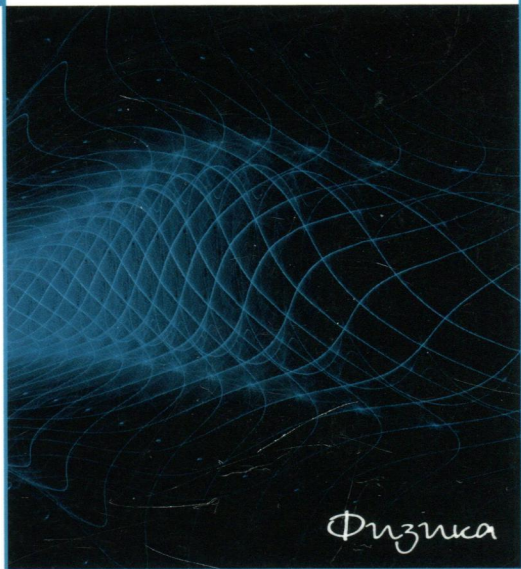


НАУЧНАЯ МЫСЛЬ



Физика

*И.В. Кудинов, А.В. Еремин, В.В. Жуков,  
В.К. Ткачев, К.В. Трубицын*

**КОЛЕБАНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ,  
ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ С УЧЕТОМ  
ЛОКАЛЬНОЙ НЕРАВНОВЕСНОСТИ**



И.В. КУДИНОВ  
А.В. ЕРЕМИН  
В.В. ЖУКОВ  
В.К. ТКАЧЕВ  
К.В. ТРУБИЦЫН

# КОЛЕБАНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ, ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ С УЧЕТОМ ЛОКАЛЬНОЙ НЕРАВНОВЕСНОСТИ

МОНОГРАФИЯ

Электронно-  
Библиотечная  
Система  
znanium.com

Москва  
ИНФРА-М  
2023

УДК 534(075.4)  
ББК 22.312  
К88

ФЗ № 436-ФЗ	Издание не подлежит маркировке в соответствии с п. 1 ч. 2 ст. 1
----------------	--

Рецензенты:

*Карташов Э.М.*, доктор физико-математических наук, профессор;

*Довгялло А.И.*, доктор технических наук, профессор

**Кудинов И.В.**

К88 Колебания твердых тел, жидкостей и газов с учетом локальной неравновесности : монография / И.В. Кудинов, А.В. Еремин, В.В. Жуков, В.К. Ткачев, К.В. Трубицын. — Москва : ИНФРА-М, 2023. — 162 с. — (Научная мысль). — DOI 10.12737/1859642.

ISBN 978-5-16-017515-7 (print)

ISBN 978-5-16-110034-9 (online)

В монографии представлены результаты разработки и исследований новых математических моделей процессов колебаний твердых тел, жидкостей и газов с учетом локальной неравновесности. Для вывода дифференциальных уравнений используются уравнения Навье — Стокса, второй закон Ньютона и модифицированные формулы классических эмпирических законов Фурье, Гаука, Ньютона, в которых учитываются скорости и ускорения движущих сил (градиентов соответствующих величин) и их следствий (теплового потока, нормальных и касательных напряжений). Исследованы условия возникновения ударных волн напряжений и перемещений в динамических задачах термоупругости, сформулированных с учетом релаксационных явлений в тепловой и термоупругой задачах, получены новые результаты при исследовании продольных и поперечных колебаний стержней, струн, жидкостей и газов, а также определены условия возбуждения автоколебаний газа, возникающих от постоянного во времени источника теплоты.

Предназначена для научно-технических работников, специализирующихся в области математики, теплофизики, термоупругости, а также преподавателей и студентов технических вузов.

УДК 534(075.4)

ББК 22.312

ISBN 978-5-16-017515-7 (print)

ISBN 978-5-16-110034-9 (online)

© Кудинов И.В., Еремин А.В., Жуков В.В.,  
Ткачев В.К., Трубицын К.В., 2022

Оригинал-макет подготовлен в НИЦ ИНФРА-М

ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»

127214, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1

Тел.: (495) 280-15-96, 280-33-86. Факс: (495) 280-36-29

E-mail: books@infra-m.ru <http://www.infra-m.ru>

Подписано в печать 02.02.2022.

Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Petersburg.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 10,13. Тираж 500 экз.

ТК 753439-1859642-020222

Отпечатано в типографии ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»

127214, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1

Тел.: (495) 280-15-96, 280-33-86. Факс: (495) 280-36-29

## Оглавление

Введение.....	3
1. Экспериментально-теоретические исследования колебаний упругих твердых тел.....	7
1.1. Модель продольных колебаний стержня в условиях пространственно-временной нелокальности.....	7
1.2. Продольные колебания стержня с учетом начальной скорости.....	17
1.3. Продольные колебания стержня с учетом внешней нагрузки.....	19
1.4. Математическая модель колебаний струны с двухфазным запаздыванием.....	23
1.5. Применение операционных методов к решению задачи о колебаниях струны.....	31
1.6. Поперечные колебания стержня в условиях пространственно-временной нелокальности.....	33
1.7. Экспериментальные исследования продольных колебаний стержня.....	40
1.8. Экспериментальные исследования поперечных колебаний стержня.....	42
2. Исследование ударных волн в динамических задачах термоупругости.....	43
2.1. Модель динамической термоупругости на основе аналитического решения параболического уравнения теплопроводности.....	43
2.2. Модель динамической термоупругости с однофазным температурным запаздыванием.....	50
2.3. Динамическая термоупругость с двухфазным температурным запаздыванием.....	55
2.4. Двухфазное запаздывание в уравнениях теплопроводности и динамической термоупругости.....	57
2.5. Модель динамической термоупругости в перемещениях при двухфазном запаздывании температур и напряжений.....	63
3. Математическое моделирование локально-неравновесных процессов гидродинамики и теплообмена в движущихся жидкостях.....	67
3.1. Модель разгонного течения Куэтта с учетом двухфазного запаздывания.....	68
3.2. Локально-неравновесный теплообмен в движущейся жидкости.....	87
3.3. Локальная модель течения сжимаемой вязкой жидкости в условиях гидравлического удара.....	94
3.4. Нелокальная модель течения сжимаемой вязкой жидкости.....	102
3.5. Нелокальная модель течения сжимаемой вязкой жидкости с учетом нестационарности силы сопротивления.....	111
3.6. Уравнения Навье – Стокса в условиях локального равновесия.....	117
3.7. Получение точного аналитического решения уравнения профиля скорости в плоском канале.....	121
3.8. Вывод уравнения Навье – Стокса в условиях пространственно-временной нелокальности.....	129
3.9. Получение аналитического решения уравнения Навье – Стокса при переменной вязкости.....	134
4. Исследование процессов колебаний газа.....	140
4.1. Разработка математической модели колебаний газа с учетом релаксационных явлений.....	140
4.2. Автоколебательные процессы в термоакустике.....	149
Список использованной литературы.....	157