

Министерство науки и высшего образования РФ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и ИКТ

С.А. Матвеев

2018 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.В.ОД.5 МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ

(наименование дисциплины)

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ:

01.06.01 -- математика и механика (уровень подготовки кадров высшей квалификации)
(указывается код и наименование направления подготовки)

НАПРАВЛЕННОСТЬ ПОДГОТОВКИ:

01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы

(указывается наименование направленности)

КВАЛИФИКАЦИЯ: Исследователь. Преподаватель-исследователь

ФОРМА ОБУЧЕНИЯ: очная, заочная

ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ: экзамен

(Зачет Дифференцированный зачет Экзамен)

Санкт-Петербург, 2018 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)
01.06.01 Математика и механика

Программу составили: кафедра А9 "Плазмогазодинамика и теплотехника"

Емельянов В.Н., зав. каф., д.т.н., проф.

Тетерина И.В., доц., к.т.н.

Эксперт(ы): *Заместитель начальника проектного отдела АО ЦКБ МТ «Рубин»,
д.т.н. Сухорукоев А.А.*

Программа рассмотрена на заседании кафедры-разработчика рабочей программы А9 "Плазмогазодинамика и теплотехника", протокол № _____ от «____» _____ 2018 г.

Заведующий кафедрой, д.т.н., проф. *[подпись]* /Емельянов В.Н./

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии по укрупненной группе направлений и специальностей подготовки (УМК по УГНиСП) 01.00.00 Математика и механика, протокол № _____ от «____» _____ 2018 г.

Председатель УМК по УГНиСП, д.ф.-м.н., проф. *[подпись]* /Соколов Е.И./

Учебная дисциплина обеспечена основной литературой

«*31*» *10* 2018 г.

Директор библиотеки *[подпись]* /Сесина Н.В./

1 Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю),

Целью дисциплины "Механика жидкости, газа и плазмы" является приобретение аспирантами углубленных знаний и методов решения задач, возникающих при изучении движения сплошных сред. Изучение дисциплины направлено на подготовку аспирантов к сдаче кандидатского экзамена по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы».

Дисциплина вносит вклад в формирование следующих общих для направления компетенций:

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);

Дисциплина вносит вклад в формирование следующих профессиональных компетенций:

- способностью самостоятельно работать в среде современных пакетов вычислительного моделирования (CAD, CAE системы) при решении задач научных исследований в области механики жидкости, газа и плазмы, и готовностью к профессиональной эксплуатации современных средств вычислительного эксперимента (ПК-1).

- способностью свободно владеть фундаментальными разделами математики и механики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач механики жидкости, газа и плазмы (ПК-6)

В результате освоения дисциплины аспиранты будут

знать:

общие понятия о характере движения сплошной среды, представления об основных подходах описания ламинарного и турбулентного движения, основных методах замыкания, представления о совокупности подходов вычислительного воспроизведения и моделирования, современном состоянии средств вычислительного моделирования; способы описания течений, принципы дискретизации математических моделей, основные способы построения разностных схем, имитационное моделирование процессов в среде программно-вычислительных средств; принципы построения средств замыкания математических моделей

2 Место дисциплины (модуля) в структуре программы аспирантуры

Дисциплина относится к группе базовых дисциплин Блока I программы аспирантуры.

Трудоёмкость освоения дисциплины составляет 2 зачетных единицы (з.е.) или 72 академических часа, в том числе:

- для очной формы обучения 36 часов аудиторных занятий и 36 часов самостоятельной работы.

- для заочной формы обучения 8 часов аудиторных занятий и 64 часа самостоятельной работы.

Изучение дисциплины опирается на знания, умения и навыки, приобретенные в предшествующих дисциплинах:

- механика сплошной среды
- математика
- физика

№ п/п	Раздел дисциплины (модуля)	Трудоемкость по видам учебной работы (час.)						ИЗ	
		всего	очная форма обучения						
			ЛЗ	НПЗ	ИЛР	С	К		СР
	несжимаемой жидкости								
8	Раздел 8. Движение вязкой жидкости. Теория пограничного слоя. Турбулентность	12/12	4/2					2/4	6/6
9	Раздел 9. Движение сжимаемой жидкости. Газовая динамика	11/11	4/2					2/4	5/5
10	Раздел 10. Электромагнитные явления в жидкостях	6/6	4/0					2/6	
11	Раздел 11. Физическое подобие, моделирование	6/6	4/0					2/6	
	Итого:	72/72	36/ 8					20/4 8	16/16

Примечание: ЛЗ – лекционное занятие, НПЗ – научно-практические занятия, ИЛЗ – исследовательские лабораторные занятия работа, С – семинары, К – индивидуальные консультации; СР – самостоятельная работа обучающихся;

3.3 Тематика аудиторных занятий

Тематика лекционных занятий

Таблица 3

№ раздела	№ лекции	Основное содержание	Кол-во часов	Литература
Раздел 1. Основные понятия		Понятие сплошной среды. Микроскопические, статистические и макроскопические феноменологические методы описания свойств, взаимодействий и движений материальных сред. Области приложения механики жидкости, газа и плазмы. Механические модели, теоретическая схематизация и постановка задач, экспериментальные методы исследований. Основные исторические этапы в развитии механики жидкости и газа.	2/0	2,6
Раздел 2. Кинематика сплошных сред		Системы отсчета и системы координат. Лагранжевы и эйлеровы координаты. Инерциальные и неинерциальные системы отсчета в ньютоновской механике.	2/0	7,11

		принципе Онзагера. Уравнения состояния. Термодинамические потенциалы двухпараметрических сред.		
Раздел 4. Модели жидких и газообразных сред		<p>Модель идеальной жидкости. Уравнения Эйлера. Полные системы уравнений для идеальной, несжимаемой и сжимаемой жидкостей. Начальные и граничные условия. Интегралы Бернулли и КошиЛагранжа. Явление кавитации.</p> <p>Теорема Томсона и динамические теоремы о вихрях. Возникновение вихрей. Теорема Бьеркнеса.</p> <p>Модель вязкой жидкости. Линейно-вязкая (ньютоновская) жидкость. Уравнения Навье-Стокса.</p> <p>Полные системы уравнений для вязкой несжимаемой и сжимаемой жидкостей. Начальные и граничные условия. Диссипация энергии в вязкой теплопроводной жидкости.</p> <p>Применение интегральных соотношений к конечным объемам среды при установившемся движении. Теория реактивной тяги и теория идеального пропеллера.</p>	2/0	6,7,8
Раздел 5. Поверхности разрыва в течениях жидкости, газа и плазмы		<p>Поверхности слабых и сильных разрывов. Разрывы сплошности. Условия на поверхностях сильного разрыва в материальных средах и в электромагнитном поле.</p> <p>Тангенциальные разрывы и ударные волны.</p>	4/2	2,10
Раздел 6. Гидростатика		Равновесие жидкости и газа в поле потенциальных массовых сил. Закон Архимеда. Равновесие и устойчивость плавающих тел и атмосферы.	4/0	11
Раздел 7. Движение идеальной несжимаемой жидкости		<p>Общая теория непрерывных потенциальных движений несжимаемой жидкости. Свойства гармонических функций. Многозначность потенциала в многосвязных областях.</p> <p>Кинематическая задача о произвольном движении твердого тела в неограниченном объеме идеальной несжимаемой жидкости. Энергия, количество движения и момент количества движения жидкости при движении в ней твердого тела. Движение сферы в идеальной жидкости.</p> <p>Силы воздействия идеальной жидкости</p>	2/0	6,7

		<p>приближенные методы в теории ламинарного пограничного слоя. Явление отрыва пограничного слоя. Устойчивость пограничного слоя. Теплообмен с потоком на основе теории пограничного слоя. Турбулентность. Опыт Рейнольдса. Уравнения Рейнольдса. Турбулентный перенос тепла и вещества. Полуэмпирические теории турбулентности. Профиль скорости в пограничном слое. Логарифмический закон. Прямое численное решение уравнений гидромеханики при наличии турбулентности. Свободная и вынужденная конвекция. Приближение Буссинеска. Линейная неустойчивость подогреваемого плоского слоя и порог возникновения конвекции. Понятие о странном аттракторе. Движение жидкости и газа в пористой среде. Закон Дарси. Система дифференциальных уравнений подземной гидрогазодинамики. Неустановившаяся фильтрация газа. Примеры точных автомодельных решений.</p>		
Раздел 9. Движение сжимаемой жидкости. Газовая динамика		<p>Распространение малых возмущений в сжимаемой жидкости. Волновое уравнение. Скорость звука. Запаздывающие потенциалы. Эффект Допплера. Конус Маха. Уравнения газовой динамики. Характеристики. Влияние сжимаемости на форму трубок тока при установившемся движении. Элементарная теория сопла Лаваля. Одномерные неустановившиеся движения газов с плоскими, цилиндрическими и сферическими волнами. Автомодельные движения и классы соответствующих задач. Задачи о поршне и о сильном взрыве в газе. Волны Римана. Эффект опрокидывания волн. Адиабата Гюгонио. Теорема Цемплена. Эволюционные и неэволюционные разрывы. Теория волн детонации и горения. Правило Жуге и его обоснование. Задача о структуре сильного разрыва. Качественное описание решения задачи о распаде произвольного разрыва.</p>	4/2	10

5. Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация по дисциплине

Оценка качества освоения дисциплины включает текущий контроль успеваемости и промежуточную аттестацию в форме экзамена.

Окончательная оценка работы аспиранта происходит на кандидатском экзамене. Экзамен проводится по билетам, в устной форме.

5.1 Текущий контроль успеваемости по дисциплине

Контрольные мероприятия текущего контроля

Таблица 8

Вид контрольного мероприятия	Наименование	Срок проведения (№ недели)	Контролируемый объем (№№ разделов)
Устный опрос		10	Разделы 1-6
Устный опрос		16	Разделы 7-11
Защита отчета по исследовательскому заданию		16	Разделы 5, 8-9

5.2 Оценочные средства промежуточной аттестации

Образован фонд оценочных средств в виде контрольных вопросов.

1. Понятие сплошной среды. Микроскопические, статистические и макроскопические феноменологические методы описания свойств, взаимодействий и движений материальных сред. Области приложения механики жидкости, газа и плазмы.
2. Механические модели, теоретическая схематизация и постановка задач, экспериментальные методы исследований. Основные исторические этапы в развитии механики жидкости и газа.
3. Системы отсчета и системы координат. Лагранжевы и эйлеровы координаты. Инерциальные и неинерциальные системы отсчета в ньютоновской механике.
4. Точки зрения Эйлера и Лагранжа при изучении движения сплошных сред.
5. Определения и свойства кинематических характеристик движения: перемещения, траектории, скорость, линии тока, критические точки, ускорение, тензор скоростей деформации и его инварианты, вектор вихря, потенциал скорости, циркуляция скорости, установившееся и неустойчивое движение среды. Кинематические свойства вихрей.
6. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности в переменных Эйлера и Лагранжа. Условие несжимаемости. Многокомпонентные смеси. Потoki диффузии. Уравнения неразрывности в форме Эйлера для многокомпонентных смесей. Массовые и поверхностные, внутренние и внешние силы.
7. Законы сохранения количества движения и моментов количества движения для конечных масс сплошной среды. Дифференциальные уравнения движения и момента количества движения сплошной среды. Работа внутренних поверхностных сил. Кинетическая энергия и уравнение живых сил для сплошной среды в интегральной

21. Ламинарный пограничный слой. Задача Блазиуса. Интегральные соотношения и основанные на их использовании приближенные методы в теории ламинарного пограничного слоя. Явление отрыва пограничного слоя. Устойчивость пограничного слоя. Теплообмен с потоком на основе теории пограничного слоя.
22. Турбулентность. Опыт Рейнольдса. Уравнения Рейнольдса. Турбулентный перенос тепла и вещества. Полуэмпирические теории турбулентности. Профиль скорости в пограничном слое. Логарифмический закон. Прямое численное решение уравнений гидромеханики при наличии турбулентности.
23. Свободная и вынужденная конвекция. Приближение Буссинеска. Линейная неустойчивость подогреваемого плоского слоя и порог возникновения конвекции. Понятие о странном аттракторе. Движение жидкости и газа в пористой среде. Закон Дарси. Система дифференциальных уравнений подземной гидрогазодинамики. Неустановившаяся фильтрация газа. Примеры точных автомодельных решений.
24. Распространение малых возмущений в сжимаемой жидкости. Волновое уравнение. Скорость звука. Запаздывающие потенциалы. Эффект Допплера. Конус Маха.
25. Уравнения газовой динамики. Характеристики. Влияние сжимаемости на форму трубок тока при установившемся движении. Элементарная теория сопла Лавалья. Одномерные неустановившиеся движения газов с плоскими, цилиндрическими и сферическими волнами. Автомодельные движения и классы соответствующих задач. Задачи о поршне и о сильном взрыве в газе.
26. Волны Римана. Эффект опрокидывания волн. Адиабата Гюгонио. Теорема Цемплена. Эволюционные и неэволюционные разрывы. Теория волн детонации и горения. Правило Жуге и его обоснование. Задача о структуре сильного разрыва. Качественное описание решения задачи о распаде произвольного разрыва.
27. Плоские стационарные сверхзвуковые течения газа. Метод характеристик. Течение Прандтля-Майера. Косой скачок уплотнения. Обтекание сверхзвуковым потоком газа клина и конуса. Понятие об обтекании тел газом с отошедшей ударной волной. Линейная теория обтекания тонких профилей и тел вращения. Течения с гиперзвуковыми скоростями. Закон сопротивления Ньютона.
28. Электромагнитное поле. Уравнения Максвелла в пустоте. Взаимодействие электромагнитного поля с проводниками. Сила Лоренца. Закон сохранения полного заряда. Закон Ома. Среды с идеальной проводимостью. Вектор и уравнение Умова—Пойнтинга. Джоулево тепло. Уравнения импульса и притока тепла для проводящей среды.
29. Уравнения магнитной гидродинамики. Условия вмороженности магнитного поля в среду. Понятие о поляризации и намагничивании жидкостей.
30. Система определяющих параметров для выделенного класса явлений. Основные и производные единицы измерения. Формула размерностей. П-теорема. Примеры приложений. Определение физического подобия. Моделирование. Критерии подобия. Числа Эйлера, Маха, Фруда, Рейнольдса, Струхала, Прандтля.

5.3 Образовательные технологии по дисциплине

Обучение по дисциплине ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

Лекция (Лк) – передача учебной информации от преподавателя к аспирантам с использованием компьютерных и технических средств, направленная в основном на приобретение аспирантами новых познавательных, теоретических и фактических знаний.

6.2 Дополнительная литература:

Таблица 10

№ п/п	Автор	Наименование	Издательство	Год издания
3	Емельянов В.Н.	Теория напряжений и основные модели механики сплошной среды: учебное пособие	Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2006. – 160 с.	2006
4	Волков К.Н., Емельянов В.Н.	Течения и теплообмен в каналах и вращающихся полостях	М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 488 с. ISBN 978-5-9221-1182-9	2010
5	Волков К.Н., Емельянов В.Н.	Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа	М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 468 с. ISBN 978-5-9221-1438-7	2012
6	Седов Л.И.	Механика сплошной среды.	Т. I, II. 5-е изд. М.: Наука, 1994.	1994
7	Лойцянский Л.Г.	Механика жидкости и газа.	5-е изд. М.: Наука, 1978.	1978
8	Прандтль Л.	Гидроаэромеханика.	РХД, 2000	2000
9	Шлихтинг Г.	Теория пограничного слоя.	М.: Наука, 1974	1974
10	Абрамович Г.Н.	Прикладная газовая динамика.	М.: Наука, 1976	1976
11	Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М..	Гидродинамика	6-е изд. М.: Наука.	2006

6.3 Электронные (образовательные, информационные, справочные, нормативные и т.п.) ресурсы:

1. Библиотека справочной литературы
2. Электронные ресурсы библиотеки института на сайте library.voenmeh.ru
Электронно-библиотечная система Юрайт <https://biblio-online.ru/discipline-search>.
Электронно-библиотечная система Лань <https://e.lanbook.com/>

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1 Специализированные лаборатории (в том числе научные) и классы, основное учебное оборудование (комплексы, установки и стенды)

- аудитория 438, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, ноутбук).
- вычислительный класс кафедры А9 в аудитории 439 оборудованный презентационной техникой (проектор, экран, ноутбук) и системами, поддерживающими выполнение параллельных вычислений;

7.2 Средства обеспечения освоения дисциплины

- электронные версии разделов конспекта лекций и иного методического материала
- набор мультимедийных презентаций, демонстрирующих развитие гидрогазодинамических и тепломассообменных процессов в различных технических