



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
Институт Структурной Макрокинематики и Проблем Материаловедения  
им. А.Г. Мержанова Российской Академии Наук

**М.И. Алымов, Н.М. Рубцов, Б.С. Сеплярский**

## **РЕЖИМЫ ГОРЕНИЯ ГАЗОВ И ГАЗОВЗВЕСЕЙ**

Черноголовка  
2022

УДК 544.452  
ББК 24.543.12

**A55**

Рецензенты:

Кирилл Яковлевич Трошин  
Доктор физико-математических наук,  
ФИЦ химической физики им. Н.Н.Семёнова РАН,  
Москва, Россия.

Александр Петрович Калинин,  
доктор физико-математических наук,  
Институт Проблем Механики им. А.Ю. Ишлинского РАН,  
Москва, Россия.

**A55 Алымов, М. И.**

Режимы горения газов и газовзвесей / М. И. Алымов, Н. М. Рубцов,  
Б. С. Сеплярский ; Российская Академия наук Институт Структурной  
Макрокинематики и Проблем Материаловедения им. А.Г. Мержанова  
Российской Академии Наук. – Москва : РАН, 2022 – 424 с.

УДК 544.452  
ББК 24.543.12

ISBN 978-5-907366-69-5

© М.И. Алымов, Н.М. Рубцов,  
Б.С. Сеплярский, 2022

## Оглавление

Аннотация.....	6
Введение.....	10
Раздел I. Горение газов. Ламинарные пламена.....	18
Глава 1. Распространение пламени. Теоретические аспекты.....	19
§ 1. Влияние активных химических добавок на скорость распространения пламени в богатых водородо-воздушных смесях....	19
§ 2. Основные факторы, определяющие концентрационные пределы горения водородо-воздушных смесей в присутствии химически активных добавок (ингибиторов).....	32
§ 3. О природе верхнего концентрационного предела распространения пламени в водородо-воздушной смеси.....	37
Глава 2. Распространение пламени при инициировании искровым разрядом.....	43
§ 4. Влияние инертных и активных добавок на закономерности инициирования и распространения ламинарных сферических пламен в стехиометрических смесях метана, пентана и водорода с воздухом при атмосферном давлении.....	43
§ 5. Численное исследование влияния гетерогенной рекомбинации и гетерогенного инициирования на распространение пламени в водородо-воздушных смесях при атмосферном давлении .....	58
§ 6. Исследование особенностей инициированного горения бедных водородо-воздушных смесей при атмосферном давлении методом скоростной киносъемки.....	67
Глава 3. Воспламенение и распространение пламени в нагретых сосудах.....	79
§ 7. Изучение цепного самовоспламенения в реакциях окисления водорода, метана и изобутена методом скоростной цветной киносъемки .....	79
§ 8. Изучение цепного воспламенения смесей пропана и пентана с воздухом в нагретом сосуде методом скоростной цветной киносъемки при атмосферном давлении.....	87
§ 9. Изучение воспламенения смесей водорода с воздухом методом скоростной цветной киносъемки в нагретом сосуде при атмосферном давлении.....	96
§ 10. Инициирование водородного пламени локальным источником.....	104
§ 11. Механизм ингибирующего действия добавок $CF_2Cl_2$ на горение водорода и метана в кислороде и воздухе .....	116
Заключение .....	126
Литература .....	129
Раздел II. Нестационарное горение газов .....	137
§ 1. Режимы распространения пламени при горении бедных водородо-воздушных смесей в присутствии добавок в условиях центрального инициирования при атмосферном давлении .....	139

§2. Изучение инициированного искрой воспламенения смесей метана и пентана с воздухом методом скоростной киносъёмки .....	155
§3. Возникновение акустической неустойчивости в водородо-воздушных смесях в замкнутом реакторе при центральном инициировании искровым разрядом .....	169
§ 4. Взаимодействие сферических пламён водородо-воздушных и метано-воздушных смесей с мелкочаеистыми препятствиями при центральном инициировании искровым разрядом .....	177
§5. Взаимодействие ламинарных пламён метано-воздушных смесей с мелкочаеистыми плоскими и сферическими препятствиями в замкнутом цилиндрическом реакторе при инициировании искровым разрядом с торцов .....	186
§ 6. Распространение неустойчивых пламён смесей водорода и природного газа с кислородом, инициированных искровым разрядом, в цилиндрических сосудах при инициировании искровым разрядом .....	197
§7. Газодинамические и кинетические особенности проникновения метано-кислородного пламени через одиночные отверстия и мелкочаеистые препятствия .....	205
§ 8. Особенности проникновения пламён разбавленных смесей метана с кислородом через одиночное отверстие в плоском препятствии, конфузоре и диффузоре .....	213
Выводы .....	220
Литература .....	222
<b>Раздел III. Пределы детонации газовых систем. ....</b>	<b>228</b>
§ 1. Современные подходы при описании процессов сверхзвукового горения .....	230
§2. Влияние физических факторов (акустического резонатора) на ускорение пламени в бедной (15%) смеси водорода с кислородом ...	243
§3. Влияние химически активных добавок на скорость стационарной детонационной волны и предел детонации в богатых смесях на примере реакции окисления водорода .....	249
§4. Влияние химически активных добавок на скорость стационарной детонационной волны и пределы детонации в бедных горючим смесях на примере реакции окисления водорода ..	259
Выводы .....	273
Литература .....	275
<b>Раздел IV. Роль дисперсной фазы в процессах горения .....</b>	<b>279</b>
Глава 1. Реакции горения, сопровождающиеся фазообразованием .....	281
§1. Факторы, определяющие режимы фазообразования в цепной реакции окисления дихлорсилана при низких давлениях .....	281
§ 2. Образование пылевых плазменных структур типа "жидкий кристалл" (liquid Coulomb crystal) и "твёрдый кристалл" (solid Coulomb crystal) в газофазных реакциях горения в условиях высокочастотного разряда .....	302



§ 3. Влияние паров металлоорганических соединений на процессы воспламенения и горения водорода, пропена и природного газа .....	312
Глава 2. Закономерности воспламенения и горения угольных газозвесей .....	324
§ 4. Воспламенение газозвесей, содержащих природный газ и кислород .....	325
§ 5. Воспламенение угольных порошков в присутствии природного газа, кислорода и химически активных добавок .....	329
§6. Исследование воспламенения угольных порошков в присутствии кислорода и природного газа методом скоростной киносъемки .....	336
§7. Подавление воспламенения угольных порошков в присутствии кислорода и природного газа малыми добавками паров октадекафтордекагидронафталина $C_{10}F_{18}$ .....	343
Выводы .....	349
Литература .....	351
Раздел V. Воспламенение и горение водорода и его смесей с углеводородами в присутствии благородных металлов платины и палладия .....	358
Глава 1. Использование высокоскоростной оптической многомерной методики для установления особенностей воспламенения и горения смеси 40% $H_2$ – воздух в присутствии металлической платины .....	359
Выводы к Главе 1 .....	380
Литература .....	381
Глава 2. Изучение горения смесей водород-воздух и водород-углеводород ( $C_1 - C_6$ ) -воздух над поверхностью металлического палладия при совместном использовании гиперспектрального сенсора и скоростной цветной киносъемки .....	383
§1. Изучение горения смесей водород-воздух и водород-метан-воздух над поверхностью металлического палладия при совместном использовании гиперспектрального сенсора и скоростной цветной киносъемки .....	384
§2. Воспламенение смесей водород - углеводород ( $C_1-C_6$ ) – воздух над поверхностью палладия при давлениях 1÷2 атм .....	392
§3. Воспламенение смесей водород-кислород и водород-метан-кислород нагретыми проволочками при низком давлении .....	402
Выводы к Главе 2 .....	410
Заключение .....	411