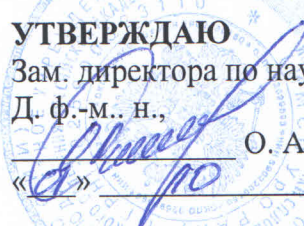


Федеральное агентство научных организаций
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт механики сплошных сред
Уральского отделения
Российской академии наук

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора по научной работе
Д. ф.-м. н.,


О. А. Плехов
« 10 » 2015 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 Механика жидкости, газа и плазмы

Квалификация выпускника: Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения: Очная

Курс: 1, 2 Семестр(ы): 1-3

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану: 3 3Е
Часов по рабочему учебному плану: 108 ч

Виды контроля:

Экзамен: - нет

Диф.зачёт: - 1

Курсовой проект: - нет Курсовая работа: - нет

Пермь 2015

Учебно-методический комплекс дисциплины**«Гидродинамика неньютоновских жидкостей»**

(полное наименование дисциплины)

разработан на основании:

- федерального государственного образовательного стандарта высшего образования, утверждённого приказом Министерства образования и науки Российской Федерации «25» августа 2014 г. номер приказа «866» по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика (уровень подготовки кадров высшей квалификации)»;
- компетентностной модели выпускника ОПОП по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), программы аспирантуры «Механика жидкости, газа и плазмы», утверждённой «10» 09 2015 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 «10» 09 2015 г.

Рабочая программа согласована с рабочими программами дисциплин

1. Динамика магнитных жидкостей
2. Вычислительная реология

участвующих в формировании компетенций совместно с данной дисциплиной.

Разработчик

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

Рецензент

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

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учёным советом ИМСС УрО РАН
 «10» 09 2015 г., протокол № 6-15

1. Общие положения

1.1. Цель учебной дисциплины – формирование 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 процессе изучения данной дисциплины студент расширяет и углубляет следующие компетенции:

- способность проводить научные исследования в области механики жидкости и газа, ставить и решать конкретные фундаментальные и прикладные задачи механики жидкости и газа (ПК-1);
- способность планировать, проводить и анализировать результаты экспериментальных исследований ламинарных и турбулентных течений непроводящих, проводящих и магнитных жидкостей (ПК-3).

1.2. Задачи учебной дисциплины:

- **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;
- **формирование умения и формирование навыков:**
 - овладение методами и приемами постановки и решения теоретических задач гидромеханики реологически-сложных сред.

1.3. Предметом освоения дисциплины являются следующие объекты:

Модели реологически сложных жидкостей, законы деформации и движения неньютоновских жидкостей.

1.4. Место учебной дисциплины в структуре профессиональной подготовки выпускников.

Дисциплина «Гидродинамика неньютоновских жидкостей» относится к вариативной части блока 1 и является дисциплиной по выбору аспирантов при освоении ООП ВО по направлению подготовки 01.06.01 – «Математика и механика», направленность «01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы».

В результате изучения дисциплины обучающийся должен освоить следующие компетенции и продемонстрировать следующие результаты:

- **знать:**
 - 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);
 - 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;

• **уметь:**

- ставить задачу в области механики жидкости и газа и применять современные методы её анализа;
- планировать проведение экспериментов, анализировать и интерпретировать экспериментальные данные по изучению поведения жидких и газообразных сред.

Связь с предшествующими дисциплинами

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

Связь с последующими дисциплинами

Знания и навыки, полученные аспирантом при изучении данного курса, необходимы при работе над и при написании диссертации 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

Код ПК-1	Формулировка компетенции Способность проводить научные исследования в области механики жидкости и газа, ставить и решать конкретные фундаментальные и прикладные задачи механики жидкости и газа
Код ПК-1. Б1.В.02.01	Формулировка дисциплинарной части компетенции 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
В результате освоения компетенции студент: Знает: - 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) (З ПК-1);	Лекции. Самостоятельная работа студентов по изучению теоретического и при подготовке к семинарам.	Устный опрос для текущего и промежуточного контроля.
Умеет: - ставить задачу в области механики жидкости и газа и применять современные методы её анализа (У ПК-1).	Самостоятельная работа студентов (подготовка к лекциям), ведение текущей научно-исследовательской	Выполнение индивидуального плана аспирантов, в части публикаций и участия в конференциях.

	работы	Дифференцированный зачет для итогового контроля.
--	--------	--

2.2. Дисциплинарная карта компетенции ПК-3

Код ПК-3	Формулировка компетенции Способность планировать, проводить и анализировать результаты экспериментальных исследований ламинарных и турбулентных течений непроводящих, проводящих и магнитных жидкостей
Код ПК-3. Б1.В.02.01	Формулировка дисциплинарной части компетенции Способность планировать, проводить и анализировать результаты экспериментальных исследований реологически сложных сред.

Требования к компонентному составу части компетенции

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
В результате освоения компетенции студент: Знает: - 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 (3 ПК-3);	Лекции. Самостоятельная работа студентов по изучению теоретического и при подготовке к семинарам.	Устный опрос для текущего и промежуточного контроля.
Умеет: - планировать проведение экспериментов, анализировать и интерпретировать экспериментальные данные по изучению поведения жидких и газообразных сред (У ПК-3).	Самостоятельная работа студентов (подготовка к лекциям), ведение текущей научно-исследовательской работы	Выполнение индивидуального плана аспирантов, в части публикаций и участия в конференциях. Дифференцированный зачет для итогового контроля.

3. Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Объем и виды учебной работы

№ п.п.	Виды учебной работы	Трудоёмкость, ч			
		по семестрам			всего
		1й	2й	3й	
1	2				4
1	Аудиторная работа	28	-	-	28
	- лекции (Л)	28	-	-	28
	- лабораторные работы (ЛР)	-	-	-	-
	-семинары (ПЗ)	-	-	-	-
2	Контроль самостоятельной работы (КСР)	8	-	-	8
3	Самостоятельная работа студентов (СРС)	-	36	34	70
	- изучение теоретического материала	-	36	34	70

	- подготовка к семинарам	-	-	-	-
4	Итоговая аттестация по дисциплине: <i>дифференцированный зачёт</i>	-	-	2	2
5	Трудоёмкость дисциплины, всего: в часах (ч) в зачётных единицах (ЗЕ)	36 1	36 1	36 1	108 3

4. Содержание учебной дисциплины

4.1 Модульный тематический план

Тематический план по модулям учебной дисциплины

Тематический план по модулям учебной дисциплины										
Номер учеб- ного мо- дуля	Номер раз- дела дисци- плины	Номер темы дисципл ины	Количество часов (очная форма обучения)							Трудоём кость, ч / ЗЕ
			аудиторная работа					итогова я аттеста ция	самос тояте льная работ а	
			всего	Л	ПЗ	ЛР	КСР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1		Введение	1	1	-	-	-	-	-	1
	1	1	2	2	-	-	-	-	5	7
		2	2	2	-	-	-	-	5	7
		3	3	2	-	-	1	-	5	8
	2	4	2	2	-	-		-	5	7
		5	3	2	-	-	1	-	5	8
	3	6	2	2	-	-		-	5	7
		7	2	1	-	-	1	-	5	7
	4	8	3	2	-	-	1	-	5	8
	5	9	2	2	-	-		-	5	7
		10	2	2	-	-		-	5	7
		11	2	1	-	-	1	-	5	7
	6	12	2	1	-	-	1	-	5	7
	7	13	3	2	-	-	1	-	5	8
	8	14	5	4	-	-	1	-	5	10
Итого по модулю:			32	28	-	-	8	-	70	106/2.94
Итоговая аттестация			-	-	-	-	-	2	-	2/0.056
Всего:			32	28	-	-	8	2	70	108/3

4.2. Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Введение.

Л – 1ч.

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

Раздел 1. Классификация неньютоновских жидкостей

Л – 6 ч., КСР – 1 ч., СРС – 15 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.

Разделы 2. Течения в реометрических системах

Л – 4 ч., КСР – 1 ч., СРС – 10 ч.

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.

Разделы 3. Течения в реометрических системах

Л – 3 ч., КСР – 1 ч., СРС – 10 ч.

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.

Раздел 4. Теория простой жидкости.

Л – 2 ч., КСР – 1 ч., СРС – 5 ч.

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.

Раздел 5. Уравнения состояния

Л – 5 ч., КСР – 1 ч., СРС – 15 ч.

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.

Раздел 6. Аналитические решения для плоскопараллельных течений реологически-сложных жидкостей

Л – 1 ч., КСР – 1 ч., СРС – 5 ч.

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.

Раздел 7. Двумерные течения реологически-сложных жидкостей

Л – 2 ч., КСР – 1 ч., СРС – 5 ч.

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.

Раздел 8. Жидкости с внутренним вращением

Л – 4 ч., КСР – 1 ч., СРС – 5 ч.

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. Виды самостоятельной работы студентов

Виды самостоятельной работы студентов (СРС)

Номер темы дисциплины	Вид самостоятельной работы студентов	Трудоёмкость, часов
1	2	3
1	изучение теоретического материала	5
2	изучение теоретического материала	5
3	изучение теоретического материала	5
4	изучение теоретического материала	5
5	изучение теоретического материала	5
6	изучение теоретического материала	5
7	изучение теоретического материала	5
8	изучение теоретического материала	5
9	изучение теоретического материала	5
10	изучение теоретического материала	5
11	изучение теоретического материала	5
12	изучение теоретического материала	5
13	изучение теоретического материала	5
14	изучение теоретического материала	5
	Итого: в ч / в ЗЕ	70/1,94

5. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены 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.

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 (ежедвухгодичная)
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 проектах РФФИ (индивидуально)

6. Управление и контроль освоения компетенций

6.1. Текущий контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

Текущий контроль освоения дисциплинарных частей компетенций проводится в форме:

- устного опроса.

6.2. Рубежный и промежуточный контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

Промежуточный контроль освоения дисциплинарных частей компетенций проводится по окончании каждого раздела дисциплины в форме:

- устного опроса.

6.3. Итоговый контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

1) Дифференцированный зачёт

Условия проставления зачёта по дисциплине:

- зачёт по дисциплине выставляется по итогам проведённого промежуточного контроля, результатам семинаров и самостоятельной работы.

2) Экзамен

Не предусмотрен.

6.4. Виды текущего, рубежного и итогового контроля освоения элементов и частей компетенций

Контролируемые результаты освоения дисциплины (ЗУВы)	Вид контроля			
	ТК	ПК	ЛР	Диф. зачёт
В результате освоения компетенции студент:				
Знает:				
- 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) (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 (ПК-3);	+	+		
Умеет:				
- ставить задачу в области механики жидкости и газа и применять современные методы её анализа (ПК-1);				+
- планировать проведение экспериментов, анализировать и интерпретировать экспериментальные данные по изучению поведения жидких и газообразных сред (ПК-3).				+

1-й семестр

2-й семестр

3-й семестр

[illegible]

КСР	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Изучение теоретического материала	2	2	3	3	3	3	3	2	1	2	2	1	2	2	1	2	-	-	34
Модуль:	М1																		
Устный опрос	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Дисциплинарны й Контроль																		+	диф. зачёт
Итого за семестр:																			36

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

СПИСОК ИЗДАНИЙ

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1	2	3
1. Основная литература		
1	У. Уилкинсон. Неньютоновские жидкости. М., Мир, 1964.	1
2	Дж. Астарита, Дж. Маруччи. Основы гидромеханики неньютоновских жидкостей. М., Мир, 1978. 309 с.	1
3	О.И.Скульский, С.Н.Аристов. Механика аномально вязких жидкостей. – Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2003. – 156 с.	10
4	Л.С.Артюшков. Динамика неньютоновских жидкостей. Учебник для вузов. Изд. 2-е дополненное и переработанное. СПб.: Изд. ГМТУ, 1997, 460 с.	0
5	Т.П.Любимова. О конвективных движениях неньютоновской жидкости в замкнутой полости, подогреваемой снизу. Изв. АН СССР, МЖГ, 1974, N 2, С.181-184.	1
6	Т.П.Любимова. Численное исследование конвекции вязкопластичной жидкости в замкнутой области. Изв. АН СССР, МЖГ, 1977, N 1, С.3-8.	1
7	М.И.Шлиомис. Динамика жидких парамагнетиков. Учебное пособие по спецкурсу. Пермь, ПГУ, 1983.	6
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	М.Рейнер. Реология. М.: Физматлит, 1965, 224 с.	1
2	К. Трусделл. Первоначальный курс рациональной механики сплошных сред. М.: Мир, 1975, 592 с.	0

3	Ф.А.Гарифуллин. Механика неньютоновских жидкостей. Казань: Фэн, 1998. 416 с.	0
4	Звягин В.Г., Воротников Д.А. Математические модели неньютоновских жидкостей. Учебное пособие. Воронеж, Изд-во ВГУ, 2004, 42 с.	0
2.2. Периодические издания		
1	Журнал «Вычислительная механика сплошных сред»	
2.3. Нормативно-технические издания		
2.4. Официальные издания		
2.5. Электронные информационно-образовательные ресурсы		
1	Полнотекстовая БД диссертаций РГБ	
2	Научная электронная библиотека РИНЦ (Elibrary)	
3	Университетские библиотеки г. Перми ONLINE	
4	Университетская информационная система Россия	

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

9.1. Специализированные лаборатории и классы

№ п.п.	Помещения			Площадь, м ²	Количество посадочных мест
	Название	Принадлежность (кафедра)	Номер аудитории		
1	2	3	4	5	6
1.	Лекционная мультимедийная аудитория	ИМСС, корп. А	ауд.321	72	30
2.	Лекционная мультимедийная аудитория	ИМСС, корп. Б	ауд.233	72	30
3.	Компьютерный класс	ИМСС, корп. А	ауд.220	72	10

9.2. Основное учебное оборудование

№ п.п.	Наименование и марка оборудования (стенда, макета, плаката)	Кол-во, ед.	Форма приобретения / владения (собственность, оперативное управление, аренда и т.п.)	Номер аудитории
1	2	3	4	5
1	Компьютеры	10	оперативное управление	220