

УДК 533.6(075)
ББК 22.253.3я7
Г13

*Печатается по решению редакционно-издательского совета
Казанского национального исследовательского технологического университета*

Рецензенты:
д-р техн. наук, проф. К. Х. Гильфанов
д-р техн. наук, проф. Ю. Ф. Гортышов

**Авторы: Д. И. Сагдеев, Т. В. Максимов, И. М. Абдулагатов,
В. А. Аляев**

Г13 Газовая динамика сплошных сред : учебно-методическое пособие /
Д. И. Сагдеев, Т. В. Максимов, И. М. Абдулагатов, В. А. Аляев;
Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – 2-е изд.,
перераб. и доп. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2023. – 192 с.

ISBN 978-5-7882-3365-9

Изложены основные теоретические положения и методы исследований по прикладной газовой динамике сплошных сред. Рассмотрены вопросы теории параметров потока газа, обтекания сверхзвуковым потоком внешнего тупого угла, скачков уплотнения, расчета газоструйного эжектора, а также общие вопросы движения вязкого газа и жидкости, основные понятия пограничного слоя, которые сопровождаются примерами решения индивидуальных заданий, конкурсных задач и контрольными вопросами.

Предназначено для обучающихся направления подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование».

Подготовлено на кафедре вакуумной техники электрофизических установок.

**УДК 533.6(075)
ББК 22.253.3я7**

ISBN 978-5-7882-3365-9

© Сагдеев Д. И., Максимов Т. В.,
Абдулагатов И. М., Аляев В. А., 2023
© Казанский национальный исследовательский
технологический университет, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Перечень условных обозначений.....	5
Введение.....	7
1. ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ ПРИКЛАДНОЙ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ.....	10
1.1. Понятие о рабочем теле. Задачи, модели газа и жидкости. Параметры потока газа.....	10
1.2. Методы расчета потоков в прикладной газовой динамике.....	12
1.2.1. Уравнения движения Навье–Стокса.....	14
1.2.2. Уравнение неразрывности (сплошности)	14
1.2.3. Уравнение состояния Менделеева–Клайперона	14
1.2.4. Уравнения зависимости вязкости от температуры и давления	15
1.2.5. Уравнение энергии.....	15
1.2.6. Уравнение термоупругости.....	15
1.3. Одномерное течение невязкого (идеального) газа.....	16
1.3.1. Уравнение неразрывности (сплошности)	16
1.3.2. Уравнения движения Эйлера	17
1.3.3. Уравнение состояния газа	17
1.3.4. Уравнение энергии.....	17
1.4. Закон сохранения массы (уравнение неразрывности, сплошности).....	18
1.5. Закон сохранения энергии (уравнение энергии).....	22
1.6. Параметры торможения	27
1.7. Характерные скорости течения газа.....	34
1.7.1. Скорость звука (скорость распространения звука).....	34
1.7.2. Максимальная скорость течения газа.....	36
1.7.3. Критическая скорость.....	38
1.7.4. Безразмерные и приведенные скорости.....	40
1.8. Газодинамические функции параметров торможения $\tau(\lambda)$, $\pi(\lambda)$, $\varepsilon(\lambda)$	43
1.9. Связь между скоростью и площадью поперечного сечения в энергоизолированном изэнтропном потоке.....	45
1.10. Газодинамические функции потока массы.....	47
1.11. Примеры решения контрольных задач индивидуального задания № 1	50
1.12. Конкурсные задачи	54
2. ОБТЕКАНИЕ СВЕРХЗВУКОВЫМ ПОТОКОМ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА ТВЕРДЫХ ТЕЛ	57
2.1. Распространение слабых возмущений в потоке газа.....	57
2.2. Обтекание сверхзвуковым потоком внешнего тупого угла	60
2.3. Обтекание сверхзвуковым потоком внутреннего тупого угла	65
2.4. Примеры решения контрольных задач индивидуального задания № 2	68
2.5. Конкурсные задачи	69

3. СКАЧКИ УПЛОТНЕНИЯ	71
3.1. Прямые и косые скачки уплотнения	71
3.2. Теория косоугольного скачка уплотнения	76
3.3. Кинетическое и динамическое соотношения	77
3.4. Примеры решения контрольных задач индивидуального задания № 3	83
3.5. Конкурсные задачи	90
4. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРУЙНЫХ АППАРАТОВ	91
4.1. Принципиальная схема струйного аппарата	91
4.2. Классификация струйных аппаратов	93
4.3. Определение конструктивных и режимных параметров газоструйного эжектора	98
4.4. Пример решения контрольной задачи индивидуального задания № 4	107
5. ДВИЖЕНИЕ ВЯЗКОГО ГАЗА И ЖИДКОСТИ. ПОГРАНИЧНЫЙ СЛОЙ	112
5.1. Общие свойства вязких течений. Уравнения Навье–Стокса. Частные случаи течения	112
5.2. Течение вязкой жидкости в узких щелях	115
5.3. Подобие гидромеханических процессов	121
5.4. Основные понятия теории пограничного слоя	126
5.4.1. Метод Стокса–Одинца	126
5.4.2. Метод Прандтля	126
5.5. Дифференциальное уравнение пограничного слоя (уравнение Прандтля)	130
5.6. Основные понятия о турбулентном пограничном слое	132
5.7. Схема турбулентного пограничного слоя	135
5.8. Пограничный слой с продольным градиентом давления. Отрыв. Взаимодействие со скачками уплотнения	136
5.9. Понятие о турбулентных струях	142
5.10. Управление турбулентным пограничным слоем	144
5.11. Контрольные вопросы по самоподготовке	146
5.12. Порядок выполнения индивидуальных заданий	151
5.13. Ответы на контрольные вопросы по теме 5	152
Список литературы	153
Приложения	154
Приложение 1	154
Приложение 2	157
Приложение 3	170
Приложение 4	171
Приложение 5	179
Приложение 6	184
Приложение 7	185
Приложение 8	186
Приложение 9	187
Приложение 10	188
Приложение 11	189