

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Факультет математики и компьютерных наук

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
качеству образования – первый
проректор

_____ Т.А. Загуров
подпись
«31» мая 2024 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.В.ДВ.05.01

ЗАДАЧИ И АЛГОРИТМЫ АЭРОДИНАМИКИ

Специальность 01.05.01 Фундаментальные математика и механика

Направленность (профиль):

Фундаментальная математика и её приложения

Математическое моделирование

Форма обучения очная

Квалификация Математик. Механик. Преподаватель

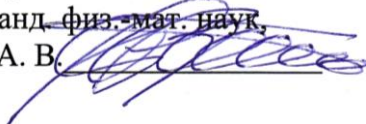
Краснодар 2024

Рабочая программа дисциплины «Задачи и алгоритмы аэродинамики» составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по специальности 01.05.01 Фундаментальные математика и механика

Программу составил:

доцент, канд. физ.-мат. наук,

Бунякин А. В.



Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры математических и компьютерных методов, протокол № 10 от 07.05.2024.

Заведующий кафедрой

математических и компьютерных методов Лежнев А. В.



Утверждена на заседании учебно-методической комиссии факультета математики и компьютерных наук, протокол № 3 от 14.05.2024.

Председатель УМК факультета математики и компьютерных наук Шмалько С. П.



Рецензенты:

Савенко И. В., коммерческий директор ООО «РосГлавВино»

Никитин Ю. Г., доцент кафедры теоретической физики и компьютерных технологий ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»

1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Цель изучения дисциплины

Цель изучения дисциплины «Задачи и алгоритмы аэродинамики»: формирование у студентов способности оперировать абстрактными объектами с аксиоматически заданными свойствами, понимания особенностей выполнения алгебраических операций компьютерными средствами.

Предмет изучения дисциплины «Задачи и алгоритмы аэродинамики»: абстрактные математические объекты, их свойства и операции над ними.

1.2 Задачи дисциплины

Основные задачи изучения дисциплины «Задачи и алгоритмы аэродинамики»:

- ознакомление студентов с методологическими подходами, позволяющими строить адекватные математические модели в задачах гидро- и аэродинамики, использовать математическое описание гидро- и газодинамических явлений;
- ознакомление с некоторыми широко распространенными моделями физики (в основном механики) и основными методами исследования этих моделей.

1.3 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Задачи и алгоритмы аэродинамики» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока Б.1 «Дисциплины (модули)», и является дисциплиной по выбору. В соответствии с рабочим учебным планом дисциплина изучается в 9 семестре по очной форме обучения. Вид промежуточной аттестации – зачёт.

Предшествующими дисциплинами, необходимыми для изучения данной дисциплины, являются «Численные методы», «Технология программирования и работа на электронно-вычислительной машине (ЭВМ)», «Физика», «Математический анализ», «Функциональный анализ», «Комплексный анализ», «Линейная алгебра», «Аналитическая геометрия», «Дифференциальные уравнения», «Уравнения в частных производных», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Теория случайных процессов», «Теоретическая механика», «Математические пакеты и их применение в естественных науках», «Основы и математические модели механики сплошной среды», «Математическое моделирование», «Вариационное исчисление», «Математическая логика», «Системный анализ».

Последующими дисциплинами, для изучения которых необходима данная дисциплина, являются «Концепции современного естествознания».

1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины «Задачи и алгоритмы аэродинамики» направлен на формирование у обучающихся следующих компетенций.

Код и наименование индикатора* достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 – Способен формулировать и решать актуальные и значимые задачи фундаментальной и прикладной математики	
ПК-1.1 – Знает основные понятия, идеи и методы фундаментальных математических дисциплин для решения базовых задач	Знает основные понятия, задачи, методы и результаты предшествующих учебных дисциплин
	Умеет решать типовые задачи, характерные для предшествующих учебных дисциплин
	Владеет навыками решения задач из разделов математики, базовых для аэродинамики
ПК-1.2 – Умеет передавать результаты	Знает методы решения классических задач аэроди-

Код и наименование индикатора* достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине
проведенных теоретических и прикладных исследований в виде конкретных предметных рекомендаций в терминах предметной области	намики
	Умеет применять методы аэродинамики к практически возникающим задачам
	Владеет навыками решения подчинённых задач, возникающих в области аэродинамики
ПК-1.3 – Самостоятельно и корректно решает стандартные задачи фундаментальной и прикладной математики	Знает методологию решения прикладных задач математическими методами
	Умеет представлять в математической форме свойства и отношения, представленные в описательной форме
	Владеет навыками интерпретации решений задач аэродинамики
ПК-2 – Способен активно участвовать в исследовании новых математических моделей в естественных науках	
ПК-2.1 – Умеет использовать математические модели и применять численные методы решения задач в естественных науках	Знает основные понятия, методы и проблематику математического моделирования
	Умеет проводить выбор состава отношений и эффектов, учитываемых при составлении математических моделей
	Владеет навыками организации вычислительного процесса в соответствии с построенными математическими моделями
ПК-2.2 – Разрабатывает новые математические модели в естественных науках	Знает основные приёмы составления математических моделей
	Умеет определять надлежащую степень детализации составляемых математических моделей
	Владеет навыками обеспечения адекватности математических моделей аэродинамики
ПК-2.3 – Владеет навыками математической обработки результатов экспериментальных исследований составленных математических моделей	Знает принципы сопоставления теоретических результатов с фактическими данными
	Умеет решать обратные задачи для определения значений параметров математических моделей аэродинамики
	Владеет навыками применения компьютерных программ для проведения расчётов, связанных с моделированием

Результаты обучения по дисциплине достигаются в рамках осуществления всех видов контактной и самостоятельной работы обучающихся в соответствии с утвержденным учебным планом.

Индикаторы достижения компетенций считаются сформированными при достижении соответствующих им результатов обучения.

2 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 2 зачётных единицы (72 часа), их распределение по видам работ представлено в таблице.

Виды работ		Всего, часов	9 семестр, часов
Контактная работа, в том числе:		34,2	34,2
Аудиторные занятия (всего):		30	30
занятия лекционного типа		10	10
лабораторные занятия		20	20
практические занятия		–	–
семинарские занятия		–	–
Иная контактная работа:		4,2	4,2
Контроль самостоятельной работы (КСР)		4	4
Промежуточная аттестация (ИКР)		0,2	0,2
Самостоятельная работа, в том числе:		37,8	37,8
Подготовка к лабораторным работам		20	20
Подготовка к текущему контролю		13,8	13,8
Контроль:		–	–
Подготовка к зачёту		–	–
Общая трудоемкость	часов	72	72
	в том числе контактная работа	34,2	34,2
	зач. ед.	2	2

2.2 Содержание дисциплины

Распределение видов учебной работы и их трудоёмкости по разделам дисциплины представлены в таблице.

№	Наименование разделов	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Вне-аудиторная работа СРС
			Л	ПЗ	ЛР	
1	Общие сведения о математических моделях гидромеханики и газовой динамики, физические свойства жидких и газообразных сред.	22	4	–	6	12
2	Прямые и обратные задачи математического моделирования в плоской гидромеханике. Сведения об основных методах решения уравнений движения жидкости и газа (аналитические решения).	22	3	–	7	12
3	Методы численного моделирования и асимптотического анализа гидромеханических и аэродинамических моделей.	23,8	3	–	7	13,8
	ИТОГО по разделам дисциплины	67,8	10	–	20	37,8
	КСР	4	–	–	–	4
	ИКР	0,2	–	–	–	0,2

№	Наименование разделов	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Вне-аудиторная работа
			Л	ПЗ	ЛР	СРС
	Подготовка к текущему контролю	–	–	–	–	–
	Общая трудоемкость по дисциплине	72	20	–	10	42

Примечание: Л – лекции, ПЗ – практические занятия / семинары, ЛР – лабораторные занятия, СРС – самостоятельная работа студента.

2.3 Содержание разделов дисциплины

Занятия лекционного типа

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	Общие сведения о математических моделях гидромеханики и газовой динамики, физические свойства жидких и газообразных сред.	<p>1.1 Математическое моделирование сплошной среды, определение плотности, определение изотропного давления, физические свойства жидкостей и газов.</p> <p>1.2 Силы давления на поверхности, статическое состояние жидкости, закон Архимеда, основы теории плавания.</p> <p>1.3 Простейшая математическая модель статического состояния газообразной среды, модель политропной атмосферы и неустойчивость ее равновесного состояния.</p>	УО
2	Прямые и обратные задачи математического моделирования в плоской гидромеханике. Сведения об основных методах решения уравнений жидкости и газа (аналитические решения).	<p>2.1 Математическая модель идеальной жидкости и система уравнений Эйлера.</p> <p>2.2 Примеры точных решений системы уравнений Эйлера, их физическая интерпретация.</p> <p>2.3 Интегральные соотношения как следствия из системы уравнений Эйлера (интегралы Бернулли и Коши – Лагранжа), их приложения к решению задач.</p> <p>2.4 Задачи обтекания идеальной жидкостью (прямая и обратная), теория Н.Е. Жуковского о подъемной силе, методы решения уравнений Эйлера в плоскопараллельном случае (конформные отображения, контурные интегралы, разложение в сумму с использованием метода базисных потенциалов).</p>	УО, ПО
3	Методы численного моделирования и асимптотического анализа	<p>3.1 Уравнения Навье – Стокса и понятие о методах их численного решения.</p> <p>3.2 Асимптотическая теория обтекания тела при больших числах Рейнольдса (основы теории пограничного слоя, струйные течения как при-</p>	УО, ПО

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
	гидромеханических и аэродинамических моделей.	<p>мер разрывных решений в этом предельном случае).</p> <p>3.3 Приближение Стокса как асимптотика малых чисел Рейнольдса, сведение этого случая к бигармонической задаче для функции тока.</p> <p>3.4 Метод характеристик для гиперболической системы уравнений 2x2 на примере нестационарного одномерного течения газа (для аналогичного случая жидкости – аналогия мелкой воды и теория гидравлического удара по Н.Е. Жуковскому).</p> <p>3.5 Математическое моделирование плоскопараллельных установившихся сверхзвуковых течений адиабатного газа, ударные волны как пример разрывных решений уравнений Эйлера в этом случае.</p>	

Лабораторные работы

Распределение лабораторных работ по разделам дисциплины представлено в таблице. Формами текущего контроля являются устный опрос (УО) и письменный опрос (ПО).

№	Наименование раздела	Наименование лабораторных работ	Форма текущего контроля
1	Общие сведения о математических моделях гидромеханики и газовой динамики, физические свойства жидких и газообразных сред.	Аналитические решения задач по математическому моделированию течений идеальной жидкости (задачи обтекания, истечения, воздействия потока на поверхности).	УО, ПО
2	Прямые и обратные задачи математического моделирования в плоской гидромеханике. Сведения об основных методах решения уравнений движения жидкости и газа (аналитические решения).	Аналитические решения задач с использованием интегрального соотношения (уравнения) Бернулли для идеальной жидкости и с учетом вязкости (для трубки тока с гидравлическими потерями), а также уравнения Коши – Лагранжа.	УО, ПО

№	Наименование раздела	Наименование лабораторных работ	Форма текущего контроля
3	Методы численного моделирования и асимптотического анализа гидромеханических и аэродинамических моделей.	Численные методы решения и асимптотический анализ на примерах гидромеханических и газодинамических задач для идеальной и вязкой среды (задачи со старшим оператором Лапласа, гиперболические системы 2x2 первого порядка, задачи, сводящиеся к бигармоническому уравнению).	УО, ПО

Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Выполнение курсовых работ (проектов) учебным планом не предусмотрено.

2.4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Самостоятельная работа студентов по дисциплине включает следующие виды деятельности:

- проработку и анализ лекционного материала;
- изучение учебной литературы;
- поиск информации в сети Интернет по различным вопросам;
- решение задач по темам курса;
- работу с вопросами для самопроверки;
- подготовку к контрольной работе;
- подготовку к зачёту.

Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины представлен в таблице.

№	Вид самостоятельной работы	Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы
1.	Подготовка к текущему контролю	<p>1. Методические указания для подготовки к занятиям лекционного и семинарского типа. Утверждены на заседании Совета факультета математики и компьютерных наук ФГБОУ ВО «КубГУ». Протокол № 5 от 05 мая 2022 г.</p> <p>2. Методические указания по выполнению самостоятельной работы обучающихся. Утверждены на заседании Совета факультета математики и компьютерных наук ФГБОУ ВО «КубГУ». Протокол № 5 от 05 мая 2022 г.</p> <p>3. Методические указания по использованию интерактивных методов обучения. Утверждены на заседании Совета факультета математики и компьютерных наук ФГБОУ ВО «КубГУ». Протокол № 5т от 05 мая 2022 г.</p> <p>4. Методические указания по подготовке эссе, рефератов, курсовых работ. Утверждены на заседании Совета факультета математики и компьютерных наук ФГБОУ ВО «КубГУ». Протокол № 5т от 05 мая 2022 г.</p>

2.	Выполнение лабораторных работ и расчетно-графических заданий	1. Методические указания по выполнению лабораторных работ. Утверждены на заседании Совета факультета математики и компьютерных наук ФГБОУ ВО «КубГУ». Протокол № 5 от 05 мая 2022 г. 2. Методические указания по выполнению расчетно-графических заданий. Утверждены на заседании Совета факультета математики и компьютерных наук ФГБОУ ВО «КубГУ». Протокол № 5 от 05 мая 2022 г.
3.	Подготовка и оформление отчетов по практике	1. Методические указания по подготовке и оформлению отчета по практике. Утверждены на заседании Совета факультета математики и компьютерных наук ФГБОУ ВО «КубГУ». Протокол № 5 от 05 мая 2022 г.
4.	Выполнение и защита выпускной квалификационной работы	1. Методические указания по выполнению и защите выпускной квалификационной работы (бакалавриат, магистратура, специалитет). Утверждены на заседании Совета факультета математики и компьютерных наук ФГБОУ ВО «КубГУ». Протокол № 5 от 05 мая 2022 г.

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- в форме аудиофайла;
- в печатной форме на языке Брайля.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме;
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме;
- в форме электронного документа;
- в форме аудиофайла.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

3 ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ОСВОЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ

В ходе изучения дисциплины предусмотрено использование следующих образовательных технологий: лекции, лабораторные работы, подготовка письменных аналитических работ, самостоятельная работа студентов.

Компетентностный подход в рамках преподавания дисциплины реализуется в использовании интерактивных технологий и активных методов (проектных методик, мозгового штурма, разбора конкретных ситуаций, педагогического эксперимента, иных форм) в сочетании с внеаудиторной работой.

Информационные технологии, применяемые при изучении дисциплины: использование информационных ресурсов, доступных в информационно-телекоммуникационной сети Интернет.

Для более эффективного восприятия материала часть лекций и лабораторных работ проводится с применением мультимедийного оборудования – комплекса аппаратно-программных средств, позволяющих пользователю работать с графикой, текстом, звуком, видео и др., организованными в виде единой информационной среды.

Адаптивные образовательные технологии, применяемые при изучении дисциплины – для лиц с ограниченными возможностями здоровья предусмотрена организация консультаций с использованием электронной почты.

4 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Перечень вопросов для контроля СРС и подготовки к зачёту.

1. Понятие фазовых состояний «жидкость и газ», их отличие по механическим свойствам.
2. Плотность и понятие сплошной среды, примеры сред, не имеющих строгого определения плотности.
3. Вязкость жидкости, ее определение, физическая размерность, способы и приборы для измерения (хотя бы один).
4. Гидростатическое давление, нахождение сил, действующих на стенки резервуара, центр давления (определение его и хотя бы один пример нахождения).
5. Закон Архимеда, центр плавания тела (его определение), условие остойчивости плавающего тела.
6. Понятие идеальной жидкости и идеального газа (последнее только касательно механических и обще – термодинамических характеристик).
7. Уравнение движения идеальной жидкости (Эйлера), простейшие примеры его решения (хотя бы один).
8. Уравнение неразрывности (сплошности) как следствие закона сохранения массы.
9. Учет сжимаемости газа и различные виды уравнения состояния. Частный случай несжимаемой жидкости.
10. Уравнение Бернулли вдоль линии тока установившегося течения идеальной жидкости (без доказательства), пример его применения (хотя бы один).
11. Уравнение Бернулли для линии тока идеального газа (без доказательства), пример его применения, эффект Джоуля – Томсона.
12. Взаимодействие потока идеальной жидкости с твердым телом (потенциальное обтекание), нахождение силы, действующей на обтекаемое тело, парадокс Даламбера.
13. Теоремы Гельмгольца о вихрях, понятие трубок тока, формула Лагранжа для изменения циркуляции.
14. Удар струи о препятствие, сила действия струи, мощность струи, передаваемая движущемуся телу.
15. Гидравлический удар в трубе, формула Жуковского, пример движения в трубе после гидроудара (динамический процесс при каких-либо начальных условиях).
16. Уравнение Навье – Стокса (без доказательства), простейший пример его решения (хотя бы один).
17. Уравнение Бернулли для струйки вязкой жидкости, понятие гидравлических потерь, потери по длине и на местных сопротивлениях (решение хотя бы одной задачи на учет гидравлических потерь).
18. Использование теории размерностей в задачах механики жидких и газообразных сред (П – теорема без доказательства), гидродинамическое и газодинамическое подобие при моделировании течений.
19. Течения около тел в бесконечной области с заданием постоянной скорости в бесконечности (задачи обтекания) – их обезразмеривание и предельные случаи (по числу Рейнольдса).

20. Пленки и капельные течения (их определение и действие сил поверхностного натяжения) – приближение Стокса.
21. Класс потенциальных и вихрепотенциальных течений (предельный случай бесконечного числа Рейнольдса), понятие пограничного слоя.
22. Теория Жуковского о подъемной силе крылового профиля. Метод конформных отображений для потенциального обтекания несжимаемой жидкостью. Присоединенный вихрь.
23. Методы контурных и поверхностных интегралов для получения усредненных по потоку величин. Уравнение Бернулли для трубки тока.
24. Метод характеристик для нестационарного одномерного течения идеального газа. Волны Римана.
25. Метод характеристик для стационарного сверхзвукового течения газа идеального газа. Волны Прандтля – Майера.

Примеры типовых заданий для текущего контроля успеваемости.

1). В бесконечной горизонтальной трубе постоянного сечения справа налево течет жидкость со скоростью $(-V_0)$ и давлением P_0 (x -координата вдоль трубы). В момент $t=0$, точке в $x=0$ начинают останавливать жидкость, изменяя ее скорость по линейному закону, и полностью останавливают через время T . Найти законы изменения скорости и давления жидкости при $x>0$, $t>0$, используя систему уравнений акустического приближения. Эта схема называется непрямым гидроударом.

2). Тело движется со скоростью V в жидкости плотности ρ . Вдали от тела жидкость покоится. Найти максимальное давление на поверхности тела.

3). Горизонтальная труба ведет из напорного резервуара в атмосферу. В начальный момент времени труба пустая, а жидкость плотности ρ , вытекающая из резервуара, начинает ее заполнять. Считая давление на входе в трубу постоянным, пренебрегая гидравлическими потерями, определить скорость, с которой жидкость будет двигаться на выходе из трубы, если труба очень длинная (в пределе бесконечная).

Ответить на следующие вопросы:

а) Почему переход от бурного течения к спокойному, не может быть плавным, а должен осуществляться именно через гидравлический прыжок?

б) Почему прыжок не может осуществляться в обратную сторону (с понижением уровня)?

в) Наконец, почему гидравлический прыжок, даже если он неподвижный ($U=0$), все же нельзя считать установившимся течением?

Критерии оценивания по зачету.

Оценка «Зачтено» выставляется при условии, что студент проявил знания основного минимума изученного материала в объеме, необходимом для последующего обучения. Практическое задание выполнено, возможно, имеются отдельные неточности и ошибки.

Оценка «Не зачтено» выставляется при условии, что обнаружены существенные пробелы в знании основного материала, практическое задание выполнено не в полном объеме, имеются существенные ошибки, окончательных ответов не получено.

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

– при необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на экзамене;

– при проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями;

– при необходимости для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине (модулю) предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

5 ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ И ТЕХНОЛОГИЙ

5.1 Учебная литература

1. Сабитов, К.Б. Уравнения математической физики [Электронный ресурс]: учеб. – Электрон. дан. – Москва: Физматлит, 2013. – 352 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/59660>

2. Темам Р. Математическое моделирование в механике сплошных сред: учебное пособие / Темам Р., Миранвиль А. — Электрон. дан. — М.: "Лаборатория знаний" (ранее "БИНОМ. Лаборатория знаний"), 2017. — 323 с. – ISBN 978-5-00101-494-2- [Электронный ресурс] – URL: <https://e.lanbook.com/book/94110> (06.04.2018).

3. Рябенький, В. С. Введение в вычислительную математику [Электронный ресурс] / В. С. Рябенький. - 3-е изд., испр. и доп. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 288 с. - (Физтехowski учебник). - ISBN 978-5-9221-0926-0. – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/544692>

4. Присекин, В.Л. Основы метода конечных элементов в механике деформируемых тел: учебник / В.Л. Присекин, Г.И. Расторгуев. – НГТУ, 2009. - 240 с. ISBN 978-5-7782-1287-9. — [Электронный ресурс]. — URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=436040

5. Александров, Д.В. Введение в гидродинамику : учебное пособие / Д.В. Александров, А.Ю. Зубарев, Л.Ю. Искакова. - Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2012. - 112 с. - ISBN 978-5-7996-0785-2 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=239521>

6. Митрофанова, О.В. Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков в каналах ядерно-электрических установок / О.В. Митрофанова. - Москва: Физматлит, 2010. - 286 с. - ISBN 978-5-9221-1223-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68969>

5.2 Периодическая литература

1. Bunyakin A.V., Chernyshenko S.I., Stepanov G.Yu. Invisid Batchelor – model flow past an airfoil with a vortex trapped in a cavity // J.Fluid Mech. – 1996. – Vol. 323. – P. 367 – 376. <http://dx.doi.org/10.1017/S002211209600095X>
2. Bunyakin A.V., Chernyshenko S.I., Stepanov G.Yu. High – Reynolds – number Prandtl – Batchelor – model flow past an aerofoil with a vortex trapped in a cavity // J.Fluid Mech. – 1998. – Vol. 358. – P. 283 – 297. <http://dx.doi.org/10.1017/S0022112097008203>
3. Бунякин А.В. Ламинарный пограничный слой при обтекании крылового профиля с круговой выемкой // Изв. РАН Мех. жидк. и газа – 1998. – №2. – С. 52 – 57.
4. Бунякин А.В. Вихревая ячейка с вращающимся внутри цилиндром на поверхности крылового профиля при больших числах Рейнольдса // Изв. РАН Мех. жидк. и газа. – 2001. – № 4. – С. 87 – 92.
5. Sandoval M., Chernyshenko S. Extension of the Prandtl – Batchelor theorem to three-dimensional flows slowly varying in one direction // Journal of Fluid Mechanics 2010. V. 654. P. 351 – 361

Электронно-библиотечные системы (ЭБС):

1. ЭБС «ЮРАЙТ» <https://urait.ru/>
2. ЭБС «УНИВЕРСИТЕТСКАЯ БИБЛИОТЕКА ОНЛАЙН» www.biblioclub.ru
3. ЭБС «BOOK.ru» <https://www.book.ru>
4. ЭБС «ЛАНЬ» <https://e.lanbook.com>

Профессиональные базы данных:

1. Научная электронная библиотека (НЭБ) <http://www.elibrary.ru/>
2. Национальная электронная библиотека (доступ к Электронной библиотеке диссертаций Российской государственной библиотеки (РГБ) <https://rusneb.ru/>
3. «Лекториум ТВ» <http://www.lektorium.tv/>
4. Университетская информационная система РОССИЯ <http://uisrussia.msu.ru>

Ресурсы свободного доступа:

1. КиберЛенинка (<http://cyberleninka.ru/>);
2. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>;
3. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» <http://window.edu.ru/>;
4. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов <http://school-collection.edu.ru/> .
5. Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов (<http://fcior.edu.ru/>);
6. Служба тематических толковых словарей <http://www.glossary.ru/>;
7. Словари и энциклопедии <http://dic.academic.ru/>;
8. Образовательный портал «Учеба» <http://www.ucheba.com/>;

Собственные электронные образовательные и информационные ресурсы

КубГУ:

1. Среда модульного динамического обучения <http://moodle.kubsu.ru>
2. База учебных планов, учебно-методических комплексов, публикаций и конференций <http://mschool.kubsu.ru/>
3. Библиотека информационных ресурсов кафедры информационных образовательных технологий <http://mschool.kubsu.ru/>;
4. Электронный архив документов КубГУ <http://docspace.kubsu.ru/>
5. Электронные образовательные ресурсы кафедры информационных систем и технологий в образовании КубГУ и научно-методического журнала "ШКОЛЬНЫЕ

6 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

При проработке учебного материала рекомендуется:

- повторить и уяснить определения и свойства объектов, операций и отношений, встречающиеся в формулировке теорем и постановке задач;
- записать в математической форме термины, связанные с рассматриваемой темой и встречающиеся в формулировке теорем и постановке задач;
- провести графическую интерпретацию встречающихся объектов, операций и отношений,
- для громоздких выражений ввести компактные обозначения.

В освоении дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья большое значение имеет индивидуальная учебная работа (консультации) – дополнительное разъяснение учебного материала.

Индивидуальные консультации по предмету являются важным фактором, способствующим индивидуализации обучения и установлению воспитательного контакта между преподавателем и обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья.

7 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Распределение видов материально-технического обеспечения по видам занятий представлено в таблице.

Наименование специальных помещений	Оснащенность специальных помещений	Перечень лицензионного программного обеспечения
Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа (302Н, 303Н, 308Н, 309Н, 505А, 507А)	Мебель: учебная мебель. Технические средства обучения: экран, проектор, компьютер	средство подготовки презентаций MS PowerPoint; математический пакет MathCAD
Учебные аудитории для проведения лабораторных работ, групповых и индивидуальных консультаций (301Н, 309Н, 316Н, 320Н)	Мебель: учебная мебель. Технические средства обучения: экран, проектор, компьютер с доступом к сети «Интернет» и в электронную информационно-образовательную среду организации	Интернет-браузеры для просмотра сайтов в сети Интернет; средство подготовки презентаций MS PowerPoint; математический пакет MathCAD
Учебные аудитории для проведения текущей и промежуточной аттестации (301Н, 302Н, 303Н, 307Н, 308Н, 308На, 309Н, 310Н, 312Н, 314Н, 316Н, 318Н, 320Н)	Мебель: учебная мебель. Технические средства обучения: экран, проектор, компьютер	Математический пакет MathCAD

Для самостоятельной работы обучающихся предусмотрены помещения, укомплектованные специализированной мебелью, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.

Наименование помещений для самостоятельной работы обучающихся	Оснащенность помещений для самостоятельной работы обучающихся	Перечень лицензионного программного обеспечения
Помещение для самостоятельной работы обучающихся (читальный зал Научной библиотеки)	<p>Мебель: учебная мебель</p> <p>Комплект специализированной мебели: компьютерные столы</p> <p>Оборудование: компьютерная техника с подключением к информационно-коммуникационной сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду образовательной организации, веб-камеры, коммуникационное оборудование, обеспечивающее доступ к сети интернет (проводное соединение и беспроводное соединение по технологии Wi-Fi)</p>	Интернет-браузеры для просмотра сайтов в сети Интернет; средство подготовки презентаций MS PowerPoint
Помещение для самостоятельной работы обучающихся (301Н, 302Н, 303Н, 307Н, 308Н, 308На, 309Н, 310Н, 312Н, 314Н, 316Н, 318Н, 320Н)	<p>Мебель: учебная мебель.</p> <p>Подключение к информационно-коммуникационной сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду образовательной организации</p>	Интернет-браузеры для просмотра сайтов в сети Интернет; средство подготовки презентаций MS PowerPoint