

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	11
-------------------	----

## ГЛАВА I ВВЕДЕНИЕ

§ 1. Предмет аэродинамики. Краткий обзор истории развития аэродинамики .....	13
§ 2. Применение аэродинамики в авиационной и ракетной технике.....	21
§ 3. Основные механические свойства жидкостей и газов. Сжимаемость способы ее количественной оценки.....	24
§ 4. Вязкость; ее происхождение у жидкостей и у газов .....	26
§ 5. Гипотеза о непрерывности жидкой и газообразной среды. Границы ее применения .....	28
§ 6. Массовая плотность жидкости. Зависимость плотности от давления и температуры.....	30
§ 7. Силы, действующие в жидкости. Напряжение силы. Нормальные и касательные напряжения. ....	32
§ 8. Закон Ньютона для касательных напряжений. Коэффициенты вязкости.....	37
§ 9. Дифференциальные уравнения равновесия жидкости. Свойство давлений в покоящейся жидкости .....	44
§ 10. Равновесие несжимаемой жидкости. Основное уравнение гидростатики .....	50
§ 11. Равновесие газа. Международная стандартная атмосфера .....	52
§ 12. Распределение температуры, давления и плотности в высоких слоях атмосферы .....	58

## ГЛАВА II ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ АЭРОДИНАМИКИ

§ 1. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности движения. ....	62
§ 2. Уравнение расхода для несжимаемой жидкости и для газа .....	65
§ 3. Уравнение неразрывности движения в прямоугольной, цилиндрической и сферической системах координат .....	68
§ 4. Закон сохранения энергии. Уравнение энергии в дифференциальной форме для элементарной струйки .....	74
§ 5. Уравнение Бернулли для установившегося движения идеальной несжимаемой жидкости .....	77
§ 6. Примеры применения уравнения Бернулли. Пределы его применения .....	79
§ 7. Приборы для измерения скорости движения жидкости .....	89

§ 8. Скорость распространения упругих возмущений в газе (скорость звука) .....	98
§ 9. Зависимость между площадью поперечного сечения струйки и скоростью движения идеального газа. Число М .....	102
§ 10. Уравнение энергии для установившегося движения идеальной сжимаемой жидкости .....	105
§ 11. Предельная, критическая и приведенная скорости адиабатического течения газа .....	110
§ 12. Давление, плотность и температура в точке адиабатического торможения потока газа .....	112
§ 13. Зависимость давления в струйке газа от давления торможения. Погрешность при вычислении давления и плотности в газе по формулам для несжимаемой жидкости .....	115
§ 14. Уравнение энергии для движения несжимаемой жидкости с потерями энергии .....	120
§ 15. Сопротивление цилиндрического трубопровода. Местные сопротивления .....	121
§ 16. Уравнение энергии для движения сжимаемой жидкости с потерями и притоком энергии .....	126
§ 17. Соотношение между площадью поперечного сечения струйки и скоростью движения газа при наличии трения .....	127

### ГЛАВА III ОБЩИЕ ЗАКОНЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ СРЕДЫ

§ 1. Применение моделей в аэродинамике .....	130
§ 2. Понятие о механическом подобии потоков жидкости .....	132
§ 3. Условия динамического подобия потоков .....	133
§ 4. Условия теплового подобия потоков .....	146
§ 5. Полное и частичное подобие. Способы осуществления динамического подобия при испытании моделей .....	150
§ 6. Развитие способов испытания моделей. Аэродинамические трубы малых скоростей .....	156
§ 7. Аэродинамические трубы больших скоростей .....	164
§ 8. Экспериментальное определение давлений и касательных напряжений на поверхности тела .....	175
§ 9. Векторная и координатная диаграммы распределения давления ....	179
§ 10. Распределение касательных напряжений по поверхности удобообтекаемого тела .....	181
§ 11. Аэродинамическая сила и аэродинамический момент; их составляющие по осям координат .....	184
§ 12. Основные формулы для аэродинамической силы и аэродинамического момента. Коэффициенты сопротивления. ....	189
§ 13. Коэффициент подъемной силы; его зависимость от угла атаки....	198

§ 14. Коэффициент лобового сопротивления; его зависимость от угла атаки и параметров динамического подобия .....	203
§ 15. Полярная диаграмма; ее аналитическое выражение .....	209
§ 16. Моментные кривые летательного аппарата. Понятие об устойчивом и неустойчивом аппарате .....	213
§ 17. Аэродинамический фокус и центр давления потока на тело .....	215
§ 18. Методы экспериментального определения аэродинамических сил и моментов .....	219
§ 19. Определение аэродинамических сил и моментов по распределению напряжений .....	220
§ 20. Динамометрический метод определения аэродинамических сил и моментов. Аэродинамические весы .....	223
§ 21. Определение аэродинамической силы методом импульсов. Спутная струя за телом .....	234

#### ГЛАВА IV КИНЕМАТИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА

§ 1. Особенности кинематики жидкостей и газов. Метод Лагранжа и метод Эйлера .....	243
§ 2. Линии тока и траектории частиц .....	246
§ 3. Функция тока плоского и симметрично-осевого потока .....	252
§ 4. Скорости деформации и угловые скорости вращения жидкой частицы .....	265
§ 5. Теорема Гельмгольца - о движении жидкой частицы в общем случае .....	272
§ 6. Эллипсоид скоростей деформации .....	274
§ 7. Движение без вращения частиц. Понятие о потенциале скоростей .....	276
§ 8. Движение по концентрическим окружностям без вращения частиц (плоский вихрь) .....	281
§ 9. Уравнения, для потенциала скоростей и функции тока потока несжимаемой жидкости .....	284
§ 10. Примеры: потенциалы, скоростей и функции тока простейших потоков несжимаемой жидкости .....	288
§ 11. Метод наложения потенциальных потоков несжимаемой жидкости .....	290
§ 12. Примеры применения метода наложения потоков .....	295
§ 13. Обтекание кругового цилиндра потенциальным потоком несжимаемой жидкости .....	302
§ 14. Обтекание шара потенциальным потоком несжимаемой жидкости .....	309
§ 15. Дальнейшее развитие метода наложения потоков. Приведение задачи к интегральному уравнению. ....	312

§ 16. Характеристическая функция плоского потенциального потока несжимаемой жидкости. Метод конформного преобразования .....	317
§ 17. Примеры характеристических функций и конформных преобразований плоских потенциальных потоков .....	322
§ 18. Конформное преобразование Жуковского. Обтекание эллиптического цилиндра потенциальным потоком несжимаемой жидкости.....	327
§ 19. Решение уравнения Лапласа для симметрично-осевого потенциального потока несжимаемой жидкости. Продольное обтекание эллипсоида вращения .....	332
§ 20. Вихревые линии и трубки. Понятие об интенсивности вихря.....	338
§ 21. Понятие о циркуляции скорости по замкнутому контуру .....	343
§ 22. Теорема Стокса о циркуляции скорости по замкнутому контуру...	346
§ 23. Поле скоростей, вызываемое вихрями. Случай плоских вихрей...351	
§ 24. Формула Био - Савара для скорости, вызываемой вихревой линией произвольной формы; применение ее к прямолинейному и круговому вихрям .....	354
§ 25. Определение в общем случае линейных скоростей по угловым скоростям вращения частиц .....	359

## ГЛАВА V

### ДИНАМИКА ИДЕАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ И ГАЗА

§ 1. Дифференциальная и интегральная формы уравнений динамики жидкости. Теорема Эйлера об изменении количества движения жидкого объема .....	366
§ 2. Дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости. Свойство давлений в идеальной жидкости .....	369
§ 3. Уравнения движения идеальной жидкости в форме Ламба - Громеки .....	375
§ 4. Интегралы уравнений движения идеальной жидкости .....	378
§ 5. Примеры применения уравнений движения идеальной жидкости и их интегралов .....	386
§ 6. Движение, возникшее от внезапно приложенных сил давления.....	390
§ 7. Свойства вихрей в идеальной баротропной среде. Теорема Томсона об изменении циркуляции скорости с течением времени.....	392
§ 8. Теоремы Гельмгольца о вихрях. Разгонный и остановочный вихри крыла .....	395
§ 9. Возникновение вихрей в идеальном газе .....	399
§ 10. Потенциальное движение идеальной баротропной жидкости. Общее уравнение для потенциала скоростей .....	401
§ 11. Уравнение для функции тока плоского и симметрично осевого потока баротропной среды .....	404
§ 12. Распространение возмущений в газе при движении в нем материальной точки. Конус возмущений. ....	405

§ 13. Критическое значение числа $M$ при обтекании тела потоком газа..	410
§ 14. Возникновение и развитие скачков уплотнения при числах $Mo$ , больших критического. Способы визуального изучения потока газа....	412
§ 15. Основные уравнения скачка уплотнения .....	422
§ 16. Определение параметров потока газа за скачком уплотнения по параметрам потока газа перед скачком .....	424
§ 17. Ударные волны в газовой среде. Скорость перемещения ударной волны .....	427
§ 18. Ударная адиабата. Возрастание энтропии в скачке уплотнения. ...	430
§ 19. Угол наклона плоского скачка уплотнения. ....	436
§ 20. Ударная поляра для плоского скачка. Понятие о методе годографа скорости.....	439
§ 21. Давление торможения за прямым скачком. Измерение скорости движения газа .....	444
§ 22. Потеря давления в скачке уплотнения.....	448
§ 23. Конический поток газа. Уравнение для потенциала скоростей конического потока .....	452
§ 24. Конический скачок уплотнения. Применение метода годографа скорости к расчету обтекания конуса .....	457
§ 25. Обтекание тонкого малоизогнутого тела потоком газа. Основные формулы теории малых возмущений (линейной теорией движения газа) .....	464
§ 26. Линеаризация уравнения для потенциала скоростей потока газа...	466
§ 27. Дозвуковое движение газа при малых возмущениях. Пересчет скорости и давления от несжимаемой среды на сжимаемую.....	468
§ 28. Сверхзвуковое движение газа при малых возмущениях. Понятие о характеристиках сверхзвукового движения .....	473
§ 29. Обтекание линеаризованным сверхзвуковым потоком газа малого угла, образованного двумя плоскостями .....	480
§ 30. Обтекание тонкого малоизогнутого профиля крыла линеаризованным сверхзвуковым потоком газа.....	484
§ 31. Преобразование уравнений для потенциала скоростей и функции тока в линейные диф. уравнения по способу Лежандра.....	490
§ 32. Уравнения Чаплыгина для потенциала скоростей и функции тока плоского потока газа .....	493
§ 33. Примеры простейших потенциальных течений газа .....	495
§ 34. Потенциальное движение газа с дозвуковыми скоростями. Приближенные методы Чаплыгина и Христиановича .....	499
§ 35. Пересчет по методу Христиановича скоростей и давлений от несжимаемой среды на дозвуковое движение сжимаемой среды. Определение критического значения $M$ по распределению давлений в несжимаемой среде .....	504
§ 36. Пересчет скоростей и давлений от несжимаемой среды на дозвуковое движение сжимаемой среды по методу Чаплыгина.	

Формула Кармана - Цзяня.....	507
§ 37. Потенциальное движение газа со сверхзвуковыми скоростями. Характеристики потока на плоскости годографа скорости. ....	511
§ 38. Определение поля скоростей плоского сверхзвукового потока газа методом характеристик .....	520
§ 39. Течение идеального газа с гиперзвуковой скоростью. ....	523
§ 40. Сила лобового сопротивления при движении тела в идеальной жидкости. Присоединенная масса .....	531
§ 41. Вычисление кинетической энергии среды и объема присоединенной массы при потенциальном движении в среде .....	536
§ 42. Аэродинамический момент при потенциальном обтекании тела Идеальной жидкостью. Главные направления движения .....	541
§ 43. Механические свойства главных направлений движения .....	545
§ 44. Аэродинамический момент при вращательном движении тела. Присоединенный момент инерции .....	547
§ 45. Вариационный метод решения задачи о движении идеальной жидкости .....	548
§ 46. Подъемная сила при движении тела с постоянной скоростью. Теорема Жуковского о подъемной силе в плоском потоке .....	557
§ 47. Значение теоремы Жуковского о подъемной силе. Выводы и следствия из этой теоремы .....	563
§ 48. Обобщения теоремы Жуковского о подъемной силе.....	565
§ 49. Общие формулы Чаплыгина для аэродинамической силы и момента в плоском потоке идеальной несжимаемой жидкости .....	568
§ 50. Теорема Чаплыгина об аэродинамическом моменте.....	571

## ГЛАВА VI ДИНАМИКА ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ И ГАЗА

§ 1. Ламинарное и турбулентное движения вязкой жидкости .....	578
§ 2. Ламинарное движение жидкости в круглой цилиндрической трубе	583
§ 3. Ламинарное движение в разгонном участке трубопровода .....	588
§ 4. Основные понятия теории турбулентного движения. Условие подобия турбулентных потоков .....	590
§ 5. Теория переноса количества движения в турбулентном потоке.....	595
§ 6. Распределение скоростей в турбулентном потоке, текущем вдоль бесконечно длинной плоской стенки .....	601
§ 7. Теория переноса вихрей в турбулентном потоке .....	603
§ 8. Турбулентное движение жидкости в круглой цилиндрической трубе. Степенной закон распределения скоростей .....	606
§ 9. Турбулентное движение жидкости в круглой цилиндрической трубе. Универсальный логарифмический закон распределения скоростей .....	613
§ 10. Универсальный логарифмический закон для коэффициента сопротивления гладких труб при турбулентном движении .....	618

§ 11. Движение жидкости по шероховатым трубам .....	622
§ 12. Сопротивление шероховатых труб с равномерно распределенной зернистой шероховатостью. Допустимая шероховатость .....	630
§ 13. Дифференциальные уравнения движения вязкой жидкости и газа в общем виде .....	636
§ 14. Напряжения силы вязкости. Эллипсоид напряжений, происходящих от вязкости .....	641
§ 15. Дифференциальные уравнения движения вязкой жидкости в форме Навье - Стокса. Условия подобия потоков вязкой жидкости.....	643
§ 16. Дифференциальное уравнение энергии для вязкой сжимаемой жидкости .....	651
§ 17. Вихревое движение вязкой жидкости .....	653

## ГЛАВА VII

### ТЕОРИЯ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ. СОПРОТИВЛЕНИЕ ТРЕНИЯ В ЖИДКОЙ ИЛИ ГАЗООБРАЗНОЙ СРЕДЕ

§ 1. Понятие о пограничном слое. Схема обтекания тела маловязкой средой .....	659
§ 2. Дифференциальные уравнения движения жидкости в пограничном слое .....	665
§ 3. Применение теоремы импульсов к пограничному слою. Интегральное соотношение Кармана для плоского движения в слое.....	672
§ 4. Понятие о толщине вытеснения и толщине потери импульса в пограничном слое. Уравнение импульсов в условных толщинах.....	677
§ 5. Пограничный слой и сопротивление трению плоской пластинки в несжимаемой среде. Интегрирование уравнений движения для случая ламинарного течения в слое .....	681
§ 6. Применение уравнения импульсов к ламинарному пограничному слою плоской пластинки в несжимаемой среде .....	688
§ 7. Пограничный слой плоской пластинки в несжимаемой среде при числах Рейнольдса, больших критического.....	691
§ 8. Применение степенного закона распределения скоростей к турбулентному пограничному слою плоской пластинки в несжимаемой среде .....	694
§ 9. Применение логарифмического закона распределения скоростей к турбулентному пограничному слою плоской пластинки в несжимаемой среде .....	699
§ 10. Влияние места перехода ламинарного движения в турбулентное на сопротивление трения плоской пластинки в несжимаемой среде....	703
§ 11. Влияние шероховатости пластинки на распределение касательных напряжений и сопротивление. Величина допустимой шероховатости ...	710
§ 12. Влияние продольного градиента давления на распределение касательных напряжений и скоростей в пограничном слое. Отрыв	

слоя и образование вихрей .....	716
§ 13. Влияние числа Рейнольдса на местоположение точки отрыва пограничного слоя. Взаимодействие пограничного слоя и внешней к нему части среды .....	725
§ 14. Некоторые точные решения уравнений ламинарного пограничного слоя .....	728
§ 15. Приближенный расчет ламинарного пограничного слоя в несжимаемой - среде. Метод Кочина - Лойцянского .....	732
§ 16. Переход в пограничном слое криволинейной поверхности ламинарного движения в турбулентное .....	736
§ 17. Влияние перехода ламинарного движения в пограничном слое в турбулентное на местоположение точки отрыва слоя .....	740
§ 18. Приближенный расчет турбулентного пограничного слоя в несжимаемой среде с помощью степенного и логарифмического законов распределения скоростей .....	744
§ 19. Распределение касательных напряжений и скоростей в турбулентном пограничном слое .....	752
§ 20. Приближенный метод Лойцянского для расчета турбулентного пограничного слоя .....	755
§ 21. Отрыв турбулентного пограничного слоя .....	759
§ 22. Ламинарный пограничный слой в сжимаемой среде. Метод Дородницына .....	762
§ 23. Ламинарный пограничный слой плоской пластинки в сжимаемой среде. Влияние сжимаемости среды на сопротивление трению .....	768
§ 24. Приближенный метод расчета ламинарного пограничного слоя криволинейной поверхности в сжимаемой среде .....	773
§ 25. Турбулентный пограничный слой и сопротивление трению плоской пластинки в сжимаемой среде без теплообмена. Применение к пограничному слою экспериментальных данных о течении газа по трубопроводам .....	779
§ 26. Влияние сжимаемости среды на положение точки отрыва пограничного слоя. Взаимодействие пограничного слоя и скачков уплотнения .....	789
§ 27. Понятие о тепловом пограничном слое. Уравнение теплопроводности для пограничного слоя .....	793
§ 28. Тепловой пограничный слой плоской пластинки.....	797
§ 29. Теплоотдача на плоской пластинке. Зависимость между трением и теплоотдачей .....	800
§ 30. Способы управления пограничным слоем.....	803