

Федеральное агентство научных организаций

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
**Пермский федеральный исследовательский центр  
Уральского отделения  
Российской академии наук**

Принято на заседании  
Объединенного ученого совета  
ПФИЦ УрО РАН  
Протокол № 6/18  
«28» сентября 2018 г.



**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Гидродинамика неньютоновских жидкостей»**  
(наименование дисциплины по учебному плану)

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Направление 01.06.01 «Математика и механика»  
(код и наименование)

Профиль программы аспирантуры 01.02.05 Механика жидкости, газа и плазмы

Квалификация выпускника: Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения: Очная

Курс: 1 Семестр(ы): 1, 2

**Трудоёмкость:**

Кредитов по рабочему учебному плану: 3 ЗЕ

Часов по рабочему учебному плану: 108 ч

**Виды контроля:**

Экзамен: - нет    Зачёт: 2    Курсовой проект: - нет    Курсовая работа: - нет

**Рабочая программа дисциплины Гидродинамика неньютоновских жидкостей разработана на основании:**

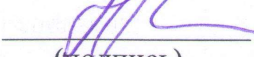
- федерального государственного образовательного стандарта высшего образования, утверждённого приказом Министерства образования и науки Российской Федерации «30» июля 2014 г. номер приказа «866» по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика (уровень подготовки кадров высшей квалификации)»;
- компетентностной модели выпускника ООП по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), программы аспирантуры «Механика жидкости, газа и плазмы», утверждённой «28» сентября 2018 г.;
- базового учебного плана очной формы обучения по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика (уровень подготовки кадров высшей квалификации), программы аспирантуры «Механика жидкости, газа и плазмы», утверждённой «28» сентября 2018 г.

**Рабочая программа согласована с рабочей программой дисциплины**

1. Динамика магнитных жидкостей
2. Современные экспериментальные методы

участвующей в формировании компетенций совместно с данной дисциплиной.

Разработчик д.ф.-м.н., профессор  Любимова Т.П.  
(учёная степень, звание) (подпись) (инициалы, фамилия)

Рецензент: д.ф.-м.н., профессор  Фрик П.Г.  
(учёная степень, звание) (подпись) (инициалы, фамилия)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цель учебной дисциплины

Дисциплина «Гидродинамика неньютоновских жидкостей» является частью подготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации. Курс предназначен для формирования системы знаний и основных понятий по современным разделам гидродинамики реологически сложных сред, а также формирование способности аспирантов к построению математических моделей для решения конкретных задач гидродинамики неньютоновских жидкостей и к построению и анализу численных решений задач в этой области. Настоящий курс опирается на понятия и концепции механики жидкости и механики деформируемого твердого тела.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен

#### **знать**

- математический аппарат динамики аномальных жидкостей.

#### **уметь**

- применять соответствующие уравнения и методы исследования при решении конкретных гидродинамических проблем;
- решать различные задачи динамики аномальных жидкостей.

#### **владеть**

- математическим аппаратом исследования динамики аномальных жидкостей.

**1.2. Задачами** учебной дисциплины являются овладение методами и приемами постановки и решения теоретических задач гидромеханики реологически сложных сред, а также изучение:

- основных проблем и направлений исследования реологически сложных сред, разрабатываемых в настоящее время в мировой науке;
- физико-математических моделей реологически сложных жидкостей и методов математического моделирования их поведения;
- современного уровня эксперимента в этой области и практическом использовании реологически сложных сред;

### 1.3. Предметами освоения дисциплины являются:

- реологически сложные жидкости;
- законы деформации и движения неньютоновских жидкостей.

### 1.4. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Гидродинамика неньютоновских жидкостей» Б1.В.ДВ1.2 входит в Блок 1 и относится к циклу дисциплин по выбору вариативной части Модуля 2 образовательной программы по направлению подготовки: 01.06.01 – «Математика и механика», направленность 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

#### **Связь с предшествующими дисциплинами**

Курс предполагает наличие у аспирантов знаний по высшей математике, уравнениям математической физики, вариационному исчислению, общей физике в объеме программы высшего профессионального образования.

#### **Связь с последующими дисциплинами**

Знания и навыки, полученные аспирантом при изучении данного курса, необходимы при работе над диссертацией и при её написании по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

## 2. Требования к результатам освоения учебной дисциплины

Учебная дисциплина обеспечивает формирование части компетенций ПК-1, ПК-3.

### 2.1. Дисциплинарная карта компетенции ПК-1

<b>Код ПК-1</b>	<b>Формулировка компетенции</b> Способность проводить научные исследования в области механики жидкости и газа, ставить и решать конкретные фундаментальные и прикладные задачи механики жидкости и газа
<b>Код ПК-1. Б1.В.ДВ1.2</b>	<b>Формулировка дисциплинарной части компетенции</b> Способность проводить исследования реологически сложных сред, ставить и решать задачи по физико-математическому моделированию течения реологически сложных жидкостей.

### Требования к компонентному составу части компетенции

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
<b>В результате освоения компетенции аспирант:</b> <b>Знает:</b> - современные достижения, методологию, конкретные методы и приемы научно-исследовательской работы в области механики жидкости и газа (основные уравнения движения жидкости и газа и методы их решения) (3 ПК-1);	Лекции, самостоятельная работа аспирантов по изучению теоретического материала	Устный опрос для текущего и промежуточного контроля.
<b>Умеет:</b> - ставить задачу в области механики жидкости и газа и применять современные методы её анализа (У ПК-1).	Самостоятельная работа аспирантов, подготовка отчета, ведение текущей научно-исследовательской работы	Выполнение индивидуального плана аспирантов в части публикаций и участия в конференциях

### 2.2. Дисциплинарная карта компетенции ПК-3

<b>Код ПК-3</b>	<b>Формулировка компетенции</b> Способность планировать, проводить и анализировать результаты экспериментальных исследований ламинарных и турбулентных течений непроводящих, проводящих и магнитных жидкостей
<b>Код ПК-3. Б1.В.ДВ1.2</b>	<b>Формулировка дисциплинарной части компетенции</b> Способность планировать, проводить и анализировать результаты экспериментальных исследований реологически сложных сред.

### Требования к компонентному составу части компетенции

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
<b>В результате освоения компетенции аспирант:</b> <b>Знает:</b>	Лекции, самостоятельная работа аспирантов	Устный опрос для текущего и

- Современные методы, приемы планирования эксперимента, обработки и интерпретации экспериментальных данных по изучению поведения жидких и газообразных сред, современное состояние экспериментальных возможностей в области исследования задач механики жидкости и газа ( <b>З ПК-3</b> );	по изучению теоретического материала	промежуточного контроля.
<b>Умеет:</b> - планировать проведение экспериментов, анализировать и интерпретировать экспериментальные данные по изучению поведения жидких и газообразных сред ( <b>У ПК-3</b> ).	Самостоятельная работа аспирантов, подготовка отчета, ведение текущей научно-исследовательской работы	Выполнение индивидуального плана аспирантов в части публикаций и участия в конференциях

### 3. Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Объём и виды учебной работы

№ п.п.	Виды учебной работы	Трудоёмкость, ч		
		по семестрам		всего
1	2	3		4
		1й	2й	
1	<b>Аудиторная работа</b>	<b>14</b>	<b>-</b>	<b>14</b>
	- лекции (Л)	14	-	14
2	<b>Контроль самостоятельной работы (КСР)</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
3	<b>Самостоятельная работа (СР)</b>	<b>38</b>	<b>52</b>	<b>90</b>
	- изучение теоретического материала	38	52	90
4	<b>Итоговая аттестация по дисциплине: Зачёт</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>
5	<b>Трудоёмкость дисциплины, всего: в часах (ч) в зачётных единицах (ЗЕ)</b>	<b>54</b>	<b>54</b>	<b>108</b>
		<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>3</b>

## 4. Содержание учебной дисциплины

### 4.1 Модульный тематический план

Тематический план по модулям учебной дисциплины

Но- мер учеб- ного мо- дуля	Номер раз- дела дисци- плины	Номер темы дисци- плины	Количество часов (очная форма обучения)							Трудоём- ность, ч / ЗЕ	
			аудиторная работа					итого- вая ат- теста- ция	само- стоя- тель- ная ра- бота		
			всего	Л	ПЗ	ЛР	КСР				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	1	Введение	1	1	-	-	-	-	-	-	1
		1	1	1	-	-	-	-	-	5	6
		2	-	-	-	-	-	-	-	9	9
		3	1	1	-	-	-	-	-	5	6
		4	0,5	0,5	-	-	-	-	-	7	7,5
		5	1	1	-	-	-	-	-	5	6
		6	2	2	-	-	-	-	-	5	7
		7	-	-	-	-	-	-	-	7	7
		8	2	2	-	-	-	-	-	7	9
		9	0,5	0,5	-	-	-	-	-	7	7,5
		10	1	1	-	-	-	-	-	5	6
		11	-	-	-	-	-	-	-	9	9
		12	1	1	-	-	-	-	-	5	6
		13	1	1	-	-	-	-	-	5	6
		14	2	2	-	-	-	-	-	9	11
<b>Итого по модулю:</b>			<b>14</b>	<b>14</b>	-	-	-	-	<b>90</b>	<b>104</b>	
<b>Итоговая аттестация</b>			-	-	-	-	-	<b>4</b>	-	<b>4</b>	
<b>Всего:</b>			<b>14</b>	<b>14</b>		-	-	<b>4</b>	<b>90</b>	<b>108/3</b>	

### 4.2 Содержание разделов и тем учебной дисциплины

#### Введение.

Л – 1 ч.

Организация учебного процесса. Основные понятия, термины и определения. Предмет и задачи дисциплины.

#### Раздел 1.

Л – 13 ч., СР – 90 ч.

Тема 1. 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.

Тема 2. 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.

Тема 3. Реологические уравнения чисто вязких неньютоновских жидкостей.

Требования объективности реологических уравнений состояния. Жидкости Рейнера-Ривлина. Реологическое уравнение. Вискозиметрические функции.

Тема 4. 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

Тема 5. Уравнение Муни-Рабиновича.

Тема 6. 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.

Тема 7. Периодические течения

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

Тема 8. 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.

Тема 9. Дифференциальные уравнения состояния.

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

Тема 10. Интегральные уравнения состояния.

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

Тема 11. Релаксационные уравнения состояния.

Релаксационные уравнения состояния. Общий вид уравнения. Вискозиметрические функции.

Тема 12. Аналитические решения для плоскопараллельных течений реологически-сложных жидкостей

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

Тема 13. 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.

Тема 14. Жидкости с внутренним вращением

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

**4.3 Перечень тем практических занятий**

Практические занятия не предусмотрены.

**4.4 Перечень тем лабораторных работ**

Лабораторные работы не предусмотрены.

**4.5 Содержание самостоятельной работы аспирантов**

Самостоятельная работа аспирантов заключается в чтении рекомендуемой литературы и в применении усвоенного аппарата при работе над диссертацией.

**4.6. Участие в научных мероприятиях различного уровня**

№ п/п	Полное название мероприятия
1	Пермский гидродинамический семинар, научный семинар «ИМСС УрО РАН»
2	Зимняя школа по механике сплошных сред, г. Пермь, «ИМСС УрО РАН» (каждые два года)
3	Всероссийская конференция молодых ученых «Математическое моделирование в естественных науках», г. Пермь, ПНИПУ (ежегодная)
4	Всероссийская конференция молодых ученых «Неравновесные процессы в сплошных средах», г. Пермь, ПГНИУ (ежегодная)
5	Участие в международных конференциях различного уровня
5	Участие в проектах РФФИ, РФФИ (индивидуально)

**5. Методические указания по изучению дисциплины****Аспирантам**

Изучение учебной дисциплины должно проводиться систематически. Написание конспекта лекций должно вестись кратко, схематично, последовательно с фиксированием основных положений, выводов, формулировок, обобщений. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела. К выполнению практических заданий приступать после самостоятельной работы по изучению теоретических вопросов.

При самостоятельной научно-исследовательской работе проводить знакомство с основной и дополнительной литературой, включая справочные издания, зарубежные источники, конспект и т.д.; составлять аннотации к прочитанным литературным источникам; писать разделы глав научно-исследовательской работы; проводить самоконтроль освоения программного материала.

Необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем и учитываются при аттестации студента.

**Преподавателям**

Преподавателю необходимо систематически контролировать результаты самостоятельной работы и учитывать их при аттестации студента. При проведении аттестации студентов важно помнить, что систематичность, объективность, аргументированность – главные принципы, на которых основаны контроль и оценка знаний. Проверка, контроль и оценка знаний студента требуют учета его индивидуального стиля в осуществлении учебной деятельности. Знание критериев оценки знаний обязательно для преподавателя и студента.



## 6. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Реализация компетентного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся. В ходе аудиторной работы преподаватель ведет диалог с аспирантами, задает вопросы, нацеленные на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

## 7. Фонд оценочных средств

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации и текущего контроля представлен в виде приложения к рабочей программе дисциплины.

## 8. Управление и контроль освоения компетенций

### 8.1 Текущий контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

Текущий и промежуточный контроль освоения дисциплинарных частей компетенций проводится в форме:

- устного опроса.

### 8.2 Рубежный и промежуточный контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

Рубежный и промежуточный контроль освоения дисциплинарных частей компетенций проводится в форме:

- устного опроса.

### 8.3 Итоговый контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

#### 1) Зачёт

Условия проставления зачёта по дисциплине:

- зачёт по дисциплине выставляется по итогам проведённого аттестационного испытания по билетам и контроля самостоятельной работы.

#### 2) Экзамен

Не предусмотрен.

### 8.4 Виды текущего, рубежного и итогового контроля освоения элементов и частей компетенций

Контролируемые результаты освоения дисциплины	Вид контроля			
	ТК	ПК	ЛР	Зачёт
<b>В результате освоения компетенции аспирант:</b> <b>Знает:</b>				
- современные достижения, методологию, конкретные методы и приемы научно-исследовательской работы в области механики жидкости и газа (основные уравнения движения жидкости и газа и методы их решения) (3 ПК-1);	+	+		
- современные методы, приемы планирования эксперимента, обработки и интерпретации	+	+		

экспериментальных данных по изучению поведения жидких и газообразных сред, современное состояние экспериментальных возможностей в области исследования задач механики жидкости и газа ( <b>З ПК-3</b> );				
<b>Умеет:</b>				
- ставить задачу в области механики жидкости и газа и применять современные методы её анализа ( <b>У ПК-1</b> );				+
- планировать проведение экспериментов, анализировать и интерпретировать экспериментальные данные по изучению поведения жидких и газообразных сред ( <b>У ПК-3</b> ).				+

ТК – текущий контроль в форме устного опроса по темам (контроль знаний по теме);

ПК – промежуточный контроль в форме устного опроса по модулю (контроль знаний по теме);

ЛР – выполнение лабораторных работ с подготовкой отчёта (оценка умений и навыков).

## 9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Перечень основной и дополнительной учебной литературы

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1	2	3
<b>1 Основная литература</b>		
1	Дж. Астарита, Дж. Маруччи. Основы гидромеханики неньютоновских жидкостей. М., Мир, 1978. 309 с.	1
2	О.И. Скульский, С.Н. Аристов. Механика аномально вязких жидкостей. – Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2003. – 156 с.	1
3	У. Уилкинсон. Неньютоновские жидкости. М., Мир, 1964. <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=228692">http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=228692</a>	0
<b>2 Дополнительная литература</b>		
<b>2.1 Учебные и научные издания</b>		
1	Рейнер М. Реология. М.: Наука, 1965, 224 с.	1
<b>2.2 Периодические издания</b>		
1	Журнал «Вычислительная механика сплошных сред» <a href="http://www2.icmm.ru/journal/cont.htm">http://www2.icmm.ru/journal/cont.htm</a>	
2	Журнал «Известия РАН. Механика твердого тела», <a href="http://mtt.ipmnet.ru/ru">http://mtt.ipmnet.ru/ru</a>	
3	Журнал «Известия РАН. Механика жидкости и газа» <a href="http://mzg.ipmnet.ru/ru">http://mzg.ipmnet.ru/ru</a>	
4	Вестник ПНИПУ. «Механика» журнал / Пермский национальный исследовательский политехнический университет; Под ред. А. А. Ташкинова. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, с 2012 г. <a href="http://vestnik.pstu.ru/mechanics/about/inf/">http://vestnik.pstu.ru/mechanics/about/inf/</a>	

5	Вестник ПГНИУ. «Физика» журнал / Пермский государственный национальный исследовательский университет; Под ред. В. А. Дёмина. - Пермь: Изд-во ПГНИУ, с 2016 г. <a href="http://press.psu.ru/index.php/phys/index">http://press.psu.ru/index.php/phys/index</a>	
<b>2.3 Нормативно-технические издания</b>		
<b>2.4 Официальные издания</b>		
<b>2.5 Электронные информационно-образовательные ресурсы</b>		
1	Электронная библиотека диссертаций РГБ <a href="http://diss.rsl.ru">http://diss.rsl.ru</a>	
2	Научная электронная библиотека РИНЦ (Elibrary) <a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	
3	Научная электронная библиотека ScienceDirect <a href="https://www.sciencedirect.com/">https://www.sciencedirect.com/</a>	
4	Научная электронная библиотека SpringerLink <a href="https://link.springer.com/">https://link.springer.com/</a>	
5	Научная электронная библиотека Elsevier <a href="https://www.elsevier.com">https://www.elsevier.com</a>	
6	Полнотекстовая мультидисциплинарная база данных диссертаций ProQuest Dissertations & Theses Global <a href="http://proquest.com/pqdtglobal/dissertations">http://proquest.com/pqdtglobal/dissertations</a>	
7	Университетская информационная система Россия <a href="https://uisrussia.msu.ru/">https://uisrussia.msu.ru/</a>	
8	Университетские библиотеки г. Перми <a href="http://biblioclub.ru/">http://biblioclub.ru/</a> <a href="http://pspu.ru/university/biblioteka/jelektronnye-resursy-biblioteki">http://pspu.ru/university/biblioteka/jelektronnye-resursy-biblioteki</a> <a href="https://perm.hse.ru/library/">https://perm.hse.ru/library/</a> <a href="http://biblioteki.perm.ru/main/index.html?id=34">http://biblioteki.perm.ru/main/index.html?id=34</a>	
9	Наукометрическая и реферативная база данных Scopus <a href="https://www.scopus.com">https://www.scopus.com</a>	
10	Электронная база данных Web of Science <a href="http://apps.webofknowledge.com">http://apps.webofknowledge.com</a>	
11	Национальная электронная библиотека <a href="https://нэб.рф/">https://нэб.рф/</a>	

### 10. Материально-техническое обеспечение, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Специальные помещения и помещения для самостоятельной работы

№ п.п.	Помещения		
	Название	Принадлежность (кафедра)	Номер аудитории
1	2	3	4
1.	Лекционная мультимедийная аудитория	БОН	ауд.203
2.	Лекционная мультимедийная аудитория	«ИМСС УрО РАН», корп. Б	ауд.233

