

**В.Ф. Марков  
Л.Н. Маскаева  
М.П. Миронов  
С.Н. Пазникова**

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ  
ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ  
И ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ**



Министерство Российской Федерации  
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям  
и ликвидации последствий стихийных бедствий

В.Ф. Марков, Л.Н. Маскаева, М.П. Миронов,  
С.Н. Пазникова

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ И ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

*Допущено Министерством Российской Федерации  
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям  
и ликвидации последствий стихийных бедствий в качестве  
учебного пособия для курсантов, студентов и слушателей  
образовательных учреждений МЧС России*

Екатеринбург  
2010

УДК 544 + 614.  
ББК 38.96

**Марков В.Ф., Маскаева Л.Н., Миронов М.П., Пазникова С.Н.** Физико-химические основы развития и тушения пожаров: Учебное пособие для курсантов, студентов и слушателей образовательных учреждений МЧС России / Под ред. В.Ф. Маркова. Екатеринбург: УрО РАН. 2010. 274 с.

ISBN 5—7691—2011—8

Материал изложен в соответствии с тематическим планом и теоретическими разделами курса лекций по дисциплине “Физико-химические основы развития и тушения пожаров”, читаемых в Уральском институте ГПС МЧС России. Используются последние достижения науки и техники в области физико-химических закономерностей возникновения, развития и тушения пожаров. Приводятся примеры и вопросы для самопроверки по главам, а также большой справочный материал.

Пособие предназначено для курсантов, студентов и слушателей образовательных учреждений МЧС России, может быть полезно адъюнктам, преподавателям учебных заведений, а также специалистам, работа которых связана с защитой в чрезвычайных ситуациях.

#### Рецензенты

**Н.П. Копылов**

доктор технических наук, профессор  
начальник ФГУ ВНИИПО МЧС России

**А.А. Мельник**

кандидат технических наук  
начальник кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения  
(Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России)

ISBN 5—7691—2011—8

© Уральский институт ГПС МЧС  
России, 2010 г.  
© Авторы, 2010 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	7
<b>Глава 1. Пожар как физико-химическое явление и чрезвычайная ситуация</b> .....	9
1.1. Развитие науки о горении .....	9
1.2. Определение пожара, процессы и явления, его сопровождающие .....	12
1.3. Особенности пожаров в современных условиях .....	15
Вопросы для самопроверки .....	17
<b>Глава 2. Общая характеристика процесса горения</b> .....	18
2.1. Определение процесса горения и его особенности .....	18
2.2. Классификация горючих веществ и материалов .....	22
2.3. Окислители .....	24
2.4. Газовые законы .....	25
Вопросы для самопроверки .....	27
<b>Глава 3. Элементы химической термодинамики процессов горения и его прекращения</b> .....	29
3.1. Основные понятия химической термодинамики .....	29
3.2. Первое начало термодинамики. Связь теплоты и работы .....	31
3.3. Тепловой эффект химической реакции .....	32
3.4. Закон Гесса .....	36
3.5. Понятие теплоемкости. Зависимость теплоемкости от температуры .....	38
3.6. Зависимость теплосодержания вещества и теплового эффекта реакции от температуры. Формула Кирхгофа .....	39
3.7. Второе начало термодинамики. Понятие энтропии .....	41
3.8. Термодинамические потенциалы — критерии направленности самопроизвольного процесса в закрытой системе .....	43
Вопросы для самопроверки .....	46
<b>Глава 4. Основы кинетики химических реакций горения</b> .....	48
4.1. Основные понятия химической кинетики .....	48
4.2. Скорость химической реакции .....	49
4.3. Влияние температуры на скорость химических реакций. Энергия активации .....	58
4.4. Теоретические подходы к трактовке механизма химического взаимодействия .....	59
Вопросы для самопроверки .....	60
<b>Глава 5. Процессы теплообмена на пожаре</b> .....	61
5.1. Перенос теплоты теплопроводностью .....	61
5.2. Перенос тепла конвекцией .....	64
5.3. Теплоперенос излучением .....	65
Вопросы для самопроверки .....	73
<b>Глава 6. Основные закономерности газообмена на пожаре</b> .....	74
6.1. Понятие плоскости равных давлений .....	74
6.2. Расчет интенсивности газообмена .....	76
Вопросы для самопроверки .....	78

<b>Глава 7. Особенности поведения веществ в дисперсном состоянии. Поверхностные явления</b> . . . . .	79
7.1. Понятие дисперсности и поверхностного натяжения . . . . .	79
7.2. Адсорбция. Поверхностно-активные вещества . . . . .	85
7.3. Смачивание и растекание жидкостей . . . . .	90
7.4. Пены и их свойства . . . . .	91
7.5. Эмульсии . . . . .	93
7.6. Аэрозоли . . . . .	94
7.7. Порошки . . . . .	94
Вопросы для самопроверки . . . . .	96
<b>Глава 8. Параметры и классификации пожаров</b> . . . . .	97
8.1. Параметры пожара . . . . .	97
8.2. Зоны пожара . . . . .	104
8.3. Опасные факторы пожара . . . . .	107
8.4. Классификации пожаров . . . . .	107
Вопросы для самопроверки . . . . .	109
<b>Глава 9. Теоретические основы возникновения пожара</b> . . . . .	110
9.1. Самовозгорание (самовоспламенение) веществ и материалов . . . . .	110
9.1.1. Тепловая теория самовоспламенения . . . . .	111
9.1.2. Цепная теория самовоспламенения . . . . .	115
9.1.3. Факторы и условия, влияющие на температуру самовоспламенения . . . . .	116
9.1.4. Особенности самовозгорания твердых веществ и материалов в дисперсном состоянии . . . . .	119
9.1.5. Микробиологический механизм инициирования самовозгорания . . . . .	125
9.1.6. Самовозгорание химически активных веществ . . . . .	125
9.1.7. Особые случаи самовозгорания . . . . .	127
9.2. Зажигание горючих веществ под действием внешних источников энергии . . . . .	128
9.2.1. Зажигание нагретой поверхностью . . . . .	129
9.2.2. Зажигание открытым пламенем . . . . .	132
9.2.3. Искровое зажигание . . . . .	135
9.3. Зажигание горючих веществ, находящихся в различных агрегатных состояниях . . . . .	139
9.3.1. Условия воспламенения газо- и паровоздушных горючих смесей . . . . .	139
9.3.2. Условия воспламенения жидкостей . . . . .	143
9.3.3. Условия зажигания твердых веществ и материалов . . . . .	147
9.4. Зарождение тлеющего горения . . . . .	152
Вопросы для самопроверки . . . . .	152
<b>Глава 10. Особенности горения веществ и материалов на пожаре</b> . . . . .	154
10.1. Горение газов . . . . .	154
10.2. Горение жидкостей . . . . .	160
10.3. Особенности горения твердых веществ . . . . .	167
10.3.1. Общие закономерности горения твердых веществ и материалов . . . . .	167

10.3.2. Горение синтетических полимеров . . . . .	169
10.3.3. Горение древесины и других природных материалов . .	171
10.3.4. Горение композиционных материалов . . . . .	174
10.3.5. Горение металлов . . . . .	175
10.3.6. Горение пылей и порошков . . . . .	178
Вопросы для самопроверки. . . . .	180
<b>Глава 11. Физико-химические закономерности распространения пожара</b>	<b>181</b>
11.1. Понятие динамики пожара и факторы, влияющие на его распространение . . . . .	181
11.2. Распространение пламени по жидкости . . . . .	183
11.3. Закономерности распространения пламени по твердой поверхности . . . . .	185
11.3.1. Влияние ориентации поверхности горючего материала на скорость распространения пламени . . . . .	186
11.3.2. Влияние толщины горючего материала . . . . .	187
11.3.3. Влияние плотности, теплоемкости и теплопроводности горючего материала . . . . .	190
11.3.4. Влияние геометрической формы поверхности горючего	190
11.3.5. Влияние условий окружающей среды на распространение пламени . . . . .	191
11.3.6. Распространение пламени при объемной пожарной нагрузке . . . . .	193
11.3.7. Влияние влажности материала . . . . .	194
11.3.8. Влияние природы материала подложки в композитной сборке . . . . .	194
Вопросы для самопроверки. . . . .	195
<b>Глава 12. Закономерности развития открытых пожаров</b>	<b>196</b>
12.1. Особенности открытых пожаров . . . . .	196
12.2. Пожары в резервуарах с горючими жидкостями . . . . .	197
12.3. Пожары газовых фонтанов . . . . .	197
12.4. Пожары на складах лесоматериалов. . . . .	201
12.5. Лесные пожары . . . . .	202
12.6. Торфяные пожары . . . . .	204
12.7. Степные пожары. . . . .	205
12.8. Огненный шторм. . . . .	206
Вопросы для самопроверки. . . . .	206
<b>Глава 13. Динамика внутреннего пожара</b>	<b>207</b>
13.1. Стадии и фазы развития внутреннего пожара . . . . .	207
13.2. Факторы, влияющие на нарастание пожара в закрытом помещении . . . . .	210
13.3. Условия, необходимые для полного охвата помещения пламенем	215
13.4. Факторы, влияющие на время наступления полного охвата помещения пламенем . . . . .	216
13.5. Режим полностью развитого пожара . . . . .	218
13.6. Тепловой баланс внутреннего пожара . . . . .	219
13.7. Динамика газообмена на внутреннем пожаре . . . . .	226
13.8. Прогнозирование скорости развития внутреннего пожара . . .	229
13.9. Распространение пожара за пределы помещения . . . . .	230

13.10. Особенности динамики пожаров на транспорте .....	232
Вопросы для самопроверки. ....	233
<b>Глава 14. Теоретические основы прекращения горения .....</b>	<b>235</b>
14.1. Основы тепловой теории прекращения горения .....	235
14.2. Физико-химические механизмы, условия и приемы прекращения горения .....	239
Вопросы для самопроверки. ....	243
<b>Глава 15. Огнетушащие вещества, их свойства и применение .....</b>	<b>244</b>
15.1. Классификация огнетушащих веществ .....	244
15.2. Тушение пожаров водой .....	245
15.3. Тушение пожаров пенами. ....	250
15.4. Тушение пожаров инертными газообразными разбавителями	254
15.5. Тушение пожаров хладонами. ....	259
15.6. Тушение пожаров порошковыми огнетушащими составами ..	263
15.7. Аэрозольное пожаротушение .....	267
15.8. Тушение пожаров веществами комбинированного действия ..	268
Вопросы для самопроверки. ....	271
<b>Список литературы .....</b>	<b>272</b>