

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.



Директор ПФИЦ УрО РАН
Чл. корр. РАН А.А. Барях

«28» сентября 2018 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ
«Динамика магнитных 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 Динамика магнитных 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. Гидродинамика неньютоновских жидкостей
2. Современные экспериментальные методы

участвующей в формировании компетенций совместно с данной дисциплиной.

| | | | |
|-------------|---|--------------------------------------|---|
| Разработчик | <u>к.ф.-м.н. <i>Доценко</i></u> (учёная степень, звание) | <u><i>[подпись]</i></u> (подпись) | <u>Иванов А.С.</u> (инициалы, фамилия) |
| Рецензент: | <u>д.ф.-м.н., профессор</u> (учёная степень, звание) | <u><i>[подпись]</i></u> (подпись) | <u>Райхер Ю.Л.</u> (инициалы, фамилия) |

1. Общие положения

1.1. Цель учебной дисциплины

Дисциплина «Динамика магнитных жидкостей» является частью подготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации. Курс предназначен для формирования системы знаний и основных понятий по современным разделам механики магнитных жидкостей (нанодисперстных магнитных суспензий). Отличительной особенностью магнитных жидкостей является уникальное сочетание текучести с высокой магнитной проницаемостью, что позволяет управлять их свойствами с помощью магнитного поля. В настоящее время магнитные жидкости широко используются в высокотехнологичных механизмах и устройствах, использующихся в аэрокосмической технике, производстве высокочистых материалов, аудиотехнике, сепарации цветных металлов, при производстве шахтного оборудования и пр. Наука о магнитных жидкостях находится на стыке механики, коллоидной химии и физики магнитных явлений.

В процессе изучения данной дисциплины аспирант расширяет и углубляет следующие компетенции:

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

В результате изучения дисциплины обучающийся должен

знать

- физико-химические свойства магнитных жидкостей;
- общие принципы решения исследовательских и практических задач, связанных с использованием магнитных жидкостей, в том числе в междисциплинарных областях.

уметь

- ставить задачу и планировать последовательность работ при изучении динамики магнитных жидкостей;
- планировать проведение экспериментов, анализировать и интерпретировать экспериментальные данные.

владеть

- методами формализации задач и анализа имеющейся информации (результатов механических и физических экспериментов);
- практическими навыками и знаниями использования результатов современных исследований в данной области.

1.2. Задачами учебной дисциплины являются овладение методами и приемами постановки и решения методикой гранулометрического анализа, а также изучение:

- основных приемов и методов решения задач по динамике магнитных жидкостей, основных проблем, связанных с применением магнитных жидкостей;
- фундаментальных и прикладных проблем, разрабатываемых в настоящее время в мировой науке и открывающих новые возможности для практического использования магнитных жидкостей;
- адекватных качественных формулировок и физически обоснованных соотношений, описывающих поведение магнитных жидкостей во внешних полях;

1.3. Предметами освоения дисциплины являются:

- коллоидные растворы;
- основные магнитные величины и единицы измерения;
- законы намагничивания разбавленных и концентрированных растворов;

- динамика намагничивания;
- эффекты, связанные с межчастичными взаимодействиями;
- уравнения для пондеромоторных сил и магнитного скачка давлений на межфазной границе;
- уравнение движения и уравнение Бернулли для магнитной жидкости;
- условия существования термомагнитной конвекции;
- уравнение массопереноса в магнитной жидкости, включая магнитофорез, седиментацию и диффузию коллоидных частиц.

1.4. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Динамика магнитных жидкостей» Б1.В.ДВ2.2 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. Считается, что аспиранты знакомы с уравнениями движения вязкой жидкости, уравнениями тепло- и массопереноса в жидких средах и основными уравнениями электродинамики сплошных сред.

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

| | |
|-------------------------------------|---|
| 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.ДВ2.2 | Формулировка дисциплинарной части компетенции |
| | Способность проведения научных исследований в области динамики магнитных жидкостей, ставить и решать конкретные фундаментальные и прикладные задачи динамики магнитных жидкостей. |

Требования к компонентному составу части компетенции

| Перечень компонентов | Виды учебной работы | Средства оценки |
|---|--|--|
| В результате освоения компетенции аспирант: 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) (3 ПК-1); | Лекции, самостоятельная работа аспирантов по изучению теоретического материала | 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 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

| | |
|-----------------------------|--|
| 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.ДВ2.2 | Формулировка дисциплинарной части компетенции Способность планировать, проводить и анализировать результаты экспериментальных исследований физических свойств и динамики магнитных жидкостей. |

Требования к компонентному составу части компетенции

| Перечень компонентов | Виды учебной работы | Средства оценки |
|--|---|---|
| В результате освоения компетенции аспирант: 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 (З ПК-3); | Лекции, самостоятельная работа аспирантов по изучению теоретического материала | 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 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 | Аудиторная работа | 14 | - | 14 |
| | - лекции (Л) | 14 | - | 14 |
| | - практические занятия (ПЗ) | 2 | - | 2 |
| 2 | Контроль самостоятельной работы (КСР) | - | - | - |
| 3 | Самостоятельная работа (СР) | 36 | 52 | 90 |
| | - изучение теоретического материала | 36 | 52 | 90 |
| 4 | Итоговая аттестация по дисциплине: Зачёт | 2 | 2 | 4 |
| 5 | Трудоёмкость дисциплины, всего: в часах (ч) в зачётных единицах (ЗЕ) | 54 1,5 | 54 1,5 | 108 3 |

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- кость, 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 | 3 | 3 | - | - | - | - | 14 | 17 |
| | | 2 | 3 | 1 | 2 | - | - | - | 15 | 18 |
| | | 3 | 3 | 3 | - | - | - | - | 19 | 22 |
| | | 4 | 2 | 2 | - | - | - | - | 11 | 13 |
| | | 5 | 2 | 2 | - | - | - | - | 12 | 14 |
| | | 6 | 2 | 2 | - | - | - | - | 17 | 19 |
| Итого по модулю: | | | 16 | 14 | 2 | - | - | - | 88 | 104 |
| Итоговая аттестация | | | | | | | | 4 | | 4 |
| Всего: | | | 16 | 14 | 2 | | | 4 | 88 | 108/3 |

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. Общее представление о магнитных жидкостях. Коллоидные растворы и суспензии. Основные свойства и применение магнитных жидкостей (уплотнения и громкоговорители, магнитная сепарация, магнитожидкостный акселерометр, термомагнитный насос, гипертермия опухолей). Основные магнитные величины и соотношения между ними. Единицы измерения в системах СИ и СГС. Размагничивающий фактор, его роль в технике магнитных измерений. Силы Ван-дер-Ваальса. Стабилизация коллоидных растворов.

Тема 2. Взаимодействие магнитной жидкости с внешним полем. Равновесная намагниченность разбавленных растворов и ее асимптотики для монодисперсного ферроколлоида. Полидисперсность магнитных жидкостей и ее учет в теории Ланжевена.

Практическое занятие: Магнито-гранулометрический анализ разбавленных ферроколлоидов. Расчет равновесной намагниченности разбавленных магнитных жидкостей.

Тема 3. Массоперенос в магнитных жидкостях. Диффузия коллоидных частиц. Уравнение диффузии. Формула Эйнштейна для коэффициента диффузии коллоидных частиц. Оценки для коллоидов магнетита. Магнитофорез. Уравнение массопереноса для магнитной жидкости. Равновесное распределение магнитных частиц в разбавленном растворе.

Тема 4. Межчастичные взаимодействия. Магнитное поле однородно намагниченного шара (коллоидной частицы). Энергия диполь-дипольных межчастичных взаимодействий. Параметр агрегирования. Проблема учета диполь-дипольных межчастичных взаимодействий. Модель Вейсса эффективного поля. Модифицированная модель эффективного поля. Учет межчастичных взаимодействий в гранулометрическом анализе.

Тема 5. Квазиравновесная феррогидродинамика. Уравнение движения магнитной жидкости. Уравнение Бернулли для магнитной жидкости. Силы, действующие на тело, погруженное в магнитную жидкость. Магнитный скачок давления на межфазной границе. Термомагнитная конвекция и термомагнитный насос.

Тема 6. Переходные процессы в магнитных жидкостях. Релаксационное уравнение для намагниченности. Примеры релаксационных процессов. Динамическая восприимчивость монодисперсного ферроколлоида (формулы Дебая). Эффективная вязкость магнитной жидкости во внешнем поле. Ротационный эффект.

4.3 Перечень тем практических занятий

ПЗ – 2 ч.

Практические занятия по дисциплине предназначены для закрепления знаний, полученных в лекционном курсе, и приобретению навыков использования этих знаний на практике.

В частности, аспирантам предлагается определить дисперсный состав коллоидных частиц для феррожидкостей различной концентрации на основе кривой намагничивания. Провести анализ результатов, полученных с помощью различных теоретических моделей. Вести корректировку данных с учетом диполь-дипольных взаимодействий в концентрированных феррожидкостях.

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 | Плесская конференция по нанодисперсным магнитным жидкостям (с периодичностью два года) |
| 6 | Участие в Российских и международных конференциях различного уровня |
| 7 | Участие в проектах РНФ, РФФИ (индивидуально) |

5. Методические указания по изучению дисциплины

Аспирантам

Изучение учебной дисциплины должно проводиться систематически. 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

Для успешного освоения дисциплины применяются различные образовательные технологии, которые обеспечивают достижение планируемых результатов согласно основной профессиональной образовательной программы.

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.

Проведение практических занятий основывается на методе обучения, при котором аспиранты взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом преобладает активность аспирантов в процессе обучения, преподаватель же направляет деятельность аспирантов на достижение целей занятия.

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 |
| В результате освоения компетенции аспирант: 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) (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 (3 ПК-3); | | | | |
| Умеет: | | | | |
| - ставить задачу в области механики жидкости и газа и применять современные методы её анализа (У ПК-1); | | | | + |
| - планировать проведение экспериментов, анализировать и интерпретировать экспериментальные данные по изучению поведения жидких и газообразных сред (У ПК-3). | | | | + |

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 |
| 1 Основная литература | | |
| 1 | Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред М.: Физматлит, 2005, 656. Учебник | 1 |
| 2 | Розенцвейг Р. Феррогидродинамика. М."Мир". 1989, 357. Монография | 1 |
| 2 Дополнительная литература | | |
| 2.1 Учебные и научные издания | | |
| 1 | Берковский Б.М. и др. Магнитные жидкости. М. "Химия", 1989. | 1 |
| 2 | Шлиомис М.И. Магнитные жидкости. УФН, 1974, т. 112, с. 427-457. https://ufn.ru/ru/articles/1974/3/b/ | 0 |
| 3 | Pshenichnikov A.F., Elfimova E.A., Ivanov A.O. Magnetophoresis, sedimentation and diffusion of particles in concentrated magnetic fluids . J. Chem. Phys. 2011. Vol. 134. 184508. https://science.urfu.ru/ru/publications/magnetophoresis-sedimentation-and-diffusion-of-particles-in-conce https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.3586806 | 0 |
| 2.2 Периодические издания | | |
| 1 | Журнал «Вычислительная механика сплошных сред» http://www2.icmm.ru/journal/cont.htm | |
| 2 | Журнал «Известия РАН. Механика твердого тела», http://mtt.ipmnet.ru/ru | |
| 3 | Журнал «Известия РАН. Механика жидкости и газа» http://mzg.ipmnet.ru/ru | |
| 4 | Вестник ПНИПУ. «Механика» журнал / Пермский национальный исследовательский политехнический университет; Под ред. А. А. Ташкинова. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, с 2012 г. http://vestnik.pstu.ru/mechanics/about/inf/ | |

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

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 |

