

А.С. Якимов

**ГИДРОМЕХАНИКА**  
**ТЕОРИЯ И ЗАДАЧИ**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

А.С. ЯКИМОВ

ГИДРОМЕХАНИКА.  
ТЕОРИЯ И ЗАДАЧИ

Издательство Томского университета  
2019

УДК 532  
ББК 23.253  
Я 45

Рецензенты:

*А.Н. Субботин* – д-р физ.-мат. наук, профессор научно-образовательного центра И.Н. Бутакова Национального исследовательского Томского политехнического университета,  
*А.М. Бубенчиков* – д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры теоретической механики Национального исследовательского Томского государственного университета

**А.С. Якимов**  
Я 45 Гидромеханика. Теория и задачи: учеб. пособие. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2019. – 188 с.

ISBN 978-5-7511-2587-5

В учебном пособии изложены основные разделы гидромеханики, связанные с изучением идеальных и вязких жидкостей. Представлены базовые принципы, положенные в основу гидродинамических моделей, а также используемые упрощающие предположения и соответствующие им модели. Рассмотрено применение метода конформных отображений в гидромеханике. Исследуются вихревые движения идеальной жидкости и приведены примеры образования вихрей. Изучается теория тонких профилей и обтекания профилей с отрывом струй. Освещены вопросы теории движения вязкой жидкости и рассмотрены ламинарное и турбулентное движения в пограничном слое и трубах.

Для углубления курса гидромеханики в конце книги приведены примеры решения некоторых типовых задач.

Для бакалавров по программе подготовки «Механика жидкости, газа и плазмы» (направление 01.04.03 – Механика и математическое моделирование).

**УДК 532**  
**ББК 23.253**

ISBN 978-5-7511-2587-5

© А.С. Якимов, 2019

## О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ.....	6
<b>Глава I. ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ ГИДРОМЕХАНИКИ.....</b>	<b>9</b>
§ 1.1. Закон сохранения массы.....	9
§ 1.2. Силы, действующие в жидкости. Закон сохранения импульса.....	12
§ 1.3. Уравнение движения жидкости в напряжениях.....	16
§ 1.4. Уравнения движения идеальной жидкости.....	19
§ 1.5. Уравнения Эйлера движения идеальной жидкости.....	20
§ 1.6. Интеграл Бернулли для линии тока.....	21
§ 1.7. Начальные и граничные условия.....	22
<b>Глава II. ПЛОСКОЕ БЕЗВИХРЕВОЕ ДВИЖЕНИЕ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ.....</b>	<b>25</b>
§ 2.1. Некоторые определения и задачи о движении тела в жидкости.....	25
§ 2.2. Применение комплексного переменного в гидромеханике: функция тока; связь функции тока с потенциалом скорости; плоскость годографа скорости.....	26
§ 2.3. Исследование потоков с известным комплексным потенциалом.....	29
§ 2.4. Обтекание круглого цилиндра без циркуляции.....	35
§ 2.5. Обтекание цилиндра с циркуляцией.....	38
§ 2.6. Свойства линий тока в окрестности особых точек.....	43
<b>Глава III. ПЛОСКАЯ ЗАДАЧА О ДВИЖЕНИИ ТЕЛА В ИДЕАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ.....</b>	<b>45</b>
§ 3.1. Подъемная сила.....	45
§ 3.2. Формула Чаплыгина–Блазиуса.....	47
§ 3.3. Теорема Кутта–Жуковского.....	49

## 4 Оглавление

§ 3.4. Метод Жуковского оценки суммарного действия потока на крыло .....	53
<b>Глава IV. МЕТОД КОНФОРМНОГО ОТОБРАЖЕНИЯ</b> .....	54
§ 4.1. Применение метода конформных отображений в гидромеханике .....	54
§ 4.2. Связь между комплексными скоростями действительного и фиктивного течения .....	56
§ 4.3. Постулат Чаплыгина–Жуковского .....	58
§ 4.4. Формула Чаплыгина–Блазиуса .....	61
§ 4.5. Безотрывное обтекание пластины .....	64
<b>Глава V. ТЕОРИЯ ТОНКИХ ПРОФИЛЕЙ</b> .....	70
§ 5.1. Метод Л.И. Седова (Серебрянского) .....	70
§ 5.2. Метод Глауэрта решения задачи обтекания тонкого профиля .....	75
<b>Глава VI. ОБТЕКАНИЕ ПРОФИЛЕЙ С ОТРЫВОМ СТРУЙ</b> .....	81
§ 6.1. Введение .....	81
§ 6.2. Метод Кирхгофа .....	83
§ 6.3. Кавитационное симметричное обтекание пластины .....	85
§ 6.4. Методы Жуковского–Митчела и Леви-Чивита .....	93
<b>Глава VII. ВИХРЕВЫЕ ДВИЖЕНИЯ ИДЕАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ</b> .....	95
§ 7.1. Введение .....	95
§ 7.2. Теорема Томсона .....	96
§ 7.3. Теорема Гельмгольца .....	98
§ 7.4. Образование вихрей .....	99
§ 7.5. Образование вихрей в атмосфере .....	101
§ 7.6. Образование морских течений .....	103
§ 7.7. Образование вихрей у поверхности .....	104
<b>Глава VIII. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ ПО ЗАДАННОМУ ПОЛЮ ВИХРЕЙ И ПОЛЮ РАСХОЖДЕНИЯ СКОРОСТИ</b> .....	107
§ 8.1. Вычисление вектора скорости по вихрю и полю расхождения скорости для бесконечного пространства .....	107
§ 8.2. Течение одной замкнутой вихревой линии (нити) .....	114

§ 8.3. Течение от прямолинейной вихревой линии.....	119
§ 8.4. Течение от двух прямолинейных вихревых линий.....	120
<b>Глава IX. ВИХРЕВЫЕ ЦЕПОЧКИ КАРМАНА</b> .....	124
§ 9.1. Одна вихревая цепочка Кармана.....	124
§ 9.2. Две вихревые цепочки.....	126
<b>Глава X. ПРИБЛИЖЕННОЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ ПРИ БОЛЬШИХ ЧИСЛАХ РЕЙНОЛЬДСА (<math>Re \gg 1</math>). ТЕОРИЯ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ</b> .....	131
§ 10.1. Некоторые понятия и уравнения теории пограничного слоя.....	131
§ 10.2. Пограничный слой в вязкой несжимаемой жидкости вдоль плоской пластины. Задача Блазиуса.....	133
§ 10.3. Решение задачи Блазиуса.....	135
§ 10.4. Метод последовательных приближений. Метод Швеца.....	139
§ 10.5. Интегральные соотношения Кармана.....	143
§ 10.6. Толщина вытеснения и толщина потери импульса.....	145
<b>Глава XI. ТУРБУЛЕНТНОЕ ДВИЖЕНИЕ ВДОЛЬ БЕЗГРАНИЧНОЙ ПЛАСТИНЫ И НЕКОТОРЫЕ ТЕЧЕНИЯ В ТРУБАХ</b> .....	147
§ 11.1. Турбулентное движение вдоль безграничной пластины. Ламинарный подслой.....	147
§ 11.2. Профили скоростей при турбулентном течении в круглой трубе.....	153
§ 11.3. Законы сопротивления при турбулентном движении в трубах.....	158
§ 11.4. Движение жидкости в шероховатых трубах.....	160
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ. Задачи и решения</b> .....	165
<b>ЛИТЕРАТУРА</b> .....	186