

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»

Н.В. Быков

Газовая динамика

**Пространственные течения газа с вязкостью
и химическими реакциями**

Учебное пособие



Москва

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ им. Н. Э. Баумана

2022

УДК 533
ББК 22.253.3
Б95

Издание доступно в электронном виде по адресу
<https://bmstu.press/catalog/item/7390>

Факультет «Специальное машиностроение»
Кафедра «Ракетные и импульсные системы»

*Рекомендовано Научно-методическим советом
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебного пособия*

Быков, Н. В.

Б95 Газовая динамика. Пространственные течения газа с вязкостью и химическими реакциями : учебное пособие / Н. В. Быков. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2022. — 149, [1] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-5771-7

Представлена вторая часть курса «Газовая динамика». Изложена теория плоских и пространственных течений идеального газа, рассмотрены вопросы влияния вязкости, теплопроводности, турбулентности и химических реакций на газовые потоки.

Для студентов, обучающихся по специальности 17.05.02 «Стрелково-пушечное, артиллерийское и ракетное оружие», а также для научных работников и инженеров.

УДК 533
ББК 22.253.3



*Уважаемые читатели! Пожелания, предложения, а также сообщения о замеченных
опечатках и неточностях Издательство просит направлять по электронной почте:
info@bmstu.press*

ISBN 978-5-7038-5771-7

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022
© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022

Оглавление

Предисловие	3
Основные обозначения	5
Введение	9
1. Плоские и осесимметричные установившиеся течения идеального газа ...	11
1.1. Законы сохранения массы вещества и импульса для двухмерных стационарных течений	11
1.2. Линии тока и траектории частиц газа. Функция тока	16
1.3. Плоские потенциальные течения газа. Уравнение Бернулли	19
1.4. Линеаризация уравнений плоского движения газа	22
1.5. Особенности распространения возмущений в плоском потоке	24
1.6. Косой скачок уплотнения	27
1.7. Система косых скачков уплотнения. Течение Прандтля — Майера ...	33
1.8. Отражение и пересечение косых скачков уплотнения	38
1.9. Нерасчетные режимы истечения из сопла Лаваля	40
Вопросы и задания для самоконтроля	42
2. Пространственные нестационарные течения идеального газа	45
2.1. Уравнение неразрывности	45
2.2. Уравнение движения газа в форме Эйлера	48
2.3. Уравнение баланса энергии	51
2.4. Дивергентная форма законов сохранения	55
2.5. Вихревые и потенциальные течения	57
2.6. Потенциальное обтекание шара и парадокс Даламбера	62
2.7. Сверхзвуковое обтекание конуса	66
2.8. Неустойчивость тангенциальных разрывов	70
Вопросы и задания для самоконтроля	73
3. Вязкое течение несжимаемого газа	75
3.1. Течение Куэтта — чисто сдвиговое течение вязкого газа	76
3.2. Тензор вязких напряжений	78
3.3. Уравнения Навье — Стокса	81
3.4. Течения Пуазейля	84
3.5. Число Рейнольдса. Законы подобия	87
3.6. Обтекание шара при малых значениях числа Рейнольдса	89
3.7. Ламинарный пограничный слой	96
Вопросы и задания для самоконтроля	105

4. Диссипативные и физико-химические процессы в газах	107
4.1. Вязкая диссипация энергии и теплопроводность в газе	107
4.2. Теплообмен между газом и поверхностью твердого тела	111
4.3. Горение газовых смесей	114
4.4. Расширение продуктов горения в полужамкнутом объеме	119
4.5. Детонация в газовых смесях	121
4.6. Турбулентность: основные теоретические проблемы	126
4.7. Уравнения Рейнольдса	129
4.8. Турбулентный пограничный слой	131
Вопросы и задания для самоконтроля	135
Словарь терминов	137
Литература	138
Приложение 1. Скаляры и векторы	139
Приложение 2. Дифференциальные операции векторного анализа	141
Приложение 3. Интегральные теоремы векторного анализа	145
Приложение 4. Описание численного метода α -QSS	146