

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
"МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ"**

---

**Кафедра аэродинамики, конструкции и прочности летательных аппаратов**

М.С. Кубланов

**ГИДРОГАЗОДИНАМИКА**

**ПОСОБИЕ**

**по изучению дисциплины**

*для студентов II курса  
направления 162300  
заочного обучения*

**Москва - 2013**

ББК 517.8

К 88

Рецензент д-р техн. наук, проф. В.Г. Ципенко

Кубланов М.С.

К 88

Гидрогазодинамика: Пособие по изучению дисциплины. Направление 162300. Заочное обучение. – М.: МГТУ ГА, 2013. – 12 с.

Данное пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины Б.2.7. "Гидрогазодинамика" по учебному плану подготовки бакалавров направления 162300 "Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей" для студентов II курса заочной формы обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 29.08.2012 г. и методического совета 11.09.2012 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

	с.
1. УЧЕБНЫЙ ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ.....	3
2. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ДИСЦИПЛИНЕ.....	4
3. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	6
4. ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА ИНФОРМАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ.	6
5. ЭЛЕКТРОННЫЙ АДРЕС КАФЕДРЫ ДЛЯ КОНСУЛЬТАЦИЙ.....	7
6. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ.....	7
7. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ.....	7
8. ТЕРМИНОЛОГИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	11
9. ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ.....	12
10. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ .....	12
11. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА.....	12

## 1. УЧЕБНЫЙ ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ

Курс <u>  2  </u> , Форма обучения <u>          заочная          </u> .	
Общий объем учебных часов на дисциплину	<u>108</u> часов
Объем аудиторной нагрузки	<u>12</u> часов
– лекции	<u>8</u> часов
– лабораторные работы	<u>4</u> часа
Объем самостоятельной работы студента	<u>96</u> часов
– контрольная работа	<u>7</u> часов
– работа с учебной литературой и подготовка к экзамену	89 часов
Экзамен	<u>2</u> курс

## 2. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ДИСЦИПЛИНЕ

### 2.1. Предмет дисциплины

Развитие современной техники невозможно без решения сложных задач гидродинамики, аэродинамики, газодинамики, динамики многофазных сред и процессов горения, волновых процессов, упругости, пластичности и прочности конструкций. Современная наукоемкая авиация – именно та область техники, в которой требуется решение таких задач. Это – теория полета, теория двигателей, расчет конструкций и систем на работоспособность и прочность, расчет тушения пожаров и движения ЛА по земле и воде.

Теория полета (аэродинамика и динамика полета) – наука фундаментальная и строгая, опирающаяся на математический аппарат. Но, как и о всякой науке, о ней можно говорить на кухне, опираясь лишь на интеллект соответствующего уровня. К сожалению, и сегодня появляются "ученые", пытающиеся на кухонном уровне объяснить основные законы природы, в том числе и аэродинамики и динамики полета. Но когда с помощью этих объяснений пытались решить серьезные задачи в авиации, это приводило к плачевным результатам: после отрыва от земли самолеты "вдруг" круто пикировали; при большой скорости на самолетах с первыми турбореактивными двигателями (ТРД) "вдруг" появлялась тряска и самолет рассыпался; преодоление звукового барьера долго не давалось; перегруженные самолеты не могли завершить взлет и т.п. Многие из таких и других катастроф случаются и сегодня. В технической эксплуатации непонимание основ функционирования систем воздушного судна приводит к их отказам из-за нерасчетных режимов работы (попадание воздуха или воды в топливные или гидравлические системы, разрушение соединений в процессе эксплуатационных нагрузок по причинам пластической деформации или ухудшения свойств рабочих жидкостей и т.п.). К сожалению, в большинстве случаев это происходит по причине человеческого фактора, именно из-за недопонимания происходящего явления.

Современное состояние образования в области авиации характерно высокой плотностью общеинженерных и специальных дисциплин. Изучение их в отрыве друг от друга уже невозможно. Особенно остро этот вопрос сегодня стоит при профессиональной подготовке эксплуатационников, которые обязаны обеспечивать безопасность полетов. Эксплуатационник обязан быть специалистом не только в области организации технического обслуживания и ремонта, но и в области конструкции и принципов действия отдельных систем и всего летательного аппарата (ЛА) в целом. А для этого требуется более высокий, более абстрактный подход, дающий единое фундаментальное математическое обоснование на первый взгляд разрозненных дисциплин. При таком подходе обеспечивается более глубокое усвоение учебного материала и требуется меньше времени на весь период обучения.

## 2.2. Цель и задачи дисциплины

### 2.2.1. Цель преподавания дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование у студентов понимания и знания методических основ механики сплошной среды, как математической базы прикладных дисциплин, изучающих механические процессы и системы в авиационной технике.

### 2.2.2. Задачи изучения дисциплины

#### 2.2.2.1. Иметь представление:

- о математической основе механики сплошной среды;
- об уравнениях механики сплошной среды;
- об особенностях уравнений гидрогазодинамики;
- об элементарной теории сопла Лавалья;
- о явлениях кавитации, гидравлического удара.

#### 2.2.2.2. Знать:

- гипотезы и термины механики сплошной среды;
- основные модели сплошной среды;
- интеграл Бернулли;
- природу взаимодействия тела и жидкости или газа;
- теорему Жуковского;
- основные критерии подобия в механике сплошной среды;
- физическую сущность явлений, процессов и эффектов, лежащих в основе устройства и функционирования объектов АТ.

#### 2.2.2.3. Уметь:

- различать вихревое и безвихревое движения сплошной среды;
- различать разрывы характеристик и сплошности среды;
- использовать методы теоретического и экспериментального исследования в физике.

#### 2.2.2.4. Владеть:

- приёмами оценивания параметров и изделий АТ на основе методов физического исследования;
- навыками использования знаний, полученных при изучении общенаучных дисциплин, для решения практических природоохранных задач.

## 2.3. Перечень базовых (формирующих) дисциплин

Требования к входным знаниям студента, необходимым для изучения дисциплины:

- по дисциплине высшая математика – знать и уметь применять методы линейной алгебры и математического анализа; иметь представление о дифференциальных уравнениях в обыкновенных и частных производных, об алгебре тензоров, о теории функций комплексного переменного;
- по дисциплине физика – знать фундаментальные физические законы и их место;

– по дисциплине теоретическая механика – знать основные понятия и модели.

#### 2.4. Перечень формируемых дисциплин

Дисциплины, для которых данная дисциплина является предшествующей:

- аэродинамика (прикладная);
- гидравлика;
- динамика и прочность авиационных конструкций;
- дисциплины магистерской подготовки.

### 3. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

№ п/п	А в т о р	Н а и м е н о в а н и е, и з д а т е л ь с т в о, г о д и з д а н и я
1. Основная литература:		
1	Кубланов М.С.  Шифр библиотеки МГТУ ГА 517.8 К88	Гидрогазодинамика: учебное пособие. – М.: МГТУ ГА, 2013
2. Учебно-методическая литература:		
2	Кубланов М.С.	Гидрогазодинамика: пособие по выполнению контрольной работы. – М.: МГТУ ГА, 2013.
3	Кубланов М.С.	Гидрогазодинамика: пособие по изучению дисциплины и выполнению лабораторных работ. – М.: МГТУ ГА, 2013
3. Дополнительная литература		
4	Гарбузов В.М., Ермаков А.Л., Кубланов М.С., Ципенко В.Г.	Аэромеханика: учебник для вузов ГА. – М.: Транспорт, 1999.
5	Кубланов М.С.	Аэродинамика и динамика полета: учебное пособие. – М.: МГТУ ГА, 2000

### 4. ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА ИНФОРМАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

База электронной информотеки МГТУ ГА – электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) – содержит всю информацию, необходимую для изучения дисциплины:

- рабочую программу дисциплины;
- пособие по изучению дисциплины;
- учебное пособие;
- слайды для лекционного материала;
- контрольные вопросы по дисциплине (для подготовки к экзамену).

## 5. ЭЛЕКТРОННЫЙ АДРЕС КАФЕДРЫ ДЛЯ КОНСУЛЬТАЦИЙ

akpla@yandex.ru

Письма помечать: "для Кубланова" или "для Ефимовой".

## 6. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

**Раздел 1.** Введение. Кинематика сплошной среды.

**Раздел 2.** Динамика сплошной среды.

**Раздел 3.** Основы теории жидкости и газа.

**Раздел 4.** Задачи гидромеханики.

**Раздел 5.** Задачи аэромеханики.

## 7. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**Раздел 1.** Введение. Кинематика сплошной среды.

Структура механики сплошной среды. Понятие механики сплошной среды. Гипотезы механики сплошной среды. Переменные Эйлера и Лагранжа. Деформация и скорость деформации.

Основные термины механики сплошной среды. Уравнение неразрывности.

Безвихревое и вихревое движение. Физический смысл вихря. Потенциал скорости. Свойства потенциального движения сплошной среды. Примеры потенциального и вихревого движения. Формула Био и Савара.

*Методические указания к изучению раздела*

Литература: [1, введение, раздел 1].

Центральные вопросы: Структура механики. Гипотезы механики сплошной среды. Основные термины механики сплошной среды. Уравнение неразрывности. Безвихревое и вихревое движение. Силы и моменты в механике сплошной среды. Нормальное и касательное напряжение. Тензор внутренних напряжений. Уравнения движения сплошной среды. Модели сплошной среды.

Контрольные вопросы:

- 1.1. Структура механики сплошной среды.
- 1.2. Что такое механика сплошной среды?
- 1.3. Гипотезы механики сплошной среды.
- 1.4. Переменные Эйлера и Лагранжа.
- 1.5. Деформация и скорость деформации.
- 1.6. Что такое поле вектора скорости?

- 1.7. Что такое траектория частицы?
- 1.8. Что такое линия тока?
- 1.9. Какой физический смысл уравнения неразрывности?

## **Раздел 2.** Динамика сплошной среды.

Силы и моменты в механике сплошной среды. Нормальное и касательное напряжение. Тензор внутренних напряжений.

Уравнения движения сплошной среды. Уравнение количества движения конечного объема сплошной среды. Основное дифференциальное уравнение движения сплошной среды. Уравнение момента количества движения конечного объема сплошной среды.

Модели сплошной среды. Идеальная жидкость. Давление. Упругая среда и теория упругости. Вязкая жидкость, закон Навье-Стокса. Тензор скоростей деформации. Изотропные и анизотропные среды. Коэффициенты вязкости для изотропной среды. Баротропные жидкости: несжимаемая, изотермическая, политропическая, совершенный газ.

*Методические указания к изучению раздела*

Литература: [1, раздел 2].

Центральные вопросы: Силы и моменты в механике сплошной среды. Нормальное и касательное напряжение. Тензор внутренних напряжений. Уравнения движения сплошной среды. Модели сплошной среды.

Контрольные вопросы:

- 2.1. Общая классификация сил и моментов в механике сплошной среды.
- 2.2. Что такое нормальное и касательное напряжение?
- 2.3. Почему внутренние поверхностные силы (напряжения) описываются тензором?
- 2.4. Что такое давление и как оно связано с тензором внутренних напряжений?
- 2.5. Каков физический смысл уравнений движения сплошной среды?
- 2.6. Каков смысл различия уравнений движения сплошной среды в интегральной и в дифференциальной форме?
- 2.7. Для чего необходимо задавать модель (вид) сплошной среды?
- 2.8. Основная характеристика упругой среды.
- 2.9. Основная характеристика идеальной среды.
- 2.10. Основная характеристика вязкой среды.
- 2.11. Что такое уравнение баротропии?
- 2.12. Что такое несжимаемая среда?
- 2.13. Что такое совершенный газ?

## **Раздел 3.** Основы теории жидкости и газа

Уравнения Навье-Стокса. Уравнения движения вязкой несжимаемой изотропной среды. Уравнения Эйлера – движения идеальной среды. Интеграл Бернулли. Трубка Пито-Прандтля. Технические приложения.



Постановка задач в теории жидкости и газа. Начальные и граничные условия. Особенности постановки и решения задач: движения потенциальные, плоские, вихревые, установившиеся, плоскопараллельные, осесимметричные, одномерные, автомодельные. Упрощение уравнений движения: принцип малых возмущений, линеаризация.

Понятие о методах решения задач теории жидкости и газа. Теоретические и экспериментальные методы решения задач механики сплошной среды. Критерии подобия: числа Маха, Рейнольдса, Струхала, Фруда, Эйлера, Ньютона. Аэродинамические трубы. Методы численного решения задач в механике жидкости и газа.

Взаимодействие жидкостей и газов с обтекаемыми телами. Теорема Жуковского для цилиндра с циркуляцией скорости. Профиль Жуковского. Постулат Чаплыгина-Жуковского.

*Методические указания к изучению раздела*

Литература: [1, раздел 3].

Центральные вопросы: Уравнения Навье-Стокса. Уравнения Эйлера. Интеграл Бернулли. Теорема Жуковского. Постановка задач в теории жидкости и газа. Понятие о методах решения задач теории жидкости и газа.

Контрольные вопросы:

- 3.1. С помощью каких моделей выводятся уравнения Навье-Стокса?
- 3.2. С помощью каких предположений можно получить решение уравнений Навье-Стокса в виде интеграла Бернулли?
- 3.3. Что такое полное давление?
- 3.4. Что такое скоростной напор?
- 3.5. Что такое статическое давление?
- 3.6. Физический смысл действия трубки Пито-Прандтля.
- 3.7. Почему постановка задач в теории жидкости и газа требует задания начальных и граничных условий?
- 3.8. Особенности потенциального движения.
- 3.9. Упрощенные виды движения.
- 3.10. Что такое критерии подобия?
- 3.11. Предположения теоремы Жуковского.
- 3.12. Формула Жуковского.
- 3.13. Какая математическая теория применяется при построении профиля крыла?
- 3.14. За счет каких физических явлений в реальных условиях можно создать подъемную силу?
- 3.15. В чем заключается прикладной характер парадокса Эйлера-Даламбера?

#### **Раздел 4. Задачи гидромеханики.**

Гидростатика. Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля. Закон Архимеда. Кавитация. Установившееся движение вязкой жидкости между плоскостями. Течение Куэтта, течение Пуазейля. Гидродинамическое обнесо-

вание теории смазки подшипников. Движение несжимаемой вязкой жидкости в цилиндрических трубах. Параболическое распределение скорости и закон Гагена-Пуазейля. Глиссирование.

*Методические указания к изучению раздела*

Литература: [1, раздел 4].

Центральные вопросы: Основное уравнение гидростатики. Кавитация. Гидродинамическое обоснование теории смазки подшипников. Движение несжимаемой вязкой жидкости в цилиндрических трубах. Глиссирование.

Контрольные вопросы:

- 4.1. Предположения закона Паскаля в узкой и широкой трактовке.
- 4.2. Какие параметры связаны основным уравнением гидростатики?
- 4.3. Предположения закона Архимеда.
- 4.4. Физическая суть явления кавитации.
- 4.5. Для какой цели используется число кавитации?
- 4.6. Постановка задачи течения Куэтта.
- 4.7. Постановка задачи течения Пуазейля.
- 4.8. Какова физическая природа явления смазки?
- 4.9. Предположения постановки задачи движения жидкости в цилиндрических трубах для получения параболического распределения скорости и закона Гагена-Пуазейля.
- 4.10. Физическая природа глиссирования.

## **Раздел 5. Задачи аэромеханики.**

О ламинарных и турбулентных течениях. Критическое значение числа Рейнольдса. Пограничный слой. Отрыв пограничного слоя. Понятие о вихревой теории. Условия появления вихрей. Образование концевой вихря на профиле. Образование вихревой пелены на крыле конечного размаха. Динамика сжимаемого газа. Скорость звука. Сопло Лавалья. Разрывы непрерывности среды. Физика образования ударных волн.

*Методические указания к изучению раздела*

Литература: [1, раздел 5].

Центральные вопросы: Понятие ламинарных и турбулентных течений. Критическое значение числа Рейнольдса. Основная идея пограничного слоя. Понятие о вихревой теории. Динамика сжимаемого газа.

Контрольные вопросы:

- 5.1. Понятие ламинарного течения.
- 5.2. Понятие турбулентного течения.
- 5.3. Что определяет критическое число Рейнольдса?
- 5.4. Основные предположения теории пограничного слоя.
- 5.5. Какова физико-математическая природа вязкого трения на поверхности обтекаемого тела?
- 5.6. Какова физическая причина отрыва пограничного слоя?

- 5.7. Каковы предположения теоремы Томсона о постоянстве циркуляции?
- 5.8. При каких условиях в сплошной среде могут появляться и исчезать вихри?
- 5.9. Какова физическая природа образования концевых вихря на профиле?
- 5.10. Какова физическая природа образования вихревой пелены на крыле конечного размаха?
- 5.11. Какое свойство газа характеризует скорость звука?
- 5.12. Основная идея сопла Лавалья.
- 5.13. Что терпит разрыв на поверхностях разрыва?
- 5.14. Возможно ли появление поверхностей разрыва в несжимаемой среде?
- 5.15. Физика образования ударных волн.

## 8. ТЕРМИНОЛОГИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Механика сплошной среды

Гипотеза сплошности

Траектория частицы

Линия тока

Поток скорости

Ротор скорости (вихрь)

Циркуляция скорости

Внутренние поверхностные силы (силы внутренних напряжений)

Идеальная среда

Упругая среда

Пластическая среда

Вязкая среда

Баротропная среда

Несжимаемая среда

Совершенный газ

Изотропная среда

Интеграл Бернулли

Полное давление

Скоростной напор

Статическое давление

Теорема Жуковского

Ламинарное течение

Турбулентное течение

Пограничный слой

Скорость звука

Число Маха

Сопло Лавалья

Разрыв непрерывности параметров среды

## 9. ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ

Лекция 1. Установочная лекция (1 курс). 2 часа.

Структура дисциплины, состав занятий, контрольной работы и вид контроля самостоятельной работы студентов.

Место дисциплины в современной структуре знаний.

Лекция 2. Обзорная лекция № 1 (4 курс). 2 часа.

Введение. Кинематика сплошной среды.

Лекция 3. Обзорная лекция № 2 (4 курс). 2 часа.

Динамика сплошной среды. Основы теории жидкости и газа.

Лекция 4. Обзорная лекция № 3 (4 курс). 2 часа.

Задачи гидромеханики. Задачи аэромеханики.

## 10. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

Лабораторная работа № 1. Определение скорости воздушного потока.

Объем лабораторной работы 4 часа.

Лабораторная работа № 1 выполняется на аэродинамической трубе УТ-1 лаборатории аэродинамики кафедры АКПЛА МГТУ ГА. Основывается на теоретическом материале раздела 3 «Основы теории жидкости и газа», темы 3.4 «Интеграл уравнений движения» [1, § 3.4]. Цель работы: изучение методов практического измерения величины скорости воздушного потока в аэродинамической трубе и оценка точности измерения. Рекомендуется ознакомиться с литературой [2].

Лабораторная работа № 2. Исследование видов течения в трубах.

Объем лабораторной работы 4 часа.

Лабораторная работа № 2 выполняется в лаборатории гидравлики кафедры АКПЛА МГТУ ГА. Основывается на теоретическом материале раздела 5 «Задачи аэромеханики», темы 5.1 «О ламинарных и турбулентных течениях» [1, § 5.1]. Цель работы: изучение ламинарного и турбулентного видов течения жидкости и условий их взаимного перехода. Рекомендуется ознакомиться с литературой [2].

## 11. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Контрольная работа состоит в решении трех задач. Первая задача – вычисление циркуляции скорости. Вторая задача – вычисление внутренних напряжений. Третья задача – вычисление параметров обтекания крыла самолета.

Контрольная работа выполняется в течение 4 курса.

Для выполнения контрольной работы требуется 4 часа самостоятельной работы студента.

Контрольная работа выполняется в ученической тетради с применением микрокалькулятора.

В период сессии по результатам зачетной контрольной работы проводится собеседование.