

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

«Физико-математические модели гидрогазодинамики лопастных машин
и алгоритмы их компьютерной реализации»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.3.2

Всего: 72 часа

Семестр 5, в том числе 6 часов – контактная работа,
48 часов – 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 раскрытие существа современных физико-математических моделей гидродинамики лопастных машин и алгоритмов компьютерной реализации этих моделей.

Задачами дисциплины являются:

- раскрыть основные процедуры в этапах концептуально и итерационного структурно-параметрического синтеза высокоэффективных по эксплуатационным показателям лопастных гидромашин;
- освоение слушателями наиболее эффективных численных методов решения гидродинамических задач в общей трехмерной нестационарной постановке при реализации соответствующих компьютерных экспериментов

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

- способностью организовать и проводить научные исследования и проектирование гидравлических и пневматических систем и агрегатов (ПК-1);
- 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:

- общие закономерности физических процессов, определяющие гидродинамические характеристики лопастных гидромашин(УК1, ОПК-1);

- методы математического моделирования течений в проточных частях и рабочих органах данных объектов(ОПК-2);

- методы системно-креативного проектирования лопастных гидромашин с оптимизированными показателями качества (УК2, ОПК-5).

уметь:

- применять основополагающие знания механики текучих сред гидродинамической теории лопастных гидромашин (ОПК-1);

- формировать физико-математические модели гидродинамики лопастных машин в трехмерных и трехмерных нестационарных постановках (ОПК-2);

- формировать и достигать конкурентоспособных показателей надежности, экологических и энергокавитационных качеств гидротурбин и насосов (ОПК-5).

владеть:

- способами установления объективных оценок негативного влияния надсистемных возмущений на надежность функционирования и энергоэффективность гидравлических машин (ПК-1);

- современными методами исследования гидродинамических характеристик лопастных гидромашин (ПК-2);

- системно-креативным подходом к проектированию оптимизированных по надежности и энергокавитационным свойствам гидротурбин и динамических насосов (ПК-3).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

Проблемы совершенствования рабочего процесса лопастных гидромашин

(10 часов)

Социально обусловленная необходимость дальнейшего повышения надежности, экологических, энергокавитационных, вибрационных, массо-габаритных, динамических, стоимостных и др. показателей лопастных гидромашин. Современное состояние, нерешенные задачи. Лопастная гидромашинка как исполнительный орган выработки (турбина), либо

потребления (насос) электромеханической энергии. Формирование массивов переменных воздействий, целевых функций (показателей работоспособности), ограничений, функционалов качества. Формулировки основных проблем экспериментального и расчетно-теоретического исследования (прямые задачи – ПЗ) и проектирования (обратные задачи – ОЗ) гидромашин.

Одно- (1D) и двух-(2D) мерные прямые и обратные гидродинамические задачи для лопастных гидромашин (ЛГМ) (20 часов)

Качественное и количественное решение обратной задачи методом итерационной реализации прямой и обратной 1D гидродинамических задач.

Двумерные 2D – неплоские методы решения прямой ПЗ и обратной ОЗ задач для лопастных систем гидромашин. Физическая модель течения в рабочих колесах. Понятие слоя переменной толщины (СПТ). Дифференциальные уравнения потенциального течения в СПТ. Понятие обобщенных аналитических функций и их использование в теории решеток для течений в СПТ. Математическая модель решения ПЗ теории решеток методом интегральных уравнений. Постановка краевой задачи. Обобщенная гипотеза Жуковского – Чаплыгина. Методы Лесохина, Викторова, Раухмана. Особенности численной реализации. Физическая и математическая модели решения ОЗ для решеток профилей в СПТ методом особенностей. Основные подходы к ее приближенной реализации. Метод проектирования лопастных систем с использованием решения ОЗ методом особенностей для телесных профилей в СПТ. Нерешенные проблемы.

Квазитрехмерные (Q – 3D) методы анализа и синтеза проточных частей и рабочих органов ЛГМ (8 часов)

Квазитрехмерный Q – 3D метод как взаимоувязанная совокупность решения двух предельных 2D задач на неколлинеарных семействах поверхностей тока S_1 и S_2 . Подходы Ву ЧжунХуа, Степанова. Прямая Q – 3D задача теории гидромашин. Асимптотический метод решения. Учет вязкости рабочей

жидкости при $Q - 3D$ расчете потока в гидромашине. Постановка и принципы компьютерной реализации ОЗ для лопастных систем при $Q - 3D$ подходе. Определение интегральных гидравлических показателей гидромашин на основе $Q - 3D$ метода расчета. Постановка задачи и основные допущения. Индуктивные потери и их анализ. Потери при отрыве потока и ударные потери на входных кромках лопастей. Определение параметров квазиоптимального режима работы. Прогнозирование кавитационных показателей рабочих колес гидромашин. Расчет гидродинамических сил и моментов, действующих на лопасти.

Трехмерные (3D) стационарные методы исследования обтекания и проектирования ЛГМ (28 часов)

Трехмерные 3D методы исследования стационарного обтекания и проектирование лопастных систем гидромашин. Состояние вопроса, достигнутые результаты. Используемые физические и математические модели. Их преимущества и недостатки. Постановки краевых задач. Моделирование турбулентности. Численные методы расчета. Метод интегральных уравнений и соотношений при решении ПЗ теории решеток с учетом вязкости и усредненных по времени турбулентных пульсаций в трехмерной постановке. Учет потерь механической энергии потока в пристенном слое. Система дифференциальных уравнений динамики и их интегральные представления на основе интегральных сингулярных уравнений для вектора скорости, уравнения Вольтерра для вектора вихря и интегрального представления для поля давления. Моделирование ближнего и дальнего закруточных следов. Обобщенный постулат Жуковского–Чаплыгина. Существо алгоритма, некоторые результаты расчетов и их интерпретация.

Математическая модель решения 3D обратной задачи для ЛГМ методом особенностей (10 часов)

Постановка решения пространственных ОЗ для лопастных систем методом особенностей. Математическая модель расчета. Функции поверхностных распределений вихрей и источников-стоков. Замкнутая система уравнений. Последовательность решения. Пример компьютерного расчета. Принципиальные трудности непосредственной реализации обратной задачи. Неоднозначность постановок и возможные их формулировки. Существо приближенного способа решения ОЗ в 3D постановке по совокупности реализаций прямых задач с применением метода планирования эксперимента. Постановка соответствующего компьютерного эксперимента. Примеры выполненных расчетов для гидротурбин, осевых и центробежных насосов.

Общие подходы к гидродинамическому расчету трехмерных нестационарных (3Dt) турбулентных течений в ЛГМ (14 часов)

Проблемы трехмерных нестационарных 3Dt гидродинамических расчетов течений в проточных частях гидромашин. Математические модели нестационарных течений жидкости в ЛГМ. Метод дискретных гидродинамических особенностей Белоцерковского. Физико-математические модели и подходы к расчету обтекания лопастных систем в режиме кавитации на различных стадиях ее развития. Существо подхода к итерационному решению 3Dt задач, базирующегося на дифференциальных уравнениях в эйлеровом и лагранжевом представлениях движения с последующим их обращением в интегральные соотношения трехмерной теории поля.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины:

5 семестр— дифференцированный зачет.

Вопросы для самоконтроля и проведения зачета

Теоретическая часть

1. Пространственный и нестационарный $3D_t$ характер потока в ЛГМ.
2. Общая $3D_t$ математическая модель описания течений в ЛГМ. Феноменологический аспект.
3. Корректная постановка начально-краевых прямой и обратной гидродинамических задач для ЛГМ. Возникающие трудности.
4. Развитие расчетно-теоретических методов исследования и проектирования ЛГМ – краткий обзор.
5. Одномерный 1D и квазиодномерный Q-1D методы расчета и проектирование. Основные причины сохранения их значимости.
6. Осесимметричная (2D) задача для ЛГМ в прямой и обратной постановках.
7. Математическая модель для решения прямой осесимметричной задачи.
8. «Решетчатая» 2D задача на осесимметричных поверхностях тока в слое переменной толщины. Прямая и обратные постановки.
9. Применение методов: сеточного, особенностей, интегральных уравнений в 2D «решетчатой» задаче.
10. Квазитрехмерные модели Q-3D расчета течений в ЛГМ. Существо методов Ву и Г.Ю. Степанова.
11. Метод Л.Г. Лойцянского определения профильных потерь в плоских прямых решетках профилей. Обобщение Б.С. Раухмана для неплоских 2D решеток профилей.
12. Развитие трехмерных 3D и четырехмерных $3D_t$ методов расчета течений в ЛГМ. Подходы к их использованию при проектировании проточных частей – краткий обзор.
13. Физико-математическое моделирование турбулентности в матмоделях потоков для ЛГМ. Основные полуэмпирические модели.

14. Особенности интегрального $3D_t$ метода МЭИ. Сравнение с другими $3D_t$ методами.
15. Принятая в $3D_t$ методе МЭИ система дифференциальных уравнений гидродинамики и ее обращение в интегральные представления и уравнения.
16. Постановка прямой и обратной $3D$ гидродинамических задач для лопастных систем гидромашин.
17. Особенности численной реализации $3D$ метода МЭИ на этапах расчета течений идеальной рабочей среды.
18. Подходы к оценке гидравлических потерь в $3D$ методе МЭИ (индукционные потери, использование «законов» стенки и дефекта скорости).

Практические: вопросы

19. Задать исходные данные для решения $3D$ задачи МЭИ применительно к конкретной лопастной системе ЛГМ.
20. Изложить полную интерпретацию результатов численного решения $3D$ задачи МЭИ для конкретной лопастной системы.
21. Предложить коррекцию геометрии лопастей и отводов проточной части для исследуемой ЛГМ с целью повышения ее качеств. Получить компьютерное решение.
22. Используя сервисную систему «Автокад», получить трехмерное изображение лопастей и проточной части в целях контроля правильного задания исходных данных при конкретной реализации $3D$ задачи МЭИ.
23. Используя сервисную систему «Автокад», получить наглядное трехмерное представление результатов конкретного численного решения $3D$ задачи МЭИ.

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.: Физматиз, 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.Моргунов Г.М. Совершенствование основного насосного оборудования в мощных теплоэнергетических установках. //Теплоэнергетика. 2013, № 2, с. 43-53.
- 7.Моргунов Г.М. Разработка насосов нового поколения питательной системы мощных энергоблоков. //Теплоэнергетика. 2013, № 2, с. 42-53.

Дополнительная литература:

- 8.Моргунов Г.М. Симметрические гидроэлектростанции и проточные части гидротурбин. //Вестник МЭИ, 2013, № 3, с. 11-19.
- 9.Моргунов Г.М. Радиально-осевая гидротурбина двойного регулирования и ее свойства. //Вестник МЭИ. 2006, № 3, с. 5-14.
10. Моргунов Г.М. Неоформализм динамики континуальных сред//World intellectual property organization, 2015.-22p.
<https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jst?docId-W02015016736>.

11. Моргунов Г.М., Горбань В.М., Панкратов С.Н., Волков А.В Численное решение прямой трехмерной гидродинамической задачи для исследования и проектирования лопастных систем гидромашин. Уч.пособие. – М.: Изд-во МЭИ. 2001. – 43 с.