

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования "Пермский  
государственный национальный исследовательский  
университет"**

**Кафедра вычислительной и экспериментальной механики**

**Авторы-составители: Любимова Татьяна Петровна  
Скачков Андрей Павлович**

Рабочая программа дисциплины  
**МЕХАНИКА НЕНЬЮТОНОВСКИХ ЖИДКОСТЕЙ**  
Код УМК 92371

Утверждено  
Протокол №6  
от «16» июня 2020 г.

Пермь, 2020

## **1. Наименование дисциплины**

Механика неньютоновских жидкостей

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина входит в вариативную часть Блока « М.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **01.04.03** Механика и математическое моделирование  
направленность Фундаментальная и прикладная механика

### **3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

В результате освоения дисциплины **Механика неньютоновских жидкостей** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

**01.04.03** Механика и математическое моделирование (направленность : Фундаментальная и прикладная механика)

**ОПК.1** Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы механики и математики

**Индикаторы**

**ОПК.1.1** Определяет и формулирует задачу, пользуется языком предметной области

**ОПК.1.2** Выбирает метод решения поставленной задачи, анализирует полученный результат

#### 4. Объем и содержание дисциплины

<b>Направления подготовки</b>	01.04.03 Механика и математическое моделирование (направленность: Фундаментальная и прикладная механика)
<b>форма обучения</b>	очная
<b>№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины</b>	3
<b>Объем дисциплины (з.е.)</b>	3
<b>Объем дисциплины (ак.час.)</b>	108
<b>Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:</b>	36
<b>Проведение лекционных занятий</b>	24
<b>Проведение практических занятий, семинаров</b>	12
<b>Самостоятельная работа (ак.час.)</b>	72
<b>Формы текущего контроля</b>	Защищаемое контрольное мероприятие (2) Итоговое контрольное мероприятие (1)
<b>Формы промежуточной аттестации</b>	Зачет (3 триместр)

## 5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

### Механика неньютоновских жидкостей

#### Классификация неньютоновских жидкостей

Классификация неньютоновских жидкостей

Общие положения и определения. Неньютоновские жидкости с реологическими характеристиками, не зависящими от времени: бингамовские пластики, псевдопластичные жидкости, дилатантные жидкости. Неньютоновские жидкости, реологические характеристики которых зависят от времени: тиксотропные жидкости, разрушение структуры при сдвиге; реопектические жидкости, структурообразование при сдвиге. Вязкоупругие жидкости: жидкость Максвелла, жидкость Олдройда.

Механические модели реологически-сложных сред.

Модель Фойгта. Модель Максвелла. Обобщенное фойгтовское тело. Функция ползучести. Обобщенная максвелловская модель. Функция релаксации. Примеры применения моделей для описания реальных жидкостей.

#### Реологические уравнения неньютоновских жидкостей

Реологические уравнения чисто вязких неньютоновских жидкостей.

Требования объективности реологических уравнений состояния. Жидкости Рейнера-Ривлина.

Реологическое уравнение. Вискозиметрические функции.

Обобщенные ньютоновские жидкости. Реологическое уравнение. Ламинарное течение в круглой трубе.

Уравнение Муни-Рабиновича.

Теория простой жидкости.

Понятие простой жидкости. Принцип затухания памяти. Общие уравнения состояния простой жидкости с затухающей памятью. Гидростатическая задача. Приближения для общих уравнений состояния простых жидкостей в предельных случаях медленных течений и малых деформаций.

Дифференциальные уравнения состояния.

Дифференциальные уравнения состояния. Жидкость Ривлина-Эриксона. Вискозиметрические функции для приближения второго порядка для общего уравнения состояния простых жидкостей.

Интегральные уравнения состояния.

Интегральные уравнения состояния. Вискозиметрические функции для интегральных уравнений первого порядка.

Релаксационные уравнения состояния.

Релаксационные уравнения состояния. Общий вид уравнения. Вискозиметрические функции.

#### Течения в реометрических системах

Течения неньютоновских жидкостей с реологическими характеристиками, не зависящими от времени, в круглой трубе

Профили скорости и зависимости между расходом и перепадом давления при ламинарном течении в круглой трубе для (1) ньютоновской жидкости, (2) бингамовского пластика, (3) степенной жидкости

Течения неньютоновских жидкостей с реологическими характеристиками, не зависящими от времени, в зазоре ротационного вискозиметра

Профили скорости и зависимости между скоростью вращения и замеренным крутящим моментом при ламинарном течении в зазоре ротационного вискозиметра для (1) ньютоновской жидкости, (2)

бингамовского пластика, (3) степенной жидкости. Исследование стационарно реологических жидкостей с помощью ротационных вискозиметров.

Периодические течения

Динамические характеристики вязкоупругих материалов. Описание вязкоупругих материалов по измерениям нормальных напряжений.

## Письменная контрольная работа 2

### **Аналитические решения для плоскопараллельных течений реологически-сложных жидкостей**

Аналитическое решение задачи о течении степенной жидкости с вязкостью, зависящей от температуры, в круглой трубе.

Аналитическое решение задачи о плоскопараллельном течении вязкоупругой жидкости в плоском канале.

### **Двумерные течения реологически-сложных жидкостей**

Численные методы решения задач о неоднородных течениях реологически-сложных жидкостей в замкнутых полостях.

Конвекция реологически-сложных жидкостей в слоях и замкнутых полостях

Возникновение и нелинейные режимы конвекции нелинейно-вязких, вязкопластических жидкостей при подогреве снизу.

Возникновение и нелинейные режимы конвекции вязкоупругих жидкостей при подогреве снизу.

Конвекция вязкопластичной жидкости в замкнутой полости при нагреве сбоку.

### **Жидкости с внутренним вращением**

Уравнения гидродинамики жидкостей с внутренним вращением.

Жидкости с внутренним вращением. Законы сохранения. Термодинамические соотношения. Вывод уравнений. Примеры уравнений движения.

## **6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

## **7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

## 8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

### Основная:

1. Астарита Дж., Марруччи Дж. Основы гидромеханики неньютоновских жидкостей/Дж. Астарита, Дж. Марруччи.-Москва:Мир,1978.-309.
2. Любимов Д. В., Любимова Т. П. Физическая гидродинамика. Расчетный семинар: учебное пособие/Д. В. Любимов, Т. П. Любимова.-Пермь, 2012, ISBN 978-5-7944-1888-0.-1.  
<http://www.campus.psu.ru/library/node/34910>

### Дополнительная:

1. Белевич, М. Ю. Гидромеханика. Основы классической теории : учебное пособие / М. Ю. Белевич. — Санкт-Петербург : Российский государственный гидрометеорологический университет, 2006. — 213 с. — ISBN 5-86813-178-9. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/17911>

## 9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

<http://www.psu.ru/elektronnye-resursy-dlya-psu> Электронные ресурсы для ПГНИУ  
<http://window.edu.ru/> Единое окно доступа к образовательным ресурсам

## 10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Образовательный процесс по дисциплине **Механика неньютоновских жидкостей** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС);
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Необходимое лицензионное и (или) свободно распространяемое программное обеспечение:

- приложение позволяющее просматривать и воспроизводить медиаконтент PDF-файлов «Adobe Acrobat Reader DC»;

- офисный пакет приложений «LibreOffice», Alt Linux;

Специализированное программное обеспечение не требуется

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (**student.psu.ru**).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

## 11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для лекционных занятий требуется аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения практических занятий - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для групповых (индивидуальных) консультаций - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения текущего контроля - аудитория, оснащенная меловой (и) или маркерной доской.

Самостоятельная работа студентов: аудитория, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», с обеспеченным доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, помещения Научной библиотеки ПГНИУ.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютера с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине  
Механика неньютоновских жидкостей**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.  
Индикаторы и критерии их оценивания**

**ОПК.1**

**Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы механики и математики**

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p><b>ОПК.1.2</b> Выбирает метод решения поставленной задачи, анализирует полученный результат</p>	<p>В результате обучения студент должен уметь решать поставленную задачу и анализировать полученные результаты.</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b> Не знает теоретические основы гидромеханики неньютоновских жидкостей. Не умеет применять методы исследования течений неньютоновских жидкостей. Не может решать конкретные задачи гидромеханики таких жидкостей.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b> Имеет представление о гидромеханике неньютоновских жидкостей. Может применять методы исследования течений неньютоновских жидкостей при решении конкретных задач гидромеханики таких жидкостей.</p> <p align="center"><b>Хорошо</b> Знает теоретические основы гидромеханики неньютоновских жидкостей и Владеет навыками построения математических моделей для решения конкретных задач гидромеханики неньютоновских жидкостей.</p> <p align="center"><b>Отлично</b> Знает теоретические основы гидромеханики неньютоновских жидкостей и методы исследования течений таких жидкостей. Умеет грамотно применять методы исследования течений неньютоновских жидкостей при решении конкретных задач гидромеханики таких жидкостей. Владеет навыками построения математических моделей для решения конкретных задач гидромеханики неньютоновских жидкостей.</p>
<p><b>ОПК.1.1</b> Определяет и формулирует задачу, пользуется языком предметной области</p>	<p>В результате обучения студент должен уметь формулировать поставленную задачу, используя язык предметной области</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b> Студент не умеет формулировать поставленную задачу, используя язык предметной области.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b></p>

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Студент затрудняется формулировать поставленную задачу, используя язык предметной области, не владеет навыками постановки задачи.</p> <p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>Студент умеет формулировать поставленную задачу, используя язык предметной области, но показывает неустойчивые навыки постановки задачи.</p> <p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>Студент умеет формулировать поставленную задачу, используя язык предметной области, владеет навыками постановки задачи.</p>

## Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

**Вид мероприятия промежуточной аттестации :** Зачет

**Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации :** Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

**Максимальное количество баллов :** 100

### Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 43 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 43 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<b>ОПК.1.2</b> Выбирает метод решения поставленной задачи, анализирует полученный результат <b>ОПК.1.1</b> Определяет и формулирует задачу, пользуется языком предметной области	Реологические уравнения неньютоновских жидкостей <b>Защищаемое контрольное мероприятие</b>	Постановка задач реологии неньютоновских жидкостей. Методы решения.
<b>ОПК.1.2</b> Выбирает метод решения поставленной задачи, анализирует полученный результат <b>ОПК.1.1</b> Определяет и формулирует задачу, пользуется языком предметной области	Двумерные течения реологически-сложных жидкостей <b>Защищаемое контрольное мероприятие</b>	Модели и методы решения двумерных течений неньютоновских жидкостей.
<b>ОПК.1.2</b> Выбирает метод решения поставленной задачи, анализирует полученный результат <b>ОПК.1.1</b> Определяет и формулирует задачу, пользуется языком предметной области	Жидкости с внутренним вращением <b>Итоговое контрольное мероприятие</b>	Постановка задачи и методы решения для жидкостей с внутренним вращением.

## Спецификация мероприятий текущего контроля

### Реологические уравнения неньютоновских жидкостей

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
Получение и анализ результатов.	13
Методы решения задач реологии неньютоновской жидкости	7
Формулировка разрешающих уравнений реологии неньютоновской жидкости.	7
Постановка граничных условий в задачах реологии неньютоновской жидкости.	3

### Двумерные течения реологически-сложных жидкостей

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
Получение и анализ результатов.	13
Методы решения задачи о двумерном течении неньютоновских жидкостей	7
Вывод уравнений для двумерных течений неньютоновских жидкостей.	7
Постановка задачи о двумерном течении неньютоновских жидкостей	3

### Жидкости с внутренним вращением

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **17**

Показатели оценивания	Баллы
Анализ результатов решенной задачи.	13
Получение решения задач неньютоновской жидкости с внутренним вращением.	10
Вывод уравнений движения неньютоновской жидкости с внутренним вращением.	7
Методы решения задач неньютоновской жидкости с внутренним вращением.	7
Гипотезы, используемые при выводе уравнений для неньютоновской жидкости с внутренним вращением.	3