

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

Академия Государственной противопожарной службы

С. А. Бобков, А. В. Бабурин, П. В. Комраков

# 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 высших образовательных учреждений  
МЧС России

Москва  
2014

УДК 544  
ББК 38.96  
Б72

Рецензенты:

*С. Г. Цариченко*, доктор технических наук, профессор,  
заместитель начальника ФГУ ВНИИПО МЧС России;

*А. Я. Корольченко*, доктор технических наук,  
профессор кафедры «Пожарная безопасность» МГСУ;

*В. О. Дежкин*, начальник отдела  
Департамента пожарно-спасательных сил,  
специальной пожарной охраны  
и сил гражданской обороны МЧС России

**Бобков С. А.**

Б72 Физико-химические основы развития и тушения пожаров : учеб.  
пособие / С. А. Бобков, А. В. Бабурин, П. В. Комраков. – М. :  
Академия ГПС МЧС России, 2014. – 210 с.

ISBN 978-5-9229-0084-3

В учебном пособии рассматриваются основные процессы, протекающие при пожарах, развивающихся на открытом пространстве и внутри помещений, а также сопутствующие им явления – вскипание и выброс жидкости при пожарах резервуаров, общая и объемная вспышка в помещениях. Также рассматриваются физико-химические основы прекращения горения, механизмы действия, области и особенности практического использования различных огнетушащих веществ.

УДК 544  
ББК 38.96



© Академия Государственной противопожарной  
службы МЧС России, 2014

# Предисловие

---

Дисциплина «Физико-химические основы развития и тушения пожаров» является базовой для изучения таких специальных дисциплин, как «Пожарная тактика», «Пожарная техника», «Экспертиза пожаров», «Пожарная профилактика в технологических процессах», «Пожарная профилактика в строительстве», «Экология пожаров» и др. В свою очередь, она является логическим продолжением дисциплины «Теория горения и взрыва», рассматривающей условия возникновения и параметры процесса горения.

Первое учебное пособие по данной дисциплине было подготовлено и выпущено ее создателями И. М. Абдурагимовым, В. Ю. Говоровым, В. Е. Макаровым в 1980 году и отражало последние на то время представления о процессах, протекающих при уже возникших пожарах, явлениях их сопровождающих, а также о механизмах прекращения горения с помощью различных огнетушащих веществ.

Настоящая книга написана на основе многолетнего опыта преподавания дисциплины в Академии ГПС МЧС России. При ее подготовке авторы использовали опубликованные результаты научных разработок ВНИИПО, кафедры «Процессы горения» Академии ГПС МЧС России, отечественных и зарубежных исследователей, а также собственный опыт исследования и тушения пожаров. Учебное пособие предназначено для слушателей очного и заочного факультетов на базе общего и специального образования, обучающихся по специальности «Пожарная безопасность».

Главы 1, 5, п. 7.2 написаны канд. техн. наук, доц. С. А. Бобковым, гл. 2, 3 – канд. техн. наук, доц. С. А. Бобковым при участии канд. техн. наук П. В. Комракова, гл. 4 – совместно канд. техн. наук П. В. Комраковым и А. В. Бабуриным, п. 7.3 – канд. техн. наук П. В. Комраковым, гл. 6, пп. 7.1, 7.4 – совместно канд. техн. наук, доц. С. А. Бобковым и А. В. Бабуриным, п. 7.5 – А. В. Бабуриным.

# 1. Пожар как комплекс физических и химических процессов и явлений. Основные понятия и определения

---

## 1.1. Основные процессы, протекающие на пожаре

*Пожар* – это сложный комплекс физических и химических процессов, среди которых основным является процесс горения.

Как правило, на пожарах горение является диффузионным, т. е. скорость химической реакции зависит от скорости притока воздуха извне, а также от скорости удаления образующихся газообразных продуктов. Данный процесс называется *газообменом*. По характеру газообмена пожары делятся на *открытые* и *внутренние*. Первые протекают на открытом пространстве, вторые – в помещениях.

При горении на открытых пожарах приток воздуха в зону химических реакций зависит главным образом от газодинамического режима образования горючей смеси. Если поток горючего газа или пара ламинарный, соотношение горючего и окислителя в смеси, поступающей в зону реакции, определяется законами диффузии. Если поток турбулентный – к диффузии добавляется механическое перемешивание реагирующих компонентов. Отток продуктов горения из зоны реакции практически не лимитирован.

Направление и скорость распространения открытых пожаров зависят от размеров факела пламени, распределения горючих материалов или объектов, метеорологических условий.

На внутренних пожарах параметры горения, возможность и скорость распространения пожара определяются не только физико-химическими свойствами, количеством и характером распределения горючих материалов, но и такими факторами, как проемность помещения, его высота, размеры очага. Если в силу ряда причин процесс горения не распространился на все горючие предметы или материалы, находящиеся в помещении, внутренний пожар называется *локальным*; если горением охвачено все помещение – *объемным*.

По своей природе процесс горения является химической реакцией между горючим веществом и окислителем, которая протекает с выделением тепла. Часть тепла расходуется в зоне химических реакций на нагрев

продуктов горения, часть – передается в окружающую среду, часть – идет на нагрев горючих материалов и поддержание горения. Данный процесс является *теплообменом*.

Во время пожара присутствуют все три вида теплообмена. Однако их соотношение может быть разным в зависимости от вида пожара, стадии его развития, свойств горючего вещества.

*Теплопроводность* определяет время прогрева горючих материалов под действием теплового потока до температуры воспламенения и, следовательно, скорость распространения пожара. При установившемся горении теплопроводность определяет поведение строительных и ограждающих конструкций при пожаре.

*Конвективный теплообмен* значительно присутствует на всех стадиях пожара. Как известно, он обусловлен движением потоков нагретых газов. Плотность газообразных продуктов горения значительно меньше плотности воздуха вследствие высокой температуры первых. Это вызывает подъемную силу, под действием которой они перемещаются вверх. На открытых пожарах эти восходящие потоки практически не влияют на распространение пламени на уровне земли. Характер их движения (ламинарный или турбулентный) определяет условия образования смеси горючих газов с окислителем и параметры процесса горения.

При пожарах в помещениях влияние конвекции зависит от стадии пожара, интенсивности тепловыделения в очаге, геометрии помещения и других факторов. Например, при недостаточной вентиляции под потолком может скапливаться теплый воздух. Очаг пожара в самом начале его развития, как правило, является точечным с небольшой интенсивностью тепловыделения. В этом случае разность плотностей восходящих газов и воздуха по высоте помещения быстро убывает. Кроме того, факел, формируемый восходящими потоками, интенсивно охлаждается вследствие разбавления воздухом. Все это приводит к тому, что подъемная сила уменьшается и может стать недостаточной для преодоления сил вязкого сопротивления еще до того, как газовый поток достигнет потолка. В случаях, когда такая ситуация реализуется, помещение задымляется практически равномерно по всей высоте, что затрудняет эвакуацию людей.

По мере развития процесса горения температура газов в конвективной колонке повышается, ее высота увеличивается и достигает потолка. Газы растекаются вдоль потолка, вызывая конвективный перенос тепла в строительные конструкции. Постепенно в конвективные потоки вовлекается весь объем воздуха, находящегося в помещении, и начинают прогреваться горючие материалы, находящиеся далеко от очага пожара. Если среднеобъемная температура газовой среды превысит температуру воспламенения горючих материалов, может произойти мгновенный охват пламенем всего помещения. Это явление называется *общей вспышкой*.

Через различные щели, технологические и вентиляционные отверстия, пустоты в стенах и перекрытиях потоки нагретых газов проникают в другие помещения, способствуя распространению пожара по зданию, затрудняют или делают невозможной эвакуацию людей.

*Излучение* является определяющим видом передачи тепла на пожаре, так как его действие может проявляться на больших расстояниях. При прохождении теплового потока через газовую среду он ослабляется в результате поглощения и рассеяния лучистой энергии. Например, атмосферный воздух, содержащий частицы пыли и влаги во взвешенном состоянии, а также промышленные дымовые газы имеют коэффициент ослабления 0,2–0,3.

На внутренних пожарах, в помещениях с низким потолком (обычно менее 3 м) пламя вместе с конвективной колонкой быстро достигает потолка и отклоняется в горизонтальном направлении. В результате этого увеличивается тепловой поток, действующий на материалы, расположенные внизу.

Если лучистый тепловой поток превышает критическую величину, то через определенное время его действия при появлении источника зажигания облучаемый материал воспламеняется. Зависимость времени воспламенения  $\tau_b$  от плотности падающего теплового потока описывается формулой

$$\tau_b = \frac{A}{(q - q_{кр})^n}, \quad (1.1)$$

где  $A, n$  – эмпирические коэффициенты,  $A = 4,36 \cdot 10^3$ ,  $n = 1,61$ ;

$q$  – падающий тепловой поток, кВт/м<sup>2</sup>;

$q_{кр}$  – критический тепловой поток, кВт/м<sup>2</sup>.

Величина  $q_{кр}$  зависит от вида горючего материала. Например, для чистой древесины она составляет 10–12 кВт/м<sup>2</sup>, для обугленной – 16–20 кВт/м<sup>2</sup>, для ДСП – 12 кВт/м<sup>2</sup>. При отсутствии источника зажигания может произойти также самовоспламенение поверхности. Так, сосновая древесина самовоспламеняется при тепловом потоке 33,5 кВт/м<sup>2</sup> через 120 с; хлопчатобумажная набивная ткань при тепловом потоке 29,8 кВт/м<sup>2</sup> – через 9 с.

По мере увеличения геометрических размеров очага при развитии пожара в помещении уменьшается количество воздуха, поступающего в конвективную колонку. Возрастает количество продуктов неполного сгорания и оптическая плотность дыма. Соответственно доля излучения в передаче тепла уменьшается, а конвекции – возрастает.

Для поддержания горения на пожаре необходим постоянный приток свежего воздуха в зону химических реакций и удаление из нее образующихся продуктов, т. е. газообмен. При пожарах на открытом пространстве происходит газообмен зоны химических реакций с окружающей средой. Он лимитируется практически только диффузией окислителя. При пожарах в помещениях газообменом фактически является вентиляция помещения

через проемы в ограждающих конструкциях, вызванная и регулируемая процессами горения и теплообмена. В то же время, чем больше расход поступающего воздуха, тем более интенсивно протекает процесс горения, выше интенсивность тепловыделения, быстрее развивается пожар.

Таким образом, процессы горения, тепло- и газообмена являются взаимосвязанными и определяют то, что называется *обстановкой на пожаре*. Так, интенсивность тепловыделения определяет возможность и скорость распространения пожара путем нагрева веществ и материалов до температуры воспламенения или самовоспламенения. Под действием тепловых потоков строительные конструкции теряют несущую способность. Это приводит к их обрушению, травмированию и гибели людей, а также затрудняет ведение боевых действий. Данный параметр также определяет время достижения предельно допустимой температуры газовой среды на путях эвакуации людей – 70 °С.

Газообмен влияет на интенсивность тепловыделения при сгорании горючего вещества. Но самое главное, он определяет состав газовой среды в помещении очага пожара, в смежных помещениях и на путях эвакуации людей. Газы, выбрасываемые из горящих помещений, имеют высокую температуру, что приводит к предварительному подогреву сгораемых материалов и увеличению скорости распространения пожара. Кроме того, интенсивность поступления воздуха в помещение может быть недостаточной для полного сгорания газов, выделяемых горящим веществом. Тогда образование и воспламенение горючей смеси происходит также за пределами первоначального очага. В таких случаях новые очаги пожара могут возникать, причем одновременно, в самых неожиданных местах здания.

Таким образом, комплекс взаимосвязанных процессов, определяющих такое сложное явление, как пожар, можно представить в виде условного *«треугольника пожара»*: горение – газообмен – теплообмен.

## 1.2. Зоны пожара

Все пространство, в котором протекает пожар, и вокруг него принято делить на три зоны.

Зона горения – это часть пространства, в котором происходит процесс горения, как в гомогенном, так и в гетерогенном режимах. При пожарах газов и жидкостей зоной горения считается объем видимого пламени. Горение твердых горючих материалов (ТГМ) в силу ряда причин может быть беспламенным (гетерогенным). У некоторых ТГМ (табак, хлопок, войлок и др.) этот вид горения является преобладающим. В этих случаях зона горения совпадает с поверхностью горения. Для большинства же ТГМ на пожаре характерно наличие обоих видов горения.

На внутренних пожарах при полном охвате пламенем помещения зоной горения считается весь его объем. До этого момента, т. е. на стадии распространения пожара, в зону горения включаются объем пламени и тлеющие участки материала.

Зона теплового воздействия – это часть пространства, примыкающая к зоне горения, в которой процессы теплообмена приводят к заметному изменению состояния материалов и конструкций, а также делают невозможным пребывание людей без средств тепловой защиты.

Для людей граница зоны теплового воздействия определяется по двум параметрам: повышенной температуре – 70 °С и плотности теплового потока – 1,4 кВт/м<sup>2</sup>.

Для конструкций и материалов границей данной зоны является расстояние, на котором плотность падающего теплового потока равна критической (см. формулу (1.1)).

На внутренних пожарах зона теплового воздействия ограничена строительными конструкциями. Факел пламени, вырывающийся из проемов, облучает фасад здания и конструкции, расположенные выше. Принято считать, что при развившемся пожаре пламя достигает середины вышерасположенного этажа. Если горят два или больше этажей, расположенных один над другим, пламя вытягивается. Это объясняется тем, что газы, поступающие в факел из каждого этажа, не успевают сразу смешиваться с воздухом и горючая смесь образуется во время их движения в конвективной колонке. Граница зоны теплового воздействия, определяемая конвективными потоками в здании, зависит от вентиляции здания. Чем сильнее газы, выходящие из помещения с очагом пожара, разбавляются воздухом, тем ниже их температура и короче зона теплового воздействия.

Зона задымления – часть пространства, примыкающая к зоне горения и заполненная дымовыми газами в концентрациях, создающих угрозу жизни и здоровью людей или затрудняющих действия пожарных подразделений.

Угроза жизни и здоровью людей создается при увеличении оптической плотности дыма до предельного значения, достижении предельно допустимой концентрации токсичных компонентов дыма. Оптическая плотность  $D$  характеризует степень ослабления света при прохождении через слой дыма определенной толщины. Она выражается как десятичный логарифм отношения интенсивности лучей света в воздухе  $I_0$  к их интенсивности  $I_x$  после прохождения слоя дыма толщиной  $x$ :

$$D = \lg I_0 / I_x. \quad (1.2)$$

Как правило, при измерении  $D$  для характеристики плотности дыма принимают  $x = 1$  м. Чем выше оптическая плотность, тем меньше расстояние, на котором человек видит сквозь слой дыма. Если объект освещается



спереди (то есть человек видит его в отраженном свете), то дальность его видимости в дыму  $L$ , м, практически обратно пропорциональна оптической плотности  $D$  на 1 м:

$$L = 1 / D. \quad (1.3)$$

При освещении сзади контур объекта виден на большем расстоянии:

$$L = 2,5 / D. \quad (1.4)$$

Дым, выделяемый при пожаре, обычно имеет  $D \geq 10$ . Соответственно, видимость в таких условиях составит 10–25 см в зависимости от характера освещения. Если минимальная допустимая видимость на путях эвакуации людей  $L$  принимается 5 м, оптическая плотность (при  $x = 1$  м) должна быть равна  $1/5 = 0,2$ . Соответственно, при допустимой видимости 20 м оптическая плотность дыма не должна превышать 0,05.

На открытых пожарах положение зоны задымления зависит от площади пожара и скорости ветра. При скорости ветра меньше 2 м/с дым уходит вверх, а при скорости ветра более 8 м/с – прижимается к земле, но интенсивно разбавляется воздухом. В обоих случаях дым практически не оказывает влияния на действия людей. Таким образом, на открытых пожарах зона задымления проявляется при скорости ветра от 2 до 8 м/с.

На внутренних пожарах дым является наиболее опасным фактором. Размеры зоны задымления в помещении (здании) зависят от условий распространения газовых потоков и газообмена очага пожара с внешней средой.

### 1.3. Основные параметры пожаров

Для решения практических задач пожарной безопасности необходимо знать параметры, описывающие комплекс процессов, составляющих такое сложное явление, как пожар.

*Продолжительность (время) пожара*  $\tau_{п}$ , мин, ч, – время с момента возникновения горения до полного его прекращения.

*Время свободного развития пожара*  $\tau_{св}$ , мин, ч, – время с момента возникновения горения до начала подачи огнетушащего вещества в очаг пожара.

*Площадь пожара*  $S_{п}$  – площадь проекции зоны горения на горизонтальную или вертикальную плоскость. На практике, как правило, используют горизонтальную проекцию. Данный параметр является нормативным. Он служит для оценки обстановки на пожаре, расчета сил и средств, необходимых для его тушения. Однако при горении изделий и конструкций из ТГМ площадь пожара, как правило, не соответствует физической площади горения.

*Площадь поверхности горения*  $S_{п.г}$  – характеризует реальную, физическую площадь ТГМ, которая участвует в горении, т. е. выделяет горючие газы при пиролизе или испарении, а также взаимодействует с окислителем в гетерогенном режиме. Величина  $S_{п.г}$  определяет количество образующихся газообразных продуктов и, соответственно, размеры зоны горения.

*Коэффициент поверхности горения*  $K_{п.г}$  – отношение площади поверхности горения к площади пожара:

$$K_{п.г} = S_{п.г} / S_{п.} \quad (1.5)$$

Из данного выражения следует, что площадь горения превышает площадь пожара в  $K_{п.г}$  раз. Например, в современных квартирах значение  $K_{п.г}$  составляет 3–5. Следовательно, если площадь пожара 3 м<sup>2</sup>, то площадь горения и, соответственно, площадь тушения, составляет 9–15 м<sup>2</sup>.

*Линейная скорость распространения пожара*  $v_{л}$ , м/мин, – путь, который на данном объекте проходит фронт пламени в единицу времени. Фактически это скорость распространения зоны горения по площади объекта.

Если горючим веществом на объекте является жидкость, то скорость распространения пожара практически равна скорости распространения пламени по поверхности жидкости. В зависимости от соотношения начальной температуры жидкости  $T_0$  и температуры воспламенения  $T_{воспл}$  значение может изменяться в 10 раз. Так, если  $T_0 < T_{воспл}$ , то  $v_{л}$  редко превышает 0,05 м/с. При  $T_0 > T_{воспл}$  линейная скорость равна скорости распространения пламени по паровоздушным смесям – 0,5 м/с и более.

Если горючая нагрузка состоит из ТГМ, то  $v_{л}$  зависит не только от скорости распространения пламени по поверхности ТГМ, но и от скорости его перехода с одного предмета на другой. Поэтому на  $v_{л}$  влияет также характер размещения горючих изделий и материалов на объекте, интенсивность теплового излучения, направление и скорость газовых потоков. При рассредоточенной горючей нагрузке интенсивности излучения от горящего предмета может быть недостаточно для воспламенения материалов соседних предметов. Тогда пожар не распространится на всю площадь объекта и останется локальным.

Величина  $v_{л}$  зависит также от состава газовой среды, поступающей в зону горения. Так, на внутренних пожарах по мере развития процесса горения концентрация кислорода в газовой среде уменьшается, температура пламени и, соответственно, его излучательная способность снижаются. Это приводит к уменьшению скорости распространения пламени по поверхности горючего. Вместе с тем температура газовой среды в помещениях часто достигает температуры воспламенения материалов до того, как пожар охватит все помещение. В этих случаях перед фронтом пламени образуется газоздушная смесь на нижнем концентрационном пределе, по которой пламя распространяется со скоростью до 50 м/с, т. е. практически мгновенно, происходит так называемая общая вспышка.

Таким образом, линейная скорость распространения пожара зависит от очень многих факторов, прогнозировать которые чрезвычайно сложно. Поэтому при пожарно-технических расчетах используют усредненные значения  $v_{л}$ , полученные в результате анализа параметров пожаров на различных объектах.

*Абсолютная массовая скорость выгорания*  $v_{м}^{abc}$  – масса горючего вещества, сгорающая в единицу времени.

*Удельная массовая скорость выгорания*  $v_{м}^{уд}$  – масса горючего вещества или материала, выгорающая в единицу времени с единицы площади пожара:

$$v_{м}^{уд} = v_{м}^{abc} / S_{п}. \quad (1.6)$$

*Приведенная массовая скорость выгорания*  $v_{м}^{пр}$  – масса горючего вещества или материала, выгорающая в единицу времени с единицы площади поверхности горения:

$$v_{м}^{пр} = v_{м}^{abc} / S_{п.г}. \quad (1.7)$$

*Теплота пожара*  $q_{п}$ , кВт, – количество тепла, выделяющееся в зоне горения в единицу времени:

$$q_{п} = \beta v_{м}^{abc} Q_{н}, \quad (1.8)$$

где  $\beta$  – коэффициент полноты сгорания (0,75–0,9);

$Q_{н}$  – низшая теплота сгорания материала, кДж/кг.

*Температура пожара.* Температурой внутреннего пожара считается среднеобъемная температура газовой среды в помещении, температурой открытого пожара – максимальная температура пламени.

*Коэффициент избытка воздуха* на внутреннем пожаре – отношение фактического расхода воздуха  $G_{в}^{\phi}$  к требуемому  $G_{в}^0$ :

$$\alpha = G_{в}^{\phi} / G_{в}^0. \quad (1.9)$$

*Требуемый расход воздуха*  $G_{в}^0$ , кг/с, – расход воздуха, необходимый для полного сгорания материала с данной массовой скоростью.

*Фактический расход воздуха*  $G_{в}^{\phi}$ , кг/с, – масса воздуха, поступающего в помещение при пожаре в единицу времени.

Параметры пожаров в помещениях зависят от свойств, количества и характера размещения горючих веществ и материалов.

Суммарная масса горючих веществ и материалов, приходящихся на  $1 \text{ м}^2$  площади их размещения  $S$ , называется *удельной горючей нагрузкой*  $p_{г.н}$ , кг/м<sup>2</sup>, и определяется по формуле

$$p_{г.н} = \frac{\sum m_i}{S}, \quad (1.10)$$

где  $m_i$  – масса  $i$ -го горючего материала, кг;

$S$  – площадь размещения, м<sup>2</sup>.

*Площадь размещения* называется площадь участка, выделенного ограждающими конструкциями или противопожарными разрывами, на котором находятся горючие вещества и материалы. Если участки в помещении, на которых находятся горючие вещества и материалы, не разделены преградами с нормируемым пределом огнестойкости или проходами (проездами), ширина которых больше требуемых, площадь размещения равна площади пола. В складских помещениях при стеллажном хранении площадью размещения считается суммарная площадь стеллажей, занятая горючим материалом.

Все горючие вещества и материалы, находящиеся на объекте, являются потенциальными источниками энергии, которые при пожаре выделяют тепло. Поэтому при характеристике степени пожарной опасности объектов используется *удельная пожарная нагрузка*  $g_{п.н}$ , МДж/м<sup>2</sup>, – количество тепла, выделяемое горючей нагрузкой при полном сгорании:

$$g_{п.н} = \frac{\sum m_i Q_{hi}}{S}, \quad (1.11)$$

где  $Q_{hi}$  – низшая теплота сгорания  $i$ -го горючего вещества или материала, кДж/кг.

Различают постоянную и временную пожарную нагрузку. К постоянной пожарной нагрузке относятся сгораемые элементы строительных конструкций здания и стационарно установленного оборудования. К временной нагрузке относят складированные горючие материалы, сырье, полуфабрикаты, мебель и т. п. Пожарная нагрузка всего помещения определяется как сумма постоянной и временной нагрузки.

### Контрольные вопросы

1. По какому признаку пожары делятся на открытые и внутренние?
2. Назовите основные отличительные особенности процесса горения на открытых и внутренних пожарах.
3. В чем заключается отличие «треугольника пожара» от «треугольника горения»?
4. Какие виды теплообмена присутствуют на пожаре?
5. Назовите основные отличительные особенности конвективного теплообмена на открытых и внутренних пожарах.
6. Дайте характеристику зонам пожара.
7. В чем заключается отличие площади пожара от площади горения?
8. Дайте определение массовой скорости выгорания – абсолютной, удельной и приведенной.
9. В чем заключается отличие удельной горючей от удельной пожарной нагрузки?

# Оглавление

---

Предисловие .....	3
<b>1. Пожар как комплекс физических и химических процессов и явлений.</b>	
<b>Основные понятия и определения</b>	
1.1. Основные процессы, протекающие на пожаре.....	4
1.2. Зоны пожара.....	7
1.3. Основные параметры пожаров.....	9
<b>2. Пожары газовых фонтанов</b>	
2.1. Виды фонтанов .....	13
2.2. Характеристики горения газовых фонтанов.....	15
2.3. Параметры газовых фонтанов. Оценка их значений .....	18
<b>3. Пожары резервуаров</b>	
3.1. Возникновение и развитие пожара на резервуаре .....	24
3.2. Параметры пожара резервуара.....	29
3.3. Распределение температуры в жидкости по высоте резервуара .....	34
3.4. Вскипание и выброс жидкости при горении в резервуаре.....	38
<b>4. Открытые пожары твердых горючих материалов</b>	
4.1. Классификация твердых горючих материалов.....	43
4.2. Общие закономерности воспламенения и горения твердых горючих материалов .....	45
4.3. Распространение пламени по поверхности твердых горючих материалов.....	46
4.4. Горение пылей .....	50
4.5. Пожары полигонов твердых бытовых отходов (свалок).....	52
4.6. Лесные пожары.....	53
4.7. Особенности горения лесных материалов .....	62
4.8. Тушение лесных пожаров.....	64
4.9. Последствия лесных пожаров .....	65
<b>5. Внутренние пожары</b>	
5.1. Возникновение и развитие газообмена при пожаре. Его основные параметры .....	67
5.2. Тепловой баланс помещения при пожаре .....	73
5.3. Режимы внутренних пожаров .....	74
5.4. Динамика внутренних пожаров .....	76
<b>6. Прекращение горения на пожаре</b>	
6.1. Тепловая теория прекращения горения .....	86
6.2. Способы достижения температуры потухания .....	89
6.3. Физико-химические способы прекращения горения на пожаре .....	92
6.4. Классификация огнетушащих веществ. Условия, необходимые и достаточные для прекращения горения.....	96
6.5. Параметры процесса тушения.....	99

## 7. Огнетушащие вещества

7.1. Газовые огнетушащие составы .....	103
7.1.1. Нейтральные газы.....	103
7.1.2. Химически активные ингибиторы.....	114
7.1.3. Озоноразрушающее действие хладонов .....	118
7.1.4. Параметры тушения газовыми огнетушащими составами .....	119
7.2. Вода и водные растворы.....	124
7.2.1. Основные физико-химические свойства воды .....	124
7.2.2. Механизм огнетушащего действия воды.....	129
7.2.3. Параметры тушения водой.....	137
7.2.3.1. Прекращение горения газовых фонтанов .....	137
7.2.3.2. Прекращение горения жидкостей.....	141
7.2.3.3. Прекращение горения твердых горючих материалов .....	144
7.2.3.4. Коэффициент использования воды при тушении твердых горючих материалов .....	147
7.2.3.5. Повышение коэффициента использования воды при тушении пожаров твердых горючих материалов .....	152
7.3. Пены как огнетушащие вещества.....	155
7.3.1. Структура пен.....	155
7.3.2. Способы получения пен .....	156
7.3.3. Параметры пен.....	157
7.3.4. Механизм огнетушащего действия пен .....	159
7.3.5. Виды разрушения пен.....	160
7.3.6. Классификация пенообразователей.....	163
7.3.7. Параметры тушения пенами .....	167
7.3.8. Способы тушения пенами жидкостей в резервуарах .....	169
7.3.9. Методы испытания пен и пенообразователей.....	173
7.4. Порошковые огнетушащие составы.....	175
7.4.1. Классификация огнетушащих порошков.....	175
7.4.2. Состав и основные области применения огнетушащих порошков.....	176
7.4.3. Показатели качества огнетушащих порошков и методы их определения ...	179
7.4.4. Механизмы огнетушащего действия порошков.....	182
7.4.5. Особенности применения порошков.....	188
7.5. Аэрозолеобразующие огнетушащие составы.....	194
7.5.1. Состав аэрозолеобразующих композиций.....	194
7.5.2. Устройство генераторов огнетушащего аэрозоля.....	195
7.5.3. Классификация огнетушащих аэрозолей.....	198
7.5.4. Основные механизмы огнетушащего действия аэрозольных огнетушащих составов .....	200
7.5.5. Оценка времени тушения огнетушащим аэрозолем.....	202
Литература .....	207

Учебное издание

БОБКОВ Сергей Анатольевич  
БАБУРИН Александр Владимирович  
КОМРАКОВ Петр Владимирович

# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ И ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

Учебное пособие

Редактор *А. В. Бондаренко*  
Технический редактор *А. В. Бондаренко*  
Корректор *Н. В. Федькова*

Подписано в печать 11.12.2013. Формат 60×90 1/16.  
Печ. л. 13,25. Уч.-изд. л. 9,5. Бумага офсетная.  
Тираж 400 экз. Заказ 290

Академия ГПС МЧС России  
129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4