструкторское обеспечение ремонтпригодности	ПК-4, ПК-5	Тест, прикладные задачи, стандартные задачи
5	Метод намотки, пултрузия, препреговая технология. Разработка конструкторской документации	ПК-4, ПК-5	

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи

компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Болотин В. В., Новичков Ю. Н. Механика многослойных конструкций. М. : Машиностроение, 1980. 323 с.
2. Костиков В. И. Физико-химические основы технологии композиционных материалов: теоретические основы процессов создания композиционных материалов : учебное пособие для вузов. Москва : Издат. Дом МИСиС, 2011. 239с. 15 усл. печ. л.
3. Буланов И. М., Воробей В. В. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов : учебник для вузов. Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1998. 514 с.
4. Композиционные материалы : справочник / Васильев В. В., Протасов В. Д., Болотин В. В., Алфутов Н. А. Москва : Машиностроение, 1990. 510 с.
5. Научные основы технологии композиционно-волокнистых материалов. Ч.1. Пермь : Пермское книжное издательство, 1974. 317 с.
6. Научные основы технологии композиционно-волокнистых материалов. Ч.2. Пермь : Пермское книжное издательство, 1975. 276 с.
7. Механика композиционных материалов и конструкций : всероссийский научный журнал. Москва : Ин-т прикл. механики РАН, 1995 - .
8. Адашкин А. М., Зуев В. М. Материаловедение и технология материалов : учебное пособие для среднего профессионального образования. Москва : ФОРУМ, 2013. 334 с. 27,09 усл. печ. л.
9. Богодухов С.И., Гребенюк В.Ф., Синюхин А.В. Курс материаловедения в вопросах и ответах : учебное пособие для вузов. М. : Машиностроение, 2003. 255 с.
10. Рогов В.А., Позняк Г. Г. Современные машиностроительные материалы и заготовки : учебное пособие для вузов. М. : Академия, 2008. 330 с.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая

перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Интернет-ресурсы:

- <https://elibrary.ru/>
- <https://polpred.com/>
- <https://rusneb.ru/>
- <https://gostexpert.ru/>
- <https://inion.ru/ru/library/bazy-dannykh-inion-ran/>
- <https://cyberleninka.ru/>
- <https://www.rcsi.science/>
- <https://www.consultant.ru/>
- [https://old.education.cchgeu.ru/;](https://old.education.cchgeu.ru/)
- <https://www.aviaru.net/>
- <https://favt.gov.ru/>
- <https://aviamirinfo.ru/>
- <https://skymoments.ru/altair>
- <http://www.cbr.ru/>
- <https://www.worldbank.org/>
- <https://budget.gov.ru/>
- <https://airreview.ru/>
- <https://www.lektorium.tv/airplane>

<https://rostec.academy/aviation>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Аудитория для проведения лекционных и практических занятий.
2. Компьютер, проектор, экран.
3. Специализированное учебно-исследовательское оборудование и приборы для проведения лабораторных работ и практических занятий по основным темам модуля.
4. Наглядные материалы (иллюстративные пособия, презентации).

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Основными видами учебных занятий по дисциплине «Современные технологии авиационных конструкций из полимерно-композиционных материалов» являются лекции, которые дополняются лабораторными работами и самостоятельной работой слушателей.

Лекционные занятия составляют основу для изучения материала дисциплины, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе. Они направлены на формирование у обучающихся знаний передовых производственных технологий производства изделий из полимерных композиционных материалов для производства авиационной техники.

Лабораторные работы направлены на закрепление полученных знаний. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Самостоятельная работа обучающихся направлена на закрепление и углубление полученных знаний, поиска и приобретения новых знаний, а также выполнения учебных заданий, подготовки к предстоящим занятиям.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа обучающихся направлена на закрепление и углубление полученных знаний, поиска и приобретения новых знаний, а также выполнения учебных заданий, подготовки к предстоящим занятиям, предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"> - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
----------	-----------------------------	----------------------------	--