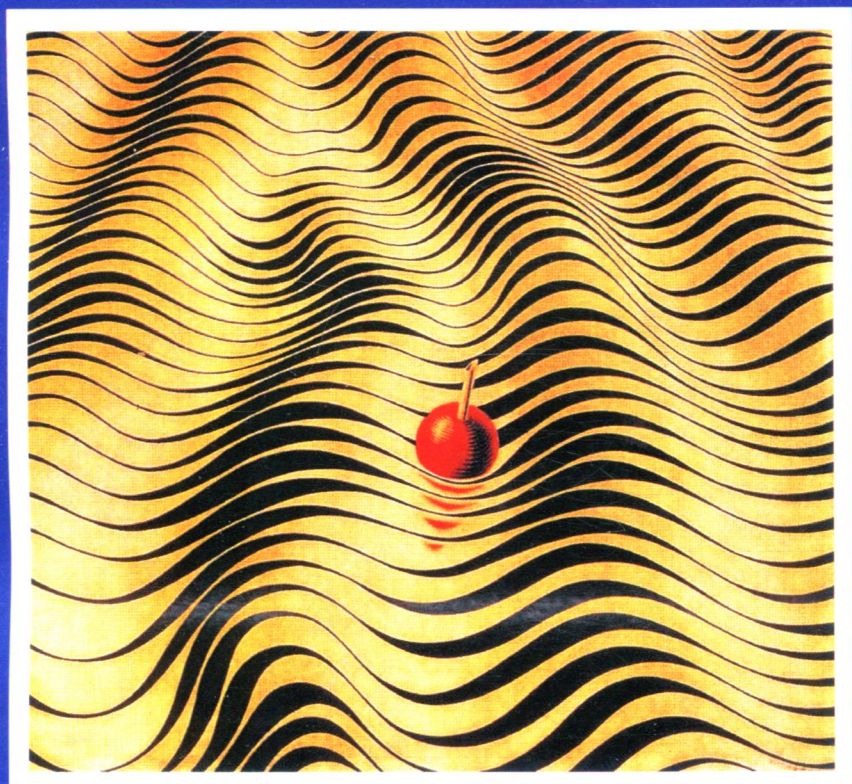


О. Н. Шабловский, Д. Г. Кроль

# НЕРАВНОВЕСНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ СТРУКТУРЫ В СРЕДАХ С ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ



О. Н. Шабловский, Д. Г. Кроль

**НЕРАВНОВЕСНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ СТРУКТУРЫ  
В СРЕДАХ С ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ**

Гомель  
ГГТУ им. П. О. Сухого  
2013

**Шабловский, О. Н.** Неравновесные тепловые структуры в средах с источниками энергии / О. Н. Шабловский, Д. Г. Кроль. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2013. – 208 с. : ил. – ISBN 978-985-535-207-6.

Изложены результаты собственных исследований авторов по динамике неравновесных тепловых состояний в системе «среда – источник энергии». Детально изучены неклассические особенности зарождения, формирования и эволюции тепловых структур. Представлены асимметричные свойства тепловых процессов при воздействии поверхностного источника энергии на двухслойную металлическую пластину. Разработана тепловая модель периодической кристаллизации. Обнаружены новые теплофизические и морфологические свойства двумерных периодических структур при взрывной кристаллизации аморфных пленок, напыленных на подложку. Подробно рассмотрены закономерности формирования полос, «чешуек», «лепестков», а также эффект «домино». Конкуренция между тепловыделением и теплоотводом изучена на основе уравнения синус-Гордона в поле внешнего периодического источника. Указаны новые аналитические подходы к проблеме воздействия источников энергии на нелинейные, параметрические и неоднородные среды.

Для широкого круга специалистов по теплообмену и материаловедению: научных и инженерно-технических работников, преподавателей, а также для начинающих исследователей, аспирантов, магистрантов и студентов соответствующего профиля.

Табл. 32, ил. 85, список лит. – 98 назв.

Рецензенты: ведущий научный сотрудник отдела газовой динамики и физики взрыва Научно-исследовательского института прикладной математики и механики Томского государственного университета доктор физико-математических наук, профессор *И. К. Жарова*; заведующий кафедрой «Техническая физика и теоретическая механика» Белорусского государственного университета транспорта доктор технических наук, профессор *А. О. Шимановский*

*Рекомендовано к изданию Советом ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 3 от 19.11.2012 г.)*

ISBN 978-985-535-207-6

© Шабловский О. Н., Кроль Д. Г., 2013

© Оформление. Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», 2013

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	5
Основные условные обозначения .....	7
<b>ГЛАВА 1. Исходные положения .....</b>	<b>8</b>
1.1. Уравнения теплопереноса.....	8
1.2. Численные алгоритмы на основе метода интегральных соотношений.....	11
<b>ГЛАВА 2. Асимметричные свойства тепловых процессов при воздействии поверхностного источника энергии на двухслойную металлическую пластину.....</b>	<b>14</b>
2.1. Динамический тепловой гистерезис в однослойной пластине.....	14
2.2. Асимметрия теплопереноса в двухслойной системе с изотермической границей .....	18
2.2.1. Стационарный эксперимент .....	18
2.2.2. Постановка задачи.....	19
2.2.3. Длительность теплового импульса.....	25
2.2.4. Начальная температура образца .....	26
2.2.5. Влияние нелинейных свойств металлов .....	28
2.2.6. Двухслойные системы Fe–W и W–V.....	32
2.3. Асимметрия теплопереноса в двухслойной системе с теплоизолированной границей .....	34
2.3.1. Основные факторы влияния.....	34
2.3.2. Нелинейные свойства параметров асимметрии .....	36
2.3.3. Примеры расчета .....	38
2.4. Термоциклическое воздействие на двухслойную пластину .....	40
2.4.1. Два типа асимметрии .....	40
2.4.2. Динамические свойства контактного теплообмена.....	44
2.4.3. Роль знака производной $dN/dT$ .....	49
<b>ГЛАВА 3. Периодические тепловые структуры в среде с источниками энергии .....</b>	<b>52</b>
3.1. Тепловая модель периодической кристаллизации.....	52
3.1.1. Предварительные замечания .....	52
3.1.2. Функции источников.....	53
3.1.3. Дозвуковой процесс: конкуренция двух источников энергии .....	55
3.1.4. Пульсации скорости изотермы .....	63
3.1.5. Сверхзвуковой процесс: роль инверсии знака источника .....	73
3.2. Генерация периодических тепловых полей объемным источником энергии .....	75
3.2.1. Источник энергии в среде с одним временем релаксации.....	76
3.2.2. Источник энергии в среде с двумя временами релаксации .....	80

3.3. Двухмерные периодические тепловые структуры.....	83
3.3.1. Колебательно-релаксационный режим теплопереноса.....	85
3.3.2. Релаксация и ретардация.....	91
3.4. Морфологические свойства периодических структур.....	96
3.4.1. Линии остановки и линии неподвижности изотерм.....	96
3.4.2. Полосчатые и чешуйчатые структуры.....	98
3.4.3. Автомодельный процесс формирования полос.....	104
3.4.4. Эффект «домино».....	109
3.4.5. Лепестковые структуры.....	111
3.4.6. Разрушение периодических тепловых полей.....	117
3.5. Фазовая граница взрывной кристаллизации аморфной пленки германия.....	119
3.5.1. Феноменологическая оценка времени тепловой релаксации.....	119
3.5.2. Сравнение с экспериментом.....	125
<b>ГЛАВА 4. Источник синус-Гордона и бистабильные тепловые системы ..</b>	<b>129</b>
4.1. Бистабильные тепловые системы.....	130
4.1.1. Эволюция начального температурного профиля.....	130
4.1.2. Фазовый переход «расплав–кристалл».....	134
4.2. Уравнение синус-Гордона в поле внешнего периодического источника ..	138
4.2.1. Возбуждение колебаний и ширина гистерезисного интервала ..	139
4.2.2. Частотный параметр реономной системы.....	142
4.2.3. Трехмерные конфигурации фазовых траекторий.....	144
4.2.4. Когерентность колебаний.....	151
<b>ГЛАВА 5. Воздействие источников энергии на нелинейные, параметрические и неоднородные среды ..</b>	<b>154</b>
5.1. Колебания и волны в системе «среда – источник энергии» ..	154
5.1.1. Двойная волна.....	154
5.1.2. Квазигазовая неустойчивость.....	161
5.1.3. Тепловой маятник.....	162
5.1.4. Устойчивость параметрических колебаний.....	163
5.2. Динамическое воздействие на неравновесное тепловое поле ..	169
5.2.1. Инверсионный режим.....	169
5.2.2. Колебательный режим.....	175
5.2.3. Точное решение.....	176
5.2.4. Параметрический переход системы в другое неравновесное состояние.....	177
5.3. Тепловые процессы в неоднородных средах.....	181
5.3.1. Алгоритм преобразования уравнений теплопереноса.....	181
5.3.2. Параметрические и неоднородные среды.....	183
5.3.3. Пространственно-периодические неоднородные среды.....	187
5.3.4. Двухкомпонентная система.....	193
Заключение.....	196
Литература.....	200