

## Цели и задачи освоения дисциплины

Учебная дисциплина «Конструкционные материалы в авиа- и судостроении» предназначена для студентов 2 курса, обучающихся по направлению 15.04.03 «Прикладная механика», магистерская программа «Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг». Дисциплина входит в вариативную часть блока «Дисциплины (модули)», является дисциплиной выбора (Б1.В.ДВ.03.02).

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 часов. Учебным планом предусмотрены практические занятия (18 часов), лабораторные работы (18 часов), самостоятельная работа студента (72 часа). Дисциплина реализуется на 2 курсе в 3-м семестре. Форма контроля – зачет.

**Цель:** Дать представление об условиях эксплуатации авиационной и морской техники, требованиях к конструкционным материалам, разработке и применению новых конструкционных материалов в авиа- и судостроительной отрасли.

### Задачи:

- развитие представлений о многообразии конструкционных материалов, их свойствах и областях применения.
- Сформировать умение ставить задачу для решения ее на компьютере, а также реализовать ее средствами имеющейся вычислительной техники.
- Изучить способы моделирования структуры конструкционных материалов.
- Сформировать умение определять механические характеристики конструкционных материалов в зависимости от их свойств .
- Развить логическое и алгоритмическое мышление в решении задач конструирования материалов с заранее заданными свойствами.

Для успешного изучения дисциплины «Конструкционные материалы в авиа- и судостроении» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- владение навыками работы с различными источниками информации: книгами, учебниками, справочниками, Интернет;
- владение навыками работы с вычислительной техникой;
- формирование научного подхода к анализу механизмов создания конструкционных материалов с заранее заданными свойствами.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие профессиональные компетенции (элементы компетенций):

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-3 способностью критически анализировать современные проблемы прикладной механики с учетом потребностей промышленности, современных достижений науки и мировых тенденций развития техники и технологий, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты	Знает	Основные положения механики конструкционных материалов
	Умеет	Классифицировать материалы, анализировать строение и структуру композитного материала
	Владеет	Знаниями по классификации, структуре, технологиям и другим проблемам механики материалов.

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Конструкционные материалы в авиа- и судостроении» применяются следующие методы активного/ интерактивного обучения: «групповая консультация»

## I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Лекционные занятия не предусмотрены учебным планом

## II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

### Практические занятия (18 часов)

**Занятие 1. Требования к конструкционным материалам в авиации (2 часа)**

1. Классификация и группы конструкционных материалов
2. Рекомендуемые и разрешенные к использованию авиационные конструкционные материалы

**Занятие 2. Алюминиевые сплавы в самолето- и вертолетостроении (2 часа)**

1. Высокопрочные сплавы
2. Высокоресурсные сплавы
3. Жаропрочные и криогенные сплавы

**Занятие 3 Композиционные материалы, применяемые в авиации (2 часа)**

1. Термостойкие материалы
2. Свойства композитных материалов
3. Достоинства и недостатки композитных материалов

**Занятие 4. Малоуглеродистые, высоколегированные стали и титановые сплавы в авиационной промышленности (2 часа)**

1. Конструкционные сплавы нормальной прочности
2. Высокопрочные конструкционные сплавы
3. Литейные титановые сплавы
4. Термическая обработка титановых сплавов

**Занятие 5. Металлические судостроительные материалы. Углеродистые и низколегированные стали (2 часа)**

1. Углеродистые стали
2. Нержавеющие стали
3. Немагнитные стали
4. Жаропрочные стали

**Занятие 6. Алюминиевые сплавы, их разновидности и применение в судостроении (2 часа)**

1. Преимущества использования алюминия и сплавов на его основе для судостроительной отрасли:

2. Морские алюминиевые сплавы
3. Литейные алюминиевые сплавы

**Занятие 7 Композитные материалы в судостроении. Изучение создания корпуса корабля методом вакуумной инфузии (2 часа)**

1. Технологии изготовления композитных материалов
2. Метод вакуумирования
3. Оборудование и технология для вакуумной инфузии

## **Занятие 8. Полимерные композитные материалы (2 часа)**

1. Принципы создания полимерных композиционных материалов
2. Особенности структуры и свойства основных полимерных материалов

## **Занятие 9. Заключительное занятие (2 часа)**

### **Лабораторные работы (18 часов)**

#### **Лабораторная работа 1. Методы испытаний стекловолокна.**

Механические неразрушающие методы определения прочности строительных конструкционных материалов.(6 час.)

1. Определение удельной плотности стеклонитей.
2. Определение разрывной нагрузки нитей из стекловолокна и ровингов.
3. Обработка результатов

#### **Лабораторная работа 2. Методы испытаний углеволокна. (6 час.)**

1. Механические свойства углеродной нити и углеволокна.
2. Определение диаметра углеродной нити и нити из углеволокна.
3. Определение разрывной нагрузки углеволокнистой нити.

**Лабораторная работа 3. Исследование диаграммы деформирования ортотропного стеклопластика при растяжении. (6 час.)**

1. Механические характеристики конструкционного стеклопластика.
2. Особенности деформирования ортотропных материалов
3. Определение значения напряжения потери сплошности материала.

### **Самостоятельная работа (72 часов)**

#### **План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине:**

<b>№ п/п</b>	<b>Дата/сроки выполнения</b>	<b>Вид самостоятельной работы</b>	<b>Примерные нормы времени на выполнение</b>	<b>Форма контроля</b>
1	1-4 неделя семестра	Подготовка к опросу по темам занятий 1-2	6 час.	УО-1
2	2-4 неделя семестра	Подготовка к защите лабораторной работы 1	6 час.	ПР-6
3	5-9 неделя семестра	Подготовка к опросу по темам занятий 3-4	6час.	УО-1
4	5-9 неделя семестра	Подготовка к защите лабораторной работы 2	6час.	ПР-6

5	1-10 неделя семестра	Подготовка реферата по теме «Структура и свойства конструкционных материалов»	18 час.	ПР-12
6	10-15 неделя семестра	Подготовка к опросу по темам занятий 5-8	6 час.	УО-1
7	10-15 неделя семестра	Подготовка к защите лабораторной работы 3	6 час.	ПР-6
8	10-18 неделя	Подготовка к зачету	18 час.	Зачет
Итого			72 час.	

### **III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

#### **Устные опросы**

Устные опросы и коллоквиум осуществляется преподавателем по завершению изучения каждого раздела. Вопросы и задания приведены в фондах оценочных средств. Для подготовки используется основная и дополнительная литература. Вопросы, возникающие в процессе подготовки, студент может задать преподавателю на консультациях, проводимых по дисциплине в указанное время.

#### **Темы рефератов.**

1. Конструкционные материалы на основе алюминия. Методы расчета упругих характеристик.
2. Современные конструкционные материалы в машиностроении
3. Полимерные материалы и стекла.
4. Керамические конструкционные материалы. Повышение вязкости разрушения керамических материалов. Применение керамических материалов.
5. Режущая керамика. Сверхтвердая керамика.
6. Порошковые материалы.
7. Технологический процесс изготовления изделий из порошков. Конструкционные порошковые материалы. Антифрикционные порошковые материалы.
8. Фрикционные порошковые материалы.
9. Пористые фильтрующие элементы.
10. Методы получения консолидированных наноматериалов . Структура полимерных, биологических и углеродных наноматериалов.

11. Свойства наноматериалов, полученных методами компактирования.
12. Получение консолидированных материалов.
13. Порошковые технологии. Основные методы получения порошков для изготовления наноматериалов.
14. Конструкционные, инструментальные и триботехнические наноматериалы.

## **Реферат**

### **Классификация конструкционных материалов по структуре**

При исследовании стеклянных нитей было показано, что чем совершеннее их поверхность, тем выше прочность. Хрупкие кристаллические вещества также могут показывать высокую прочность, если из них получить волокна с бездефектной поверхностью. Высокая прочность у волокон сочетается с высоким абсолютным и удельным модулем упругости. Чтобы реализовать в конструкциях благоприятное сочетание свойств этих волокон, необходимо защитить их поверхность от повреждений во время службы, т.е. поместить в какую-нибудь вязкую или пластичную среду, в которой волокна будут играть роль армирующих упрочнителей.

Техническое решение этой проблемы появилось в 40-х гг. XX в. В конце Второй мировой войны в авиации вместо дефицитного в СССР алюминия стали использовать пластины из стеклопластика, изготовленного из *искусственных волокон* и *искусственной матрицы*. В Великобритании аналогичные работы были начаты примерно на 15 лет позднее, а вскоре после этого – и в США.

В действительности, композиты – не такие уж и новые материалы. *Композиционные материалы* (или «композиты») – это материалы, которые изготавливаются из двух или более исходных компонентов, различающихся по своему химическому составу и разделенных в матрице выраженной границей. Под эту классификацию подходят, например, известные древним цивилизациям *саманные кирпичи*, делавшиеся из армированной соломой глины. *Бетон*, состоящий из смеси камней, скрепленных цементом, также относится к искусственным

композиционным материалам. Встречаются композиты и в природе, как, например, *кости, раковины моллюсков* или *древесина*.

*Древесина* является примером естественных волокнистых композитов. Продольные полые ячейки древесины состоят из спиральных *волокон целлюлозы*. Эти волокна соединяются *лигнином*. На микроуровне кость представляет собой композит на основе *коллагеновой матрицы*, армированной мелкими *стержнеобразными гидроксипатитовыми кристаллами* порядка 5х5х50 нм. Этот композит является основным «строительным блоком» кости. На макроуровне различные типы костей являются композитами с различной укладкой коллагеновых волокон. Так, во внутренней части кости волокна уложены беспорядочно, а во внешней – ориентированы и формируют слоистые ламели. Древесина и кость – весьма типичные представители естественных композиционных материалов, характеризующие тот уровень свойств, который должны иметь искусственные композиты, чтобы конкурировать с естественными композиционными материалами.

История использования человеком композиционных материалов насчитывает много веков. Определенная аналогия прослеживается между мумификацией умерших с последующей обмоткой тела в виде кокона из полос ткани и современными технологиями обмотки корпусов ракет, между изготовлением боевых луков у кочевников с использованием нескольких слоев из дерева, рога, шелка, скрепляемых с помощью клея, и современными металло-дерево-тканевыми слоистыми конструкциями, соединяемыми отверждающимися смолами. Одним из наиболее ярких примеров такого рода является материал фиберглас из стеклянных волокон, скрепленных полимерным связующим, структура которого повторяет структуру бамбука, где непрерывные волокна из целлюлозы находятся в более пластичной матрице.

Микроструктура различных композиционных материалов (сечение поперек армирующих элементов): *а* – бамбук, *б* – стеклопластик, *в* – композит из меди, армированной вольфрамовой проволокой приведены в книге {1}.

Наука о композиционных материалах как раздел материаловедения зародилась на рубеже 60-х гг. XX в., и разрабатывалась для решения проблемы улучшения механических характеристик и жаростойкости. В последние годы в

связи с расширением комплекса свойств, реализуемых с помощью полимерных композиционных материалов, значительно расширились исследования по созданию антифрикционных композиционных материалов медицинского и биологического назначения, газонаполненных композиционных материалов, тепло- и электропроводных, негорючих и других композитов.

Композиционные материалы по сравнению с современными конструкционными материалами обнаруживают более высокую удельную жесткость и удельную прочность. Удельная прочность и удельный модуль упругости алюминия (1), стали и титана (2), стеклопластиков (3), бериллия (4) и некоторых композиционных материалов указаны в справочной литературе.

Модуль упругости композиционных материалов может изменяться в требуемом направлении в зависимости от схемы армирования. Высокая надежность в работе конструкций из композиционных материалов связана с особенностями распространения в них трещин. В обычных сплавах трещина развивается быстро и скорость роста ее в период работы конструкции делали возрастает. В композитах трещина обычно возникает и развивается в матрице и встречает препятствия на границе матрица - упрочнитель. Армирующий элемент тормозит ее распространение, задерживая на некоторое время ее рост.

Современное определение композиционных материалов предполагает выполнение следующих условий: композиция должна представлять собой сочетание хотя бы двух разнородных материалов с четкой границей раздела между фазами; компоненты композиции образуют ее своим объемным наполнением.

*Свойства композиционного материала* определяются каждым из его компонентов, сам материал обладает такими свойствами, которых не имеют его компоненты, взятые в отдельности. К признакам композиционного материала относят также то, что композит является неоднородным в микромасштабе и однородным в макромасштабе. Этот признак позволяет исключить из класса композиционных материалов биметаллы, детали с покрытиями и т.п.

Наиболее распространенным композитом является *железобетон* – сочетание бетона и стальной арматуры, монолитно соединенных и совместно работающих в единой конструкции. Бетон при этом воспринимает в основном



сжимающие усилия, а металлическая арматура – растягивающие. Кроме того, бетон придает конструкции (балке, ферме, плите) жесткость и защищает арматуру от коррозии. *Абразивный круг*, используемый при шлифовании изделий в металлообработке, также представляет собой композит. Зерна абразива (алмаз, корунд и другие твердые материалы) удерживаются связками (бакелит, вулканит, керамика и т.д.) и служат микрорезцами, снимающими с заготовки стружку.

В композиционной системе сочетаются два противоположных свойства, необходимых для конструкционных материалов – *высокий предел прочности* и *достаточная вязкость разрушения*. Высокая прочность достигается за счет использования хрупких высокопрочных волокон, а достаточная вязкость разрушения обусловлена пластичной матрицей и специфическим механизмом рассеяния энергии разрушения композиции. В традиционных сплавах удельная жесткость практически одинакова, в композитах она увеличивается примерно на 100-200%. Это позволяет существенно снизить материалоемкость конструкций и повысить их эффективность по массе. В традиционных конструкционных материалах *фазовые соотношения* определяются взаимодействием компонентов согласно диаграммам состояния, у композиционных материалов фазовые соотношения задаются в соответствии с заданной прочностью и жесткостью, т.е. выбираются на основе расчета прочности. Иными словами, *создавать композиционные материалы – значит конструировать их путем расчета*, а не в результате поиска методом проб и ошибок.

Свойства композиционных материалов в основном зависят от физико-механических свойств компонентов и прочности связи между ними. Отличительной особенностью композиционных материалов является то, что в них проявляются достоинства компонентов, а не их недостатки. Вместе с тем композиционным материалам присущи свойства, которыми не обладают отдельно взятые компоненты, входящие в их состав. Для оптимизации свойств композиций выбирают компоненты с резко отличающимися, но дополняющими друг друга свойствами.

Основой композиционных материалов – *матрицей* служат *полимерные и керамические материалы* (композиционные материалы на неметаллической основе), а также *металлы или сплавы* (композиционные материалы на

металлической основе). Механические свойства этих трех классов композитов значительно отличаются (табл. 1). Так, полимеры имеют сравнительно невысокую прочность и жесткость; керамики прочны, жестки и хрупки; металлы имеют промежуточные прочность и модуль упругости, а также весьма пластичны.

Таблица 1

Материал	Плотность г/см <sup>3</sup>	Модуль Юнга, ГПа	Прочность*, Мпа	Деформативность, %	Вязкость разрушения K <sub>1с</sub> , МПа·м <sup>1/2</sup>	Удельный модуль, ГПа/(т/м <sup>3</sup> )	Удельная прочность, МПа/(т/м <sup>3</sup> )
<b>КЕРАМИКИ</b>							
Оксид алюминия Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,87	382	332	0	4,9	99	86
Оксид магния MgO	3,60	207	230	0	1,2	58	64
Нитрид кремния Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>		166	210	0	4,0		
Оксид циркония ZrO <sub>2</sub>	5,92	170	900	0	8,6	29	152
β-сиалон	3,25	300	945	0	7,7	92	291
Стеклокерамика Сильсерам	2,90	121	174	0	2,1	42	60
<b>МЕТАЛЛЫ</b>							
Алюминий	2,70	69	77	47		26	29
Алюминий-3% Zn- 0,7% Zr	2,83	72	325	18		25	115
Бронза Cu-30% Zn	8,50	100	550	70		12	65
Никель-20%Cr- 15%Co	8,18	204	1200	26		25	147
Мягкая сталь	7,86	210	460	35		27	59
Титан-2,5% Sn	4,56	112	792	20		24	174
<b>ПОЛИМЕРЫ</b>							
Эпоксид	1,12	4	50	4	1,5	4	36
Меламин формальдегид	1,50	9	70			6	47
Нейлон 6.6	1,14	2	70	60		18	61
Полиэфирэфиркетон	1,30	4	70			3	54
Полиметилметакрилат	1,19	3	50	3	1,5	3	42
Полистирол	1,05	3	50	2	1,0	3	48
Поливинилхлорид	1,70	3	60	15	4,0	2	35

\*Прочность керамических материалов определена путем изгиба, металлических - путем растяжения.

Матрица связывает композицию и придает ей форму. От свойств матрицы в значительной степени зависят технологические режимы получения композиционных материалов и такие важные эксплуатационные характеристики,

как рабочая температура, сопротивление усталостному разрушению и воздействию окружающей среды, плотность и удельная прочность. Созданы композиционные материалы с комбинированными матрицами, состоящие из чередующихся слоев (двух или более) различного химического состава и называемые *полиматричными*. Для полиматричных материалов характерен более обширный перечень полезных свойств. Например, использование в качестве матрицы наряду с алюминием титана увеличивает прочность материала в направлении, перпендикулярном оси волокон. Алюминиевые слои в матрице способствуют уменьшению плотности материала. Применение металлических матриц открывает дополнительные возможности борьбы с хрупкостью за счет пластического сдвига и использования физико-химических свойств металлов. Поскольку волокна – упрочнители довольно тугоплавки, армированные ими материалы могут работать при повышенных температурах и могут быть жаропрочными, если между волокном и матрицей нет сильного химического взаимодействия.

В матрице равномерно распределены остальные компоненты – *наполнители*. Поскольку главную роль в упрочнении композиционных материалов играют наполнители, их часто называют упрочнителями. Они обладают высокими значениями прочности, твердости и модуля упругости. По этим свойствам упрочнители значительно превосходят матрицу.

С увеличением прочностных характеристик наполнителя повышаются соответствующие свойства композита, хотя они и не достигают характеристик наполнителя. Наполнители называют еще армирующими компонентами. Это более широкое понятие.

Композиционные материалы имеют ориентированную структуру и по своей природе являются *гетерогенными*. По структурным признакам композиционные материалы разделяют на *волокнистые*, *слоистые* и *дисперсно-упрочненные*. Разделение композиционных материалов по структурным признакам на группы позволяет выявить их принципиальные различия.

#### *Волокнистые и слоистые композиционные материалы*

*Волокнистые композиции* состоят из матрицы, содержащей упрочняющие одномерные элементы в форме волокон (проволоки) и нитевидных кристаллов. *Слоистые композиты* представляют собой набор чередующихся армирующих

компонентов в виде листовых, пластинчатых и фольговых материалов, жестко связанных между собой по всей поверхности. Особенностью волокнистых композиционных материалов и подобных им слоистых композиционных материалов является возможность сочетания химически инертных по отношению одна к другой составляющих – матрицы и упрочнителей. *Прочность* волокнистых композиционных материалов *определяется нагрузкой, которую выдерживают высокопрочные волокна, а матрица – лишь среда, передающая нагрузку на волокна посредством пластического деформирования.*

У волокнистых и слоистых композиционных материалов *несущим элементом* выступает *армирующее волокно, проволока или фольга* (фаза – упрочнитель), которые по своей природе имеют высокую прочность, весьма высокий модуль упругости и, как правило, сравнительно низкую плотность. В волокнистых композициях *матрица* скрепляет волокна или другие упрочняющие элементы в единый монолит, защищая их от повреждений. Она является средой, передающей нагрузку на волокна.

#### *Дисперсно-упрочненные композиционные материалы*

Дисперсно-упрочненные композиционные материалы содержат равномерно распределенные в объеме матрицы дисперсные нуль-мерные частицы, не взаимодействующие активно с матрицей и не растворяющиеся в ней. В дисперсно-упрочненных композиционных материалах *основным элементом, несущим нагрузку, является матрица*, в которой с помощью множества дисперсных практически не растворяющихся частиц и однородной дислокационной структуры создается эффективное торможение дислокаций. В этих композитах торможение движения дислокаций обеспечивается путем сложного легирования твердого раствора и создания оптимальных по размерам и распределению частиц вторых фаз. В отличие от традиционных дисперсионно-твердеющих сплавов, у которых при высоких температурах происходит перестаривание, у дисперсно-упрочненных композиционных материалов структура термически стабильна вплоть до температуры начала плавления за счет введения химически инертных некогерентных частиц окислов, нитридов, карбидов или других фаз – упрочнителей оптимальных размеров, формы, распределения и объемной доли. Дисперсно-упрочненные композиты специально предназначены для работы в условиях

длительного воздействия высоких температур.

В дисперсно-упрочненных композиционных материалах *оптимальным содержанием дисперсной фазы считается 2-4 об. %*. Дисперсные частицы, в отличие от непрерывных и дискретных волокон в волокнистых композициях, создают только «косвенное» упрочнение, благодаря их присутствию стабилизируется структура, формирующаяся при деформационной термической обработке. В дисперсно-упрочненных композиционных материалах, предназначенных главным образом для работы при высоких температурах, компоненты выбирают с позиции минимального взаимодействия.

### **Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы**

Результатом самостоятельной работы студентов являются:

1. Написание и защита рефератов.
2. Подготовка к устному опросу
3. Выполнение лабораторных работ.

#### **Лабораторные работы**

Структура каждой лабораторной работы следующая:

1. Указать цель работы, приборы и инструменты.
2. Выполнить работу и оформить отчет.

Выполненные лабораторные работы необходимо защитить.

#### **Пример лабораторной работы**

##### **Лабораторная работа № 1**

### **МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ СТЕКЛОВОЛОКНА**

**Характеристика стекловолокна.** Стекловолокно – волокно или комплексная нить – изделие, формируемое из стекла. В такой форме стекло демонстрирует необычные для волокна свойства: не бьется и не ломается, а вместо этого легко гнется без разрушения. Это позволяет изготавливать из него стеклоткань.

Стекловолокно ekstrудируют из расплава стекла специального химического состава. Экструзия производится путем продавливания расплава через прядильные фильтры. Исходный продукт, как и в других областях производства химических волокон, получается в виде бесконечных элементарных волокон, из которых далее в

процессе переработки формируются комплексные нити, причем диаметр элементарной нити изменяется от 3 до 100 мкм, а длина в упаковке достигает 20 км и более (непрерывное стеклянное волокно). Иногда продукт перерабатывается в крученые нити (ровинги) на крутильно-размоточных машинах. Данные полуфабрикаты далее могут быть подвергнуты любым формам текстильной переработки в крученые изделия (шнуры, шпагаты, канаты) или в текстильные полотна (ткани, нетканые материалы и т.п.).

Стекловолокна также могут выпускаться в дискретном (штапельном) виде. При этом исходный стеклянный ровинг может быть переработан путем резки, рубки или разрывного штапельирования. При этом штапельные волокна имеют длину от 0,1 до 50 см, их диаметр изменяется от 0,1 до 20 мкм. Основная масса штапельных стекловолокон перерабатывается в нетканые материалы (кардные, иглопробивные и т.п.) по различным технологиям.

По внешнему виду непрерывное стекловолокно напоминает нити натурального или искусственного шелка, а штапельное – короткие волокна хлопка или шерсти.

Основная область применения стекловолокон и стеклотканых материалов – использование в качестве армирующих элементов в стеклопластике и композите. Также стеклоткани могут самостоятельно использоваться как конструкционные и отделочные материалы. В этом случае они зачастую подвергаются той или иной форме отделки, главным образом – пропитке связующим (латекс, полиуретан, крахмалы, смолы, прочие полимеры).

**Обозначение нити.** В соответствии с ГОСТ 8325-93 обозначение нити содержит техническую информацию и состоит из следующих элементов:

1. Первая буква в обозначении указывает тип стекла: А – щелочесодержащее; Е – электроизоляционное; S – высокопрочное; С – химически стойкое; AR – щелочестойкое.

2. Вторая буква указывает тип нити: С (непрерывная) – для обозначения непрерывных элементарных нитей; Д (прерывистая) – для обозначения нити из штапельного волокна.

3. Следующая за буквами одно- или двухзначная цифра указывает диаметр элементарной нити в микрометрах.

4. Далее через пробел указываются:

- линейная плотность в тексах;
- направление крутки: Z – правое, S – левое;
- число кручений на метр нити.

Пример обозначения однокруточной нити: EC634Z40.

Пример обозначения ровинга: EC102400 (2400 – общая линейная плотность).

Допускаемые отклонения фактической линейной плотности от номинальной составляют в %: +5; -7. Обозначение вырабатываемой комплексной нити состоит из ряда элементов:

- тип используемого стекла;
- тип нити;
- номинальный диаметр элементарной нити, мкм;
- номинальная линейная плотность, текс;
- индекс замасливателя (после тире)

**Таблица 1 Основные технологические характеристики стеклонитей**

Диаметр элементарной нити, мкм	Номинальная линейная плотность комплексной нити, текс	Количество сложений	Количество кручений на 1 м
3	1,8	От 1 до 4	Кратное 10 в интервале от 20 до 250
4	1,9; 3,4		
5	2,0; 2,8; 5,6; 11; 22; 34; 44		
6	3,4; 6,8; 13; 14; 17; 26; 28; 34; 44; 52; 54; 68		
7	5,6; 9,2; 11; 22; 34; 36; 44; 54; 68; 72		
9	28; 34; 52; 54; 68; 72; 100; 140		
10	80; 84; 120; 160		
13	120; 136; 140; 210; 240; 280; 400		

**Определение линейной плотности нитей и ровингов.** Линейная плотность нити, пряжи или ровинга выражается в единицах, называемых текс.

Линейную плотность вычисляют по формуле:

$$T = M/L,$$

где **M** – масса, г; **L** – длина, км.

Следовательно, **1 текс** = 1 г/1 км.

Различают следующие виды линейной плотности:

- фактическая линейная плотность ( $T_f$ ), определяется после прокалывания нити, пряжи или ровинга;
- номинальная линейная плотность – линейная плотность вырабатываемой нити или ровинга;
- номинальная расчетная линейная плотность – произведение суммы номинальных линейных плотностей нитей на коэффициент  $D$ , учитывающий изменение длины нити из-за скручивания.

Линейная плотность определяется методами прокалывания и высушивания.

**Метод прокалывания.** Принцип метода состоит в определении массы испытываемых проб нитей определенной длины после прокалывания до постоянной массы в муфельной электропечи при температуре  $625 \pm 20$  °С.

Для определения фактической линейной плотности нити отматывают на намоточном барабане и завязывают в свободный узел. Отобранные для испытаний пробы не должны иметь повреждений, обрывов.

Пробу для испытаний помещают в держатель, устанавливают в нагретую муфельную печь и выдерживают 30 мин. Прокаленную пробу с держателем помещают в эксикатор, охлаждают и взвешивают на аналитических весах. Линейную плотность нити (ровинга) в тексах вычисляют по формуле:

$$T = \frac{1000 * m}{l}, \quad (1)$$



где  $m$  – масса мотка в г,  $l$  – длина нити в мотке (или отрезке) в метрах. Линейную плотность определяют как среднее арифметическое плотностей нескольких проб для испытаний.

**Метод высушивания.** Принцип метода состоит в определении массы испытуемых проб нитей определенной длины после высушивания в сушильном шкафу при температуре  $107 \pm 2$  °С не менее 30 мин.

Для определения линейной плотности отбирают три пробы в виде отрезков, длина которых составляет 100 м. После высушивания пробы взвешивают на лабораторных весах и вычисляют линейную плотность по формуле (1).

**Таблица 2**  
**Номинальная зависимость между длиной нити в пробе и линейной плотностью**

Линейная плотность, текс	Длина нити в пробе, м
$T \leq 5$	200
$5 < T \leq 30$	100
$30 < T \leq 60$	50
$60 < T \leq 100$	25
$100 < T \leq 300$	10
$T > 300$	1

Для определения номинальной линейной плотности пробы нити в виде отрезков длиной 100 м взвешивают на лабораторных весах. Рассчитывают линейную плотность нитей и определяют текс с учетом допускаемых отклонений фактической линейной плотности от номинальной, составляющих в %: +5; -7.

**Определение диаметра элементарного волокна.** В соответствии с практикой диаметр элементарного волокна определяют двумя методами.

При использовании *метода А* измеряют продольное сечение образца, помещенного в жидкую среду, показатель преломления которой отличается от показателя преломления стекловолокна. Образец готовят следующим образом. Отрезок стеклянной нити длиной не более 25 мм помещают на предметное стекло и разъединяют на элементарные волокна параллельно друг другу. С помощью стеклянной палочки смачивают образец одной каплей бензилового спирта или смеси одной части глицерина в двух частях

воды и накрывают покровным стеклом. Измерение диаметра производят под микроскопом при увеличении от 400 до 1000 с помощью микрометрической шкалы с точностью 0,5 мкм. При этом перемещают микрометрическую сетку от одного края элементарной нити до другого. Передвигают предметное стекло таким образом, чтобы измерить фактический диаметр 25 случайно выбранных волокон. Диаметр элементарных волокон рассчитывают как среднее из 25 измерений с точностью до 0,5 мкм.

Сущность *метода Б* заключается в измерении поперечного сечения заданного числа волокон образца, пропитанного смолой. Образец нити помещают на предметное стекло, приклеивают смолой и дают затвердеть. Помещают предметное стекло в форму вертикально, заполняют форму полиэфирной или эпоксидной смолой и дают застыть, получая пресс-массу, поверхность которой полируют шлифовальным кругом с использованием микропорошков М14. Ножовочным полотном отрезают диск толщиной 4 мм от верхней части пресс-массы. Полученный срез исследуют под микроскопом, измеряя диаметр элементарного волокна с помощью микрометрической шкалы. Определяют среднее из 25 измерений диаметра элементарного волокна.

**Определение разрывной нагрузки нитей и ровингов.** Разрывная нагрузка нитей и ровингов определяется по ГОСТ 6943.10. Для проведения испытаний используют разрывную машину с тисочными или улиточными зажимами. Длина образца нити для испытаний должна быть 220 мм при испытаниях в тисочных зажимах и 1000 мм при испытаниях в улиточных зажимах.

При испытаниях в тисочных зажимах образцы нити или ровинга проклеивают по концам на бумаге. Для этого на бумагу укладывают шаблон шириной  $80 \pm 2$  мм и места бумаги, выходящие из-под шаблона, пропитывают клеящим веществом, например клеем БФ. Отрезки нити или ровинга укладывают параллельно на бумаге, их концы проклеивают полосками бумаги. Для отверждения клеящего вещества пробы выдерживают в

сушильном шкафу при температуре  $107 \pm 2$  °С в течение 30 мин. Перед испытанием на разрывной машине нити разделяют, разрезая бумагу между ними. Для проведения испытаний проклеенные образцы заправляют в верхний тисочный зажим, используя прокладки из винилискожи или наждачной бумаги, затем в нижний зажим, находящийся на

расстоянии 100 мм. Распрямив образцы, плотно зажимают верхний и нижний зажимы. Скорость опускания нижнего зажима – 50–100 мм/мин.

Заправка отрезка нити или ровинга в улиточных зажимах должна производиться по винтовой канавке. Расстояние между улиточными зажимами – 500 мм, скорость опускания нижнего зажима – 100–300 мм/мин.

За результат испытаний принимают среднеарифметическое значение разрывной нагрузки пяти образцов.

**Выполнение лабораторной работы.** Испытания проводят на образцах нитей и ровингов из стекла типа Е.

При определении линейной плотности рассчитывают отклонение от номинального значения. Диаметр волокна определяют по методу А. По результатам определения линейной плотности и диаметра волокна составляют обозначение нити.

Показатели разрывной нагрузки нитей и ровингов сравнивают со справочными данными. Результаты испытаний нитей и ровингов записывают в форме табл. 3.

**Таблица 3**  
**Оформление результатов испытаний**

Обозначение нити	Линейная плотность, текс (отклонение)		Диаметр волокна, мкм	Разрывная нагрузка, Н
	номинальная	фактическая		

***Контрольные вопросы***

1. Как обозначаются комплексные нити и ровинги?
2. В каких единицах измеряется линейная плотность нитей и ровингов?

3. Каковы виды линейной плотности нитей и ровингов?
4. Каковы допускаемые отклонения фактической линейной плотности нитей и ровингов?
5. Как определить диаметр элементарного волокна?
6. Какова методика определения разрывной нагрузки нитей и ровингов?
7. Какое оборудование необходимо для проведения этой лабораторной работы?

### **Критерии оценки выполнения самостоятельной работы**

Самостоятельная работа студентов включает работы по всему изучаемому курсу, которые должны быть защищены у преподавателя, а также подготовку к устным опросам. Выполнение и защита работ обязательны для сдачи зачёта. Критерии оценки каждого вида работы приведены в фондах оценочных средств.

## **IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА**

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства		
			текущий контроль	промежуточная аттестация	
1	Практические занятия 1-2;	ПК-3	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы к зачету 1-9
			умеет	Лаб. работа №1 (ПР-6)	
			владеет		
2	Практические занятия 3-4;	ПК-3	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы к зачету 10-18
			умеет	Лаб. работа №2 (ПР-6)	
			владеет		
3	Практические занятия 5-8;	ПК-3	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы к зачету 19-30
			умеет	Лаб. работа №3 (ПР-6)	
			владеет		

## **V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Алексеев А.Г. Технология конструкционных материалов [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / А.Г. Алексеев [и др.]. —

Электрон. текстовые данные. — СПб. : Политехника, 2016. — 599 с. — <http://www.iprbookshop.ru/59723.html>

2. Жарский И.М. Материаловедение [Электронный ресурс] : учебное пособие / И.М. Жарский [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Высшая школа, 2015. — 558 с. <http://www.iprbookshop.ru/48008.html>

3. Капитонов А.М. Физико-механические свойства композиционных материалов. Упругие свойства [Электронный ресурс] : монография / А. М. Капитонов, В. Е. Редькин. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. - 532 с. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=492077>

4. Неверов А.С. Коррозия и защита материалов: Учебное пособие / А.С. Неверов, Д.А. Родченко, М.И. Цырлин. - М.: Форум: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 224 с. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=488262>

5. Бойко Л.А. Лабораторный практикум по механике композитов: для студентов направления подготовки «Прикладная механика» очной формы обучения / сост. Л.А. Бойко; Инженерная школа ДВФУ. – Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2018. – 17 с. [https://www.dvfu.ru/upload/medialibrary/572/Bojko\\_L.A.\\_Laboratoryj\\_praktikum\\_po\\_mexanike\\_kompozitov.pdf](https://www.dvfu.ru/upload/medialibrary/572/Bojko_L.A._Laboratoryj_praktikum_po_mexanike_kompozitov.pdf)

#### Дополнительная литература

1. Онищенко Д.В. Формирование тугоплавких, сорбционных, нановолокнистых материалов и композитных систем / Д. В. Онищенко, В. В. Чаков, Владивосток : Изд. дом Дальневосточного федерального университета , 2012. – 96 с. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:677602&theme=FEFU>

2. Эшби М. Конструкционные материалы. Полный курс : [учебное пособие] : пер. с англ. / М. Эшби, Д. Джонс. - Долгопрудный : Интеллект , 2010. – 671 с. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:663905&theme=FEFU>

3. Богодухов С.И. Материаловедение : учебник для вузов / С. И. Богодухов, Е. С. Козик. - Старый Оскол : Тонкие наукоемкие технологии , 2013. – 534 с. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:692809&theme=FEFU>

4. Алимов Л.А. Строительные материалы. Учебник. – М: Академия, 2012. – 316 с. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:668236&theme=FEFU>

5. Методика проектирования и расчета прочного корпуса подводного аппарата [Электронный ресурс] / В. В. Пикуль ; Институт проблем морских технологий Дальневосточного отделения РАН, Владивосток: дальнаука, 2011. – 91 с. с илл. и таб. <https://elib.dvfu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000822152>

### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. [www.edulib.ru](http://www.edulib.ru) – сайт Центральной библиотеки образовательных ресурсов.
2. <http://elibrary.ru> - Научная электронная библиотека.
3. <http://www.auditorium.ru> – сайт «Российское образование».
4. <http://www.rating.fio.ru> – сайт Федерации Интернет-образования.
5. <http://www.netlibrary.com> – Сетевая библиотека.
6. <http://www.rsl.ru> – Российская Государственная библиотека.

При осуществлении образовательного процесса студентами и профессорско-преподавательским составом используются следующие информационно-справочные системы:

Научная электронная библиотека eLIBRARY.

Электронно-библиотечная система издательства «Лань».

Электронно-библиотечная система «IPRbooks».

Электронно-библиотечная система «Znanium»

## **VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

На изучение дисциплины отводится 36 часов аудиторных занятий и 72 часа самостоятельной работы.

На практических и лабораторных занятиях преподаватель контролирует работу студентов, отвечает на возникающие вопросы, подсказывает ход и метод решения. Если полученных в аудитории знаний окажется недостаточно, студент может самостоятельно повторно прочесть лекцию или соответствующую литературу, просмотреть практикум с разобранными примерами. После выполнения задания, студент защищает его преподавателю в назначенное время.

**Рекомендации по работе с литературой.** Теоретический и практический материал курса разъяснён в материалах рабочей учебной программы дисциплины, предлагаемого преподавателем на занятиях, также в учебниках и учебных пособиях из списка основной и дополнительной литературы.

**Рекомендации по подготовке к зачету.** Успешная подготовка к зачету включает работу на практических занятиях в течение семестра, выполнение и защита ЛР. При подготовке к зачету необходимо разобрать основные темы, постановки задач и используемые методы.

## **VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Оборудование, размещенное в аудиториях для проведения практических и лабораторных занятий по дисциплине:

Моноблоки Lenovo C360G-i34164G500UDK – 20 шт;

Мультимедийный проектор, Mitsubishi EW330U, 3000 ANSI Lumen, 1280x800 – 1 шт;

Экран проекционный ScreenLine Trim White Ice, 50 см, размер рабочей области 236x147 см – 1 шт;

Акустическая система для потолочного монтажа с низким профилем, Extron SI 3CT LP (пара) – 3 шт;

Документ-камера Avervision CP355AF – 1 шт;

ЖК-панель 47", Full HD, LG M4716CCBA – 1 шт;

Сетевая видеокамера Multipix MP-HD718 – 1 шт.

В целях обеспечения специальных условий обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в ДВФУ все здания оборудованы пандусами, лифтами, подъемниками, специализированными местами, оснащенными туалетными комнатами, табличками информационно-навигационной поддержки.

## VIII. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### ПАСПОРТ ФОС

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
	ПК-3 способностью критически анализировать современные проблемы прикладной механики с учетом потребностей промышленности, современных достижений науки и мировых тенденций развития техники и технологий, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты	Знает
Умеет		Классифицировать материалы, анализировать строение и структуру композитного материала
Владеет		Знаниями по классификации, структуре, технологиям и другим проблемам механики материалов.

### Контроль достижений целей курса

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства		
			текущий контроль	промежуточная аттестация	
1	Практические занятия 1-2;	ПК-3	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы к зачету 1-9
			умеет	Лаб. работа №1 (ПР-6)	
			владеет		
2	Практические занятия 3-4;	ПК-3	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы к зачету 10-18
			умеет	Лаб. работа №2 (ПР-6)	



№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства		
			текущий контроль	промежуточная аттестация	
3	Практические занятия 5-8;	ПК-3	владеет		Вопросы к зачету 19-30
			знает	Собеседование (УО-1)	
			умеет	Лаб. работа №3 (ПР-6)	
			владеет		

### Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели
	Знает	Умеет		
ПК-3 способностью критически анализировать современные проблемы прикладной механики с учетом потребностей промышленности, современных достижений науки и мировых тенденций развития техники и технологий, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты	Знает	Основные положения механики конструкционных материалов	знание требований контроля качества материалов, элементов и узлов машин и установок	способность определять механические характеристики конструкционных материалов в зависимости от их свойств
	Умеет	Классифицировать материалы, анализировать строение и структуру композитного материала	умение дать определение и анализ основным видам конструкционных материалов и их применению	иметь развернутое представление о композитных материалах, их видах, применению в различных отраслях промышленности
	Владеет	Знаниями по классификации, структуре, технологиям и другим проблемам механики материалов.	знать принципы классификации, основные области применения анализ особенностей композитных материалов, технологию их производства	владение методами определения динамики, прочности, устойчивости, надежности, долговечности, износостойкости, безопасности конструкций, деталей и узлов из различных конструкционных материалов в том числе в условиях механических, акустических, аэро- и гидродинамических, тепловых внешних воздействий

### Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

#### результатов освоения дисциплины

#### Оценочные средства для текущей аттестации

#### Вопросы к собеседованию

1. Состав сплавов Fe – C и роль компонентов в нем.
2. Дать характеристику углеродистых сталей, их применение, обозначение.
3. Структурные составляющие сплава Fe – C.
4. Дать характеристику углеродистых сталей, их применение, обозначение.
5. Дать характеристику легированных конструкционных сталей, их применение, обозначение.
6. Стали и сплавы с особыми свойствами, их применение, обозначение.
7. Сплавы на основе меди, их свойства, применение, обозначение.
8. Сплавы на основе алюминия, их свойства, применение, обозначение.
9. Сплавы на основе магния, титана, бериллия, их основные свойства, применение. Какие сплавы относятся к сплавам высокой удельной прочности и жесткости и где они применяются?
10. Что такое упрочняемые (старяющиеся) и не упрочняемые (нестаряющиеся) сплавы, какие из них вам известны?
11. Какие профили и сортаменты металлов и сплавов выпускают?
12. Чем отличаются сплавы, полученные расплавлением компонентов, и спеканием из металлических порошков?
13. Назовите группы неметаллических конструкционных материалов и их свойства. Отличие неметаллических материалов, их характеристик от аналогичных параметров металлических конструкционных материалов.
14. Что объединяет и в чём отличие терморезистивных и термопластичных пластмасс?
15. Как можно повысить прочностные свойства пластмасс?
16. Назовите характерные свойства керамики и области их применения.
17. Стёкла, ситаллы, их основные свойства и применение.
18. Что отличает композиционные материалы от других конструкционных материалов?

19. Какие материалы используют в качестве упрочнителя, и какие – матрицы?

20. Какие композиционные материалы называют эвтектическими и в чём их свойства отличаются от свойств других композиционных материалов?

### **Критерии оценки**

✓ 100-85 баллов - если ответ показывает прочные знания основных положений изучаемого раздела, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа; умение приводить примеры современных проблем изучаемой области.

✓ 85-76 - баллов - ответ, обнаруживающий прочные знания основных положений изучаемого раздела, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

✓ 75-61 - балл - оценивается ответ, свидетельствующий в основном о знании основных положений изучаемого раздела, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных вопросов теории; слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа; неумение привести пример развития ситуации, провести связь с другими аспектами изучаемой области.

✓ 60-50 баллов - ответ, обнаруживающий незнание основных положений изучаемого раздела, отличающийся неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, сформированными навыками анализа явлений, процессов; неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа

### **Критерии оценки лабораторной работы**

✓ 10-8 баллов выставляется студенту, если студент выполнил все задания лабораторной работы, в том числе и самостоятельные. Нет фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы. При защите студент отвечает на все вопросы преподавателя.

✓ 7-6 баллов – работа выполнена полностью; студент выполнил все предложенные в лабораторной работе задания, одно самостоятельное задание . При защите студент отвечает на все вопросы преподавателя.

✓ 5-4 балла – работа выполнена полностью. При защите студент не отвечает на 1-2 вопроса преподавателя.

✓ 1-3 балла – работа выполнена не полностью. Все самостоятельные задания не реализованы. При защите студент не отвечает более, чем на 2 вопроса преподавателя.

### **Оценочные средства для промежуточной аттестации**

#### **Вопросы к зачету**

1. Предмет механики композитов. Основные понятия дисциплины.
2. Классификация композитов.
3. Постановка задач механики композитов.
4. Технические характеристики композитов.
5. Теории прочности в механике композитов.

6. Теории моделирования в механике композитов материалы, их структура и неоднородность.

7. Методы расчета упругих характеристик.

8. Упругопластическое поведение композитов.

9. Разрушение анизотропных сред.

10. Теория эффективных модулей в механике композитов.

11. Вычисление упругих модулей для слоистых композитов.

12. Практическое исследование композитов.

13. Теория анизотропных слоистых композитов.

14. Особенности вязкоупругого поведения композитов.

15. Статистические теории в механике композитов.

16. Колебания и волны в армированных композитах.

17. Основные задачи механики слоистых композитов.

18. Основные соотношения упругопластического поведения композитов.

19. Вязкоупругость в теории композитов.

20. Статистические модели композитов.

21. Принципы соответствия в вязкоупругом поведении композитов.

22. Критерии разрушения анизотропных тел.

23. Полидисперсная модель композита.

24. Постановка статистической задачи механики композитов.

25. Точные и приближенные методы вычисления эффективных упругих модулей композитов.

26. Основные соотношения статистической механики композитов.

27. Математическое и физическое определение эффективных модулей.

28. Источники нелинейности в механике композитов и ее проявление.

29. Регулярная структура композита.

30. Бесконечно малые плоские деформации композитов.

## Критерии оценки зачета

Баллы (рейтингово й оценки)	Оценка экзамена (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
60-100	«зачет»	«Зачет» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил учебный материал по дисциплине, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач в области профессиональной деятельности.
0-59	«не зачет»	«Не зачет» выставляется студенту, который не знает значительной части учебного материала по дисциплине, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. «Не зачет» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине