

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета И.Г. Дроздов

« 1 » сентября 2025 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Современные армированные слоистые композиционные материалы и технологии в производстве беспилотных авиационных систем»

Специальность 24.05.07 Самолето- и вертолетостроение

Специализация специализация «Самолетостроение»

Квалификация выпускника инженер

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2023

Автор программы

К.С. Сафонов

Заведующий кафедрой
Самолетостроения

Е.Н. Некравцев

Руководитель ОПОП

Е.Н. Некравцев

Воронеж 2025

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Одним из наиболее перспективных способов повышения эффективности летательных аппаратов, в том числе беспилотных авиационных систем (БАС), является их производство с использованием современных слоистых армированных полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе высокопрочных и высокомодульных углеродных, стеклянных и органических волокон и термореактивных и термопластичных матриц (соответственно – УКМ, СКМ и ОКМ). Такие материалы обладают наилучшими удельными (по отношению к весу) характеристиками в сочетании с простыми и экономичными технологиями их формования и соединения, сборки и ремонта изделий из них.

Целью образовательного модуля «Современные армированные слоистые композиционные материалы и технологии в производстве беспилотных авиационных систем» является получение новых компетенций, знаний и навыков по использованию современных типов слоистых армированных ПКМ в производстве БАС.

1.2. Задачи освоения дисциплины

Задачами освоения модуля является формирование компетенций, связанных с рациональным и эффективным выбором и применением:

1. Основных типов современных армированных слоистых ПКМ, перспективных с точки зрения решения конструктивно-технологических задач производства БАС с учетом требований экономичности и экологичности производства, надежности, долговечности и ремонтпригодности изделий на всех стадиях жизненного цикла, возможностей создания ПКМ и конструкций с элементами интеллектуальности.

2. Традиционных и новых технологических процессов, операций, оборудования, оснастки, нормативных и методических материалов по технологической подготовке и реализации производства и соединения ПКМ, сборки и ремонта элементов конструкций из них.

3. Принципов и методик комплексных исследований, испытаний и диагностики ПКМ, изделий и процессов их производства, обработки и модификации, включая стандартные и сертификационные испытания, экспериментальные и численные методы оценки.

4. Программа модуля, имеющая материально-техническое и учебно-методическое обеспечение и компетентный профессорско-

5. преподавательский состав, предназначена для организации и проведения учебных занятий с обучающимися вузов. Модуль также может быть использован при разработке дополнительных профессиональных программ.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Современные армированные слоистые

композиционные материалы и технологии в производстве беспилотных авиационных систем» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Современные армированные слоистые композиционные материалы и технологии в производстве беспилотных авиационных систем» направлен на формирование следующих компетенций:

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

ПК-8 - Способен использовать типовые методы контроля и оценки качества изделий на всех этапах изготовления механических конструкций, агрегатов и систем летательных аппаратов.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-5	<p>знать основные типы и характеристики связующих, волокнистых армирующих систем и полуфабрикатов (препрегов) слоистых ПКМ для производства БАС. Основные процессы, способы и техническое обеспечение производства заготовок (выкладки или намотки препрегов или преформов), сочетания (пропитки) преформов и связующих и формования (контактного прессования, термокомпрессионного, мембранного и диафрагменного пневмо- и вакуумного формования) элементов конструкций из заготовок слоистых армированных ПКМ;</p> <p>уметь выбирать и применять существующие и перспективные типы слоистых армированных ПКМ, технологические процессы изготовления, соединения, сборки и ремонта при решении задач производства БАС, формования элементов конструкций из армированных слоистых ПКМ, применяемых в производстве БАС;</p> <p>владеть основами разработки типовых конструкций, навыками работы в специализированных программных пакетах. Навыками изготовления изделий по препреговой технологии, пропитки под давлением, вакуумной инфузии, изготовления оснастки, ремонта и соединений изделий из КМ.</p>
ПК-8	<p>знать основные типы и техническое обеспечение процессов соединения, сборки и ремонта элементов конструкций из слоистых армированных ПКМ;</p>

уметь использовать принципы и методики комплексных испытаний и диагностики материалов, изделий и процессов их производства, включая стандартные и сертификационные испытания, а также применять получаемые знания для решения практических задач;

владеть методиками контроля соответствий разрабатываемой технической документации стандартам, техническим условиям и нормативным правовым актам.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Современные армированные слоистые полимерные композиционные материалы и технологии в производстве беспилотных авиационных систем» составляет 2 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		7
Аудиторные занятия (всего)	48	48
В том числе:		
Лекции	28	28
Лабораторные работы (ЛР)	12	12
Практические занятия	8	8
Самостоятельная работа	24	24
Виды промежуточной аттестации – зачет	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	72	72
зач.ед.	2	2

очно-заочная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		7
Аудиторные занятия (всего)	48	48
В том числе:		
Лекции	28	28
Лабораторные работы (ЛР)	12	12
Практические занятия (ПЗ)	8	8
Самостоятельная работа	24	24
Виды промежуточной аттестации – зачет с оценкой	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	72	72
зач.ед.	2	2

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	ПЗ	СРС	Всего, час
1	Тема 1. Основы материаловедения и технологии слоистых ПКМ.	Принципиальные особенности слоистых ПКМ и процессов их производства и формования: макро- и микрогетерогенность, поверхностные явления и эффекты, анизотропия структуры и свойств. Типы и характеристики основных компонентов слоистых ПКМ, процессы их сочетания (совмещения), полуфабрикаты (препреги) и заготовки (преформы), используемые и перспективные для производства БАС. Методы оценки состава, структуры, технологических и эксплуатационных свойств компонентов, полуфабрикатов, заготовок и ПКМ в изделии, стандартизация методов.	4	4	0	6	14
2	Тема 2. Процессы производства заготовок из препрегов и преформов формования элементов конструкций из заготовок слоистых армированных ПКМ, технологическое оборудование и оснастка.	Методы контроля исходных компонентов, полуфабрикатов и заготовок (связующих, армирующих волокнистых систем, препрегов, преформ), технологической оснастки, параметров технологических процессов формования (давления, температуры) и дополнительных обработок при производстве полимерных композитов и изделий. Входной, операционный и приемочный контроль. Этапы технологических процессов формования элементов конструкций из слоистых ПКМ. Особенности структуры волокнистых армирующих систем (жгутов, лент, тканей, нетканых материалов) и технологических пакетов, а также процессов формирования пакетов заготовок выкладкой препрегов, намоткой, формирования преформов. Контактное формование. Методы формования гибкой лентой. Термокомпрессионное формование. Мембранные методы формования. Диафрагменные методы формования (вакуумное, пневматическое и автоклавное формование). Разновидности и технологические параметры формования пултрузией. Методика выбора рационального способа формования. Конструктивно- технологические решения по разработке интегральных конструкций из ПКМ.	12	4	4	6	26
3	Тема 3. Основные типы и техническое обеспечение процессов обработки, сборки и ремонта элементов конструкций из	Место сборочных операций в технологии производства изделий из слоистых армированных ПКМ. Тенденции развития процессов сборки. Сопоставление и общая характеристика способов механического соединения элементов конструкций из слоистых ПКМ. Особенности и способы	6	2	2	6	16

	слоистых армированных ПКМ .	<p>болтовых, винтовых и заклепочных соединений угле-, стекло- и органокомпозитов.</p> <p>Отличия механической обработки слоистых композиционных материалов от механической обработки металлов.</p> <p>Особенности режимов резания, обрезки, вырезки, сверления, шлифовки и обработки поверхности угле-, стекло- и органокомпозитов.</p> <p>Место склеивания среди других способов соединения деталей из слоистых ПКМ.</p> <p>Конструкционные клеи, прочность клеевого соединения как один из основных критериев его качества. Требования к прочностным и деформационным свойствам клеевой прослойки. Факторы, влияющие на прочность клеевых соединений.</p> <p>Прогрессивные методы обработки поверхностей слоистых ПКМ при склеивании, обработка лазером.</p> <p>Типы дефектов в элементах конструкций из слоистых ПКМ, связь между составом материала, технологией и видами дефектов.</p> <p>Современные методы разрушающего и неразрушающего контроля дефектов в слоистых армированных и конструкциях.</p> <p>Межслоевое разрушение и трещиностойкость слоистых ПКМ, способы ее повышения, прошивка тонкослойных ПКМ.</p> <p>Особенности ремонта конструкций из слоистых ПКМ.</p> <p>Возможности ремонта деталей БАС из других материалов с применением слоистых ПКМ и клеев. Технологические приемы повышения качества и надежности ремонта.</p>					
4	Тема 4. Принципы и методики комплексных испытаний и диагностики полимерных композитных материалов.	<p>Основные нормативные методы определения статических механических свойств слоистых армированных композиционных материалов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - деформационно-прочностных свойств в различных направлениях приложения нагрузки на растяжение, сжатие, сдвиг/срез и изгиб; - межслоевой прочности при изгибе и устойчивости к межслоевому росту трещин (трещиностойкости) по интенсивности высвобождения энергии при основных модах нагружения трещин; - комплексного параметра механических свойств слоистых полимерных композитов - остаточной прочности при сжатии после ударного повреждения; - прочности образцов с надрезами и стенок отверстий; - прочности клеевых и механических (резьбовых, болтовых, заклепочных) соединений, испытания стенок отверстий. <p>Определение усталостных характеристик слоистых композитов и их соединений при динамических циклических нагрузках.</p> <p>Определение водопоглощения, пористости,</p>	6	2	2	6	16

	дефектности слоистых полимерных композитов физическими и физико-химическими методами неразрушающего контроля.					
		28	12	8	24	72

очно-заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	ЛР	ПЗ	СРС	Всего, час
1	Тема 1. Основы материаловедения и технологии слоистых ПКМ.	<p>Принципиальные особенности слоистых ПКМ и процессов их производства и формирования: макро- и микрогетерогенность, поверхностные явления и эффекты, анизотропия структуры и свойств.</p> <p>Типы и характеристики основных компонентов слоистых ПКМ, процессы их сочетания (совмещения), полуфабрикаты (препреги) и заготовки (преформы), используемые и перспективные для производства БАС.</p> <p>Методы оценки состава, структуры, технологических и эксплуатационных свойств компонентов, полуфабрикатов, заготовок и ПКМ в изделии, стандартизация методов.</p>	4	4	0	6	14
2	Тема 2. Процессы производства заготовок из препрегов и преформов формирования элементов конструкций из заготовок слоистых армированных ПКМ, технологическое оборудование и оснастка.	<p>Методы контроля исходных компонентов, полуфабрикатов и заготовок (связующих, армирующих волокнистых систем, препрегов и преформ), технологической оснастки, параметров технологических процессов формирования (давления, температуры) и дополнительных обработок при производстве полимерных композитов и изделий. Входной, операционный и приемочный контроль.</p> <p>Этапы технологических процессов формирования элементов конструкций из слоистых ПКМ.</p> <p>Особенности структуры волокнистых армирующих систем (жгутов, лент, тканей, нетканых материалов) и технологических пакетов, а также процессов формирования пакетов заготовок выкладкой препрегов, намоткой, формирования преформов.</p> <p>Контактное формование. Методы формирования гибкой лентой.</p> <p>Термокомпрессионное формование</p> <p>Мембранные методы формования.</p> <p>Диафрагменные методы формования (вакуумное, пневматическое и автоклавное формование). Разновидности и технологические параметры формования пултрузией.</p> <p>Методика выбора рационального способа формования.</p> <p>Конструктивно-технологические решения по разработке интегральных конструкций из ПКМ.</p>	12	4	4	6	26
3	Тема 3. Основные типы и техническое обеспечение процессов обработки,	Место сборочных операций в технологии производства изделий из слоистых армированных ПКМ. Тенденции развития процессов сборки. Сопоставление и общая	6	2	2	6	16

	<p>сборки и ремонта элементов конструкций из слоистых армированных ПКМ.</p>	<p>характеристика способов механического соединения элементов конструкций из слоистых ПКМ. Особенности и способы болтовых, винтовых и заклепочных соединений угле-, стекло- и органокомпозитов.</p> <p>Отличия механической обработки слоистых композиционных материалов от механической обработки металлов. Особенности режимов резания, обрезки, вырезки, сверления, шлифовки и обработки поверхности угле-, стекло- и органокомпозитов.</p> <p>Место склеивания среди других способов соединения деталей из слоистых ПКМ. Конструкционные клеи, прочность клеевого соединения как один из основных критериев его качества. Требования к прочностным и деформационным свойствам клеевой прослойки. Факторы, влияющие на прочность клеевых соединений. Прогрессивные методы обработки поверхностей слоистых ПКМ при склеивании, обработка лазером.</p> <p>Типы дефектов в элементах конструкций из слоистых ПКМ, связь между составом материала, технологией и видами дефектов. Современные методы разрушающего и неразрушающего контроля дефектов в слоистых армированных и конструкциях. Межслоевое разрушение и трещиностойкость слоистых ПКМ, способы ее повышения, прошивка тонкослойных ПКМ.</p> <p>Особенности ремонта конструкций из слоистых ПКМ.</p> <p>Возможности ремонта деталей БАС из других материалов с применением слоистых ПКМ и клеев. Технологические приемы повышения качества и надежности ремонта.</p>					
4	<p>Тема 4. Принципы и методики комплексных испытаний и диагностики полимерных композитных материалов.</p>	<p>Основные нормативные методы определения статических механических свойств слоистых армированных композиционных материалов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - деформационно-прочностных свойств в различных направлениях приложения нагрузки на растяжение, сжатие, сдвиг/срез и изгиб; - межслоевой прочности при изгибе и устойчивости к межслоевому росту трещин (трещиностойкости) по интенсивности высвобождения энергии при основных модах нагружения трещин; - комплексного параметра механических свойств слоистых полимерных композитов - остаточной прочности при сжатии после ударного повреждения; - прочности образцов с надрезами и стенок отверстия; - прочности клеевых и механических (резьбовых, болтовых, заклепочных) соединений, испытания стенок отверстий. <p>Определение усталостных характеристик</p>	6	2	2	6	16

	слоистых композитов и их соединений при динамических циклических нагрузках. Определение водопоглощения, пористости, дефектности слоистых полимерных композитов физическими и физико-химическими методами неразрушающего контроля.					
		28	12	8	24	72

5.2 Перечень лабораторных работ и практических занятий

1. Процессы пропитки под давлением и вакуумной пропитки преформов в технологиях RTM и вакуумной инфузии.
2. Материалы и технологии изготовления радиопрозрачных изделий. Обтекатели антенн БАС из полимерных композиционных материалов.
3. Материалы и технологии изготовления стрингерных панелей.
4. Технологии изготовления трехслойных панелей с обшивками из тонкослойных ПКМ и учет влияния технологических несовершенств сотового наполнителя при их разработке.
5. Обзор и выбор методов неразрушающего контроля угле – и стеклокомпозитов.
6. Возможности технологии изготовления элементов конструкции БАС методом намотки.
7. Выбор полимерного материала для изоляции баков с горючим.
8. Технологии термокомпрессионного формования авиационных лопастей из слоистых ПКМ.
9. Механические и клеевые соединения слоистых ПКМ при сборке конструкций из них.
10. Технология механической обработки деталей из армированных слоистых ПКМ.

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-5	Знать основные типы и характеристики связующих, волокнистых армирующих систем и полуфабрикатов (препрегов) слоистых ПКМ для производства БАС. Основные процессы, способы и техническое обеспечение производства заготовок (выкладки или намотки препрегов или преформов), сочетания (пропитки) преформов и связующих и формования (контактного прессования, термокомпрессионного, мембран-ного и диафрагменного пневмо- и вакуумного формования) элементов конструкций из заготовок слоистых армированных ПКМ.	Посещение лекций. Выполнение и защита лабораторных работ и практических занятий.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь выбирать и применять существующие и перспективные типы слоистых армированных ПКМ, технологические процессы изготовления, соединения, сборки и ремонта при решении задач производства БАС, формования элементов конструкций из армированных слоистых ПКМ, применяемых в производстве БАС.	Посещение лекций. Выполнение и защита лабораторных работ и практических занятий.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть основами разработки типовых конструкций, навыками работы в специализированных программных пакетах. Навыками изготовления изделий по препреговой технологии, пропитки под давлением, вакуумной инфузии, изготовления оснастки, ремонта и соединений изделий из КМ.	Посещение лекций. Выполнение и защита лабораторных работ и практических занятий.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-8	Знать основные типы и техническое обеспечение процессов соединения, сборки и ремонта элементов конструкций из слоистых армированных ПКМ	Посещение лекций. Выполнение и защита лабораторных работ и практических занятий.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь использовать принципы и методики комплексных испытаний и диагностики материалов, изделий и процессов их производства, включая стандартные и сертификационные испытания, а также применять получаемые знания для решения практических задач	Посещение лекций. Выполнение и защита лабораторных работ и практических занятий.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть методиками контроля	Посещение лекций.	Выполнение работ	Невыполнение работ

соответствий разрабатываемой технической документации стандартам, техническим условиям и нормативным правовым актам.	Выполнение и защита лабораторных работ и практических занятий.	в срок, предусмотренный в рабочих программах	в срок, предусмотренный в рабочих программах
--	--	--	--

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 7 семестре для очной формы обучения, 7 семестре для заочной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено.
ПК-5	Знать основные типы и характеристики связующих, волокнистых армирующих систем и полуфабрикатов (препрегов) слоистых ПКМ для производства БАС. Основные процессы, способы и техническое обеспечение производства заготовок (выкладки или намотки препрегов или преформов), сочетания (пропитки) преформов и связующих и формования (контактного прессования, термокомпрессионного, мембранного и диафрагменного пневмо- и вакуумного формования) элементов конструкций из заготовок слоистых армированных ПКМ.	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	Уметь выбирать и применять существующие и перспективные типы слоистых армированных ПКМ, технологические процессы изготовления, соединения, сборки и ремонта при решении задач производства БАС, формования элементов конструкций из армированных слоистых ПКМ, применяемых в производстве БАС.	Решение стандартных практических задач и выполнение лабораторных работ	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть основами разработки типовых конструкций, навыками работы в специализированных программных пакетах. Навыками изготовления	Решение стандартных практических задач и выполнение лабораторных работ	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

	изделий по препреговой технологии, пропитки под давлением, вакуумной инфузии, изготовления оснастки, ремонта и соединений изделий из КМ.			
ПК-8	Знать основные типы и техническое обеспечение процессов соединения, сборки и ремонта элементов конструкций из слоистых армированных ПКМ	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	Уметь использовать принципы и методики комплексных испытаний и диагностики материалов, изделий и процессов их производства, включая стандартные и сертификационные испытания, а также применять получаемые знания для решения практических задач	Решение стандартных практических задач и выполнение лабораторных работ	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть методиками контроля соответствий разрабатываемой технической документации стандартам, техническим условиям и нормативным правовым актам.	Решение стандартных практических задач и выполнение лабораторных работ	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

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/м² каждый. Площадь детали 2 м². 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

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 термореактивной 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.

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 $[90^\circ/90^\circ]$.

7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 тестовых вопросов, 1 стандартную задачу и 10 прикладных задач.

Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом. За выполнение теста на 70-100% (один правильный ответ- 10%) студент получает 7-10 баллов.

Выполнение 1 стандартной задачи оценивается по 10 балльной системе. Демонстрирует полное понимание проблемы. Все требования, предъявляемые к заданию, выполнены -10 баллов.

Демонстрирует частичное понимание проблемы. Большинство требований, предъявляемых к заданию, выполнены -7-9 баллов.

Демонстрирует небольшое понимание проблемы. Многие требования, предъявляемые к заданию, не выполнены -6-1 балл.

Демонстрирует непонимание проблемы – 0 баллов.

За правильное решение одной прикладной задачи студент получает 1 балл, за десять – 10 баллов.

Максимальное количество набранных баллов – 30.

Оценка «зачтено» ставится в случае, если студент продемонстрировал

продемонстрировано знание основных понятий, идей и концепций при наличии некоторых несущественных пробелов. Целостное видение рассматриваемой проблемы присутствует, но может быть не до конца выражено в авторском анализе. Количество набранных баллов – свыше 21.

Выполнение каждого задания должен быть оценено, не менее чем на 7 баллов.

Оценка «не зачтено» ставится в случае, если студент

продемонстрировал низкий уровень знаний. Допущены существенные ошибки. Отсутствие логических рассуждений, понимания проблемы, необоснованность выводов. Количество набранных баллов – менее 21, или выполнение одного из заданий было оценено, менее чем на 7 баллов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Тема 1. Основы материаловедения и технологии слоистых ПКМ.	ПК-5, ПК-8	Тест, прикладные задачи, стандартные задачи
2	Тема 2. Процессы производства заготовок из препрегов и преформов и формования элементов конструкций из заготовок слоистых армированных ПКМ, технологическое оборудование и оснастка.	ПК-5, ПК-8	Тест, прикладные задачи, стандартные задачи
3	Тема 3. Основные типы и техническое обеспечение процессов обработки, сборки и ремонта элементов конструкций из слоистых армированных ПКМ .	ПК-5, ПК-8	Тест, прикладные задачи, стандартные задачи
4	Тема 4. Принципы и методики комплексных испытаний и диагностики полимерных композитных материалов.	ПК-5, ПК-8	Тест, прикладные задачи, стандартные задачи

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. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. 2-е изд. – СПб.: Научные основы и технологии, 2010. – 822 с.
2. Михайлин Ю.А. Специальные полимерные композиционные материалы. – СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – 660 с. №8,9,10,12; 2005, №1-3.
3. Буланов И.М., Воробей В.В. Технологии ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов. М.:МГТУ, 1998 г. 514 с.
4. Кербер М.Л., Виноградов В.М., Головкин Г.С. и др. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: Учебное пособие.– СПб.: Профессия, 2009. – 560 с.
5. Халиулин В.И., Шапаев И.И. Технология производства композитных изделий: Учебное пособие. – Казань: Из-во Казан. гос. технич. университета, 2003. – 333 с.
6. Мийченко И.П.. Технология полуфабрикатов полимерных материалов. – СПб.: НОТ, 2012. – 374 с.
7. Михайлин Ю.А. Волокнистые полимерные композиционные материалы в технике. – СПб.: Научные основы и технологии, 2013. – 650 с.
8. Молодцов Г. А. и др. Формостабильные и интеллектуальные конструкции из КМ. М.: Машиностроение 2000, 352с. 14. Глубокова Т.А. и др. Концепции и основные принципы конструирования интеллектуальных материалов. Технология конструкции из КМ,1995, N12, С.3-21
9. Уорден К. Новые интеллектуальные материалы и конструкции. М.: Техносфера, 2006г, 223 с.
10. Основы технологии производства летательных аппаратов (в конспектах лекций): Учеб.пособие / А.С. Чумадин, В.И. Ершов, В.А. Барвинок и др. – М.: Наука и технологии, 2005. – 912 с.
11. Производство изделий из полимерных материалов: Учеб. пособие / В.К. Крыжановский, М.Л. Кербер, В.В. Бурлов, А.Д. Паниматченко. - СПб.: Профессия, 2004. - 464 с.
12. Комаров Г.В. Соединения деталей из полимерных материалов: Учеб. пособие. - .СПб.: Профессия, 2006.- 592 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)

При изучении образовательного модуля обучающиеся должны быть способны применять полученные в лекционном курсе знания на лабораторных работах и практических занятиях, уметь обоснованно выбирать пути решения возникающих задач.

Основными видами учебных занятий при изучении образовательного модуля являются лекции, которые дополняются по ключевым темам

практическими занятиями и лабораторными работами, а также самостоятельной работой обучающихся.

Лекционные занятия составляют основу для изучения материала образовательного модуля. Они направлены на формирование у обучающихся знаний в области материаловедения и технологий производства и ремонта элементов конструкций БАС и слоистых ПКМ.

Обучающийся должен освоить компетенции и получить навыки в использовании новых и перспективных армированных слоистых ПКМ в производстве и ремонте БАС.

Самостоятельная работа обучающихся направлена на закрепление и углубление полученных знаний и навыков, 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; пометать 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 и практическое занятие	Лабораторные работы и практические занятия по образовательному модулю направлены на формирование умений и навыков при практической отработке изученного материала и его закреплению у обучающихся. На них должны демонстрироваться содержащиеся в лекциях материалы и процессы формования изделий из слоистых ПКМ.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа обучающихся организуется в целях закрепления и углубления полученных знаний и навыков, а также выполнения учебных заданий, подготовки к предстоящим занятиям. Организация самостоятельной работы обучающихся, ее методическое обеспечение и контроль осуществляется преподавателем, проводившим занятие в этот день. В целях методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся, в заключительной части каждого учебного занятия, преподаватель ставит задачу на самостоятельную работу с указанием источников информации. Консультации проводятся регулярно в часы самостоятельной работы.
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
----------	-----------------------------	----------------------------	--