

**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

«    »



**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

Заведующий кафедрой  
Самолетостроения

Руководитель ОПОП

К.С. Сафонов

Е.Н. Некравцев

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 порядок разработки рабочей технической документации и обеспечения оформления законченных проектно - конструкторских работ в авиастроении; |
|             | уметь разрабатывать рабочую техническую документацию и обеспечивать оформление законченных проектно - конструкторских работ в авиастроении;     |
|             | владеть методиками разработки рабочей технической документации и обеспечения оформления законченных проектно -                                  |

|      |  |
|------|--|
|      | конструкторских работ в авиастроении   |
| ПК-5 | знать порядок контроля соответствий разрабатываемой технической документации стандартам, техническим условиям и нормативным правовым актам;      |
|      | уметь контролировать соответствие разрабатываемой технической документации стандартам, техническим условиям и нормативным правовым актам;        |
|      | владеть методиками контроля соответствий разрабатываемой технической документации стандартам, техническим условиям и нормативным правовым актам. |

#### 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        |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>               | 54          | 54       |
| В том числе:                                    |             |          |
| Лекции  | 18          | 18       |
| Лабораторные работы (ЛР)                        | 36          | 36       |
| <b>Самостоятельная работа</b>                   | 90          | 90       |
| Виды промежуточной аттестации – зачет с оценкой | +           | +        |
| Общая трудоемкость:<br>академические часы       | 144         | 144      |
| зач.ед.   | 4           | 4        |

**очно-заочная форма обучения**

| Виды учебной работы                             | Всего часов | Семестры |
|---|-------------|----------|
|   |             | 4        |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>               | 54          | 54       |
| В том числе:                                    |             |          |
| Лекции  | 18          | 18       |
| Лабораторные работы (ЛР)                        | 36          | 36       |
| <b>Самостоятельная работа</b>                   | 90          | 90       |
| Виды промежуточной аттестации – зачет с оценкой | +           | +        |
| Общая трудоемкость:<br>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     | Полимерные композиционные материалы (ПКМ)  | Понятие о полимерном композиционном материале (ПКМ). Дисперсно наполненные ПКМ. Механические свойства твердофазных дисперсно наполненных ПКМ.   | 2         | 4         | 10        | 16         |
| 2     | Технология пропитки под давлением и инфузия                                      | 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 | 4         | 8         | 20        | 32         |
| 3     | Технология контактного формования и технологии изготовления композитной оснастки | Модели, оснастка, прототипы. Технологии изготовления композитной оснастки методом контактного формования. Проблемы контактного формования и способы их решения.   | 4         | 8         | 20        | 32         |
| 4     | Обработка и ремонт изделий из ПКМ.   | Обрезка, соединение, обработка поверхности ПКМ. Шлифовка поверхности и механическая обработка. Дефекты, повреждения и ремонт.   | 4         | 8         | 20        | 32         |
| 5     | Метод намотки, пултрузия, препреговая технология.                                | Изготовление полимерных цилиндров методом намотки. Пултрузия профилей из армированных термопластов. Формование изделий из препрегов. Горячее пресование. Мокрый способ формования   | 4         | 8         | 20        | 32         |
|       |  |   | <b>18</b> | <b>36</b> | <b>90</b> | <b>144</b> |

| № п/п |   |  |   |   |    |    |
|-------|---|--|---|---|----|----|
| 1     | Полимерные композиционные материалы (ПКМ)   | Понятие о полимерном композиционном материале (ПКМ). Дисперсно наполненные ПКМ. Механические свойства твердофазных дисперсно наполненных ПКМ.  | 2 | 4 | 10 | 16 |
| 2     | Технология пропитки под давлением и инфузия | 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 | 4 | 8 | 20 | 32 |

|              |  |   |           |           |           |            |
|--------------|--|---|-----------|-----------|-----------|------------|
|              |  | изготовлении композитных деталей  |           |           |           |            |
| 3            | Технология контактного формования и технологии изготовления композитной оснастки | Модели, оснастка, прототипы. Технологии изготовления композитной оснастки методом контактного формования. Проблемы контактного формования и способы их решения.                   | 4         | 8         | 20        | 32         |
| 4            | Обработка и ремонт изделий из ПКМ.   | Обрезка, соединение, обработка поверхности ПКМ. Шлифовка поверхности и механическая обработка. Дефекты, повреждения и ремонт.   | 4         | 8         | 20        | 32         |
| 5            | Метод намотки, пултрузия, препреговая технология.                                | Изготовление полимерных цилиндров методом намотки. Пултрузия профилей из армированных термопластов. Формование изделий из препрегов. Горячее пресование. Мокрый способ формования | 4         | 8         | 20        | 32         |
| <b>Итого</b> |  |   | <b>18</b> | <b>36</b> | <b>90</b> | <b>144</b> |

### заочная форма обучения

| № п/п        | Наименование темы  | Содержание раздела  | Лекц      | Прак зан. | СРС       | Всего, час |
|--------------|--|---|-----------|-----------|-----------|------------|
| 1            | Полимерные композиционные материалы (ПКМ)  | Понятие о полимерном композиционном материале (ПКМ). Дисперсно наполненные ПКМ. Механические свойства твердофазных дисперсно наполненных ПКМ.   | 2         | 4         | 10        | 16         |
| 2            | Технология пропитки под давлением и инфузия                                      | 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 | 4         | 8         | 20        | 32         |
| 3            | Технология контактного формования и технологии изготовления композитной оснастки | Модели, оснастка, прототипы. Технологии изготовления композитной оснастки методом контактного формования. Проблемы контактного формования и способы их решения.   | 4         | 8         | 20        | 32         |
| 4            | Обработка и ремонт изделий из ПКМ.   | Обрезка, соединение, обработка поверхности ПКМ. Шлифовка поверхности и механическая обработка. Дефекты, повреждения и ремонт.   | 4         | 8         | 20        | 32         |
| 5            | Метод намотки, пултрузия, препреговая технология.                                | Изготовление полимерных цилиндров методом намотки. Пултрузия профилей из армированных термопластов. Формование изделий из препрегов. Горячее пресование. Мокрый способ формования   | 4         | 8         | 20        | 32         |
| <b>Итого</b> |  |   | <b>18</b> | <b>36</b> | <b>90</b> | <b>144</b> |

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Лабораторная работа №1. Синтез дисперсно-наполненного ПКМ и прогнозирование его свойств.

Лабораторная работа №2. Разработка технологической карты на изготовление детали методом вакуумной инфузии.

Лабораторная работа №3. Анализ дефектов композитной конструкции и разработка карты ремонта.

Лабораторная работа №4. Сравнительный анализ технологий изготовления: выбор оптимального метода.

Лабораторная работа №5. Расчет прочности многослойной композитной панели (ламината).

## **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».

| <b>Компетенция</b> | <b>Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции</b>   | <b>Критерии оценивания</b>                                   | <b>Аттестован</b>   | <b>Не аттестован</b>  |
|--------------------|--|--|---|---|
| ПК-4               | Знать технологии автоклавного формования изделий из препрега, технологии пропитки под давлением, технологии вакуумной инфузии, технологии изготовления оснастки, технологии ремонта изделий, технологии соединения изделий.<br>Понятийные основы композиционного материала, его особенности, виды, отличия друг от друга и традиционных. | Посещение лекций.<br>Выполнение и защита лабораторных работ. | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|                    | Уметь разрабатывать принципиальную схему технологического процесса для изготовления конструкций из КМ с  | Посещение лекций.<br>Выполнение и защита лабораторных работ. | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |

|      |   |   |   |   |
|------|---|---|---|---|
|      | помощью различных технологических методов, рассчитывать параметры технологических процессов   |   |   |   |
|      | 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. | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| ПК-5 | Знать стандарты, технические условия и нормативно- правовые акты  | 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 техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и нормативно- правовыми актами   | Посещение лекций. Выполнение и защита лабораторных работ. | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|      | Владеть способностью контролировать соответствие разрабатываемой технической документации стандартам, техническим условиям и нормативно-правовым актам  | 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        | Знать технологии автоклавного формования изделий из препрега, технологии пропитки под давлением, технологии | Тест                | Выполнение на 90-100% | Выполнение на 80-90% | Выполнение на 70-800% | В тесте менее 70% правильных ответов |

|      |  |  |   |  |   |   |
|------|--|--|---|--|---|---|
|      | <p>вакуумной инфузии, технологии изготовления оснастки, технологии ремонта изделий, технологии соединения изделий.</p> <p>Понятийные основы композиционного материала, его особенности, виды, отличия друг от друга и традиционных.</p>  |  |   |  |   |   |
|      | <p>Уметь разрабатывать принципиальную схему технологического процесса для изготовления конструкций из КМ с помощью различных технологических методов, рассчитывать параметры технологических процессов</p>   | <p>Решение стандартных практических задач, написание курсового проекта</p> | <p>Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы</p> | <p>Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах</p> | <p>Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач</p> | <p>Задачи не решены</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> | <p>Решение прикладных задач в конкретной предметной области</p>            | <p>Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы</p> | <p>Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах</p> | <p>Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач</p> | <p>Задачи не решены</p>                     |
| ПК-5 | <p>Знать стандарты, технические условия и нормативно- правовые акты</p>  | <p>Тест</p>  | <p>Выполнение на 90-100%</p>                                  | <p>Выполнение на 80-90%</p>  | <p>Выполнение на 70-800%</p>                                    | <p>В тесте менее 70% правильных ответов</p> |
|      | <p>Уметь разрабатывать техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и нормативно- правовыми актами</p>   | <p>Решение стандартных практических задач, написание курсового проекта</p> | <p>Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы</p> | <p>Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах</p> | <p>Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач</p> | <p>Задачи не решены</p>                     |
|      | <p>Владеть способностью</p>  | <p>Решение</p>   | <p>Задачи</p>   | <p>Продем-</p>   | <p>Продем-</p>  | <p>Задачи не</p>                            |

|  |   |  |   |   |  |        |
|--|---|--|---|---|--|--------|
|  | контролировать соответствие разрабатываемой технической документации стандартам, техническим условиям и нормативно-правовым актам | прикладных задач в конкретной предметной области | решены в полном объеме и получены верные ответы | монстр прован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах | монстр ирован верный ход решения в большинстве задач | 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 материа-**

**лов?**

- 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  $1.2 \text{ г/см}^3$ ) с наполнителем из стеклянных волокон (плотность  $2.5 \text{ г/см}^3$ ). Массовая доля волокон составляет 60%. Рассчитайте плотность композиционного материала.

- а)  $1.55 \text{ г/см}^3$
- б)  $1.68 \text{ г/см}^3$
- в)  $1.85 \text{ г/см}^3$
- г)  $2.01 \text{ г/см}^3$

2. В композите массой 100 г содержится 65 г стекловолокна (плотность  $2.6 \text{ г/см}^3$ ) и 35 г полиэфирной смолы (плотность  $1.15 \text{ г/см}^3$ ). 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? (Учесть, 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  $1.58 \text{ г/см}^3$ . Фактическая плотность отвержденного образца составила  $1.52 \text{ г/см}^3$ . 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  $600 \text{ г/м}^2$  каждый. Площадь детали  $2 \text{ м}^2$ . 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

### **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/м<sup>2</sup> и 2 слоев стекломата 450 г/м<sup>2</sup>. 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 темпера-

турный 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 опера-

тивно 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 термоактивной 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, непролит, 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  $0^\circ$  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**

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     | Полимерные композиционные материалы (ПКМ)  | ПК-4, ПК-5                     | Тест, прикладные задачи, стандартные задачи |
| 2     | Технология пропитки под давлением и инфузия                                      | ПК-4, ПК-5                     | Тест, прикладные задачи, стандартные задачи |
| 3     | Технология контактного формования и технологии изготовления композитной оснастки | ПК-4, ПК-5                     | Тест, прикладные задачи, стандартные задачи |
| 4     | Обработка и ремонт изделий из ПКМ.   | ПК-4, ПК-5                     | Тест, прикладные задачи, стандартные задачи |
| 5     | Метод намотки, пултрузия, препреговая технология.                                | 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 методике 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 методике 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 методике 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:

- Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам";

- <https://www.rsl.ru/> - Российская государственная библиотека;

- <https://elibrary.ru/> - Электронная библиотека;

- электронная информационно-образовательная среда ВГТУ

- [http://elib.pstu.ru/Record/RU\\_PNRPUelib6407](http://elib.pstu.ru/Record/RU_PNRPUelib6407)

- <https://docs.cntd.ru/document/t/1200113813>

- <https://docs.cntd.ru/document/t/1200027079>

- [https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1674910820&tld=ru&lang=ru&name=2-99-2022\\_WEB.pdf&text=%D0%A1%D0%BE%D0%B2%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B7%D0](https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1674910820&tld=ru&lang=ru&name=2-99-2022_WEB.pdf&text=%D0%A1%D0%BE%D0%B2%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B7%D0)

**9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ**

## ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Аудитория для проведения лекционных и практических занятий.
2. Ноутбук, проектор, экран.
3. Компьютерный класс с выходом в интернет.
4. Наглядные материалы (образцы (макеты) ПКМ, их узлов и агрегатов, плакаты, учебные пособия, презентации, видеоролики).
5. Интерактивные панели, системы виртуальной реальности, информационные модели ПКМ.
6. Базовый образовательный научно-производственный комплекс «Авиаперспектива».

### 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.   |

|  |  |
|--|--|
| <p>Самостоятельная работа</p>                | <p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li> <li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li> <li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li> <li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li> <li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li> </ul> |
| <p>Подготовка к промежуточной аттестации</p> | <p>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.</p>   |

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

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