СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие **3**

Глава 1. Кратковременное (ударное) деформирование газа **5**

1.1 Начальные сведения 5

1.2 Модуль линейной упругости кратковременно (ударно) нагруженного газа в осевом направлении 6

1.3 Термодинамическое описание одномерного кратковременного (ударного) деформирования газа 7

1.4 Кратковременная анизотропия плотности газа 8

1.5 Стадии деформирования нагружаемого газа 9

Глава 2. Основные сведения о стоячей и бегущей волнах **10**

2.1 Основные определения и терминология 10

2.2 «Парадокс (казус)» обнуления энергии звуковой волны в нулевых точках колебаний массовой скорости 12

2.3 Пример осциллографирования звуковых колебаний 12

Глава 3. Молекулярная физика быстрого (ударного) нагружения газа **15**

3.1 Одномерная анизотропия плотности газа..... 15

3.2 Компоненты тензора напряжений 20

3.3 Распределение молекул газа по скоростям. Анизотропия температурного поля..... 22

3.4 Двумерная анизотропия газа при быстром нагружении 24

3.5 Возникновение касательных напряжений при звуковых колебаниях нормальных напряжений..... 25

3.6 Уравнение Ландау–Лифшица 26

Глава 4. Возбуждение колебаний в потоке газа при столкновении с препятствием 28
4.1 Общие сведения ... 28
4.2 Оценочное моделирование ... 28
4.3 Частота звуковых возбуждаемых колебаний. Свист пули, гудение проводов ... 29

Глава 5. Возбуждение звука в невозмущенной газовой среде набегающей волной 30
5.1 Взаимосвязь переноса энергии и количества движения в бегущей волне ... 30
5.2 Внедрение бегущей звуковой волны в неподвижную среду с переходом газа в неравновесное состояние ... 30

Глава 6. Генерация бегущей звуковой волны мембраной или поршнем 32
6.1 Напряженное состояние газовой среды вблизи мембраны генератора звука ... 32
6.2 Особенности генерации звуковых волн ... 32
6.3 Формирование начального импульса генератором звука 35
6.4 Другие неполные волновые уравнения ... 38

Глава 7. Дифференциальные уравнения стоячей волны 40
7.1 Однородное неполное уравнение стоячей волны ... 40
7.2 Ограничение переноса энергии и «интенсивности» стоячей волны. Внутренний импульс колебаний ... 42
7.3 Вырождение однородного волнового уравнения при переходе к сопутствующей системе координат ... 44
7.4 Анализ решения уравнения стоячей волны ... 44

Глава 8. Линейная интенсивность и громкость звуковой волны 46
8.1 Основные сведения ... 46
8.2 Усиление громкости звука с помощью раструба ... 48
8.3 Усиление громкости звука раструбами духовых музыкальных инструментов и певцами ... 49
8.4 Неравновесность газа под действием сдвигов ... 51
8.5 Усиление громкости и мощности звука резонатором лягушки и корпусом музыкальных инструментов ... 52

Глава 9. Расчет характеристик бегущей звуковой волны 55
9.1 Пример расчета характеристик на основе закона Гука 55
9.2 Результаты обработки фонограммы звуковой волны ... 59
9.3 Изменение температурного поля при движении волн ... 60

Глава 10. Линейное и объемное сжатие газа 61
10.1 Возникновение анизотропии плотности при «квазимгновенном» сжатии газа ... 61
10.2 Частотная зависимость коэффициента c ... 64
10.3 Кратковременная анизотропия жидких и газообразных сред при прохождении упругих напряжений волн ... 66
10.4 Изменение формы диаграммы напряжений Мора в ходе релаксации после ударно-волнового сжатия ... 67

Глава 11. Уравнения бегущей волны 69
11.1 Уравнение высокочастотной бегущей волны ... 69
11.2 Уравнение волны звука с учетом приобретенной анизотропии плотности газа ... 70
11.3 Обобщение уравнений сплошности, сохранения импульса и энергии ... 73
11.4 Несовместимость однородных волновых уравнений с движением звуковой волны ... 74
11.5 Зависимость скорости и дальности распространения звука от диссипации энергии ... 74

Глава 12. Разнообразие способов генерации звука 76
12.1 Генерация звуковой волны крыльями мелких насекомых ... 76
12.2 Возбуждение звука воздушным потоком в патрубке с сооснными отверстиями ... 78
12.3 Генерация высокочастотных звуков насекомыми ... 80

Глава 13. Основные сведения о моделировании плоской ударной волны 82
13.1 Исходные соотношения ... 82
13.2 Сопоставление моделей ударной и звуковой волн ... 87
13.3 Пример генерации ударной волны ... 92
13.4 Воздействие ударной волны на энергоемкие материлы 94

13.5 Возникновение поперечных, растягивающих образец напряжений под действием ударной волны 97
13.6 Упрощенная модель генерации ударной волны 99
13.7 Модели колебательного и волнового движений 102
13.8 Физически обоснованные волновые функции $f(t)$ и $f_r(r)$ и математически абстрактные функции $f(x-ct)$ и $g(x+ct)$ 103
13.9 Ускорение химических реакций быстрым воздействием механических напряжений 104
13.10 Воздействие ударной волны на окружающую среду 105
13.11 Природа ячеистой структуры ударной волны 106
13.12 Ударно-волновое разрушение молекулярных структур 107

Глава 14. Прикладные разделы теории линейно-упругого газа 108

14.1 Корректировка критериев подобия с учетом перехода сплошной среды в линейно-упругое состояние 108
14.2 Уравнения состояния одно- и двумерно деформированного газа 109
14.3 Сохранение громкости звука голоса в разговоре..... 110
14.4 Особенности подтверждения возникновения кратковременного состояния линейной упругости воздуха 110
14.5 Реологическая модель деформирования газа 114
14.6 Оценка времени релаксации газа по перекрытию экраном высокочастотной составляющей компоненты поличастотного звука 115
14.7 Температурное поле высокочастотных волн 115
14.8 Иерархия составляющих времен релаксации..... 116
14.9 Описание неравновесного фазового перехода жидкость–газ 117
14.10 Локальная формулировка уравнения сохранения количества движения..... 118
14.11 Природа диссипации энергии звука 120
14.12 Примеры околоравновесных и неравновесных состояний в окружающем мире и в быту..... 121

Глава 15. Наблюдение и воспроизведение неравновесных состояний **122**
15.1 Анизотропное состояние сред при чистом сдвиге 122
15.2 Турбулизация течения Пуазейля..... 123
15.3 Устойчивость формы вихря и смерча..... 124
15.4 Генератор музыкального звука в форме трубы с боковым отверстием..... 126
15.5 Природа кавитации и дождевых пузырьков..... 128
15.6 Ускорение потока газа соплом Лаваля 130
15.7 Очищение верхних дыхательных путей 132

Глава 16. Изменения свойств газа при его переходе в неравновесное состояние **134**
16.1 Напряженное состояние неравновесного газа. Появление звука. Нулевые точки фонограммы 134
16.2 Решение нулевой проблемы 136
16.3 Диссипация энергии звуковой волны..... 137
16.4 Перераспределение линейной концентрации молекул и плотности в неравновесном газе..... 138
16.5 Капиллярный эффект. Природа осмоса 139
16.6 Возникновение белого облака конденсата над водопадом и летательными аппаратами 140
16.7 Связь коэффициентов расширения и сжимаемости равновесных и неравновесных сплошных сред..... 140

Заключение **142**

Приложения **144**
П1 Теплоемкость, вязкость, самодиффузия и показатель адиабаты при быстром нагружении газа 144
П2 Изменение температурного поля и свойств сред при внезапном волновом воздействии 145
П3 Энергия образования фронта ударной волны..... 146
П4 Определение времени релаксации τ_r по опытным данным 147
П4.1 Определение τ_r по кривым громкости..... 147
П4.2 Определение τ_r по частотной зависимости скорости звука..... 147
П4.3 Определение τ_r по возникновению шумовых помех 149

П5 Коэффициент полезного действия цикла Карно, уравнение Бойля–Мариотта для анизотропного газа 150
П6 Расширение области математически абстрактной стоячей волны функцией $f(x - ct)$ 151
П7 Использование эффекта неравновесного состояния среды летучими мышами и дельфинами в ультразвуковой дефектоскопии, диагностике и стоматологии..... 152
П8 Определение начальной скорости u_i бегущей звуковой волны по увеличению громкости звука движением среды..... 154
П9 Моделирование фонограмм 155
П10 Неравновесный фазовый переход газ–конденсат при быстром (ударном) сжатии. Примеры 156
П11 Трансляционная плотность газа в звуковой волне 157
П12 Собственные и вынужденные колебания частиц массы в потоке сплошной среды. Волновой резонанс..... 158
П13 Образование и выход звуковой волны из генератора звука сферической и не только сферической формы..... 159
П14 Использование потенциала скорости φ в акустике 165
П15 Внутренняя энергия и фугитивность неравновесного газа..... 165
П16 Критерии подобия в теории неравновесного газа 166
П17 Торможение потока газа препятствием 167
П18 Торможение потока газа силой трения 167
П19 Способ опреснения воды кавитацией 168
П20 Ограничение действия капиллярного эффекта силой гравитации..... 168
П21 Возникновение колебаний полотнища флага и знамени под действием ветра 168
П22 Корректировка формулы скорости звука 169
П23 Действие капиллярного эффекта в живых организмах 169
П24 Линеаризация адиабат Пуассона и Гюгонио..... 170
П25 Зарождение волны звука в голосовых связках 170

Литература **172**