

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт математики и механики им. Н.И. Лобачевского



подписано электронно-цифровой подписью

### Программа дисциплины

Численно-аналитические методы аэрогидромеханики М2.ДВ.4

Направление подготовки: 010800.68 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Механика жидкости, газа и плазмы

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Маклаков Д.В.

**Рецензент(ы):**

Егоров А.Г.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Егоров А. Г.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института математики и механики им. Н.И. Лобачевского :

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No 817234414

Казань  
2014

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (профессор) Маклаков Д.В.  
Кафедра аэрогидромеханики отделение механики , Dmitri.Maklakov@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины "Численно-аналитические методы аэрогидродинамики" является изучение и практическое освоение методов, основанных на комбинации аналитических подходов и различных численных алгоритмов. Подобное сочетание является весьма эффективным при исследовании многих проблем аэрогидродинамики. Курс состоит из двух частей, читаемых в 9-ом семестре и в семестре А. В первой части изучаются основы метода граничных элементов в аэрогидродинамике, во второй - численно-аналитические методы оптимизации при решении экстремальных задач теории струй и кавитации.

Лекционный курс сопровождается лабораторными и самостоятельными занятиями, где студенты обязаны уметь правильно реализовать изучаемые методы и решить с их помощью задачи, имеющие теоретический и практический интерес. В частности, предполагается составление компьютерных программ для расчетов обтекания профилей крыльев.

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " М2.ДВ.4 Профессиональный" основной образовательной программы 010800.68 Механика и математическое моделирование и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 1 курсе, 1, 2 семестры.

Дисциплина входит в специальную часть профессионального цикла и является продолжением курса "Аналитические методы гидродинамики". Для ее освоения нужны базовые знания из курсов механики сплошной среды, теории функций комплексного переменного, линейной алгебры, вариационного исчисления. . Получаемые умения и навыки необходимы для решения практических задач проектирования обтекания крыльев самолетов и суперкавитирующих подъемных крыльев и используются при выполнении магистерских диссертаций по направлению "механика и математическое моделирование".

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-5 (общекультурные компетенции)	Способность порождать новые идеи (ОК-5);
ПК-1 (профессиональные компетенции)	Владение методами математического моделирования при анализе глобальных проблем на основе глубоких знаний фундаментальных математических дисциплин и компьютерных наук (ПК-1)
ПК-11 (профессиональные компетенции)	Способность к творческому применению, развитию и реализации математически сложных алгоритмов в современных специализированных программных комплексах (ПК-11);
ПК-14 (профессиональные компетенции)	Владение методами физического и математического моделирования при анализе глобальных проблем на основе глубоких знаний фундаментальных физико-математических дисциплин, теории эксперимента и компьютерных наук (ПК-14)

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-19 (профессиональные компетенции)	умение извлекать актуальную научно-техническую информацию из электронных библиотек, реферативных журналов (ПК-19).
ПК-2 (профессиональные компетенции)	Владение методами математического и алгоритмического моделирования при анализе проблем техники и естествознания (ПК-2)
ПК-5 (профессиональные компетенции)	Глубокое понимание теории эксперимента (ПК-5)
ПК-6 (профессиональные компетенции)	Способность к нахождению из определяющих экспериментов материальных функций (функционалов, постоянных) в моделях реальных тел и сред (ПК-6)
ПК-1 (профессиональные компетенции)	Владение методами математического моделирования при анализе глобальных проблем на основе глубоких знаний фундаментальных математических дисциплин и компьютерных наук (ПК-1);
ПК-10 (профессиональные компетенции)	Способность к собственному видению прикладного аспекта в строгих математических формулировках (ПК-10);
ПК-12 (профессиональные компетенции)	Способность к определению общих форм, закономерностей, инструментальных средств для групп дисциплин (ПК-12);
ПК-18 (профессиональные компетенции)	Способность к преподаванию физико-математических дисциплин и информатики в средней школе, средних специальных и высших учебных заведениях на основе полученного фундаментального образования и научного мировоззрения (ПК-18);
ПК-7 (профессиональные компетенции)	Способность к самостоятельному анализу физических аспектов в классических постановках математических задач и задач механики (ПК-7);

В результате освоения дисциплины студент:

4. должен демонстрировать способность и готовность:

1. Получить базовые знания о методе граничных элементов, его преимуществах и недостатках по сравнению с разностными методами.
2. Освоить технику составления программ, для решения задач обтекания аэропрофилей с помощью МГЭ.
3. Ознакомится с основными экстремальными задачами теории волн и кавитации, методами их решения
4. Уметь решать простые задачи оптимизации формы гидропрофилей.

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет зачетных(ые) единиц(ы) 144 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины отсутствует в 1 семестре; зачет во 2 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Интегральные представления гармонической функции в ограниченной и неограниченной областях	1	1-2	2	4	0	устный опрос
2.	Тема 2. Панельный метод низкого порядка для вычисления поверхностных интегралов	1	3-6	2	4	0	устный опрос
3.	Тема 3. Метод интегральных уравнений для решения краевых задач.	1	7-10	2	4	0	домашнее задание
4.	Тема 4. Панельный метод для двухмерного и трехмерного крыльев.	1	11-16	2	4	0	устный опрос
5.	Тема 5. Задача о глассировании без образования брызговых струй. Оптимальная глассирующая поверхность	2	1-4	4	6	0	устный опрос
6.	Тема 6. Задача Лаврентьева о препятствии наименьшего кавитационного сопротивления. Теоремы сравнения.	2	5-10	4	6	0	устный опрос
7.	Тема 7. Задача об оптимальной форме идеального парашюта.	2	11-14	4	6	0	устный опрос
	Тема . Итоговая форма контроля	1		0	0	0	зачет
	Тема . Итоговая форма контроля	2		0	0	0	зачет

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
Итого				20	34	0	

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. Интегральные представления гармонической функции в ограниченной и неограниченной областях

#### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Лекция 1. Основные трехмерные потенциалы: равномерный поток, точечный источник, точечный диполь. Комбинация диполя равномерного потока: обтекание сферы. Интегральное представление гармонической функции в ограниченной области. Интегральное представление гармонической функции в неограниченной области. Неединственность интегральных представлений

#### **практическое занятие (4 часа(ов)):**

Практическое занятие 1. Потенциалы: равномерного потока, источника, диполя и их комбинации. Практическое занятие 2. Формулы Грина.

### Тема 2. Панельный метод низкого порядка для вычисления поверхностных интегралов

#### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Лекция 2. Формулировки основных краевых задач. Теорема единственности. Внутренние и внешние краевые задачи. Постановка задачи о движении тела в жидкости. Поверхностное распределение источников и его свойства. Поверхностное распределение диполей и его свойства. Панельный метод низкого порядка для вычисления поверхностных интегралов. Четырехугольный источник или диполь. Глобальная и локальная системы координат. Алгоритм вычисления поверхностных распределений.

#### **практическое занятие (4 часа(ов)):**

Практическое занятие 3. Задачи Дирихле и Неймана, смешанная краевая задача. Свойства поверхностных распределений простого и двойного слоев. Практическое занятие 4. Панельный метод низкого порядка для вычисления поверхностных распределений.

### Тема 3. Метод интегральных уравнений для решения краевых задач.

#### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Лекция 3. Метод интегральных уравнений для решения краевых задач. Интегральное уравнение для задачи Неймана при использовании только распределений источников. Интегральное уравнение для задачи Неймана при использовании только распределений диполей. Интегральное уравнение Морино. Метод сведения внешней задачи Неймана к внутренней задаче Дирихле.

#### **практическое занятие (4 часа(ов)):**

Практическое занятие 5. Различные типы интегральных уравнений для задачи Неймана. Практическое занятие 6. Уравнение Морино ? основное уравнение теории крыла.

### Тема 4. Панельный метод для двухмерного и трехмерного крыльев.

#### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Лекция 4. Дискретизация интегральных уравнений в трехмерном случае. Коэффициенты влияния. Панельный метод для трехмерного крыла. След и его основное свойство. Простейшая модель следа. Интегральное уравнение Морино для трехмерного крыла. Вычисление распределения давлений. Постановка задачи об обтекании двумерного профиля. Двумерные аналоги основных потенциалов. Распределения диполей и источников и их свойства. Интегральное представление двумерного потенциала при обтекании профиля и его дискретный аналог. Основные интегральные уравнения для решения задачи об обтекании профиля.

#### **практическое занятие (4 часа(ов)):**

Практическое занятие 7. Дискретные аналогии интегральных уравнений для трехмерного крыла. Влияние следа. Практическое занятие 8. Интегральные уравнения для двухмерного крыла. Двумерные аналоги распределения особенностей

### **Тема 5. Задача о глссировании без образования брызговых струй. Оптимальная глссирующая поверхность**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Лекция 1. Задача о глссировании без образования брызговых струй. Формулы для подъемной силы и сопротивления. Максимизации подъемной силы, свойства оптимальной дуги. Лекция 2. Численный метод расчета глссирующей дуги заданной формы, вывод уравнения типа уравнения Некрасова. Дискретизация уравнения и метод его решения.

**практическое занятие (6 часа(ов)):**

Практическое занятие 1. Понятие о глссировании, безударный режим глссирования. Практическое занятие 2. Оптимальная глссирующая поверхность. Практическое занятие 3. Интегральное уравнение для глссирующей поверхности заданной формы

### **Тема 6. Задача Лаврентьева о препятствии наименьшего кавитационного сопротивления. Теоремы сравнения.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Лекция 3. Формулы Леви-Чивиты и Чаплыгина для силы, действующей на криволинейную дугу, обтекаемую с отрывом струй. Задача Лаврентьева о препятствии наименьшего кавитационного сопротивления: постановка. Лекция 4. Теоремы сравнения, теорема единственности для звездных препятствий; доказательство теоремы Лаврентьева о препятствии минимального сопротивления

**практическое занятие (6 часа(ов)):**

Практическое занятие 4. Формулы Леви-Чивиты и Чаплыгина и их связь с задачей Лаврентьева. Практическое занятие 5. Задача Лаврентьева и профиль Кирхгоффа. Практическое занятие 6. Различные способы доказательства теоремы Лаврентьева о препятствии минимального сопротивления.

### **Тема 7. Задача об оптимальной форме идеального парашюта.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Лекция 5. Задача о препятствии максимального сопротивления при обтекании по схеме Кирхгофа. Максимизация сопротивления для схемы со следом. Дуга максимальной подъемной силы при обтекании по схеме Кирхгофа. Лекция 6. Теорема об оптимальном распределении скорости на дуге; форма оптимальной дуги и струй. Кавитирующие профили, с подъемной силой близкой к максимальной

**практическое занятие (6 часа(ов)):**

Практическое занятие 7. Форма оптимального парашюта с бесконечным следом. Практическое занятие 8. Форма оптимального парашюта со следом конечной ширины. Практическое занятие 9. Интегральное уравнение для парашюта заданной формы

## **4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

<b>N</b>	<b>Раздел Дисциплины</b>	<b>Семестр</b>	<b>Неделя семестра</b>	<b>Виды самостоятельной работы студентов</b>	<b>Трудоемкость (в часах)</b>	<b>Формы контроля самостоятельной работы</b>
1.	Тема 1. Интегральные представления гармонической функции в ограниченной и неограниченной областях	1	1-2	подготовка к устному опросу	12	устный опрос

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
2.	Тема 2. Панельный метод низкого порядка для вычисления поверхностных интегралов	1	3-6	подготовка к устному опросу	12	устный опрос
3.	Тема 3. Метод интегральных уравнений для решения краевых задач.	1	7-10	подготовка к устному опросу	12	устный опрос
4.	Тема 4. Панельный метод для двухмерного и трехмерного крыльев.	1	11-16	подготовка к устному опросу	12	устный опрос
5.	Тема 5. Задача о глассировании без образования брызговых струй. Оптимальная глассирующая поверхность	2	1-4	подготовка к устному опросу	12	устный опрос
6.	Тема 6. Задача Лаврентьева о препятствии наименьшего кавитационного сопротивления. Теоремы сравнения.	2	5-10	подготовка к устному опросу	12	устный опрос
7.	Тема 7. Задача об оптимальной форме идеального парашюта.	2	11-14	подготовка к устному опросу	18	устный опрос
	Итого				90	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

лекции с применением средств мультимедиа, самостоятельная работа (программирование) с использованием учебного пособия по курсу МГЭ, лабораторные занятия, контрольные работы, зачет. В течение семестра студенты решают набор модельных задач, указанных преподавателем к каждому лабораторному занятию. В каждом семестре проводятся контрольные работы (на лабораторных занятиях). К зачетам допускаются студенты, сдавшие все задачи и показавшие положительные результаты по текущей работе в течение семестра.

## 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

### Тема 1. Интегральные представления гармонической функции в ограниченной и неограниченной областях

устный опрос , примерные вопросы:



1) Записать потенциал источника. 2) Записать потенциал диполя. 3) Что такое потенциалы простого и двойного слоев.

**Тема 2. Панельный метод низкого порядка для вычисления поверхностных интегралов**  
устный опрос , примерные вопросы:

1) Как рассчитать поверхностное распределение источников? 2) Как рассчитать поверхностное распределение диполей? 3) Где панельные методы дают наилучшую точность?

**Тема 3. Метод интегральных уравнений для решения краевых задач.**

устный опрос , примерные вопросы:

1) Граничные условия для краевой задачи Дирихле. 2) Граничные условия для краевой задачи Неймана. 3) Какой скачек при переходе через поверхность испытывает двойной слой?

**Тема 4. Панельный метод для двумерного и трехмерного крыльев.**

устный опрос , примерные вопросы:

1) Какой скачек при переходе через поверхность испытывает простой слой? 2) В чем суть идеи Морино? 3) Можно использовать уравнение Морино для решения задачи Дирихле? 4) Каковы граничные условия на следе? 5) Каковы граничные условия на поверхности крыла? 6) Условия на бесконечности?

**Тема 5. Задача о глассировании без образования брызговых струй. Оптимальная глассирующая поверхность**

устный опрос , примерные вопросы:

1) Что такое брызговая струя? 2) Что такое безударный режим? 3) Каково представление формы дуги в методе Некрасова?

**Тема 6. Задача Лаврентьева о препятствии наименьшего кавитационного сопротивления. Теоремы сравнения.**

устный опрос , примерные вопросы:

1) Сформулировать задачу Лаврентьева. 2) Как построить профиль Кирхгоффа? 3) Сформулировать первую теорему сравнения Лаврентьева? 4) Сформулировать вторую теорему сравнения Лаврентьева?

**Тема 7. Задача об оптимальной форме идеального парашюта.**

устный опрос , примерные вопросы:

1) Что такое схема Кирхгофа? 2) Каковы недостатки схемы Кирхгофа? 3) Что такое схема Жуковского-Рошко-Эпплера?

**Тема . Итоговая форма контроля**

**Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к зачету:

Проверка теоретических знаний и практических навыков осуществляется по 100-балльной рейтинговой системе, принятой к КФУ. 50 баллов отводится для оценки текущей успеваемости, 50 - для оценки на зачете. Проводятся две контрольные работы в конце каждого семестра; на лабораторных работах проверяются и зачитываются компьютерные программы, составленные каждым студентом.

Зачеты принимаются в конце 9-ого семестра и семестра А; зачет ставится, если сумма баллов текущей успеваемости и оценки на зачете превышает 51.

Вопросы для зачета

I семестр

1. Основные трехмерные потенциалы: равномерный поток, точечный источник, точечный диполь.
2. Комбинация диполя и равномерного потока: обтекание сферы
3. Интегральное представление гармонической функции в ограниченной области.
4. Интегральное представление гармонической функции в неограниченной области. Неединственность интегральных представлений.

5. Формулировки основных краевых задач. Теорема единственности.
6. Внутренние и внешние краевые задачи. Постановка задачи о движении тела в жидкости.
7. Поверхностное распределение источников и его свойства.
8. Поверхностное распределение диполей и его свойства.
9. Панельный метод низкого порядка для вычисления поверхностных интегралов. Четырехугольный источник или диполь. Глобальная и локальная системы координат. Алгоритм вычисления поверхностных распределений.
10. Метод интегральных уравнений для решения краевых задач. Интегральные уравнения для задачи Неймана при использовании только распределений источников.
11. Интегральное уравнение Морино.
12. Метод сведения внешней задачи Неймана к внутренней задаче Дирихле.
13. Дискретизация интегральных уравнений в трехмерном случае. Коэффициенты влияния.
14. Постановка задачи об обтекании двумерного профиля.  
Двумерные аналоги основных потенциалов. Распределения диполей и источников и их свойства.
15. Интегральное представление двумерного потенциала при обтекании профиля и его дискретный аналог. Интегральные уравнения Морино для полного потенциала при решении задачи об обтекании профиля.
17. Интегральные уравнения Морино для возмущенного потенциала при решении задачи об обтекании профиля.
18. Панельный метод для трехмерного крыла. След и его основное свойство.
19. Простейшая модель следа. Интегральное уравнение Морино для трехмерного крыла. Вычисление распределения давлений.

#### Домашние задания

1. Рассчитать профиль RAE100, 2 градуса
2. Рассчитать профиль RAE101 2 градуса
3. Рассчитать профиль RAE102 2 градуса
3. Рассчитать профиль RAE103 2 градуса
4. Рассчитать профиль RAE104 2 градуса
5. Рассчитать профиль RAE2822 2 градуса
6. Рассчитать профиль RAE5213. 3 градуса
7. Рассчитать профиль RAE5214 0 градусов
8. Рассчитать профиль FX2 0 градусов
9. Рассчитать профиль Eppler-66 3 градуса
10. Рассчитать профиль Eppler-67 3 градуса
11. Рассчитать профиль Eppler-657 3 градуса
12. Рассчитать профиль Eppler-662 3 градуса
13. Рассчитать профиль RAE2822 (Угол атаки нулевой подъемной силы)

#### II семестр

##### Вопросы зачета:

- 1) Задача о глиссировании без образования брызговых струй: вывод формулы для подъемной силы и сопротивления.
- 2) Задача о глиссировании без образования брызговых струй:
  - а) максимизация функционала
  - б) свойства оптимальной дуги.
- 3) Численный метод расчета глиссирующей дуги заданной формы: вывод уравнения типа уравнения Некрасова.

- 4) Численный метод расчета глсссирующей дуги заданной формы: дискретизация системы
- 5) Формулы Леви-Чивиты и Чаплыгина для силы, действующей на криволинейную дугу, обтекаемую с отрывом струй.
- 6) Задача Лаврентьева о препятствии наименьшего кавитационного сопротивления: постановка задачи Лаврентьева; формулировки двух теорем сравнения Лаврентьева; доказательство теоремы о прямой пересекающей свободную поверхность;
- 7) Задача Лаврентьева о препятствии наименьшего кавитационного сопротивления: постановка задачи Лаврентьева; доказательство теоремы единственности для звездных препятствий; доказательство теоремы Лаврентьева о препятствии минимального сопротивления.
- 7) Задача о препятствии максимального сопротивления при обтекании по схеме Кирхгофа: постановка задачи; сведение задачи к максимизации нелинейного функционала при ограничении типа неравенства.
- 8) Задача о препятствии максимального сопротивления при обтекании по схеме Кирхгофа:
- 10) Максимизация сопротивления для схемы со следом. Сведение задачи к максимизации нелинейного функционала при ограничении типа равенства.
- 11) Дуга максимальной подъемной силы при обтекании по схеме Кирхгофа: вывод формулы для подъемной силы.
- 12) Дуга максимальной подъемной силы при обтекании по схеме Кирхгофа: теорема об оптимальном распределении скорости на дуге; форма оптимальной дуги и струй.

### 7.1. Основная литература:

Механика сплошной среды, Нигматулин, Роберт Искандерович, 2014г.

Особенности численной реализации методов решения прямых и обратных краевых задач аэрогидродинамики, Марданов, Ренат Фаритович, 2013г.

Николаенко В.Л. Механика - М: Новое знание, 2011. - 636 с.

<http://e.lanbook.com/view/book/2911/>

Покровский В.В. Механика. Методы решения задач: учебное пособие. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012 - 253 с.

<http://e.lanbook.com/view/book/8713/>

### 7.2. Дополнительная литература:

Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: учебник. - Издание 7-е, исправленное. - Москва: Дрофа, 2003. - 840 с.

Роуч, П. Дж. Вычислительная гидродинамика / Пер. с англ. В. А. Гущина, В. Я. Митницкого; Под ред. П. И. Чушкина / П. Дж. Роуч. - М.: Мир, 1980. - 616 с.

Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. - Издательство: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 634 с.

<http://e.lanbook.com/view/book/4397/>

### 7.3. Интернет-ресурсы:

Бармасов, А. В. Курс общей физики для природопользователей. Колебания и волны: учеб. пособие / А. В. Бармасов, В. Е. Холмогоров / Под ред. А. П. Бобровского. ? СПб.: БХВ-Петербург, 2009. ? 256 с. - <http://www.znaniium.com/bookread.php?book=349952>

Введение в численные методы в задачах и упражнениях: Уч. пос./ А.В. Гулин и др. - М.: НИЦ ИНФРА-М: АРГАМАК-МЕДИА, 2014. - 368 с. - <http://www.znaniium.com/bookread.php?book=454592>

Гидравлика: Учебное пособие / Б.В. Ухин. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ Инфра-М, 2013. - 464 с. - <http://www.znaniium.com/bookread.php?book=375072>

Гидрогазодинамика: Учебное пособие / А.А. Кудинов. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 336 - <http://www.znaniium.com/bookread.php?book=410288>

Методы научного познания: Учебное пособие / С.А. Лебедев. - М.: Альфа-М: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 272 с - <http://www.znaniium.com/bookread.php?book=450183>

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)**

Освоение дисциплины "Численно-аналитические методы аэрогидромеханики" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

учебные аудитории для проведения лекционных и семинарских занятий, компьютерный класс с установленным пакетом МАТЕМАТИКА 7.0 с возможностью многопользовательской работы и централизованного администрирования.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 010800.68 "Механика и математическое моделирование" и магистерской программе Механика жидкости, газа и плазмы .

Автор(ы):

Маклаков Д.В. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Егоров А.Г. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.