Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 16.10.2023 11:51:42
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета машиностроения
_____ /Е. В. Сафонов /
"13" сентября 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Реология и механика полимерных материалов»

Направление подготовки
27.03.05 «Инноватика»

Профиль
«Аддитивные технологии»
(набор 2022 г.)

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Москва 2022 г.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению подготовки 27.03.05 «Инноватика» профиль подготовки «Аддитивные технологии».

Программу составил:

профессор, к.т.н. /И.В. Скопинцев/

Программа дисциплины «Реология и механика полимерных материалов» по направлению подготовки 27.03.05 «Инноватика» утверждена на заседании кафедры «Процессы и аппараты химической технологии»

«30» августа 2022 г., протокол № 1/22-23

Заведующий кафедрой _____ / В.Г. Систер /

Программа дисциплины **«Реология и механика полимерных материалов»** по направлению **27.03.05 «Инноватика»** по профилю подготовки **«Аддитивные технологии»** согласована с руководителем образовательной программы по направлению подготовки.

_____ /П.А. Петров/

«31» августа 2022 г.

Программа утверждена на заседании учебно-методической комиссии машиностроительного факультета.

Председатель комиссии _____ / А.Васильев /

«13» 09 2022 г., протокол № 14-22

1. Цели освоения дисциплины.

Целями освоения дисциплины «Реология и механика полимерных материалов» является: ознакомление с методами количественного описания реологических свойств полимерных материалов в вязко-текучем состоянии, соответствующим условиям переработки полимеров; с инженерными методами расчетов простейших элементов конструкций из полимерных материалов и с методами математического описания поведения полимерных материалов в вязко-текучем состоянии.

Задачей реологии и механики полимеров является разработка общих принципов и предложений, исходя из которых, возможно получение количественных соотношений между измеряемыми величинами.

Реология и механика полимерных материалов - наука, описывающая механические свойства разнообразных материалов в разнообразных режимах деформирования, когда одновременно может проявляться их способность к течению и накоплению обратимых деформаций.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата.

Дисциплина «Реология и механика полимерных материалов» относится к обязательной части (Б.1.1) Блока 1 «Дисциплины (модули)» и входит в основную образовательную программу подготовки бакалавра по направлению подготовки 27.03.05 «Инноватика», профиль «Аддитивные технологии» очной формы обучения.

Дисциплина «Реология и механика полимерных материалов» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами ООП:

В обязательной части образовательной программы (Б.1.1):

- Физика;
- Математика

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

В результате освоения дисциплины (модуля) у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения как этап формирования соответствующих компетенций:

Код компетенции	В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ОПК-1	Способен анализировать задачи профессиональной деятельности на основе	**знать:** • основные уравнения теории упругости,

	положений, законов и методов в области математики, естественных и технических наук	• теории линейной вязкоупругости, • реологические уравнения расплавов полимеров, • экспериментальные методы изучения реологических свойств реальных вязких сред **уметь:** • определять основные физико-механические характеристики твердых полимерных материалов, • анализировать напряженно-деформированное состояние простейших элементов конструкций из вязкоупругого материала; • устанавливать для полимеров, находящихся в вязкотекучем состоянии, вид реологического уравнения, • определять его параметры и использовать полученные результаты для теоретического описания процессов переработки полимеров.; **владеть:** • навыками построения простейших решений задач в рамках теории линейной вязкоупругости для твердых полимеров • навыками выполнения практических расчетов по определению реологических констант процессов переработки расплавов полимеров и параметров используемого оборудования..

4. Структура и содержание дисциплины.

Общая трудоемкость дисциплины составляет **2 зачетные единицы (72 академических часа**, из них 36 часов самостоятельной работы**).**

Структура и содержание «Реология и механика полимерных материалов» по срокам и видам работы изложены в Приложении № 1.

6 семестр: лекции – 1 час в неделю (18 часов), лабораторные работы – 1 час в неделю (18 часов), форма контроля – зачет.

Содержание разделов дисциплины

1. Основные понятия.

Простейшие представления о структуре и свойствах твердых полимерных материалов. Классификация полимеров. Термомеханические характеристики.

2. Релаксационные процессы в полимерных материалах.

Ползучесть. Идеальная и реальная кривая ползучести. Прямое и обратное последействие. Понятие о линейной и нелинейной ползучести. Изохроны линейно ползучего и нелинейно ползучего материала. Время релаксации.

3. Основы теории линейной вязкоупругости.

Элементы механических моделей вязкоупругих тел. Модели Максвелла, Кельвина, Максвелла-Томпсона. Вывод результатов уравнения состояния моделей и их исследование в условиях ползучести и релаксации.

4. Расчет простейших конструкций из вязкоупругого материала.

Центральное растяжение-сжатие стержня. Чистый прямой изгиб балки. Свободное кручение бруса круглого поперечного сечения.

5. Основные понятия реологии полимеров в вязко-текучем состоянии.

Предмет (объект исследования) реологии. Внешние силы, поверхностные и объемные. Внутренние поверхностные силы действующие в сплошном теле. Напряжения. Тензор напряжений. Частные случаи напряженного состояния. Понятие о деформации сплошного тела. Однородная деформация. Тензор деформации. Частные случаи однородной деформации. Законы деформации (реологическое уравнение). Феноменологический и статистический подходы к изучению законов деформации. Основные реологические свойства – упругость, вязкость и пластичность. Значение реологии в теории процессов переработки полимеров.

6. Простейшие модели сплошной среды.

Тело Гука, вязкая ньютоновская жидкость, пластическое тело Сен-Венана. Их реологические уравнения. Модели вязкой и вязкопластической среды. Вязко-пластические тела Шведова и Бингама, их реологические уравнения.

7. Нелинейные модели вязкопластических жидкостей.

Нелинейные упругие тела и вязкие жидкости. Некоторые виды кривой течения неньютоновских жидкостей. Кривая течения Оствальда де-Виля. «Степенной закон» течения. Эффективная (кажущаяся) вязкость. Различные виды реологических уравнений жидкостей и их кривые течения в обычных и логарифмических координатах. Тиксотропия, антитиксотропия (общие понятия и отличие от аномалии вязкости).

8 Задачи о течении расплава полимеров.

Напорное изотермическое течение несжимаемой неупругой жидкости с произвольной кривой течения в плоской неограниченной щели с неподвижными стенками и в круглой трубе

(распределение скоростей частиц потока и зависимость расхода от перепада давления). Частные случаи этих задач при конкретном уравнении жидкости (ньютонова жидкость, жидкость со «степенным законом» течения, бингамово тело).

Течение в конической трубе. Общие замечания о распространении решения рассмотренных задач на случай переменного сечения каналов. Течение Куэтта между коаксиальными цилиндрами. Зависимость между моментом и угловой скоростью в общем виде. Частный случай при течении в зазоре жидкости с «степенным законом течения».

Течения в зазоре между конусом и пластиной. Зависимость между угловой скоростью и моментом. Определение скорости сдвига и напряжения.

9. Экспериментальные методы реологии.

Эксперимент, как средство изучения законов деформации реальных вязких сред. Цели проведения экспериментальных реологических исследований. Основные виды приборов для проведения реологических исследований: капиллярные и ротационные вискозиметры.

Схема устройства и принцип работы капиллярного вискозиметра. Замеряемые и рассчитываемые параметры. Основные расчетные зависимости.

Схема устройства и принцип работы ротационного вискозиметра типа «конус-плоскость». Замеряемые и рассчитываемые параметры. Основные расчетные зависимости.

Схема устройства и принцип работы ротационного вискозиметра типа «цилиндр-цилиндр». Замеряемые и рассчитываемые параметры. Основные расчетные зависимости.

Автоматизированная обработка результатов визкозиметрических испытаний с целью нахождения параметров реологических уравнений состояния и построения кривых течения испытуемых полимеров.

10. Реологические свойства полимеров.

Особенности молекулярного строения полимеров. Физическая картина деформации аморфного и кристаллического полимера в вязкотекучем состоянии. Зависимость вязкости полимеров от температуры, давления, молекулярной массы. Универсальная кривая течения полимеров.

11. Вязкоупругость при переработке полимеров.

Проявление вязкоупругости при переработке полимеров. Экспериментальные факты, характеризующие специфичность реологических свойств полимеров (эластическая турбулентность и методы ее устранения, разбухание струи, ориентация макромолекул, эффект Вайссенберга).

12. Экологические аспекты дисциплины.

Деструкция полимеров. Влияние деформации на процесс разложения полимеров. Вискозиметрические методы оценки молекулярной массы деструктированных полимеров. Деформационное воздействие, как метод к ускорению процесса деструкции отходов полимеров.

4.1. Лабораторный практикум

№ п/п	*Наименование лабораторных работ.*
1	Определение прочностных характеристик кристаллических и аморфных полимерных материалов.
2	Определение термомеханических характеристик кристаллических и аморфных полимеров.
3	Исследование процесса ползучести полимерных материалов в условиях одноосного напряженного состояния. Построение кривых ползучести и изохрон.
4	Исследование процесса ползучести при чистом изгибе балки.
5	Исследование процесса ползучести при прямом поперечном изгибе балки.
6	Исследование текучести расплавов полимеров на капиллярном вискозиметре.
7	Определение кривой течения расплавов полимеров на ротационном вискозиметре «конус-плоскость».
8	Определение кривой течения расплавов полимеров на ротационном вискозиметре «Цилиндр - цилиндр».

Структура и содержание дисциплины «Реология и механика полимерных материалов» по срокам и видам работы отражены в **Приложении 1.**

5. Образовательные технологии

Методика преподавания дисциплины «Реология и механика полимерных материалов» и реализация компетентного подхода в изложении и восприятии материала предусматривает использование следующих активных и интерактивных форм проведения групповых, индивидуальных, аудиторных и внеаудиторных занятий:

- чтение лекций сопровождается показом мультимедийных лекций с помощью компьютерной и проекторной техники и иллюстрируется наглядными пособиями;
- обсуждение и защита лабораторных работ по дисциплине;

При организации лабораторного практикума предусмотрено использование индивидуального подхода с выдачей отдельных для каждого студента или комплексных для 2-х – 3-х студентов заданий экспериментального характера с последующим обсуждением полученных результатов в группе.

Контроль над выполнением самостоятельной работы осуществляется преподавателем в интерактивной форме в виде бесед, тестирования и на практических занятиях. Уровень знаний, умений учащегося по всем видам работ предусмотрено оценивать по бально-рейтинговой системе, результаты которой используются при проведении экзамена по дисциплине.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

В процессе обучения используются оценочные средства рубежного контроля успеваемости: контрольные вопросы по основным разделам лекций; рефераты; доклады на СНТК.

Кроме того, в фонд оценочных средств входит компьютерное тестирование для проверки усвоения лекционного материала. Тесты формируются по каждому разделу программы.

Общая оценка уровня успеваемости студента и усвоения полученных знаний будет складываться из следующих показателей:

1. Посещаемость;
2. Аттестация (контрольные вопросы);
3. Итоговая работа (реферат);
4. Ответы на зачет

Текущий контроль успеваемости и промежуточной аттестации проводятся по следующим критериям;

- ответы студента на вопросы карт текущего контроля;
- защита лабораторных работ.

Перечень лабораторных работ, перечень вопросов к зачету приведены в **Приложении 3**.

6.1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

6.1.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

В результате освоения дисциплины (модуля) формируются следующие компетенции:

Код компетенции	**В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать**	Код и содержание индикатора достижения компетенции
ОПК-1	Способен анализировать задачи профессиональной деятельности на основе положений, законов и методов в области математики, естественных и технических наук	ИОПК-1.1. Использует основные законы базовых инженерных и технических дисциплин; ИОПК-1.2. Использует основные законы естественнонаучных дисциплин, правила построения технических схем и чертежей; ИОПК-1.3. Владеет основными методами технико-экономического анализа, навыками составления рабочих проектов в составе творческой команды; ИОПК-1.4. Знает принципиальные особенности моделирования математических, физических и химических процессов, предназначенные для конкретных технологических

		процессов, в том числе аддитивного производства;

В процессе освоения образовательной программы данные компетенции, в том числе их отдельные компоненты, формируются поэтапно в ходе освоения обучающимися дисциплин (модулей), практик в соответствии с учебным планом и календарным графиком учебного процесса.

6.1.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, формируемых по итогам освоения дисциплины (модуля), описание шкал оценивания

Показателем оценивания компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

ОПК-1. Способен анализировать задачи профессиональной деятельности на основе положений, законов и методов в области математики, естественных и технических наук

Показатель	**Критерии оценивания**			
	2	**3**	**4**	**5**
знать: • основные уравнения теории упругости, • теории линейной вязкоупругости, • реологические уравнения расплавов полимеров, • экспериментальные методы изучения реологических свойств реальных вязких сред	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: основные уравнения теории упругости, теории линейной вязкоупругости, реологические уравнения расплавов полимеров, экспериментальные методы изучения реологических свойств реальных вязких сред	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: основные уравнения теории упругости, теории линейной вязкоупругости, реологические уравнения расплавов полимеров, экспериментальные методы изучения реологических свойств реальных вязких сред. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду характеристик,	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: основные уравнения теории упругости, теории линейной вязкоупругости, реологические уравнения расплавов полимеров, экспериментальные методы изучения реологических свойств реальных вязких сред, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях,	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: основные виды менеджмента; основные уравнения теории упругости, теории линейной вязкоупругости, реологические уравнения расплавов полимеров, экспериментальные методы изучения реологических свойств реальных вязких сред, свободно оперирует приобретенными знаниями.

		обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	
уметь: • определять основные физико-механические характеристики твердых полимерных материалов, • анализировать напряженно-деформированное состояние простейших элементов конструкций из вязкоупругого материала; • устанавливать для полимеров, находящихся в вязкотекучем состоянии, вид реологического уравнения, • определять его параметры и использовать полученные результаты для теоретического описания процессов переработки	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет определять основные физико-механические характеристики твердых полимерных материалов, анализировать напряженно-деформированное состояние простейших элементов конструкций из вязкоупругого материала, устанавливать для полимеров, находящихся в вязкотекучем состоянии, вид реологического уравнения, определять его параметры и использовать полученные результаты для теоретического описания процессов переработки полимеров	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: определять основные физико-механические характеристики твердых полимерных материалов, анализировать напряженно-деформированное состояние простейших элементов конструкций из вязкоупругого материала, устанавливать для полимеров, находящихся в вязкотекучем состоянии, вид реологического уравнения, определять его параметры и использовать полученные результаты для теоретического описания процессов переработки полимеров. Допускаются значительные	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: определять основные физико-механические характеристики твердых полимерных материалов, анализировать напряженно-деформированное состояние простейших элементов конструкций из вязкоупругого материала, устанавливать для полимеров, находящихся в вязкотекучем состоянии, вид реологического уравнения, определять его параметры и использовать полученные результаты для теоретического описания процессов переработки полимеров. Умения освоены, но	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: определять основные физико-механические характеристики твердых полимерных материалов, анализировать напряженно-деформированное состояние простейших элементов конструкций из вязкоупругого материала, устанавливать для полимеров, находящихся в вязкотекучем состоянии, вид реологического уравнения, определять его параметры и использовать полученные результаты для теоретического описания процессов переработки полимеров. Свободно оперирует

полимеров		ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.	допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
владеть: • навыками построения простейших решений задач в рамках теории линейной вязкоупругости для твердых полимеров • навыками выполнения практических расчетов по определению реологических констант процессов переработки расплавов полимеров и параметров используемого оборудования	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет навыками построения простейших решений задач в рамках теории линейной вязкоупругости для твердых полимеров, навыками выполнения практических расчетов по определению реологических констант процессов переработки расплавов полимеров и параметров используемого оборудования.	Обучающийся владеет навыками построения простейших решений задач в рамках теории линейной вязкоупругости для твердых полимеров, навыками выполнения практических расчетов по определению реологических констант процессов переработки расплавов полимеров и параметров используемого оборудования, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	Обучающийся частично владеет навыками построения простейших решений задач в рамках теории линейной вязкоупругости для твердых полимеров, навыками выполнения практических расчетов по определению реологических констант процессов переработки расплавов полимеров и параметров используемого оборудования, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся в полном объеме владеет навыками построения простейших решений задач в рамках теории линейной вязкоупругости для твердых полимеров, навыками выполнения практических расчетов по определению реологических констант процессов переработки расплавов полимеров и параметров используемого оборудования, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.

6.1.3. Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:

Форма промежуточной аттестации: зачет.

Промежуточная аттестация в форме экзамена проводится на 6 семестре по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по дисциплине, при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра.

Итоговая форма контроля – зачет. По итогам аттестации по дисциплине «Реология и механика полимерных материалов» выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено».

Шкала оценивания	Описание
Зачтено	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
Не зачтено	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

а) *основная литература:*

1. Технология полимерных материалов: Учеб.пособие / А.Ф. Николаев, В.К. Крыжановский, В.В. Бурлов и др.; под общ. Ред. В.К. Крыжановского. – СПб.: Профессия, 2008. – 544 с.

2. Реология. Концепции, методы, приложения. А. Я.Малкин . – СПб.: Профессия, 2009. – 500 с.

3. Основы реологии/Малкин А.Я. – СПб.: Профессия, 2018. – 336 с.

4. Беляев П.С., Клинков А.С., Минкин Е.В., Маликов О.Г., Однолько В.Г. Реология полимерных систем. Избранные главы. М., Изд. дом «Спектр», 2010, 247 с.

б) *дополнительная литература:*

1. Справочник по технологии изделий из пластмасс / Под ред. Г.В. Сагалаева, В.В. Абрамова, В.Н. Кулезнева. - М.: Химия, 2000. - 424 с.

2. Бердышев Б.В., Скопинцев И.В. Определение вязкости ньютоновских жидкостей: Методические указания. М.: МГУИЭ, 2009, 16 с.

3. Аналитические приборы, Мак-Махон Дж., – СПб.: Профессия, 2009. – 352 с.

4. Кулезнев В.Н. Молекулярная механика полимеров (восемь иллюстраций) Учебное пособие по курсу «Структура и механические свойства полимеров». М., МГАТХТ им. М.В. Ломоносова. 2010, 62 с.

в) Программное обеспечение и интернет-ресурсы:

http://www.komef.ru/reopolimer.pdf

Moldflow

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины.

Лаборатории механики полимеров и реологии полимеров, включающие универсальную испытательную машину, пластметр, вискозиметры (капиллярный, типа "конус-плоскость", типа "цилиндр- цилиндр").

9. Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов

Работа с книгой (учебником). При работе с книгой (учебником) необходимо изучить список рекомендованной преподавателем литературы, научиться правильно её читать, вести записи. Для подбора литературы в библиотеке используются алфавитный и систематический каталоги. Важно помнить, что рациональные навыки работы с книгой – это всегда большая экономия времени и сил. Изучая материал по учебнику, следует переходить к следующему вопросу только после правильного уяснения предыдущего, описывая на бумаге все выкладки. Особое внимание следует обратить на определение основных понятий. Студент должен подробно разбирать примеры, которые поясняют такие определения, и уметь строить аналогичные примеры самостоятельно. Нужно добиваться точного представления о том, что изучаешь. Полезно составлять опорные конспекты. При изучении материала по учебнику полезно в тетради (на специально отведенных полях) дополнять конспект лекций.

Методические рекомендации по составлению конспекта:

1. Внимательно прочитайте текст. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта;

2. Выделите главное, составьте план;

3. Кратко сформулируйте основные положения текста, отметьте аргументацию автора.

4. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана. При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами.

5. Грамотно записывайте цитаты. Цитируя, учитывайте лаконичность, значимость мысли.

10. Методические рекомендации для преподавателя

На первом занятии по дисциплине необходимо ознакомить студентов с порядком ее изучения (формами занятий, текущего и промежуточного контроля), раскрыть место и роль дисциплины в системе наук, ее практическое значение, довести до студентов требования кафедры, ответить на вопросы.

Требования к лекции:

- научность и информативность (современный научный уровень), доказательность и аргументированность, наличие достаточного количества ярких, убедительных примеров, фактов, обоснований, документов и научных доказательств;

- активизация мышления слушателей, постановка вопросов для размышления, четкая структура и логика раскрытия последовательно излагаемых вопросов;

- разъяснение вновь вводимых терминов и названий, формулирование главных мыслей и положений, подчеркивание выводов, повторение их;

- эмоциональность формы изложения, доступный и ясный язык.

Преподаватель должен помогать студентам и следить, все ли понимают и успевают следить за ходом изложения материала. Средство, помогающие конспектированию - акцентированное изложение материала лекции, т. е. выделение голосом, интонацией, повторением наиболее важной, существенной информации, использование пауз, записи на доске, демонстрации иллюстративного материала, строгое соблюдение регламента занятий.

Преподаватель может напрямую руководить работой студентов по конспектированию лекционного материала, подчеркивать необходимость отражения в конспектах основных положений изучаемой темы, особо выделяя категориальный аппарат. Искусство лектора помогает хорошей организации работы студентов на лекции. Содержание, четкость структуры лекции, применение приемов поддержания внимания - все это активизирует мышление и работоспособность, способствует установлению контакта с аудиторией, вызывает у студентов эмоциональный отклик, формирует интерес к предмету. В заключительной части лекции необходимо сформулировать общие выводы по теме, раскрывающие содержание всех вопросов, поставленных в лекции.

При подготовке к лабораторным занятиям необходимо уточнить план проведения и содержание. Во вступительном слове раскрыть теоретическую и практическую значимость темы, определить порядок проведения, время отведенное на выполнение.

ПРИЛОЖЕНИЯ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ

- Структура и содержание дисциплины (Приложение 1);
- Аннотация рабочей программы дисциплины (Приложение 2);
- Фонд оценочных средств (Приложение 3).

Приложение 1

Структура и содержание дисциплины «**Реология и механика полимерных материалов**»
по направлению подготовки **27.03.05 «Инноватика»**, профиль подготовки "Аддитивные технологии"
(очная форма обучения, 2022)

п/п	Раздел	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов, и трудоемкость в часах					Виды самостоятельной работы студентов					Формы аттестации	
				Л	П/С	Лаб	СР	КСР	К.Р.	К.П.	РГР	Реферат	К/р	Э	З
1	*Основные понятия.* Простейшие представления о структуре и свойствах твердых полимерных материалов. Классификация полимеров. Термомеханические характеристики. *Релаксационные процессы в полимерных материалах.* Ползучесть. Идеальная и реальная кривая ползучести. Прямое и обратное последействие. Понятие о линейной и нелинейной ползучести. Изохроны линейно ползучего и нелинейно ползучего материала. Время релаксации.	6	1-2	2		2	4								
2	*Основы теории линейной вязкоупругости.* Элементы механических моделей вязкоупругих тел. Модели Максвелла, Кельвина, Максвелла-Томпсона. Вывод результатов уравнения состояния моделей и их исследование в условиях ползучести и релаксации. *Расчет простейших конструкций из вязкоупругого материала.*	6	3-4	2		2	4								

	Центральное растяжение-сжатие стержня. Чистый прямой изгиб балки. Свободное кручение бруса круглого поперечного сечения.														
3	*Основные понятия реологии полимеров в вязко-текучем состоянии.* Предмет (объект исследования) реологии. Внешние силы, поверхностные и объемные. Внутренние поверхностные силы действующие в сплошном теле. Напряжения. Тензор напряжений. Частные случаи напряженного состояния. Понятие о деформации сплошного тела. Однородная деформация. Тензор деформации. Частные случаи однородной деформации. Законы деформации (реологическое уравнение). Феноменологический и статистический подходы к изучению законов деформации. Основные реологические свойства – упругость, вязкость и пластичность. Значение реологии в теории процессов переработки полимеров.	6	5-6	2		2	4								
4	*Простейшие модели сплошной среды.* Тело Гука, вязкая ньютоновская жидкость, пластическое тело Сен-Венана. Их реологические уравнения. Модели вязкой и вязкопластической среды. Вязко-пластические тела Шведова и Бингама, их реологические уравнения.	6	7-8	2		2	4								
5	*Нелинейные модели вязкопластических жидкостей.* Нелинейные упругие тела и вязкие жидкости. Некоторые виды кривой	6	9-10	2		2	4								

	течения неньютоновских жидкостей. Кривая течения Оствальда де-Виля. «Степенной закон» течения. Эффективная (кажущаяся) вязкость. Различные виды реологических уравнений жидкостей и их кривые течения в обычных и логарифмических координатах. Тиксотропия, антитиксотропия (общие понятия и отличие от аномалии вязкости).														
6	*Задачи о течении расплава полимеров.* Напорное изотермическое течение несжимаемой неупругой жидкости с произвольной кривой течения в плоской неограниченной щели с неподвижнми стенками и в круглой трубе (распределение скоростей частиц потока и зависимость расхода от перепада давления). Частные случаи этих задач при конкретном уравнении жидкости (ньютонова жидкость, жидкость со «степенным законом» течения, бингамово тело). Течение в конической трубе. Общие замечания о распространении решения рассмотренных задач на случай переменного сечения каналов. Течение Куэтта между коаксиальными цилиндрами. Зависимость между моментом и угловой скоростью в общем виде. Частный случай при течении в зазоре жидкости с «степенным законом течения». Течения в зазоре между конусом и пластиной. Зависимость между угловой скоростью и моментом. Определение	6	11-12	2		2	4								

	скорости сдвига и напряжения														
7	*Экспериментальные методы реологии.* Эксперимент, как средство изучения законов деформации реальных вязких сред. Цели проведения экспериментальных реологических исследований. Основные виды приборов для проведения реологических исследований: капиллярные и ротационные вискозиметры. Схема устройства и принцип работы капиллярного вискозиметра. Замеряемые и рассчитываемые параметры. Основные расчетные зависимости. Схема устройства и принцип работы ротационного вискозиметра типа «конус-плоскость». Замеряемые и рассчитываемые параметры. Основные расчетные зависимости. Схема устройства и принцип работы ротационного вискозиметра типа «цилиндр-цилиндр». Замеряемые и рассчитываемые параметры. Основные расчетные зависимости. Автоматизированная обработка результатов визкозиметрических испытаний с целью нахождения параметров реологичесих уравнений состояния и построения кривых течения испытуемых полимеров.	6	13-14	2		2	4								
8	*Реологические свойства полимеров.* Особенности молекулярного строения полимеров. Физическая картина деформации аморфного и	6	15-16	2		2	4								

	кристаллического полимера в вязкотекучем состоянии. Зависимость вязкости полимеров от температуры, давления, молекулярной массы. Универсальная кривая течения полимеров. *Вязкоупругость при переработке полимеров.* Проявление вязкоупругости при переработке полимеров. Экспериментальные факты, характеризующие специфичность реологических свойств полимеров (эластическая турбулентность и методы ее устранения, разбухание струи, ориентация макромолекул, эффект Вайссенберга).														
9	*Экологические аспекты дисциплины.* Деструкция полимеров. Влияние деформации на процесс разложения полимеров. Вискозиметрические методы оценки молекулярной массы деструктированных полимеров. Деформационное воздействие, как метод к ускорению процесса деструкции отходов полимеров.	6	17-18	2		2	4								
	Итого:	6	18	**18**		18	**36**								+

Руководитель образовательной программы
доц., к.т.н. /П.А.Петров /

Приложение 2 к
рабочей программе

Аннотация рабочей программы учебной дисциплины
«Реология и механика полимерных материалов»

по направлению подготовки **27.03.05 «Инноватика»**
Профиль «Аддитивные технологии»
(очное, 2022)

1. Цели освоения дисциплины.

Целями освоения дисциплины «Реология и механика полимерных материалов» является: ознакомление с методами количественного описания реологических свойств полимерных материалов в вязко-текучем состоянии, соответствующим условиям переработки полимеров; с инженерными методами расчетов простейших элементов конструкций из полимерных материалов и с методами математического описания поведения полимерных материалов в вязко-текучем состоянии.

Задачей реологии и механики полимеров является разработка общих принципов и предложений, исходя из которых, возможно получение количественных соотношений между измеряемыми величинами.

Реология и механика полимерных материалов - наука, описывающая механические свойства разнообразных материалов в разнообразных режимах деформирования, когда одновременно может проявляться их способность к течению и накоплению обратимых деформаций.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата.

Дисциплина «Реология и механика полимерных материалов» относится к обязательной части (Б.1.1) Блока 1 «Дисциплины (модули)» и входит в основную образовательную программу подготовки бакалавра по направлению подготовки 27.03.05 «Инноватика», профиль «Аддитивные технологии» очной формы обучения.

Дисциплина «Реология и механика полимерных материалов» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами ООП:

В базовой части образовательной программы (Б.1.1):

- Физика;
- Математика;

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	6 семестр
Общая трудоемкость	72 (2 з.е.)	72
Аудиторные занятия (всего)	36	36
В том числе		
Лекции	18	18
Практические занятия	18	18
Лабораторные занятия	18	18
Самостоятельная работа	36	36
Курсовая работа	нет	нет
Курсовой проект	нет	нет
Вид промежуточной аттестации	зачет	зачет

Приложение 3 к
рабочей программе

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Направление подготовки: 27.03.05 «ИННОВАТИКА»

ОП (профиль): «Аддитивные технологии»

Форма обучения: **очная** (набор 2022)

Вид профессиональной деятельности: экспериментально-исследовательская

Кафедра: «Процессы и аппараты химической технологии»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«Реология и механика полимерных материалов»

Состав: 1. Паспорт фонда оценочных средств

2. Описание оценочных средств:

Составитель:

И.В. Скопинцев

Москва, 2022 год

Паспорт фонда оценочных средств

№ п/п	Контролируемые разделы дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	*Основные понятия.* Простейшие представления о структуре и свойствах твердых полимерных материалов. Классификация полимеров. Термомеханические характеристики. *Релаксационные процессы в полимерных материалах.* Ползучесть. Идеальная и реальная кривая ползучести. Прямое и обратное последействие. Понятие о линейной и нелинейной ползучести. Изохроны линейно ползучего и нелинейно ползучего материала. Время релаксации.	(ОПК-1)	Контрольные вопросы
2	*Основы теории линейной вязкоупругости.* Элементы механических моделей вязкоупругих тел. Модели Максвелла, Кельвина, Максвелла-Томпсона. Вывод результатов уравнения состояния моделей и их исследование в условиях ползучести и релаксации. *Расчет простейших конструкций из вязкоупругого материала.* Центральное растяжение-сжатие стержня. Чистый прямой изгиб балки. Свободное кручение бруса круглого поперечного сечения.	(ОПК-1)	Контрольные вопросы
3	*Основные понятия реологии полимеров в вязко-текучем состоянии.* Предмет (объект исследования) реологии. Внешние силы, поверхностные и объемные. Внутренние поверхностные силы действующие в сплошном теле. Напряжения. Тензор напряжений. Частные случаи напряженного состояния. Понятие о деформации сплошного тела. Однородная деформация. Тензор деформации. Частные случаи однородной деформации. Законы деформации (реологическое уравнение). Феноменологический и статистический подходы к изучению законов деформации.	(ОПК-1)	Контрольные вопросы

	Основные реологические свойства – упругость, вязкость и пластичность. Значение реологии в теории процессов переработки полимеров.		
4	*Простейшие модели сплошной среды.* Тело Гука, вязкая ньютоновская жидкость, пластическое тело Сен-Венана. Их реологические уравнения. Модели вязкой и вязкопластической среды. Вязко-пластические тела Шведова и Бингама, их реологические уравнения.	(ОПК-1)	Контрольные вопросы
	Нелинейные модели вязкопластических жидкостей. Нелинейные упругие тела и вязкие жидкости. Некоторые виды кривой течения неньютоновских жидкостей. Кривая течения Оствальда де-Виля. «Степенной закон» течения. Эффективная (кажущаяся) вязкость. Различные виды реологических уравнений жидкостей и их кривые течения в обычных и логарифмических координатах. Тиксотропия, антитиксотропия (общие понятия и отличие от аномалии вязкости).	(ОПК-1)	Контрольные вопросы
	Задачи о течении расплава полимеров. Напорное изотермическое течение несжимаемой неупругой жидкости с произвольной кривой течения в плоской неограниченной щели с неподвижными стенками и в круглой трубе (распределение скоростей частиц потока и зависимость расхода от перепада давления). Частные случаи этих задач при конкретном уравнении жидкости (ньютонова жидкость, жидкость со «степенным законом» течения, бингамово тело). Течение в конической трубе. Общие замечания о распространении решения рассмотренных задач на случай переменного сечения каналов. Течение Куэтта между коаксиальными цилиндрами. Зависимость между моментом и угловой скоростью в общем виде. Частный случай при течении в зазоре жидкости с «степенным законом течения». Течения в зазоре между конусом и	(ОПК-1)	Контрольные вопросы

	пластиной. Зависимость между угловой скоростью и моментом. Определение скорости сдвига и напряжения		
	Экспериментальные методы реологии. Эксперимент, как средство изучения законов деформации реальных вязких сред. Цели проведения экспериментальных реологических исследований. Основные виды приборов для проведения реологических исследований: капиллярные и ротационные вискозиметры. Схема устройства и принцип работы капиллярного вискозиметра. Замеряемые и рассчитываемые параметры. Основные расчетные зависимости. Схема устройства и принцип работы ротационного вискозиметра типа «конус-плоскость». Замеряемые и рассчитываемые параметры. Основные расчетные зависимости. Схема устройства и принцип работы ротационного вискозиметра типа «цилиндр-цилиндр». Замеряемые и рассчитываемые параметры. Основные расчетные зависимости. Автоматизированная обработка результатов визкозиметрических испытаний с целью нахождения параметров реологичесих уравнений состояния и построения кривых течения испытуемых полимеров.	(ОПК-1)	Контрольные вопросы
	Реологические свойства полимеров. Особенности молекулярного строения полимеров. Физическая картина деформации аморфного и кристаллического полимера в вязкотекучем состоянии. Зависимость вязкости полимеров от температуры, давления, молекулярной массы. Универсальная кривая течения полимеров. *Вязкоупругость при переработке полимеров.* Проявление вязкоупругости при переработке полимеров. Экспериментальные факты, характеризующие специфичность реологических свойств полимеров (эластическая турбулентность и методы ее устранения, разбухание струи, ориентация	(ОПК-1)	Контрольные вопросы

	макромолекул, эффект Вайссенберга).		
	Экологические аспекты дисциплины. Деструкция полимеров. Влияние деформации на процесс разложения полимеров. Вискозиметрические методы оценки молекулярной массы деструктированных полимеров. Деформационное воздействие, как метод к ускорению процесса деструкции отходов полимеров.	(ОПК-1)	Контрольные вопросы

Примерные варианты контрольных работ:

1. Определить реологические константы "m" и "n" уравнения $\gamma = m \cdot \tau^n$ (предоставить графический материал)

№ зад	τ, дин/см	γ, c^{-1}	№ зад	τ, дин/см	γ, c^{-1}
1.	10^2 $5*10^2$ 10^3 $5*10^3$	$1*10^2$ $5.59*10^3$ $3.162*10^4$ $1.768*10^5$	16.	$7*10^3$ $1.15*10^4$ $2.9*10^4$ $5.45*10^4$	69.6 166 837.8 8527
2.	10^2 $5*10^2$ 10^3 $5*10^3$	1.0 25.0 100 2500	17.	$6.4*10^3$ 10^4 $2.55*10^4$ $4.9*10^4$	10.57 19.48 70.23 171.8
3.	10^2 $5*10^2$ 10^3 $2*10^3$	2.77 36.07 $2.51*10^2$ $1.75*10^3$	18.	$5.4*10^5$ 10^6 $3*10^6$ $7*10^6$	3.88 10.72 65.7 266
4.	$3*10^2$ 10^3 $3*10^3$ 10^4	0.184 1.262 7.319 5024	19.	$5*10^5$ $9*10^5$ $1.35*10^6$ $1.8*10^6$	0.362 1.879 5.848 10.09
5.	$2*10^2$ $5*10^2$ 10^3 $2*10^3$	0.416 2.164 7.536 26.24	20.	$3.3*10^4$ $7*10^4$ $1.35*10^5$ $2.2*10^5$	0.943 5.74 27.74 89.57
6.	$1.5*10^2$ $4*10^2$ $8*10^2$ $2*10^3$	0.545 3.515 13.12 74.82	21.	$7*10^4$ $2.4*10^5$ $3.2*10^5$ $6*10^5$	8.29 74.15 465 2462
7.	$1.6*10^2$ $4.5*10^2$ $9*10^2$ $1.8*10^3$	2.234 36.8 236.8 1539	22.	$1.1*10^5$ $2.4*10^5$ $5.6*10^5$ 10^6	$4.93*10^{-2}$ 0.274 1.77 6.34
8.	$1.8*10^3$ $4.7*10^3$ $8.8*10^3$ $1.3*10^4$	$1.83*10^2$ $3.94*10^3$ $2.93*10^4$ $1.02*10^5$	23.	750 1400 2200 5000	2.99 9.206 20.77 91.03
9.	$1.4*10^4$ $4*10^4$ $7*10^4$ $9*10^4$	$4.28*10^2$ $1.107*10^4$ $6.28*10^4$ $1.369*10^5$	24.	77 140 270 560	1.41 3.66 10.48 33.68
10.	$5*10^2$ $8*10^2$ $1.1*10^3$ $2.8*10^3$	0.268 0.105 0.264 3.97	25.	51 70 150 280	247.5 451 1922 6992
11.	$5*10$ $9*10$ $1.9*10$ $3.8*10$	1.131 8.347 105.9 $1.12*10^3$	26.	240 420 790 1300	$5.16*10^{-2}$ 0.198 0.9 2.97
12.	$1.45*10^2$ $3.7*10^2$ $1.15*10^3$	$6.08*10^{-3}$ $5.245*10^{-3}$ 0.712	27.	$6*10^5$ $9*10^5$ $1.2*10^6$	17.2 69.7 188

	$3.65*10^3$	10.14		$1.8*10^9$	761
13.	$1.35*10^2$ $2.9*10^2$ $5.9*10^2$ $1.25*10^3$	$2.76*10^{-2}$ $7.46*10^{-2}$ 0.188 0.498	28.	$2*10^5$ $3*10^5$ $5*10^5$ $8*10^5$	1.19 4.58 25 118
14.	$3*10^2$ $7*10^2$ $1.1*10^3$ $2.4*10^3$	14.03 50 98.5 317.45	29.	$8*10^4$ $1.3*10^5$ $1.8*10^5$ $2.7*10^5$	9.74 60.2 203.8 932.5
15.	$3*10^3$ $1.4*10^4$ $3.1*10^4$ $5.8*10^4$	9.13 20.55 65 161.4	30.	$5*10^4$ $8*10^4$ $1.3*10^5$ $2*10^5$	10.59 66.2 439.9 2360
34.	80 130 270 530	$6.06*10^{-3}$ $2.09*10^{-2}$ 0.135 0.752	36.	$1.7*10^5$ $3.2*10^5$ $5.9*10^5$ $8.5*10^5$	6.75 28.9 118.1 237.5
35.	$1.7*10^6$ $3.1*10^6$ $6*10^6$ $9*10^6$	4.13 12.93 45.25 98.0	37.	$2.3*10^5$ $3.6*10^5$ $5.4*10^5$ $9.8*10^5$	53.04 185.9 578.8 3070

2. По кривой течения для среднего значения γ определить кажущуюся вязкость деформируемой жидкости.

3. Для средних значений τ и γ определить для вискозиметра типа " конус-плоскость" угловую скорость вращения конуса Wк и реализуемый крутящий момент М.
Радиус деформируемого слоя R=10мм , угол конуса $\Delta Q = 40'$

4. Методом капиллярной вискозиметрии по заданной кривой течения $\gamma_R = f(\tau_R)$ построить зависимость $Q = f(\Delta P)$ для капилляра r =1мм и z=10мм. Входовый эффект не учитывать.

Вопросы к зачету:

1. «Входовой эффект» в капиллярных вискозиметрах и метод их учета при построении кривых течения.
2. «Краевые эффекты» в ротационных вискозиметрах типа «цилиндр – цилиндр» и метод их учета при проведении экспериментов.
3. Введение понятия о тензоре напряжений и физический смысл его компонентов.
4. Вывод зависимостей для определения напряжений и скоростей сдвига в зазоре ротационного вискозиметра типа «конус – плоскость».
5. Вывод зависимостей для определения напряжений и угловых скоростей движения частиц среды в зазоре ротационного вискозиметра типа «цилиндр - цилиндр». (В общем виде).
6. Двухосное растяжение–сжатие как частный кинематический вид деформаций. Компоненты тензора деформаций в различных мерах деформаций.
7. Методика определения реологических параметров при испытаниях полимерных сред со степенным реологическим уравнениям на ротационных вискозиметрах типа «цилиндр – цилиндр».
8. Нелинейное реологическое уравнение А.И. Леонова и его представление в общих и двойных логарифмических координатах.
9. Нелинейное степенное реологическое уравнение и его представление в общих и двойных логарифмических координатах.
10. Общие принципы капиллярной вискозиметрии.
11. Общие принципы капиллярной вискозиметрии.
12. Общие принципы ротационной вискозиметрии. Устройство и принцип работы ротационного вискозиметра типа «цилиндр – цилиндр».
13. Общие принципы ротационной вискозиметрии. Устройство и принцип работы ротационного вискозиметра типа «конус – плоскость».
14. Общий вид тензора деформаций и физический смысл его компонентов.
15. Одноосное растяжение-сжатие как частный кинематический вид деформаций. Компоненты тензора деформаций в различных мерах деформаций.
16. Понятие о вязкой ньютоновской жидкости: механическая модель и реологическое уравнение состояния.
17. Понятие о деформаций в сплошной среде. Однородная деформация.
18. Понятие о динамической вязкости. Явления аномалии вязкости. Кривая течения Оствальда–де –Виля.
19. Понятие о законе деформации.
20. Понятие о напряжении и напряженном состоянии тела.
21. Понятие о нелинейных реологических уравнениях состояния: геометрическая и физическая нелинейность.
22. Понятие о пластическом теле Сен-Венана: механическая модель и реологическое уравнение состояния.
23. Понятие о тензоре деформаций: методология его образования.
24. Понятие об идеально упругом теле Гука: механическая модель и реологическое уравнение состояния.
25. Понятие об изотропном расширении – сжатии как частном кинематическом виде деформаций. Компоненты тензора деформаций для несжимаемых сред.
26. Понятие об однородном напряженном состоянии среды.

27. Предмет и задачи реологии полимеров
28. Простейшие свойства идеальных тел и их физическая природа: упругость, эластичность, вязкое и пластическое течения.
29. Простой одноосный сдвиг как частый кинематический вид деформаций. Компоненты тензора деформаций в различных мерах деформаций.
30. Распределение скоростей частиц потока жидкости при ее установившемся ламинарном изотермическом сдвиговом течении в круглой трубе (Вывод общей зависимости).
31. Распределение скоростей частиц потока и объемный расход жидкости со степенным реологическим уравнением при ее установившемся ламинарном изотермическом сдвиговым течением в круглой трубе. (На основе общей зависимости распределения скоростей частиц потока).
32. Распределение скоростей частиц потока и объемный расход ньютоновской жидкости при ее установившемся ламинарном изотермическом сдвиговом течении в круглой трубе. (На основе общей зависимости распределения скоростей частиц потока).
33. Статистический и феноменологический подходы к изучению законов деформации.
34. Термомеханические (релаксационные) состояния аморфных полимеров.
35. Физические состояния полимеров.
36. Физические типы деформаций полимеров.
37. Цели ч задачи экспериментальной реологии. Приборы, используемые для проведения реологических исследований.
38. Чистый сдвиг как частный кинематический вид деформаций. Компоненты тензора деформаций в различных мерах деформаций.

Задания на самостоятельную работу

При изучении курса учащийся должен самостоятельно проработать следующие разделы:

- Молекулярно – кинетическая теория вязкотекучего состояния полимеров:
- Основные схемы организации течения
- Уравнения реологического состояния
- Графическое представление уравнений реологического состояния
- Экспериментальное исследование реологических свойств полимерных композиций
- Наложение различных физико-химических процессов на стационарные реологические потоки и эффекты взаимодействия
- Реология в технологических процессах переработки полимерных материалов