

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Драгунов В.К.

« 16 » июня 2015 г.



Программа аспирантуры

Направление 15.06.01 Машиностроение

Направленность (специальность) 05.04.13 Гидравлические машины, гидропневмоагрегаты

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины по выбору

«Нерешенные проблемы теоретической и вычислительной механики
текучих сред»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.2.2

Всего: 108 часов

Семестр 3, в том числе 6 часов – контактная работа,
84 часа – самостоятельная работа,
18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 15.06.01 Машиностроение, утвержденного приказом Минобрнауки России от 30 июля 2014 г. № 881, и паспорта специальности 05.04.13 «Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты» номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 10 января 2012 г. № 5.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является ознакомление и раскрытие направления прогресса в до конца нерешенных проблем теоретической и вычислительной механики текучих сред.

Задачами дисциплины являются:

- раскрыть исходные представления о молекулярно-атомном строении вещества и переходе к макроскопическим моделям реальных сплошных сред;
- представить существо статистических и феноменологических подходов в физико-математических моделях кинетики и динамики текучих сред.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность формулировать и решать нетиповые задачи математического, физического, конструкторского и технологического характера при проектировании лопастных гидромашин (ПК-2).
- способность научно обоснованно оценивать новые решения в области построения и моделирования гидравлических машин, гидро- и пневмоприводов, систем гидро-и пневмоавтоматики (ПК-3)

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать:

- исходные представления о молекулярно-атомном строении веществ и возможность перехода к моделям сплошных сред (УК-1, ОПК-1);
- понятие об основополагающих субстанциях состояния вещества – поля и функциях процесса в динамике текучих сред (УК-2, ОПК-2);

- существо статических и феноменологических подходов в физико-математических моделях кинетики и динамики текучих сред (УК-1, УК-2; ОПК-1, ОПК-2).

уметь:

- на общепрофессиональном уровне анализировать развитие физико-математических моделей и расчетных методов исследования турбулентных течений по мере развития компьютерной техники и технологий (ОПК-1);

- выявлять предпочтения и ограничения полуэмпирических моделей турбулентности различных поколений (ОПК-1, ОПК-2);

- критически анализировать новые идеи, включая известные подходы прямого решения уравнений динамики текучих сред на сверхкритических режимах движения (ОПК-2).

владеть:

- практическими методами компьютерного решения 3D и 3 D_t прямых гидродинамических задач, в том числе для проточных частей лопастных гидромашин (ПК-1);

- постановкой и корректной реализацией компьютерного эксперимента с численным решением прямых и обратных гидродинамических задач для лопастных гидромашин на базе специализированных и универсальных программных продуктов (ПК-2, ПК-3);

- профессиональными методами достижения оптимизированных гидродинамических качеств проточных частей в процессах проектирования конкурентоспособных гидравлических турбин и насосов (ПК-3).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

Система фундаментальных уравнений динамики текучих сред (10 часов)

Исходные основополагающие представления о молекулярно-атомном строении вещества и обоснование гипотез сплошности и текучести сред в жидком, либо газообразном агрегатном состоянии при макроскопическом описании их движений. Физические субстанции фундаментальных законов

сохранения вещества, энергии, баланса количества и момента количества движения: плотность, удельная внутренняя энергия, скорость. Температура и давление – как измеряемые макроскопические проявления изменений плотности, внутренней энергии и количества движения физической точки.

Понятия ньютоновской жидкости и «симметричной» механики жидкости и газа. Изотропия, отсутствие распределенных моментов сил.

Нелинейность и не замкнутость системы фундаментальных уравнений динамики сплошных сред.

Проблемы замыкания уравнений механики жидкости и газа (10 часов)

Статистический и феноменологический подходы к моделированию динамики сплошных сред.

Феноменологический характер математических моделей описания докритических, критических и сверхкритических по числам Рейнольдса для «basic stream», динамики текучих сред. Понятие равновесной термодинамики и эргодических термодинамических процессов. Существующие гипотезы: локальные законы и приближения для связей тензора напряжений с тензором скоростей деформации, термодинамического давления с гидродинамическим, внутренней энергии физической точки в континууме элементарных частиц жидкостей (газов), а также поступающей в нее энергии извне с абсолютной температурой. Обобщенная гипотеза Ньютона и модель Навье-Стокса, законы Джоуля и Фурье, уравнения термодинамического состояния на основе подходов равновесной и неравновесной термодинамики.

Проблемы описания турбулентных течений (20 часов)

Частотно-волновое осреднение сильно неоднородных распределений функций поля в $3D_t$ континуальных пространствах. Уравнения Рейнольдса как модификация уравнений Навье-Стокса для развитых турбулентных течений. «Лишние» неизвестные. Тензор напряжений Рейнольдса (ТНР) для осредненных вторых одноточечных моментов пульсаций скорости. Уравнения

переноса для компонент ТНР как подмножество информационного множества модели Навье-Стокса. Неограниченная последовательность уравнений Келлера-Фридмана для осредненных одноточечных моментов пульсации функций поля с непрерывно повышающимся на единицу порядком.

Полуэмпирические модели турбулентности (МТ), их развитие от Буссенеска до наших дней. МТ первого поколения. Выдающийся вклад Прандтля, Тейлора, Кармана, Колмогорова, Обухова, Миллионщикова и др. выдающихся гидромехаников. МТ второго, третьего и четвертого поколений, соответственно: «k», «k- ξ », «LPP» МТ с дифференциальными уравнениями в частных производных (ДУЧП) для кинетической энергии турбулентных пульсаций, скорости ее диссипации, системы ДУЧП переноса компонент ТНР. Возможности и ограничения данных моделей. Эмпирические коэффициенты. Предпочтения при выборе МТ для расчета.

Новые идеи при разработке более адекватных действительности моделей турбулентных течений и методов их решений. ДУЧП в таких моделях.

Проблемы численной реализации задач описания турбулентных течений (25 часов)

Физическое (ФМ) и математическое моделирование (ММ) в вычислительной гидрогазодинамике. Взаимозависимость степени сложности ФМ и ММ от вида расчетной области течения. Внутренние и внешние задачи механики. Корректная постановка решаемой задачи. Формулировка начальных и краевых условий (НКУ) для ДУЧП эллиптического, гиперболического и параболического типов. Принципиальные трудности в задании НКУ и способы их преодоления. Существующие представления о характере взаимодействия твердой и текучей фаз на границах расчетной области.

Попытки прямого численного решения уравнений Навье-Стокса при сверхкритических числах Рейнольдса. Причины отсутствия позитивных результатов. Совокупное применение ДУЧП Рейнольдса и уравнений принятой полуэмпирической МТ.

Выбор численного метода расчета при разработке алгоритма компьютерного решения 2D, 2D_t, 3D и 3D_t задач МЖГ. Локальные и глобальные численные методы – обзор и существо МКР, МВН, МГЭ, их преимущества и недостатки, рекомендации к применению. Проблемы сходимости, точности и устойчивости решения.

Способы высокоточного описания границ исследуемой области течения и формирования 2D и 3D расчетных сеток. Обзор и существо итерационных методов расчета.

Специфические проблемы решения 3D и 3D_t гидродинамических задач для мощных лопастных гидромашин (25 часов)

Сложные геометрические формы проточных частей крупных и мощных гидротурбин и насосов. Существенно трехмерное и принципиально нестационарное течение рабочего тела при сверхкритических числах Рейнольдса основного потока. Необходимость при решении прямых и обратных гидродинамических задач на современном уровне привлечения компьютерных технологий в общей 3D_t постановке с вычислительными средствами повышенных возможностей по быстродействию, оперативной и базовой внешней памяти.

Применение метода обращения основных дифференциальных операторов многомерной теории поля. Интегральные представления и уравнения в применении к теории решеток лопастных гидромашин.

Многосвязность расчетной области течения. Обеспечение единственности решения привлечением обобщенной гипотезы Жуковского-Чаплыгина для закрученных следов для лопастей рабочих колес и лопаток направляющих аппаратов. Сращивание гидродинамических полей для подобластей с неподвижными и перемещающимися в пространстве границами – вращающимися и поворотными в процессах регулирования режимов работы гидромашин.

Проблемы компьютерной оптимизации интегральных и локальных гидродинамических качеств проточного тракта и рабочих органов крупных гидромашин. Примеры применения $3D_t$ метода интегральных уравнений и представлений теории поля для решеток турбомашин. Постановка и реализация компьютерного эксперимента.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины:

2 семестр— дифференцированный зачет.

Вопросы для самоконтроля и проведения зачета

Теоретическая часть

1. Физические основания гипотезы сплошности и свойства текучести жидкостей и газов.
2. Физические субстанции фундаментальных законов сохранения и баланса для сплошных сред как функции состояния.
3. Температура и давление как функции термомеханического процесса.
4. Понятия ньютоновской жидкости и «симметричной» механики текучих сред.
5. Феноменологический характер математических моделей динамики текучих сред.
6. Нелинейность и не замкнутость исходных фундаментальных уравнений динамики жидкости и газа.
7. Методы замыкания. Гипотеза Ньютона и модель Навье-Стокса, уравнения термодинамического состояния.
8. Уравнения Рейнольдса для развитых турбулентных течений.
9. Проблема «лишних» неизвестных и способы замыкания системы уравнений динамики в турбулентных потоках.

10. Полуэмпирические модели турбулентности различных поколений и их существо.
11. Развитие моделей турбулентности по мере роста вычислительных ресурсов.
12. Основные процедуры постановки и реализации компьютерного эксперимента, «проклятие» размерности.
13. Формулировка и трудности в задании начально-краевых условий.
14. Глобальные и локальные методы численных расчетов в гидродинамических задачах, их краткий обзор.
15. Метод обращения дифференциальных операторов и методы граничных интегральных уравнений.

Практические вопросы

1. Составить блок-схемы задания исходных данных при численной реализации конкретного гидродинамического процесса на базе специализированного программного продукта МЭИ.
2. Составить блок-схемы задания исходных данных при численной реализации конкретного гидродинамического процесса на базе программного продукта (ANSIS, FLOWVISION и др.).
3. Предложить концептуальную схему постановки компьютерного эксперимента при решении оптимизационной задачи проектирования на базе совокупности реализации серии прямых гидродинамических задач.
4. На примере конкретной реализации численного гидродинамического расчета **по специализированному программному продукту** проанализировать качество полученного решения.
5. На примере конкретной реализации численного гидродинамического расчета **по универсальному программному продукту** проанализировать качество полученного решения.
6. Сопоставить вычислительные и сервисные возможности используемых специализированного и универсального вычислительных продуктов описания

динамики текучих сред с выявлением аспектов очевидного предпочтения в их выборе.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Моргунов Г.М. Развитие физико-математических моделей динамики сплошных сред. Часть 1. /Насосы и оборудование. 2013, № 3(80), с. 38-44.
2. Моргунов Г.М. Развитие физико-математических моделей динамики сплошных сред. Часть 2. /Насосы и оборудование. 2013, № 4(81) – 5(82), с.70-74.
3. Волков К.Н., Емельянов В.Н. Моделирование крупных вихрей в расчетах турбулентных течений. –М.: Физмат, 2008, - 368 с.
4. Моргунов Г.М. Расчет безотрывного обтекания пространственных лопастных систем с учетом вязкости. //изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. 1985, № 1, с. 117-126.
5. Моргунов Г.М. Математическая модель решения гидродинамической трехмерной обратной задачи для лопастных систем турбомашин./Вестник МЭИ. 2003, №2, с. 10-14.
6. Беляев И.А. Моделирование турбулентных течений. – СПб.: БГТУ, 2001. – 108 с.

Дополнительная литература:

7. Моргунов Г.М. Явления пластической деформации в твердых телах и турбулентного перехода в текучих средах/Матер. V МНПК«Фундаментальная наука и развитие», т.1, февр. 2015. США, Сев. Чарлстон, с. 147-156 (на англ.).
8. Моргунов Г.М. Дискретное разложение функций поля по их частотно-волновым спектрам для сильно возмущенной динамики сплошных сред/Матер. III МНПК «Направл. развития фундамент. и прикладных наук», т.1, апрель 2014, США, Сев. Чарлстон, С. 162-166.

9. Моргунов Г.М. Эпистема истинности в динамике сплошных сред»/ Матер. VI МНПК «Направл. развития фундамент. и прикладных наук», т.1, июнь 2015, США, Сев. Чарлстон, С. 144-148.