

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»

Факультет компьютерных систем и информационных технологий

Кафедра прикладной математики

УТВЕРЖДАЮ:

Декан факультета компьютерных
систем и информационных технологий

Кочевский А.А.



19 » апреля 2023 года

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Численные методы решения гидроаэродинамических задач
гидропневмосистем»

По направлению подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение

Профиль: «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика»

Луганск – 2023 г.

Лист согласования РПУД


Рабочая программа учебной дисциплины «Численные методы решения гидроаэродинамических задач гидропневмосистем» по направлению подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение. – с.

Рабочая программа учебной дисциплины «Численные методы решения гидроаэродинамических задач гидропневмосистем» составлена с учетом Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от «28» февраля 2018 года № 145.

СОСТАВИТЕЛЬ:

докт. техн. наук, профессор Сёмин Д. А.


Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры прикладной математики «18» апреля 2023 г., протокол № 10

Заведующий кафедрой прикладной математики  В.В.Малый

Переутверждена: «__» _____ 20__ г., протокол № _____

Переутверждена: «__» _____ 20__ года, протокол № _____

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии факультета компьютерных систем и информационных технологий «__» _____ 20__ г., протокол № _____.

Председатель учебно-методической комиссии факультета компьютерных систем и информационных технологий  Н.Н. Ветрова.

© Сёмин Д. А., 2023 год

© ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля», 2023 год

Структура и содержание дисциплины

1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

Цель изучения дисциплины – овладение методологией и приобретение практических навыков численного решения учебных, прикладных и научных задач аэрогидромеханики реальных (вязких) сред.

Задачи: постановка гидродинамической задачи (выбор уравнения динамики, модели турбулентности, постановка граничных и начальных условий) и ее решение в одном из современных пакетов компьютерной гидродинамики, анализ полученного решения.

2. Место дисциплины в структуре ООП ВО.

Дисциплина «Численные методы решения гидроаэродинамических задач гидропневмосистем» входит в обязательную часть профессионального цикла дисциплин подготовки студентов по направлению подготовки 13.03.03 «Энергетическое машиностроение».

Необходимыми условиями для освоения дисциплины являются:

знания дифференциального и интегрального исчисления, векторной алгебры и теории поля, основных теорем и законов теории вероятностей;

умения применять законы теории для решения практических задач;

навыки постановки и решения задач разделов курса «математика».

Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания дисциплин: «Математика», «Физика», теоретическим фундаментом лабораторного практикума по обязательным дисциплинам профессионального цикла направления подготовки 13.03.03 «Энергетическое машиностроение» по профилю подготовки «Гидравлическая, вакуумная и компрессорная техника», выполнения квалификационной бакалаврской выпускной работы.

(ОПК-1); способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности

ОПК-1.1. Знать основные принципы современных информационных технологий и их место в технических системах.

ОПК-1.2. Уметь понимать принципы работы современных информационных технологий.

ОПК-1.3. Владеть навыками использования современных информационных технологий для решения задач профессиональной деятельности.

(ОПК-2); способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения

ОПК-2.1. Знать методику разработки алгоритмов и компьютерных программ для практического применения.

ОПК-2.2. Уметь разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы для решения технических задач в профессиональной деятельности.

ОПК-2.3. Владеть методиками разработки алгоритмов и компьютерных программ для практического применения в профессиональной деятельности.

(ОПК-3); способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

ОПК-3.1. Знать математический аппарат аналитической геометрии, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, функций комплексного переменного, теории вероятностей и математической статистики, численных методов; законы механики, термодинамики, электричества и магнетизма, основы оптики, квантовой механики и атомной физики; химические процессы.

ОПК-3.2. Уметь применять математический аппарат аналитической геометрии, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, функций комплексного переменного, теории рядов, теории вероятностей и математической статистики, численных методов; законы механики, термодинамики, электричества и магнетизма для решения типовых задач.

ОПК-3.3. Владеть математическим аппаратом аналитической геометрии, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, функций комплексного переменного, теории рядов, теории вероятностей и математической статистики, численных методов; навыками решения задач физики, описания физических явлений.

3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

Студенты, завершившие изучение дисциплины «Численные методы решения гидроаэродинамических задач гидроневмосистем» должны:

знать основные законы и уравнения механики жидких и газообразных сред, методологию их применения и методы численного решения;

уметь произвести выбор наиболее подходящего к решению данной задачи уравнения механики жидкости и газа и соответствующего ему метода численного решения;

владеть навыками работы в современных программных комплексах CFD, проведения численного гидроаэродинамического эксперимента.

(ОПК-1); способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности

ОПК-1.1. Знать основные принципы современных информационных технологий и их место в технических системах.

ОПК-1.2. Уметь понимать принципы работы современных информационных технологий.

ОПК-1.3. Владеть навыками использования современных информационных технологий для решения задач профессиональной деятельности.

(ОПК-2); способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения

ОПК-2.1. Знать методику разработки алгоритмов и компьютерных программ для практического применения.

ОПК-2.2. Уметь разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы для решения технических задач в профессиональной деятельности.

ОПК-2.3. Владеть методиками разработки алгоритмов и компьютерных программ для практического применения в профессиональной деятельности.

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов
ОПК-1. Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	ОПК-1.1. Знать основные принципы современных информационных технологий и их место в технических системах.	Знать: основные принципы современных информационных технологий и их место в гидродинамических расчетах гидропневмосистем.
	ОПК-1.2. Уметь понимать принципы работы современных информационных технологий.	Уметь: понимать принципы работы современных информационных технологий и их место в гидродинамических расчетах гидропневмосистем.
	ОПК-1.3. Владеть навыками использования современных информационных технологий для решения задач профессиональной деятельности.	Владеть: навыками использования современных информационных технологий для решения задач численного расчёта гидродинамики гидропневмосистем.

ОПК-2. Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения	ОПК-2.1. Знать методику разработки алгоритмов и компьютерных программ для практического применения.	Знать: методику разработки алгоритмов и компьютерных программ для практического решения задач численного расчёта гидродинамики гидропневмосистем.
	ОПК-2.2. Уметь разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы для решения технических задач в профессиональной деятельности.	Уметь: разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы для решения технических задач численного расчёта гидродинамики гидропневмосистем.
	ОПК-2.3. Владеть методиками разработки алгоритмов и компьютерных программ для практического применения в профессиональной деятельности.	Владеть: методиками разработки алгоритмов и компьютерных программ для практического численного расчёта гидродинамики гидропневмосистем
ОПК-3. Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	ОПК-3.1. Знать математический аппарат аналитической геометрии, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, функций комплексного переменного, теории вероятностей и математической статистики, численных методов; законы механики, термодинамики, электричества и магнетизма, основы оптики, квантовой механики и атомной физики; химические процессы.	Знать: математический аппарат аналитической геометрии, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, функций комплексного переменного, теории вероятностей и математической статистики, численных методов; законы механики, термодинамики.
	ОПК-3.2. Уметь применять математический аппарат аналитической геометрии, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, функций комплексного переменного, теории рядов, теории вероятностей и математической статистики, численных методов; законы механики,	Уметь: применять математический аппарат аналитической геометрии, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, функций комплексного переменного, теории рядов, теории вероятностей и математической статистики, численных методов; законы механики, термодинамики, для решения задач численного

	термодинамики, электричества и магнетизма для решения типовых задач.	расчета гидроаэродинамики гидропневмосистем.
	ОПК-3.3. Владеть математическим аппаратом аналитической геометрии, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, функций комплексного переменного, теории рядов, теории вероятностей и математической статистики, численных методов; навыками решения задач физики, описания физических явлений.	Владеть: математическим аппаратом аналитической геометрии, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, функций комплексного переменного, теории рядов, теории вероятностей и математической статистики, численных методов; навыками решения задач численного расчета гидроаэродинамики гидропневмосистем.

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов (зач. ед.)	
	Очная форма	Заочная форма
Общая учебная нагрузка (всего)	144 (4 зач. ед)	144 (4 зач. ед)
Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего) в том числе:	51	10
Лекции	34	6
Семинарские занятия	-	-
Практические занятия	17	4
Лабораторные работы	-	-
Курсовая работа (курсовой проект)	-	-
Другие формы и методы организации образовательного процесса	36	-
Самостоятельная работа студента (всего)	57	98
Итоговая аттестация	экзамен	экзамен

4.2. Содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Уравнения гидродинамики вязкой жидкости.

Свойство напряжений в движущейся вязкой жидкости. Уравнения динамики вязкой жидкости в напряжениях. Обобщение гипотезы Ньютона о нормальных и касательных напряжениях в вязкой жидкости на случай пространственного течения. Дифференциальные уравнения Навье-Стокса для движения реальной жидкости. Уравнения осредненного турбулентного движения жидкости - уравнения

Рейнольдса. Дополнительные касательные и нормальные напряжения. Гипотезы турбулентности.

Раздел 2. Численные методы решения уравнений гидродинамики вязкой жидкости.

Дискретизация дифференциальных уравнений движения. Расчетные сетки. Шаблоны. Конечно-разностные аналоги - (КРА). Методы дискретизации (метод конечных разностей, полиномиальная аппроксимация, интегральный метод, метод конечных элементов, метод контрольного объема). Основные понятия вычислительного процесса (устойчивость, сходимость, точность, погрешность, схемная вязкость, условия Куранта-Фридрихса-Леви - КФЛ).

Методы решения уравнения переноса вихря. Методы решения уравнений для функции тока. Граничные условия для уравнения переноса вихря и уравнения для функции тока. Начальные условия и расчет давления. Методы решения уравнений для простейших физических переменных.

Раздел 3. Решение задач гидродинамики вязкой жидкости в современных программных комплексах вычислительной гидродинамики - CFD. Программные комплексы «OpenFoam», «FlowVision», «ANSYS/CFX». Типовая структура комплексов (препроцессор, солвер, постпроцессор). Решение гидродинамической задачи в программном комплексе «FlowVision». Построение расчетной области. Выбор и построение расчетной сетки. Рациональный выбор уравнения динамики, постановка граничных и начальных условий. Анализ решения.

4.3. Лекции

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	<i>Раздел 1. Уравнения гидродинамики вязкой жидкости.</i> <i>Тема 1. Введение. Свойство напряжений в движущейся вязкой жидкости.</i>	2	-
2	<i>Тема 2. Уравнения динамики вязкой жидкости в напряжениях.</i>	2	-
3	<i>Тема 3. Обобщение гипотезы Ньютона о нормальных и касательных напряжениях в вязкой жидкости на случай пространственного течения..</i>	2	-
4	<i>Тема 4. Дифференциальные уравнения Навье-Стокса для движения реальной жидкости.</i>	2	-
5	<i>Тема 5. Уравнения осредненного турбулентного движения жидкости - уравнения Рейнольдса.</i>	2	-
6	<i>Тема 6. Дополнительные касательные и нормальные напряжения..</i>	2	-

7	Тема 7. Гипотезы турбулентности.	2	-
8	Раздел 2. Численные методы решения уравнений гидродинамики вязкой жидкости. Тема 8. Дискретизация дифференциальных уравнений движения.	2	-
9	Тема 9. Расчетные сетки. Шаблоны. Конечно-разностные аналоги - (КРА).	2	-
10	Тема 10. Методы дискретизации (метод конечных разностей, полиномиальная аппроксимация, интегральный метод, метод конечных элементов, метод контрольного объема).	2	-
11	Тема 11. Основные понятия вычислительного процесса (устойчивость, сходимость, точность, погрешность, схемная вязкость, условия Куранта-Фридрихса-Леви - КФЛ).	2	-
12	Тема 12. Методы решения уравнения переноса вихря. Методы решения уравнений для функции тока. Граничные условия для уравнения переноса вихря и уравнения для функции тока	2	-
13	Тема 13. Начальные условия и расчет давления. Методы решения уравнений для простейших физических переменных.	2	-
14	Типовая структура комплексов (препроцессор, солвер, постпроцессор). Программные комплексы «OpenFoam», «FlowVision», «ANSYS/CFX». Построение расчетной области. Выбор и построение расчетной сетки. Рациональный выбор уравнения динамики, постановка граничных и начальных условий. Анализ решения.	8	-
Итого:		34	-

4.4. Практические занятия

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Дифференциальные уравнения Навье-Стокса для движения реальной жидкости в линейной ортогональной, цилиндрической, сферической и произвольной системах координат.	2	-
2	Уравнения осредненного турбулентного движения жидкости - уравнения Рейнольдса линейной ортогональной системе координат.	2	-

3	Дифференциальные модели турбулентности «k-ε», «k-ω», SST. Константы моделей.	2	-
4	Методы дискретизации (метод конечных разностей, полиномиальная аппроксимация, интегральный метод, метод конечных элементов, метод контрольного объема).	2	-
5	Расчет давления и начальные условия. Методы решения уравнений для простейших физических переменных.	1	-
6	Типовая структура программных комплексов (препроцессор, солвер, постпроцессор). Решение гидродинамической задачи в комплексе «OpenFoam». Построение расчетной области. Выбор и построение расчетной сетки. Рациональный выбор уравнения динамики, постановка граничных и начальных условий. Анализ решения.	2	-
7	<i>Тема 15.</i> Решение гидродинамической задачи в программном комплексе «FlowVision».	2	-
8	<i>Тема 16.</i> Решение гидродинамической задачи в программном комплексе «ANSYS/CFX».	4	-
Итого:		17	-

4.5. Лабораторные работы учебным планом не предусмотрены.

4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов	
			Очная форма	Заочная форма
Семестр 6-й				
1	<i>Раздел 1. Уравнения гидродинамики вязкой жидкости.</i> Свойство напряжений в движущейся вязкой жидкости. Уравнения динамики вязкой жидкости в напряжениях. Обобщение гипотезы Ньютона о нормальных и касательных напряжениях в вязкой жидкости на случай пространственного течения. Дифференциальные уравнения Навье-Стокса для движения реальной жидкости. Уравнения осредненного	Поиск, анализ, структурирование и изучение информации по темам. Работа с конспектом лекций. Подготовка к практическим занятиям и к экзамену.	19	-

	турбулентного движения жидкости - уравнения Рейнольдса. Дополнительные касательные и нормальные напряжения. Гипотезы турбулентности.		
2	<p><i>Раздел 2. Численные методы решения уравнений гидродинамики вязкой жидкости.</i></p> <p>Дискретизация дифференциальных уравнений движения. Расчетные сетки. Шаблоны. Конечно-разностные аналоги - (КРА). Методы дискретизации (метод конечных разностей, полиномиальная аппроксимация, интегральный метод, метод конечных элементов, метод контрольного объема). Основные понятия вычислительного процесса (устойчивость, сходимость, точность, погрешность, схемная вязкость, условия Куранта-Фридрихса-Леви - КФЛ).</p> <p>Методы решения уравнения переноса вихря. Методы решения уравнений для функции тока. Граничные условия для уравнения переноса вихря и уравнения для функции тока. Начальные условия и расчет давления. Методы решения уравнений для простейших физических переменных.</p>	19	-
3	<p><i>Раздел 3. Решение задач гидродинамики вязкой жидкости в современных программных комплексах вычислительной гидродинамики - CFD.</i></p> <p>Программные комплексы «OpenFoam», «FlowVision», «ANSYS/CFX». Типовая</p>	19	-

	структура комплексов (препроцессор, солвер, постпроцессор). Построение расчетной области. Выбор и построение расчетной сетки. Рациональный выбор уравнения динамики, постановка граничных и начальных условий. Анализ решения.			
Итого:			57	-

4.7. Курсовые проекты. Учебным планом не предусмотрено.
5. Образовательные технологии.

Для достижения планируемых результатов освоения дисциплины «Численные методы решения гидроаэродинамических задач гидродневмосистем» используются следующие образовательные технологии:

1. Информационно-развивающие технологии.
2. Развивающие проблемно-ориентированные технологии.
3. Личностно ориентированные технологии обучения.

Методы / Форма организации обучения	Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа студента
Работа в команде		+	
Игра	+	+	
Методы проблемного обучения	+		+
Обучение на основе опыта	+	+	
Опережающая самостоятельная работа	+	+	+
Поисковый метод			+

6. Формы контроля освоения дисциплины

По данному курсу предусматриваются следующие формы контроля знаний:

- текущий контроль (самоконтроль);
- промежуточный контроль;
- итоговый контроль.

Текущая аттестация студентов производится в дискретные временные интервалы лектором и преподавателем, ведущими практические занятия по дисциплине, в следующих формах:

Комбинированный контроль (устный или письменный) усвоения теоретического материала и содержания практических занятий.

Фонды оценочных средств, включающие типовые задания и методы контроля, позволяющие оценить результаты обучающихся по данной дисциплине, помещаются в УМКД.

Итоговый контроль по результатам освоения дисциплины проходит в форме экзамена. Студенты, выполнившие 75% текущих и контрольных

мероприятий на «отлично», а остальные 25% на «хорошо», имеют право на получение итоговой оценки.

В зачетную книжку выставляются оценки по национальной шкале, приведенной в таблице.

Национальная шкала	Характеристика знания предмета и ответов	Зачеты
отлично (5)	Студент глубоко и в полном объеме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.	зачтено
хорошо (4)	Студент знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.	
удовлетворительно (3)	Студент знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно четкие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30% ошибок в излагаемых ответах.	

7. Учебно-методическое и программно-информационное обеспечение дисциплины:

а) основная литература:

1. Механика несжимаемых и сжимаемых жидкостей [Электронный ресурс] : учебник для вузов / А.Е. Зарянкин - М. : Издательский дом МЭИ, 2014. -

<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383009031.html>

2. Численное моделирование задач динамики и прочности деталей газотурбинных установок и двигателей [Электронный ресурс]: учебное пособие / Б.Е. Васильев - М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. Режим доступа:

<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785703849545.html>

3. Численное исследование задач внешней и внутренней аэродинамики [Электронный ресурс] / Башкин В.А., Егоров И.В - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2013. -

<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922115247.html>

4. Основы работы в ANSYS 17 [Электронный ресурс] / Федорова Н. Н., Вальгер С. А., Данилов М. Н., Захарова Ю. В. - М. : ДМК Пресс, 2017. Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970604250.html>

б) дополнительная литература:

1. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. В 2 т. Т. 1 / Д. Андерсон, Таннехилл Дж., Р. Плетчер; пер. с англ.: С. В. Сенина, Е. Ю. Шальмана; под ред. Г. Л. Подвидза. - М. : Мир, 1990. - 384 с.
2. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. В 2 т. Т. 2 / Д. Андерсон, Таннехилл Дж., Р. Плетчер; пер. с англ. С. В. Сенина, Е. Ю. Шальмана; под ред. Г. Л. Подвидза. - М. : Мир, 1990. - 392 с.
3. Башкин В.А., Численное моделирование динамики вязкого совершенного газа / Башкин В.А., Егоров И.В. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 372 с. - ISBN 978-5-9221-1265-9 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922112659.html>
4. Вычислительная аэродинамика в задачах строительства [Электронный ресурс] Учебное пособие./ А.М. Белостоцкий, П.А. Акимов, И.Н. Афанасьева - М. : Издательство АСВ, 2017. - 720 с. <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432302175.html>
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. - М.: Изд-во Дрофа, 2003.- 846с.
6. Роуч П. Вычислительная гидродинамика / П. Роуч; пер. с англ. В. А. Гущина, В. Я. Митницкого; под ред. П. И. Чушкина. - М. : Мир, 1980. - 616 с.

в) методические указания

1. Методические указания к практическим занятиям по курсу «Численные методы решения гидроаэродинамических задач гидропневмосистем» для студентов по направлению подготовки «Механика и математическое моделирование». / Сост. Сёмин Д.А., Левашов А.Н. – Луганск: Изд-во ЛНУ им. В.Даля. 2015 – 16 с.
2. Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Численные методы решения гидроаэродинамических задач гидропневмосистем» для студентов по направлению подготовки «Механика и математическое моделирование». / Сост. Сёмин Д.А., Левашов А.Н. – Луганск: Изд-во ЛНУ им. В.Даля. 2015 – 32 с.
2. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Численные методы решения гидроаэродинамических задач гидропневмосистем» для студентов по направлению подготовки «Механика и математическое моделирование». / Сост. Сёмин Д.А., Левашов А.Н. – Луганск: Изд-во ЛНУ им. В.Даля. 2015 – 32 с.

г) интернет-ресурсы:

Министерство образования и науки Российской Федерации – <http://минобрнауки.рф/>

Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки – <http://obrnadzor.gov.ru/>

Министерство образования и науки Луганской Народной Республики –

<https://minobr.su>

Народный совет Луганской Народной Республики – <https://nslnr.su>

Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования – <http://fgosvo.ru>

Федеральный портал «Российское образование» – <http://www.edu.ru/>

Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» – <http://window.edu.ru/>

Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru/>

Электронные библиотечные системы и ресурсы

Электронно-библиотечная система «Консультант студента» – <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>

Электронно-библиотечная система «StudMed.ru» – <https://www.studmed.ru>

Информационный ресурс библиотеки образовательной организации

Научная библиотека имени А. Н. Коняева – <http://biblio.dahluniver.ru/>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

В качестве материально-технического обеспечения дисциплины используются презентационная техника (проектор, экран, ноутбук), наборы слайдов (либо раздаточный материал в бумажном виде) или кинофильмов; демонстрационные приборы и лабораторные стенды кафедры «Гидрогазодинамика».

Программное обеспечение:

Функциональное назначение	Бесплатное программное обеспечение	Ссылки
Офисный пакет	Libre Office 6.3.1	https://www.libreoffice.org/ https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice
Операционная система	UBUNTU 19.04	https://ubuntu.com/ https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu
Браузер	FirefoxMozilla	http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx
Браузер	Opera	http://www.opera.com
Почтовый клиент	MozillaThunderbird	http://www.mozilla.org/ru/thunderbird
Файл-менеджер	FarManager	http://www.farmanager.com/download.php
Архиватор	7Zip	http://www.7-zip.org/

Графический редактор	GIMP (GNU Image Manipulation Program)	http://www.gimp.org/ http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8 http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP
Редактор PDF	PDFCreator	http://www.pdfforge.org/pdfcreator
Аудиоплеер	VLC	http://www.videolan.org/vlc/

9. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

Паспорт фонда оценочных средств по учебной дисциплине «Численные методы решения гидроаэродинамических задач гидропневмосистем»

Перечень компетенций (элементов компетенций), формируемых в результате освоения учебной дисциплины (модуля) или практики

Этап	Код компетенции	Уровни сформированности компетенции	Критерии оценивания компетенции
Начальный Основной Заключительный	ОПК-1. Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	Пороговый	Знать: основные принципы современных информационных технологий и их место в гидродинамических расчетах гидропневмосистем.
		Базовый	Уметь: понимать принципы работы современных информационных технологий и их место в гидродинамических расчетах гидропневмосистем.
		Высокий	Владеть: навыками использования современных информационных технологий для решения задач численного расчёта гидродинамики гидропневмосистем.
Начальный Основной	ОПК-2. Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения	Пороговый	Знать: методику разработки алгоритмов и компьютерных программ для практического решения задач численного расчёта гидродинамики гидропневмосистем.
		Базовый	Уметь: разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы для решения технических задач численного расчёта гидродинамики гидропневмосистем.

Заключительный		Высокий	Владеть: методиками разработки алгоритмов и компьютерных программ для практического численного расчёта гидродинамики гидропневмосистем
Начальный	ОПК-3. Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	Пороговый	Знать: математический аппарат аналитической геометрии, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, функций комплексного переменного, теории вероятностей и математической статистики, численных методов; законы механики, термодинамики.
Основной		Базовый	Уметь: применять математический аппарат аналитической геометрии, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, функций комплексного переменного, теории рядов, теории вероятностей и математической статистики, численных методов; законы механики, термодинамики, для решения задач численного расчёта гидродинамики гидропневмосистем.
Заключительный		Высокий	Владеть: математическим аппаратом аналитической геометрии, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, функций комплексного переменного, теории рядов, теории вероятностей и математической статистики, численных методов; навыками решения задач численного расчёта гидродинамики гидропневмосистем, описания происходящих в них физических явлений.

№ п / п	Код контролируемой компетенции	Формулировка контролируемой компетенции	Контролируемые темы учебной дисциплины, практики	Этапы формирования (семестр изучения)
1	ОПК-1	Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	Раздел 1. Уравнения гидродинамики вязкой жидкости.	6
			Раздел 2. Численные методы решения уравнений гидродинамики вязкой жидкости.	6
			Раздел 3. Решение задач гидродинамики вязкой жидкости в современных программных комплексах вычислительной гидродинамики - CFD.	6
2	ОПК-2	Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения	Раздел 1. Уравнения гидродинамики вязкой жидкости.	6
			Раздел 2. Численные методы решения уравнений гидродинамики вязкой жидкости.	6

			Раздел 3. Решение задач гидродинамики вязкой жидкости в современных программных комплексах вычислительной гидродинамики - CFD.	6
3	ОПК-3	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	Раздел 1. Уравнения гидродинамики вязкой жидкости.	6
	Раздел 2. Численные методы решения уравнений гидродинамики вязкой жидкости.		6	
	Раздел 3. Решение задач гидродинамики вязкой жидкости в современных программных комплексах вычислительной гидродинамики - CFD.		6	

Показатели и критерии оценивания компетенций, описание шкал оценивания

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Показатель оценивания (знания, умения, навыки)	Контролируемые темы учебной дисциплины	Наименование оценочного средства
1	ОПК-1	<p>Знать: основные принципы современных информационных технологий и их место в гидродинамических расчетах гидропневмосистем.</p> <p>Уметь: понимать принципы работы современных информационных технологий и их место в гидродинамических расчетах гидропневмосистем.</p> <p>Владеть: навыками использования современных информационных технологий для решения задач численного расчёта гидродинамики гидропневмосистем.</p>	Раздел 1, Раздел 2, Раздел 3.	Вопросы для комбинированного контроля усвоения теоретического материала, задания по практическим занятиям, зачет
2	ОПК-2	<p>Знать: методику разработки алгоритмов и компьютерных программ для практического решения задач численного расчёта гидродинамики гидропневмосистем.</p> <p>Уметь: разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы для решения технических задач численного расчёта гидродинамики гидропневмосистем.</p> <p>Владеть: методиками разработки алгоритмов и компьютерных программ для практического</p>	Раздел 1, Раздел 2, Раздел 3.	Вопросы для комбинированного контроля усвоения теоретического материала, задания по практическим занятиям, зачет

		численного расчёта гидродинамики гидропневмосистем		
4	ОПК-3	<p>Знать: математический аппарат аналитической геометрии, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, функций комплексного переменного, теории вероятностей и математической статистики, численных методов; законы механики, термодинамики.</p> <p>Уметь: применять математический аппарат аналитической геометрии, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, функций комплексного переменного, теории рядов, теории вероятностей и математической статистики, численных методов; законы механики, термодинамики, для решения задач численного расчёта гидродинамики гидропневмосистем.</p> <p>Владеть: математическим аппаратом аналитической геометрии, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, функций комплексного переменного, теории рядов, теории вероятностей и математической статистики, численных методов; навыками решения задач численного расчёта гидродинамики гидропневмосистем, описания происходящих в них физических явлений.</p>	Раздел 1, Раздел 2, Раздел 3.	Вопросы для комбинированного контроля усвоения теоретического материала, задания по практическим занятиям, зачет

**Фонды оценочных средств по дисциплине
«Численные методы решения гидроаэродинамических задач
гидропневмосистем»**

**Вопросы для комбинированного контроля усвоения
теоретического материала (устно или письменно):**

Раздел 1. Уравнения гидродинамики вязкой жидкости.

1. Свойство напряжений в движущейся вязкой жидкости.
2. Уравнения динамики вязкой жидкости в напряжениях.
3. Обобщение гипотезы Ньютона о нормальных и касательных напряжениях в вязкой жидкости на случай пространственного течения.
4. Дифференциальные уравнения Навье-Стокса для движения реальной жидкости.
5. Уравнения осредненного турбулентного движения жидкости - уравнения Рейнольдса.
6. Дополнительные касательные и нормальные напряжения.

7. Гипотезы турбулентности.

Раздел 2. Численные методы решения уравнений гидродинамики вязкой жидкости.

1. Дискретизация дифференциальных уравнений движения.
2. Расчетные сетки. Шаблоны.
3. Конечно-разностные аналоги - (КРА).
4. Методы дискретизации:
5. Метод конечных разностей,
6. Полиномиальная аппроксимация,
7. Интегральный метод,
8. Метод конечных элементов,
9. Метод контрольного объема.
10. Основные понятия вычислительного процесса:
11. Устойчивость,
12. Сходимость,
13. Точность,
14. Погрешность,
15. Схемная вязкость,
16. Условия Куранта-Фридрихса-Леви - КФЛ.
17. Методы решения уравнения переноса вихря.
18. Методы решения уравнений для функции тока.
19. Граничные условия для уравнения переноса вихря и уравнения для функции тока.
20. Начальные условия и расчет давления.
21. Методы решения уравнений для простейших физических переменных.

Раздел 3. Решение задач гидродинамики вязкой жидкости в современных программных комплексах вычислительной гидродинамики - CFD.

1. Программные комплексы. Типовая структура комплексов (препроцессор, солвер, постпроцессор):
2. «OpenFoam»,
3. «FlowVision»,
4. «ANSYS/CFX».
5. Решение гидродинамической задачи в программном комплексе «FlowVision». Построение расчетной области.
6. Выбор и построение расчетной сетки.
7. Рациональный выбор уравнения динамики, постановка граничных и начальных условий.
8. Анализ решения.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству –

комбинированный контроль усвоения теоретического материала

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Ответ дан на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет профильным понятийным (категориальным) аппаратом и т.п.)
4	Ответ дан на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности и т.п.)
3	Ответ дан на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени профильным категориальным аппаратом и т.п.)
2	Ответ дан на неудовлетворительном уровне или не представлен (студент не готов, не выполнил задание и т.п.)

Задания по практическим занятиям:

№ п/п	Название темы
1,2	Системы координат для записи уравнений гидромеханики. Картезианская система. Пространственные системы координат (линейная ортогональная, нелинейная ортогональная - цилиндрическая и сферическая, произвольная) и связь между ними.
3,4	Дифференциальные уравнения Навье-Стокса для движения реальной жидкости в линейной ортогональной, цилиндрической, сферической и произвольной системах координат.
5,6	Уравнения осредненного турбулентного движения жидкости - уравнения Рейнольдса линейной ортогональной, цилиндрической, сферической и произвольной системах координат.
7,8	Дифференциальные модели турбулентности «k-ε», «k-ω», SST. Константы моделей.
9-11	Методы дискретизации (метод конечных разностей, полиномиальная аппроксимация, интегральный метод, метод конечных элементов, метод контрольного объема).
12	Решение задач на определение устойчивости, сходимости, точности, погрешности, Учет схемной вязкости. Условия Куранта-Фридрихса-Леви - КФЛ.
13	Уравнения переноса вихря. Методы решения уравнений для функции тока. Граничные условия для уравнения переноса вихря и уравнения для функции тока.
14	Расчет давления и начальные условия. Методы решения уравнений для простейших физических переменных.
15	<i>Раздел 3. Решение задач гидродинамики вязкой жидкости в современных программных комплексах вычислительной гидродинамики - CFD.</i>

	Типовая структура комплексов (препроцессор, солвер, постпроцессор). Решение гидродинамической задачи в программном комплексе «OpenFoam». Построение расчетной области. Выбор и построение расчетной сетки. Рациональный выбор уравнения динамики, постановка граничных и начальных условий. Анализ решения.
16	Решение гидродинамической задачи в программном комплексе «FlowVision».
17	Решение гидродинамической задачи в программном комплексе «ANSYS/CFX».

**Критерии и шкала оценивания по оценочному средству –
комбинированный контроль усвоения теоретического материала**

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Ответ дан на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет профильным понятийным (категориальным) аппаратом и т.п.)
4	Ответ дан на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности и т.п.)
3	Ответ дан на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени профильным категориальным аппаратом и т.п.)
2	Ответ дан на неудовлетворительном уровне или не представлен (студент не готов, не выполнил задание и т.п.)

Тема и задание курсовой работы: Учебным планом предусмотрено выполнение в 6 семестре индивидуального задания на тему «Обтекание крылового профиля потоком реальной жидкости».

Структура индивидуального задания:

Введение.

1. Обоснование и выбор программного комплекса CFD. Постановка гидродинамической задачи.
 - 1.1. Обоснование и выбор уравнений движения среды, обтекающей крыловой профиль.
 - 1.2. Обоснование и выбор модели турбулентности.
2. Построение расчетной области.
 - 2.1. Построение контура обтекаемого крылового профиля.
 - 2.2. Обоснование и выбор левой границы расчетной области.
 - 2.3. Обоснование и выбор правой границы расчетной области.
 - 2.4. Обоснование и выбор верхней и нижней границ расчетной области.
3. Постановка граничных условий.
 - 3.1. Граничные условия на контуре обтекаемого крылового профиля.

- 3.2. Граничные условия на левой границе расчетной области.
 - 3.3. Граничные условия на правой границе расчетной области.
 - 3.4. Граничные условия на верхней и нижней границах расчетной области.
 - 4. Описание метода дискретизации и получения конечно-разностного аналога уравнений гидродинамики.
 - 4.1. Описание метода дискретизации и получения конечно-разностного аналога уравнений гидродинамики.
 - 4.1. Описание метода решения конечно-разностного аналога уравнений гидродинамики.
 - 5. Представление гидродинамической картины течения и анализ полученного решения.
- Выводы
Литература

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству промежуточный контроль (индивидуальное задание)

Шкала оценивания	Критерий оценивания
отлично (5)	Студент глубоко и в полном объёме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.
хорошо (4)	Студент знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.
удовлетворительно (3)	Студент знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно чёткие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30% ошибок в излагаемых ответах.
неудовлетворительно (2)	Студент не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Студент отказывается от ответов на дополнительные вопросы

Вопросы к экзамену:

Раздел 1. Уравнения гидродинамики вязкой жидкости.

1. Свойство напряжений в движущейся вязкой жидкости.
2. Уравнения динамики вязкой жидкости в напряжениях.

3. Обобщение гипотезы Ньютона о нормальных и касательных напряжениях в вязкой жидкости на случай пространственного течения.
4. Дифференциальные уравнения Навье-Стокса для движения реальной жидкости.
5. Уравнения осредненного турбулентного движения жидкости - уравнения Рейнольдса.
6. Дополнительные касательные и нормальные напряжения.
7. Гипотезы турбулентности.

Раздел 2. Численные методы решения уравнений гидродинамики вязкой жидкости.

8. Дискретизация дифференциальных уравнений движения.
9. Расчетные сетки. Шаблоны.
10. Конечно-разностные аналоги - (КРА).
11. Методы дискретизации:
12. Метод конечных разностей,
13. Полиномиальная аппроксимация,
14. Интегральный метод,
15. Метод конечных элементов,
16. Метод контрольного объема.
17. Основные понятия вычислительного процесса:
18. Устойчивость,
19. Сходимость,
20. Точность,
21. Погрешность,
22. Схемная вязкость,
23. Условия Куранта-Фридрихса-Леви - КФЛ.
24. Методы решения уравнения переноса вихря.
25. Методы решения уравнений для функции тока.
26. Граничные условия для уравнения переноса вихря и уравнения для функции тока.
27. Начальные условия и расчет давления.
28. Методы решения уравнений для простейших физических переменных.

Раздел 3. Решение задач гидродинамики вязкой жидкости в современных программных комплексах вычислительной гидродинамики - CFD.

29. Программные комплексы. Типовая структура комплексов (препроцессор, солвер, постпроцессор):
30. «OpenFoam»,
31. «FlowVision»,
32. «ANSYS/CFX».
33. Решение гидродинамической задачи в программном комплексе «FlowVision». Построение расчетной области.

34.Выбор и построение расчетной сетки.

35.Рациональный выбор уравнения динамики, постановка граничных и начальных условий.

36.Анализ решения.

**Оценочные средства для промежуточной аттестации (экзамен).
Типовой билет. Семестр 6.**

Билет № N

I. Теоретический вопрос .
Вопрос из первого раздела

II. Теоретический вопрос .
Вопрос из второго раздела

III. Практический вопрос .
Вопрос из третьего раздела

Утверждено на заседании кафедры ГГД, протокол №__ от _____20__ г.

Заведующий кафедрой

доц. Мальцев Я.И.

Лектор

проф. Сёмин Д.А.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству промежуточный контроль (экзамен)

Шкала оценивания	Критерий оценивания
отлично (5)	Студент глубоко и в полном объёме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.
хорошо (4)	Студент знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.
удовлетворительно (3)	Студент знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно чёткие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30% ошибок в излагаемых ответах.
неудовлетворительно (2)	Студент не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Студент отказывается от ответов на дополнительные вопросы

Форма листа изменений и дополнений, внесенных в ФОС

Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)

Экспертное заключение

Представленный фонд оценочных средств (далее - ФОС) по дисциплине «Численные методы решения гидроаэродинамических задач гидродневмосистем» соответствует требованиям ГОС ВО.

Предлагаемые формы и средства текущего и промежуточного контроля адекватны целям и задачам реализации основной образовательной программы по направлению подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение.

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающегося представлены в полном объеме.

Виды оценочных средств, включенные в представленный фонд, отвечают основным принципам формирования ФОС.

Разработанный и представленный для экспертизы фонд оценочных средств рекомендуется к использованию в процессе подготовки бакалавров, по указанному направлению.

Председатель учебно-методической комиссии

института транспорта и логистики _____ Е.И Иванова.