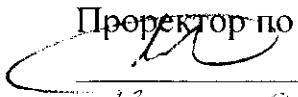


Учреждение образования  
«Белорусский государственный технологический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе БГТУ

 С.А. Касперович

«23» 06 2016 г.

Регистрационный номер № УД-4981уч

## **МЕХАНИКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности  
1–36 01 08 Конструирование и производство  
изделий из композиционных материалов

2016 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта высшего образования для специальности 1–36 01 08 «Конструирование и производство изделий из композиционных материалов», утвержденного и введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь № 88 от 30 августа 2013 г.

#### СОСТАВИТЕЛИ:

А.Л. Наркевич – доцент кафедры механики материалов и конструкций учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», кандидат технических наук

#### РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Свириденко А.И. – заместитель директора по научно-исследовательской работе Научно-исследовательского центра проблем ресурсосбережения Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси, доктор технических наук, академик НАН Беларуси;

Василевич Ю.В. – заведующий кафедрой сопротивления материалов Белорусского национального технического университета, доктор физико-математических наук, профессор.

#### РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой механики материалов и конструкций учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № 9 от «27» 05 2016г.);

Методическая комиссия факультета Химической технологии и техники (протокол № 10 от «22» 06 2016г.)

## 1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### Цели и задачи учебной дисциплины

Дисциплина «Механика композиционных материалов» относится к государственному компоненту цикла специальных дисциплин специальности 1–36 01 08 – Конструирование и производство изделий из композиционных материалов.

*Цель изучения* дисциплины – ознакомление студентов с основными понятиями, законами и методами механики композиционных материалов, с особенностями структуры и механического поведения композиционных материалов при формообразовании и эксплуатации изделий.

*К задачам изучения* дисциплины относятся: формирование у студентов теоретическая база расчета изделий и процессов формообразования; ознакомление с методами управления структурой и свойствами композиционных материалов в изделиях; изложение теоретических основ эффективного использования композиционных материалов в конкретных условиях эксплуатации.

### Связь с другими учебными дисциплинами

В механике композиционных материалов широко используют понятия и методы, являющиеся предметом изучения дисциплины «Механика материалов и конструкций». Также при изучении дисциплины «Механика композиционных материалов» согласно учебному плану специальности студенты должны иметь сведения о компонентах, их свойствах и технологии получения композиционных материалов, включаемые в курсы «Физикохимия композиционных материалов» и «Полимерные и композиционные материалы».

Курс механики композиционных материалов закладывает теоретические основы для профилирующих дисциплин – «Конструирование и расчет изделий из композиционных материалов» и «Формообразование изделий из композиционных материалов».

### Требования к освоению учебной дисциплины

В результате изучения учебной дисциплины студент должен

**знать:**

- методы изучения и математического описания структуры композитов, методы прогнозирования свойств композиционных материалов по заданным характеристикам структуры и свойствам компонентов;
- закономерности влияния структуры на свойства композиционных материалов;
- особенности поведения композиционных материалов, обусловленные свойствами компонентов, неоднородностью и анизотропией структуры материала;

**уметь:**

- определять характеристики структуры и свойств композиционных материалов;
- прогнозировать показатели упругих, реологических, прочностных и теплофизических свойств композиционных материалов по заданным свойствам компонентов и параметрам структуры материала;
- оценивать влияние свойств компонентов и структуры композиционных материалов на их поведение в условиях формообразования изделий и при нагружении изделий в различных условиях эксплуатации;

**владеть:**

- методами прогнозирования свойств композиционных материалов;
- способами управления структурой и эксплуатационными свойствами композиционных материалов в изделиях;
- методами экспериментального определения свойств материалов и их анализа.

**Требования к компетенциям специалиста*****Академические компетенции специалиста.***

Специалист должен:

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.
- АК-3. Владеть исследовательскими навыками.
- АК-4. Уметь работать самостоятельно.
- АК-5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).
- АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
- АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
- АК-8. Обладать навыками устной и письменной коммуникации.
- АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.
- АК-10. Уметь создавать и использовать в своей деятельности объекты интеллектуальной собственности.

***Социально-личностные компетенции специалиста***

Специалист должен:

- СЛК-6. Уметь работать в команде.

***Профессиональные компетенции специалиста***

Специалист должен быть способен в *научно-исследовательской деятельности*:

- ПК-1. Проводить научные исследования и разработки с использованием современных информационных технологий.
- ПК-2. Анализировать и объективно оценивать достижения науки в области полимерных и композиционных материалов, разработки, производства и применения (эксплуатации) изделий, перспективы и направления развития.

–ПК-3. Разрабатывать техническое задание на проведение исследований материалов, изделий, технологических процессов и средств технологического оснащения.

–ПК-4. Проводить патентно-информационные исследования по разрабатываемым объектам, оценивать их новизну и технический уровень, патентоспособность и патентную чистоту, составлять отчет о патентно-информационном исследовании.

–ПК-5. Разрабатывать методы и технические средства экспериментального исследования материалов, изделий и процессов, метрологического, программного, организационно-методического обеспечения.

–ПК-6. Организовывать и проводить экспериментальные исследования материалов, изделий, технологических процессов и средств технологического оснащения по профилю специальности, анализировать и обрабатывать результаты исследований.

–ПК-7. Оформлять отчеты о научном исследовании, научные публикации, доклады, заявки на выдачу охранных документов на объекты промышленной собственности.

Специалист должен быть способен в *проектно-конструкторской деятельности*:

–ПК-8. Составлять заявки и технические задания на разработку изделий из полимерных и композиционных материалов и проведение опытно-конструкторских работ.

–ПК-11. Оценивать предлагаемые технические решения путем изготовления и испытаний образцов материалов, моделей и макетов изделий.

Специалист должен быть способен в *инновационной деятельности*:

–ПК-15. Проводить опытно-технологические работы при освоении новых технологий, опытно-промышленную проверку новых изделий и средств технологического оснащения, изготовление и испытания опытных образцов и опытных партий изделий, оформлять документацию о результатах опытно-технологических работ и испытаний опытных образцов материалов и (партий) изделий.

Специалист должен быть способен в *организационно-управленческой деятельности*:

–ПК-25. Организовывать собственный труд и работу других исполнителей в соответствии с поставленными задачами, условиями и сроками их выполнения.

### Структура учебной дисциплины

Распределение аудиторного времени по видам занятий, курсам и семестрам, формы текущей аттестации по учебной дисциплине «Механика композиционных материалов» в соответствии с учебным планом учреждения высшего образования по специальности 1–36 01 08 «Конструирование и производство изделий из композиционных материалов» представлены в таблице.

Распределение часов по видам занятий:					Распределение часов по семестрам:					Форма текущей аттестации	
всего	аудиторных	лекций	лабораторные занятия	практические занятия	семестр	всего	аудиторных	лекции	лабораторные занятия		практические занятия
288	136	68	34	34	5	122	68	51	-	17	зачет
					6	166	68	17	34	17	экзамен

Форма получения высшего образования – очная (дневная).

## 2. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### Раздел 1. Напряженное и деформированное состояние

**1.1. Предмет и задачи изучения дисциплины.** Связь с другими дисциплинами специальности. Значение для прогнозирования свойств композиционных материалов и расчета изделий, проектирования технологических процессов их изготовления.

**1.2. Векторы и тензоры.** Векторы. Зависимость между компонентами вектора при повороте координат. Тензоры. Законы преобразования тензоров. Символы Кронекера. Сложение тензоров. Умножение тензора на скаляр. Умножение тензоров. Матричные представления тензоров. Симметрия тензоров и матриц. Главные значения и главные направления симметричных тензоров второго ранга. Оператор Гамильтона. Тензорные поля. Дифференцирование тензоров.

**1.3. Тензор напряжений.** Напряженное состояние сплошной среды. Массовые и поверхностные силы. Вектор напряжения. Напряженное состояние в точке. Тензор напряжений. Связь между тензором напряжений и вектором напряжений на произвольной площадке. Уравнения равновесия. Законы преобразования напряжений. Главные напряжения. Инварианты тензора напряжений. Максимальное и минимальное касательные напряжения. Октаэдрические напряжения. Девиатор и шаровой тензор напряжений.

**1.4. Тензор деформаций.** Деформации. Вектор перемещения. Тензор деформаций. Связь между тензором деформаций и вектором перемещений. Главные деформации. Инварианты деформаций. Шаровой тензор и девиатор деформаций. Уравнение совместности деформаций.

**1.5. Обобщенный закон Гука.** Изотропные и анизотропные среды. Тензоры модулей упругости и упругих податливостей. Симметрия упругих свойств. Матрица коэффициентов жесткости и коэффициентов податливости для анизотропных (ортотропных, трансверсальноизотропных) и изотропных сред. Связь между компонентами тензоров и элементами матрицы, задающих постоянные упругости и техническими постоянными, определяемыми экспериментально. Преобразование тензоров модулей упругости и упругих податливостей при повороте осей координат.

**1.6. Задачи теории упругости.** Постановка статических и динамических задач теории упругости. Система уравнений. Граничные условия. Простейшие случаи напряженного и деформированного состояния. Особенности поведения композитов, обусловленные анизотропией.

Плоская задача теории упругости. Функция напряжений. Плоская задача теории упругости в полярных и цилиндрических координатах.

Осесимметричные задачи в цилиндрических координатах. Напряженное состояние анизотропной трубы, нагруженной внутренним и внешним давлением.

**1.7. Вязкоупругие деформации.** Использование механических моделей для описания вязкоупругости. Ползучесть и релаксация напряжений. Определение параметров вязкоупругости. Линейная теория вязкоупругости.

**1.8. Вязкое течение.** Механика вязкой жидкости. Напряжения. Физические уравнения. Ньютоновские и неньютоновские жидкости. Показатели вязких свойств. Течение неньютоновской жидкости в цилиндрическом канале, в плоской щели и при сжатии между плоскопараллельными пластинами. Теоретические основы оценки показателей вязких свойств.

## **Раздел 2. Структура композиционных материалов**

**2.1. Характеристики структуры.** Микро- и макроструктура композитов. Характеристики состава, размеров и формы элементов, их пространственной ориентации. Статистическое описание.

**2.2. Модели структуры.** Типы структуры композиционных материалов. Простейшие (регулярные), статистические и компьютерные модели структуры типичных композиционных материалов.

## **Раздел 3. Жесткость композиционных материалов**

**3.1. Задачи и методы прогнозирования.** Прогнозирование постоянных упругости композиционных материалов. Основные гипотезы и методы. Схемы Фойгта и Ройсса. Сеточная модель. Метод осреднения.

**3.2. Однонаправленно армированные композиты.** Постоянные упругости волокнистых композиционных материалов однонаправленной структуры. Регулярные и статистические модели.

**3.3. Слоистые композиты.** Постоянные упругости слоистых композиционных материалов. Влияние и учет при прогнозировании ориентации слоев и межслойных сдвигов.

**3.4. Композиты с тканым наполнителем.** Постоянные упругости композиционных материалов на основе тканых наполнителей. Влияние структуры ткани.

**3.5. Материалы, наполненные частицами.** Постоянные упругости композиционных материалов, наполненных частицами. Влияние анизотропии и неоднородности компонентов. Учет пористости.

**3.6. Теплофизические характеристики.** Теплофизические свойства композиционных материалов. Температурные коэффициенты линейного расширения и усадка композиционных материалов. Зависимость от структуры.

## **Раздел 4. Микромеханика разрушения композиционных материалов**

**4.1. Напряжения в элементах структуры.** Напряжения и деформации на микро- и макроуровнях. Напряжения в элементах структуры. Простейшие модели. Эффективная длина волокон. Термоструктурные и усадочные напряжения в компонентах.

**4.2. Прочность элементов структуры.** Прочность компонентов композиционных материалов. Распределение прочности волокон. Закон Вейбулла. Кинетика разрушения и прочность волокнистой системы. Масштабный эффект.



**4.3. Прочность однонаправленного композиционного материала.** Особенности разрушения однонаправленного волокнистого композита. Прогнозирование прочности.

**4.4. Микрповрежденность и кинетика разрушения.** Микрповрежденность композиционных материалов. Накопление повреждений. Кинетика разрушения. Влияние свойств компонентов и структуры композита.

## **Раздел 5. Прочность композиционных материалов**

**5.1. Прочность при сложном напряженном состоянии.** Предельные поверхности прочности анизотропных композиционных материалов. Методы построения. Оценка прочности при плоском напряженном состоянии.

**5.2. Прочность слоистых композиционных материалов.** Прочность слоистых композиционных материалов. Влияние структуры. Методы оценки.

**5.3. Прочность композиционных материалов, хаотически армированных волокнами.** Прочность материалов, хаотически армированных волокнами. Зависимость от степени анизотропии.

**5.4. Влияние на прочность условий нагружения. Равновесие тел с трещинами.** Влияние на прочность условий нагружения и внешних факторов. Длительная статическая прочность. Закон суммирования повреждений. Периодическое нагружение. Усталостная прочность. Прогнозирование показателей долговечности. Поведение композиционных материалов при динамическом нагружении. Удар. Распространение волн. Влияние структуры.

Равновесие тел с трещинами. Модель Гриффитса. Коэффициенты вязкости разрушения. Влияние напряженного состояния. Методы определения. Зависимость от структуры композиционных материалов.

## **Раздел 6. Реология композиций**

**6.1. Проницаемость волокнистой системы.** Проницаемость волокнистой системы для связующих в вязком состоянии. Модель Кармана-Козени. Коэффициенты проницаемости. Влияние структуры и свойств матрицы.

**6.2. Вязкие свойства композиций.** Вязкие свойства препрегов. Влияние структуры. Законы течения. Определение параметров.

**Заключение.** Проблемы, актуальные задачи и пути развития механики композиционных материалов.

### 3. ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Курсовая работа выполняется в 6-м семестре параллельно с изучением второй части дисциплины «Механика композиционных материалов». На ее выполнение предусмотрено 30 часов.

Цель выполнения курсовой работы - закрепление теоретических знаний и приобретение практических навыков исследования свойств компонентов, структуры и свойств композиционных материалов, оценки влияния свойств компонентов и структуры материала на свойства композиционных материалов.

Общие требования к курсовой работе – согласно СТП БГТУ 002-2007, к правилам оформления отчета - по ГОСТ 7.32-2001.

По своему содержанию и форме курсовая работа является учебно-исследовательской работой, при выполнении которой студенты приобретают навыки патентно-информационных, теоретических и экспериментальных исследований и закрепляют знания по комплексу учебных дисциплин.

Некоторые специальные вопросы, относящиеся к изучению компонентов, структуры и свойств композиционных материалов, необходимые для выполнения курсовой работы, рассматриваются в дисциплинах «Физикохимия композиционных материалов» и «Полимерные и композиционные материалы».

Общая методология проведения исследований, включая составление технического задания, программы и методики испытаний, поиска и анализа патентной информации, обработки результатов эксперимента, оформления отчета изучаются в 6-м семестре в специальной дисциплине «Основы научной и инновационной деятельности» параллельно с выполнением курсовой работы.

Нормативные требования, технические средства и специальные методы определения показателей свойств компонентов и композиционных материалов изучаются в специальной дисциплине «Испытание полимерных и композиционных материалов» также параллельно с выполнением курсовой работы.

Тематика курсовых работ формируется на основе заявок заинтересованных предприятий и плана исследований, выполняемых или планируемых для выполнения на выпускающей кафедре. Студент вправе предложить свою тему исследований и проект задания или по согласованию с руководителем уточнить содержание работы. Перечень тем, предлагаемых кафедрой, объявляется на первом практическом занятии по курсовой работе.

Методика выполнения основных этапов курсовой работы рассматривается на практических занятиях по курсовой работе, проводимых согласно расписанию, а некоторые специальные вопросы - на практических занятиях по дисциплине «Основы научной и инновационной деятельности», на лабораторных занятиях по дисциплинам «Механика композиционных материалов» и «Испытания полимерных и композиционных материалов».

## Этапы курсовой работы

№ эта-па	Содержание	Затраты времени, ч	Срок выполнения (неделя)	Форма отчетности
1	Уточнение задания	2	1	Задание
2	Составление проекта технического задания на исследования по СТБ 1080–97	4*	2	Проект технического задания
3	Характеристика компонентов и композитов-аналогов. Поиск и оценка аналогов по источникам научно-технической и патентной информации	6*	4	Обзор научно-технической и патентной информации (раздел отчета)
4	Составление программы и методики экспериментального исследования	4*	6	Программа и методика исследования
5	Изучение свойств компонентов (реологических свойств матричного полимера и прочности наполнителя)	4	8	Результаты испытаний (протоколы, раздел отчета)
6	Изучение структуры композиционного материала	4	9	Результаты испытаний (раздел отчета)
7	Определение показателей упругих свойств и прочности компонентов и композиционного материала, влияния структуры на эти свойства	8*	10	Результаты испытаний (протоколы, раздел отчета)
8	Прогнозирование свойств композиционного материала по свойствам компонентов, сравнение с результатами эксперимента	4	11	Результаты прогнозирования и испытаний (протоколы, раздел отчета)
9	Прогнозирование и экспериментальное определение показателей вязкоупругих и теплофизических свойств. Сравнение результатов	6*	12	Результаты прогнозирования и испытаний (протоколы, раздел отчета)
10	Обработка и анализ результатов исследования, подготовка презентации	6*	14	Доклад на студенческой конференции
11	Оформление отчета	6*	16	Отчет об исследовании по ГОСТ 7.32-2001
12	Защита курсовой работы	-	17	

\* Включая практические занятия и самостоятельную работу по программам дисциплин «Основы научной и инновационной деятельности» и «Испытания полимерных и композиционных материалов».

**Примерные темы курсовых работ**

Исследовать свойства компонентов, структуру, вязкие, упругие, прочностные, теплофизические свойства композиционного материала на основе:

- а) стеклянных, углеродных, льняных или др. волокон и эпоксидного, полиэфирного или иного полимерного связующего;
- б) стеклоровинга и эпоксидного (полиэфирного) связующего;
- в) стеклоровинга и полиэтилена (полипропилена, полиамида, полистилентерефталата и др.);
- г) стеклоткани и полиэтилена (полипропилена);
- д) волокнистых отходов растительного происхождения и термопластичных полимеров (полиэтилена, полипропилена, поливинилхлорида и др.);
- е) конструкционной стеклоткани, ткани из ровинга, стеклохолста и др. стекловолокнистых наполнителей и эпоксидного, полиэфирного, фенольного и др. типов полимерных связующих.

Указываются один из вариантов комбинации компонентов, метод изготовления материала (образцов) и конкретизируется область исследования – диапазон параметров структуры или режимов формования, внешних воздействий.

#### 4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Наименование раздела, темы	Количество аудиторных часов			Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия		
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
	<b>5 семестр</b>	<b>51</b>	<b>17</b>	<b>-</b>	<b>54</b>	
<b>1</b>	<b>Напряженное и деформированное состояние</b>	<b>26</b>	<b>12</b>	<b>-</b>	<b>28</b>	
<b>1.1</b>	<b>Предмет и задачи изучения дисциплины.</b> Связь с другими дисциплинами специальности. Значение для прогнозирования свойств композиционных материалов и расчета изделий, проектирования технологических процессов их изготовления.	1	-	-	-	Опрос
<b>1.2</b>	<b>Векторы и тензоры.</b> Векторы. Зависимость между компонентами вектора при повороте координат. Тензоры. Законы преобразования тензоров. Символы Кронекера. Сложение тензоров. Умножение тензора на скаляр. Умножение тензоров. Матричные представления тензоров. Симметрия тензоров и матриц. Главные значения и главные направления симметричных тензоров второго ранга. Оператор Гамильтона. Тензорные поля. Дифференцирование тензоров.	3	2	-	4	Опрос РГР
<b>1.3</b>	<b>Тензор напряжений.</b> Напряженное состояние сплошной среды. Массовые и поверхностные силы. Вектор напряжения. Напряженное состояние в точке. Тензор напряжений. Связь между тензором напряжений и вектором напряжений на произвольной площадке. Уравнения равновесия. Законы преобразования напряжений. Главные напряжения. Инварианты тензора напряжений. Максимальное и минимальное касательные напряжения. Октаэдрические напряжения. Девиатор и шаровой тензор напряжений.	2	2	-	4	Опрос РГР

1	2	3	4	5	6	7
1.4	<b>Тензор деформаций.</b> Деформации. Вектор перемещения. Тензор деформаций. Связь между тензором деформаций и вектором перемещений. Главные деформации. Инварианты деформаций. Шаровой тензор и девиатор деформаций. Уравнение совместности деформаций.	2	2	-	4	Опрос РГР
1.5	<b>Обобщенный закон Гука.</b> Изотропные и анизотропные среды. Тензоры модулей упругости и упругих податливостей. Симметрия упругих свойств. Матрица коэффициентов жесткости и коэффициентов податливости для анизотропных (ортоотропных, трансверсальноизотропных) и изотропных сред. Связь между компонентами тензоров и элементами матрицы, задающих постоянные упругости и техническими постоянными, определяемыми экспериментально. Преобразование тензоров модулей упругости и упругих податливостей при повороте осей координат.	6	2	-	5	Опрос РГР
1.6	<b>Задачи теории упругости.</b> Постановка статических и динамических задач теории упругости. Система уравнений. Граничные условия. Простейшие случаи напряженного и деформированного состояния. Особенности поведения композитов, обусловленные анизотропией. Плоская задача теории упругости. Функция напряжений. Плоская задача теории упругости в полярных и цилиндрических координатах. Осесимметричные задачи в цилиндрических координатах. Напряженное состояние анизотропной трубы, нагруженной внутренним и внешним давлением.	6	2	-	5	Опрос РГР
1.7	<b>Вязкоупругие деформации.</b> Использование механических моделей для описания вязкоупругости. Ползучесть и релаксация напряжений. Определение параметров вязкоупругости. Линейная теория вязкоупругости.	2	-	-	2	Опрос
1.8	<b>Вязкое течение.</b> Механика вязкой жидкости. Напряжения. Физические уравнения. Ньютоновские и неньютоновские жидкости. Показатели вязких свойств. Течение неньютоновской жидкости в цилиндрическом канале, в плоской щели и при сжатии между плоскопараллельными пластинами. Теоретические основы оценки показателей вязких свойств.	4	2	-	4	Опрос РГР

1	2	3	4	5	6	7
<b>2</b>	<b>Структура композиционных материалов</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>6</b>	
<b>2.1</b>	<b>Характеристики структуры.</b> Микро- и макроструктура композитов. Характеристики состава, размеров и формы элементов, их пространственной ориентации. Статистическое описание.	2	-	-	2	Опрос
<b>2.2</b>	<b>Модели структуры.</b> Типы структуры композиционных материалов. Простейшие (регулярные), статистические и компьютерные модели структуры типичных композиционных материалов.	2	2	-	4	Опрос РГР
<b>3</b>	<b>Жесткость композиционных материалов</b>	<b>12</b>	<b>3</b>	<b>-</b>	<b>12</b>	
<b>3.1</b>	<b>Задачи и методы прогнозирования.</b> Прогнозирование постоянных упругости композиционных материалов. Основные гипотезы и методы. Схемы Фойгта и Ройсса. Сеточная модель. Метод осреднения.	2	-	-	1	Опрос
<b>3.2</b>	<b>Однонаправленно армированные композиты.</b> Постоянные упругости волокнистых композиционных материалов однонаправленной структуры. Регулярные и статистические модели.	2	3	-	5	РГР
<b>3.3</b>	<b>Слоистые композиты.</b> Постоянные упругости слоистых композиционных материалов. Влияние и учет при прогнозировании ориентации слоев и межслойных сдвигов.	2	-	-	2	Опрос
<b>3.4</b>	<b>Композиты с тканым наполнителем.</b> Постоянные упругости композиционных материалов на основе тканых наполнителей. Влияние структуры ткани.	2	-	-	1	Опрос
<b>3.5</b>	<b>Материалы, наполненные частицами.</b> Постоянные упругости композиционных материалов, наполненных частицами. Влияние анизотропии и неоднородности компонентов. Учет пористости.	2	-	-	2	Опрос
<b>3.6</b>	<b>Теплофизические характеристики.</b> Теплофизические свойства композиционных материалов. Температурные коэффициенты линейного расширения и усадка композиционных материалов. Зависимость от структуры.	2	-	-	1	Опрос
<b>4</b>	<b>Микромеханика разрушения композиционных материалов</b>	<b>9</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>8</b>	
<b>4.1</b>	<b>Напряжения в элементах структуры.</b> Напряжения и деформации на микро- и макроуровнях. Напряжения в элементах структуры. Простейшие модели. Эффективная длина волокон. Термоструктурные и усадочные напряжения в компонентах.	2	-	-	2	Опрос

1	2	3	4	5	6	7
4.2	<b>Прочность элементов структуры.</b> Прочность компонентов композиционных материалов. Распределение прочности волокон. Закон Вейбулла. Кинетика разрушения и прочность волокнистой системы. Масштабный эффект.	2	-	-	2	Опрос
4.3	<b>Прочность однонаправленного композиционного материала.</b> Особенности разрушения однонаправленного волокнистого композита. Прогнозирование прочности.	2	-	-	2	Опрос
4.4	<b>Микрповрежденность и кинетика разрушения.</b> Микрповрежденность композиционных материалов. Накопление повреждений. Кинетика разрушения. Влияние свойств компонентов и структуры композита.	3	-	-	2	Опрос
<b>6 семестр</b>		<b>17</b>	<b>17</b>	<b>34</b>	<b>98</b>	
<b>5</b>	<b>Прочность композиционных материалов</b>	<b>11</b>	<b>14</b>	<b>30</b>	<b>75</b>	
5.1	<b>Прочность при сложном напряженном состоянии.</b> Предельные поверхности прочности анизотропных композиционных материалов. Методы построения. Оценка прочности при плоском напряженном состоянии.	2	-	-	4	Опрос
	Определение параметров степенного закона течения полимерных расплавов	-	-	4	5	Защита ЛР
	Постоянные упругости слоистых композитов	-	2	-	3	Защита ПЗ
5.2	<b>Прочность слоистых композиционных материалов.</b> Прочность слоистых композиционных материалов. Влияние структуры. Методы оценки.	2	1	-	4	Опрос Защита ПЗ
	Постоянные упругости композитов с тканым наполнителем	-	2	-	3	Защита ПЗ
	Проверка методов прогнозирования постоянных упругости однонаправленных волокнистых композитов	-	-	2	3	Защита ЛР
5.3	<b>Прочность композиционных материалов, хаотически армированных волокнами.</b> Прочность материалов, хаотически армированных волокнами. Зависимость от степени анизотропии.	2	1	2	7	Опрос Защита ПЗ Защита ЛР
	Определение параметров вязкоупругости	-	-	2	3	Защита ЛР
	Изучение структуры композиционных материалов	-	-	4	5	Защита ЛР
	Постоянные упругости материалов, наполненных частицами	-	2	-	2	Защита ПЗ
	Теплофизические свойства композитов	-	2	-	2	Защита ПЗ
5.4	<b>Влияние на прочность условий нагружения. Равновесие тел с трещинами.</b> Влияние на прочность условий нагружения и внешних факторов. Длительная	5	-	-	15	Опрос



1	2	3	4	5	6	7
	статическая прочность. Закон суммирования повреждений. Периодическое нагружение. Усталостная прочность. Прогнозирование показателей долговечности. Поведение композиционных материалов при динамическом нагружении. Удар. Распространение волн. Влияние структуры. Равновесие тел с трещинами. Модель Гриффитса. Коэффициенты вязкости разрушения. Влияние напряженного состояния. Методы определения. Зависимость от структуры композиционных материалов.					
	Проверка методов прогнозирования постоянных упругости слоистых композитов	-	-	4	6	Защита ЛР
	Исследование теплофизических свойств композитов	-	-	4	6	Защита ЛР
	Прочность волокон и волокнистой системы	-	2	4	10	Защита ПЗ Защита ЛР
	Прочность однонаправленно армированного композита	-	2	-	4	Защита ПЗ
	Исследование прочности волокнистых композитов			4	6	Защита ЛР
<b>6</b>	<b>Реология композиций</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>23</b>	
<b>6.1</b>	<b>Проницаемость волокнистой системы.</b> Проницаемость волокнистой системы для связующих в вязком состоянии. Модель Кармана-Козени. Коэффициенты проницаемости. Влияние структуры и свойств матрицы.	2	2	-	8	Опрос Защита ПЗ
<b>6.2</b>	<b>Вязкие свойства композиций.</b> Вязкие свойства препрегов. Влияние структуры. Законы течения. Определение параметров.	2	1	4	10	Опрос Защита ПЗ Защита ЛР
	<b>Заключение.</b> Проблемы, актуальные задачи и пути развития механики композиционных материалов.	<b>2</b>	-	-	5	Опрос
	<b>Всего:</b>	<b>68</b>	<b>34</b>	<b>34</b>	<b>152</b>	

## 5. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Перечень основной литературы

№ п/п	Наименование	Количество экземпляров в БГТУ
1	Ставров, В.П. Механика композиционных материалов: Учеб. пособие. / В.П. Ставров. – Минск: БГТУ, 2008. – 259 с.	262
2	Ставров, В.П. Механика композиционных материалов. Практикум : Учеб. пособие. / В.П. Ставров, А.Л. Наркевич – Мн.: БГТУ, 2012. – 218 с.	124

### Перечень дополнительной литературы

№ п/п	Наименование	Количество экземпляров в БГТУ
1	Композиционные материалы. В 8-ми т. Т. 2. Механика композиционных материалов / Под ред. Дж. Сендецки. – М.: Мир, 1978. – 564 с.	5
2	Композиционные материалы. В 8-ми т. Т. 5. Разрушение и усталость / Под ред. Л. Браутмана. – М.: Мир, 1978. - 486 с.	5
3	Композиционные материалы: Справочник / Васильев В.В., Протасов В.Д., Болотин В.В. и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.	45
4	Малмейстер А.К., Тамуж В.П., Тетерс Г.А. Сопротивление полимерных и композиционных материалов. 3-е изд. – Рига: Зинатне, 1980. - 571 с.	2
5	Волков С.Д., Ставров В.П. Статистическая механика композитных материалов. - Мн.: Изд. БГУ, 1978. – 206 с.	- (наличие в РНТБ)
6	Мэттьюз Ф., Ролингс Р. Композитные материалы. Механика и технология. М.: Техносфера, 2004. – 408 с.	2

### Перечень практических занятий

1. Векторы и тензоры
2. Напряжения
3. Деформации при плоском напряженном состоянии
4. Постоянные упругости ортотропного материала
5. Осесимметричные задачи теории упругости
6. Течение нелинейно-вязкой жидкости
7. Моделирование структуры волокнистых композитов
8. Постоянные упругости однонаправленного волокнистого композита
9. Постоянные упругости слоистых композитов
10. Постоянные упругости композитов с тканым наполнителем
11. Постоянные упругости материалов, наполненных частицами
12. Теплофизические свойства композитов
13. Прочность волокон и волокнистой системы
14. Прочность однонаправленно армированного композита
15. Прочность слоистого ортотропного и хаотически армированного материалов
16. Проницаемость волокнистого слоя
17. Вязкость композиций

### Перечень лабораторных занятий

1. Определение параметров степенного закона течения полимерных расплавов
2. Определение параметров вязкоупругости
3. Изучение структуры композиционных материалов
4. Проверка методов прогнозирования постоянных упругости однонаправленных волокнистых композитов
5. Проверка методов прогнозирования постоянных упругости слоистых композитов
6. Исследование теплофизических свойств композитов
7. Исследование прочности волокнистой системы
8. Исследование прочности волокнистых композитов
9. Исследование прочности хаотически армированных материалов
10. Исследование течения термопластичных композиций

### Перечень заданий расчетно-графической работы

1. Действия над векторами и тензорами
2. Построение и преобразование тензора напряжений
3. Построение и преобразование тензора деформаций при плоском напряженном состоянии
4. Построение и преобразование тензоров, задающих постоянные упругости анизотропного материала
5. Осесимметричные задачи теории упругости
6. Расчет параметров течения нелинейно-вязкой жидкости
7. Построение и исследование модели структуры волокнистого композита

### **Использование средств вычислительной техники и компьютерных технологий**

При проведении лекционных занятий используется комплекс презентационного материала для демонстрации, например, с помощью мультимедийного проектора.

Для решения задач на практических занятиях, обработки результатов экспериментов на лабораторных занятиях и выполнения соответствующих вычислений в процессе курсовой работы применяются специально разработанные программы расчета в математическом пакете Mathcad и табличном процессоре Excel.

### **Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине**

Цель самостоятельной работы - закрепление знаний, формирование умений, навыков по изучаемой дисциплине, активизация учебно-познавательной деятельности обучающихся, формирование умений и навыков самостоятельного приобретения и обобщения знаний, формирование умений и навыков самостоятельного применения знаний на практике.

*Управляемая самостоятельная работа* в виде:

- освоения теоретического материала по учебным пособиям;
- выполнение индивидуальных расчетно-графических работ;
- выполнение курсовой работы по индивидуальному заданию.

*Контролируемая самостоятельная работа* в виде:

- выполнения контрольных работ (тестов) по пройденным темам в аудитории во время проведения практических занятий в соответствии с расписанием;
- оформления отчетов по лабораторным работам в аудитории во время проведения занятий в соответствии с расписанием.

### **Диагностика компетенций студентов и рекомендации по контролю качества усвоения знаний**

Для контроля качества усвоения знаний и оценки (по десятибалльной шкале) уровня знаний и умений студентов рекомендуется использовать следующие диагностические средства:

- устные опросы по пройденному теоретическому материалу;
- устные отчеты студента (у доски или с места) за выполненные домашние задания;
- выполнение студентом контрольных работ (тестов) по пройденным темам практических занятий;
- защита студентом отчетов по выполненным расчетно-графическим работам;
- защита студентом отчетов по лабораторным работам;
- защита курсовой работы;
- сдача студентом зачета, экзамена.

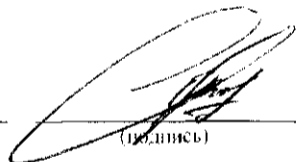
## 6. ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Конструирование и расчет изделий из композиционных материалов	Кафедра механики материалов и конструкций	<i>Эммегакий пт</i> <i>А.А. Наревиз</i>	
Формообразование изделий из полимерных и композиционных материалов	Кафедра механики материалов и конструкций	<i>Эммегакий пт</i> <i>О.В. Каревиз</i>	

Заведующий кафедрой

*К.т.н. Процент*

(ученая степень, ученое звание)



(подпись)

*А.В. Игнатов*

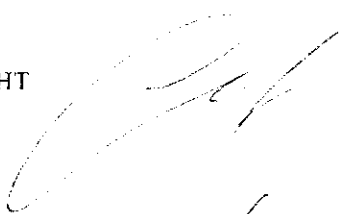
(И.О.Фамилия)

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ  
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
«МЕХАНИКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»  
на 2017/2018 учебный год


№ п/п	Дополнения и изменения	Основание
1	Изменений нет	

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
(протокол № 11 от 15.06.2017 г.)

Заведующий кафедрой ММиК,  
кандидат технических наук, доцент

  
А.В. Стиглазов

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета ХТИТ,  
кандидат технических наук, доцент

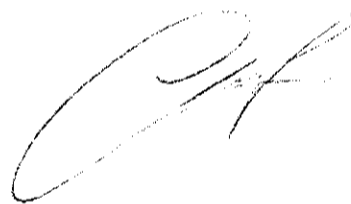
  
Ю.А. Климов

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ  
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
«МЕХАНИКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»  
на 2018/2019 учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание
1	<p>Дополнить информационно-методическую часть: форма контроля знаний при проведении межсессионной аттестации – защита лабораторных работ, защита индивидуальных заданий по практическим занятиям.</p> <p>Весовые коэффициенты: <math>K_{\text{межс1}} = 0,2</math>; <math>K_{\text{межс2}} = 0,3</math>; <math>K_{\text{тек}} = 0,5</math></p>	<p>Положение о межсессионной аттестации студентов БГТУ, утвержденное 16.03.2018г. №121</p>

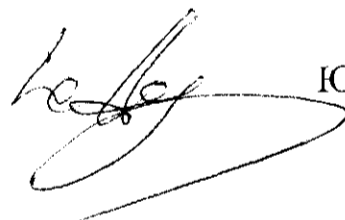
Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры (протокол № 12 от 21.06.2018 г.)

Заведующий кафедрой МиК,  
кандидат технических наук, доцент



А. В. Спиглазов

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета ХТиГ,  
кандидат технических наук, доцент



Ю. А. Климош