

Е. В. РАДКЕВИЧ, Н. Н. ЯКОВЛЕВ, О.А. ВАСИЛЬЕВА,
М.И. СИДОРОВ, М.Е. СТАВРОВСКИЙ

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИЛОЖЕНИЯ
ТЕОРИИ КАНА-ХИЛЛАРДА
К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ
ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

Под редакцией
Е. В. Радкевича



Издательство
«Эко-Пресс»
2020

УДК 517.958
ББК 22.317
P15

- Радкевич Е.В.**
P15 О возможности приложения теории Кана-Хилларда к математическому моделированию процесса горения. / Радкевич Е.В., Яковлев Н.Н., Васильева О.А., Сидоров М.И., Ставровский М.Е. — М.: «Эко-Пресс», 2020. — 196 с. — ISBN 978-5-6044018-1-1.

Рецензенты:

Сигов А.С. академик РАН, д.т.н., профессор, президент ФГБОУВО «РТУ МИРЭА», Албагачиев А.Ю. д.т.н., профессор, заведующий отделом ФГБУН ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН.

Теория и практика горения для разработчиков двигателей представляет не академический, а прикладной интерес — инженерные приложения. Это требует более широкой постановки проблемы, поскольку, как правило, процесс горения освещается с определенной точки зрения, которой придерживается та или иная научная школа. В связи с этим для успешного решения задачи создания ГПВРД, прежде всего, необходимо оценить ценность подходов различных научных школ на предмет полезности достигнутых ими результатов. Такая постановка задачи не позволяет принять взгляды на процесс горения одной какой-либо научной школы и при этом проигнорировать другие. Встает проблема обобщения и критического анализа всей имеющейся на сегодня информации не на предмет ее правильности (или истинности), а на предмет ее полезности и возможной реализации в конкретных инженерных конструкциях. Предлагаемый вниманию читателя двухтомник: «О возможности приложения теории Кана-Хилларда к математическому моделированию процесса горения» и «Вопросы математического моделирования процесса горения» не является полной сводкой современного состояния вопроса. В нем излагаются главным образом результаты, полученные автором и частично опубликованные в разное время в периодических изданиях. Предполагается дать перечень некоторых фактов, иллюстрирующих сложность задачи математического моделирования процесса горения. Факты подобраны так, чтобы служить предварительным обоснованием рабочей гипотезы о правомерности приложения теории Кана-Хилларда к описанию процессов горения. Эти факты иллюстрируют процесс термодиффузионного «расслаивания» т.е. расслаивания не в обычном смысле, как например, при расслаивании двух жидкостей типа «масло — вода» на две фазы, а расслаивания на области с большим или меньшим содержанием одного из компонентов, которое подобно разделению компонентов при ликвации в случае спинодального распада. Мы приведем обоснование рабочей гипотезы о правомерности приложения теории Кана-Хилларда (теории диффузионного расслоения) к описанию процессов горения: три вида горения — вибрационное, спиновое и детонационное являются критическими процессами, объединенными общей гипотезой, согласно которой они представляют собой неравновесные фазовые переходы, механизмом которых является диффузионное расслоение.

Российская академия наук
БИБЛИОТЕКА
НАУЧНОГО ЦЕНТРА
в Черноголовке

УДК 517.958
ББК 22.317

ISBN 978-5-6044018-1-1

© Радкевич Е.В., Яковлев Н.Н., Васильева О.А.,
Сидоров М.И., Ставровский М.Е., 2020
© Издательство «Эко-Пресс», 2020
Все права защищены

Оглавление

Предисловие.....	5
Глава 1. Введение	11
Глава 2. Краткое изложение некоторых экспериментальных фактов и теорий горения	22
Параграф 2.1. Некоторые наблюдения	22
Глава 3. Краткий анализ теорий горения	26
Параграф 3.1. Термодинамический подход к "теории горения"	26
Параграф 3.2. Тепловые теории горения.....	30
Параграф 3.3. Диффузионная теория горения	33
Параграф 3.4. Теории горения с цепными реакциями	37
Глава 4. Анализ подходов к математическому моделированию процессов горения	51
Параграф 4.1. Постановка задачи	51
Параграф 4.2. Некоторые вопросы математического моделирования процессов горения.....	52
Параграф 4.3. Задача математического моделирования течений многокомпонентной смеси сжимаемых газов в условиях химической неравновесности	59
Глава 5. Математические модели неустойчивости горения на основе уравнений для диссипативных процессов диффузии и теплопроводности. Подход Семенова, Франк-Каменецкого и Зельдовича.....	66
Параграф 5.1. Введение.....	66
Параграф 5.2. Феноменология теории горения, базирующаяся на дифференциальных уравнениях химической кинетики, диффузии и теплопроводности	68
Параграф 5.3. Стационарная теория теплового взрыва	85
Параграф 5.4. Устойчивость решений стационарной теории теплового взрыва	86
Параграф 5.5. Иницирование горения. Стационарная постановка задачи	88
Параграф 5.6. Иницирование химической реакции активными центрами.....	93
Параграф 5.7. Теория ламинарного пламени	97
Параграф 5.8. О существовании и единственности стационарного решения системы уравнений теории распространения пламени.....	101
Параграф 5.9. Распространение цепных изотермических пламен – задача Колмогорова-Петровского-Пискунова.....	102
Параграф 5.10. О двух классах автомодельных решений	104
Параграф 5.11. Диффузионно-тепловая неустойчивость ламинарных пламен.....	105
Параграф 5.12. О распространении пламени в потоке с градиентом скорости ("растяжение" пламени).....	106
Параграф 5.13. Индукционный режим горения.....	107
Параграф 5.14. Сложные и цепные реакции в пламенах	108
Параграф 5.15. Заключение по материалам Главы 5	112

Глава 6. Общие вопросы методологии разработки математических моделей сложных систем	115
Параграф 6.1. Две инженерные задачи – обеспечение работоспособности и достижение максимальной эффективности	116
Параграф 6.2. Класс задач, объединенных понятием "критические явления"	117
Параграф 6.3. О теории подобия и аналогиях	120
Глава 7. Математическое моделирование вибрационного горения	123
Параграф 7.1. Введение.....	123
Параграф 7.2. Общая характеристика колебаний, возбуждаемых теплоподводом	124
Параграф 7.3. Схема идеализации процесса самовозбуждения продольных акустических колебаний	125
Параграф 7.4. Распространение возмущений в движущемся газе.....	127
Параграф 7.5. Об устойчивости газового течения.....	133
Параграф 7.6. Общая картина развития неустойчивости	137
Параграф 7.7. Источники энергии акустических автоколебаний	138
Параграф 7.8. Механизмы обратной связи, приводящие к возбуждению акустических колебаний горением	145
Параграф 7.9. Нелинейные свойства зоны теплоподвода и их влияние на характер акустических автоколебаний.....	153
Параграф 7.10. Стадии развития процесса вибрационного горения	156
Параграф 7.11. Заключение по материалам главы 7	157
Глава 8. Возможности оценки вклада волновых и активных свойств в формирование газодинамических структур при горении	159
Параграф 8.1. Отличительные особенности волновых и автоволновых явлений.....	159
Параграф 8.2. Физические предпосылки базовых моделей автоволновых явлений.....	161
Параграф 8.3. Нелинейное уравнение диффузии при конечной скорости распространения возмущений.....	167
Параграф 8.4. Особенности диффузии в многокомпонентных средах и перекрестные эффекты	170
Параграф 8.5. Режимы горения в виде автоколебаний и спиновых волн	171
Параграф 8.6. Метастабильные диссипативные структуры в реакционно-активной среде реагирующих газов	173
Параграф 8.7. Заключение по материалам главы 8	178
Глава 9. Заключение. Подходы к математическому моделированию критических явлений	179
Список сокращений.....	182
Литература	184

Научное издание

Радкевич Евгений Владимирович
Яковлев Николай Николаевич
Васильева Ольга Александровна
Сидоров Михаил Игоревич
Ставровский Михаил Евгеньевич

**О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИЛОЖЕНИЯ
ТЕОРИИ КАНА-ХИЛЛАРДА
К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ
ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ**

Под редакцией *Е.В. Радкевича*

Подписано в печать 22.12.19. Формат 70 x 90 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Гарнитура NewtonС. Печать офсетная. Усл. печ. л. 13. Тираж 1000 экз.
Заказ № 4т.

Издательство «Эко-Пресс».
107258, Москва, б-р Маршала Рокоссовского, д. 30, корп. 1.
www.eko-press.ru

ISBN 978-5-6044018-1-1



Отпечатано в ФКП «НИИ Геодезия»
140200, г. Красноармейск, пр-т Испытателей, д. 14.