

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Владимирский государственный университет имени  
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)

Кафедра «Автотранспортная и техносферная безопасность»

КУРС ЛЕКЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА»

Составитель:  
Е.А. Киндеев

Владимир 2016

## Введение

Горение есть главный и основной процесс на пожаре. Горением называется сложный физико-химический процесс превращения горючих веществ и материалов в продукты сгорания, сопровождаемый интенсивным выделением тепла, дыма и световым излучением, в основе которого лежат химические реакции окисления в атмосфере кислорода воздуха.

Отличительными особенностями горения на пожаре от других видов горения являются: склонность к самопроизвольному распространению огня до максимальных размеров, сравнительно невысокая степень полноты сгорания, интенсивное выделение дыма, содержащего продукты полного и неполного окисления.

На пожаре одновременно протекает много различных процессов и явлений. Одни из этих явлений постоянны или обязательны на каждом пожаре, т.е. присущи всем пожарам, другие - возникают только на некоторых. Так, для всех пожаров характерны:

горение с выделением в зоне горения тепла и продуктов горения;

газообмен, осуществляемый по механизму конвективных газовых потоков, обеспечивающих приток свежего воздуха (кислорода) в зону горения и отвод продуктов горения из нее;

передача тепла из зоны горения в окружающее пространство (в том числе горючим материалам), без которого невозможно непрерывное самопроизвольное продолжение процесса горения на пожаре, его развитие и распространение. Это тепло осложняет обстановку на пожаре, затрудняет ведение боевых действий по его локализации и тушению.

# 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТОДАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИИ

Современные методы прогнозирования опасных факторов пожара не только позволяют "заглядывать в будущее", но и дают возможность снова "увидеть" то, что уже когда-то и где-то произошло. Другими словами, теория прогнозирования позволяет воспроизвести картину развития реально произошедшего пожара, что необходимо при криминалистической или пожарно-технической экспертизе пожара.

Опасными факторами, воздействующими на людей и материальные ценности (согласно ГОСТ 12 1.004-91), являются:

1. пламя и искры;
2. повышенная температура окружающей среды;
3. токсичность продуктов горения и термического разложения;
4. дым;
5. пониженная концентрация кислорода.

## ***Первый опасный фактор - пламя.***

Пламя - это видимая часть пространства (пламенная зона), внутри которой протекает процесс окисления (горения) и происходит тепловыделение, а также генерируются токсичные газообразные продукты и поглощается забираемый из окружающего пространства кислород. Кроме того, в границах этой части пространства (зоны) образуется специфическая дисперсная среда, особые оптические свойства которой обусловлены процессами рассеяния энергии световых волн вследствие их многократного отражения от мельчайших твердых (и жидких) частиц. Этот процесс образования дисперсной среды,

ухудшающей видимость, принято называть процессом дымообразования.

По отношению к объему помещения, заполненному газом, пламенную зону можно рассматривать, с одной стороны, как "источник", поставляющий в помещение тепловую энергию и токсичные продукты горения, а также мельчайшие твердые (жидкие) частицы, из-за которых ухудшается видимость. С другой стороны, пламенную зону можно рассматривать как "сток", в который уходит кислород из помещения.

В связи с вышесказанным содержание понятия "пламя" представлено в количественном отношении следующими величинами:

1. характерными размерами пламенной зоны (очага горения), например площадью горения (площадью пожара)  $F_r$ ,  $m^2$ ;
2. количеством сгорающего (окисляемого) за единицу времени горючего материала (ГМ) (скоростью выгорания)  $\psi$ ,  $кг/с$ ;
3. мощностью тепловыделения  $Q_{\text{пож}}$ , Вт;  $Q_{\text{пож}} = \psi \cdot Q_n$ , где  $Q_n$  - теплота сгорания, Дж/кг;
4. количеством генерируемых за единицу времени в пламенной зоне токсичных газов  $\psi \cdot L_i$ ,  $кг/с$ , где  $L_i$  - количество  $i$ -го токсичного газа, образующегося при сгорании единицы массы ГМ;
5. количеством кислорода, потребляемого в зоне горения  $\psi \cdot L$ ,  $кг/с$ , где  $L$  - количество кислорода, необходимое для сгорания (окисления) единицы массы ГМ;

б. оптическим количеством дыма, образующегося в очаге горения  $\psi \cdot D$ , Непер $\cdot m^2/c$ , где  $D$  - дымообразующая способность горючего материала, Непер $\cdot m^2/kg$ ". (Непер - безразмерная логарифмическая единица измерения отношения двух величин; изменение величины на 1 непер означает ее изменение в  $e$  раз ( $e \approx 2,72$ ))

***Второй опасный фактор - повышенная температура среды.***

Температура среды, заполняющей помещение, является параметром состояния.

Он обозначается  $T$ , если используется размерность Кельвин или  $t$ , если используется размерность градусы Цельсия.

***Третий опасный фактор - токсичные продукты горения.*** Этот фактор количественно характеризуется парциальной плотностью (или концентрацией) каждого токсичного газа. (**Парциальная плотность** — плотность определённой компоненты смеси. Например, если смесь состоит из водорода и кислорода, то плотность каждого из этих веществ по отдельности и будет являться парциальной плотностью каждого из этих веществ.) Парциальная плотность компонентов газовой среды в помещении является параметром состояния. Обозначается  $\rho_i$ , размерность –  $kg/m^3$ . Сумма парциальных плотностей всех компонентов газовой среды равна плотности газа  $\rho$ . Концентрацией токсичного  $i$ -го газа обычно называют отношение парциальной плотности этого газа  $\rho_i$  к плотности газа  $\rho$ , т. е.

$$X_i = \rho_i / \rho$$

Если умножить это отношение на 100, то получим значение концентрации продукта в процентах.

**Четвертый опасный фактор пожара - дым.** Этот фактор количественно представляют параметром, называемым оптической концентрацией дыма. Этот параметр обозначают буквой  $\mu$ , его размерность – Непер/м. (Иногда параметр  $\mu$  называют натуральным показателем ослабления.) Расстояние видимости в дыму  $l_{\text{внд}}$  и оптическая концентрация дыма связаны между собой простым соотношением

$$l_{\text{внд}} = 2,38/\mu$$

**Пятый опасный фактор - пониженная концентрация кислорода в помещении.** Этот фактор количественно характеризуется значением парциальной плотности кислорода  $\rho_k$ , или отношением ее к плотности газовой среды в помещении, т. е.

$$X_k = \rho_k/\rho$$

Вышеприведенные величины: температура среды, парциальные плотности (концентрации) токсичных газов и кислорода, оптическая плотность дыма - являются параметрами состояния среды, заполняющей помещение при пожаре. Они характеризуют свойства газовой среды в помещении. Начиная с возникновения пожара в процессе его развития эти параметры состояния непрерывно изменяются во времени. Совокупность этих зависимостей составляет суть динамики ОФП.

При рассмотрении воздействия ОФП на людей используются так называемые предельно допустимые значения (ПДЗ) параметров состояния среды в зоне пребывания людей (рабочей зоне). Предельно допустимые значения ОФП получены в результате обширных медико-биологических исследований, в процессе которых установлен характер воздействия ОФП на людей в зависимости от значений их количественных характеристик. Так, например, установлено, что если концентрация кислорода уменьшится вдвое

по сравнению с нормальной концентрацией его в воздухе (нормальная концентрация составляет 21 %, т.е. приблизительно 270 г O<sub>2</sub> в м<sup>3</sup> воздуха), т.е. будет составлять 135 г O<sub>2</sub> в м<sup>3</sup> воздуха, то нарушается деятельность сердечно-сосудистой системы и органов дыхания человека, а также он теряет способность реальной оценки событий. При уменьшении концентрации кислорода в 3 раза по сравнению с нормальной концентрацией останавливается дыхание и через 5 мин останавливается работа сердца. (Руководство по борьбе за живучесть подводной лодки. - М.. Воениздат, 1983.)

Следует подчеркнуть, что в условиях пожара имеет место одновременное воздействие на человека всех ОФП. Вследствие этого опасность многократно увеличивается. Предельно допустимые значения ОФП указаны в ГОСТ 12.1.004-91.

#### Предельно допустимые значения ОФП

ОФП, обозначение, размерность	ПДЗ
Температура, град. С	70
Тепловой поток, Вт/м <sup>2</sup>	1400
Парциальная плотность, кг/м <sup>3</sup>	
кислорода	0,226
оксида углерода	0,00116
диоксида углерода	0,11
хлористого водорода	23•10 <sup>-6</sup>
Оптическая плотность дыма, Непер/м	2,38/L <sub>ПДВ</sub>

$L_{ПДВ}$  – предельно допустимая дальность видимости, м

При рассмотрении воздействия ОФП на элементы конструкций и оборудование используются критические значения параметров,

характеризующих термическое воздействие пожара на них. Например, при оценке воздействия пожара на железобетонные конструкции применяется понятие критического значения температуры арматуры этих конструкций. Обычно считается, что при нагревании арматуры до температуры, равной 400...450 °С, происходит разрушение железобетонной конструкции. При оценке воздействия пожара на остекление предполагается, что при температуре газовой среды в помещении, равной 300...350 °С, будет происходить разрушение остекления.

*Современные научные методы прогнозирования ОФП* основываются на математическом моделировании, т.е. на математических моделях пожара. Математическая модель пожара описывает в самом общем виде изменение параметров состояния среды в помещении в течение времени, а также изменение параметров состояния ограждающих конструкций этого помещения и различных элементов технологического оборудования.

Основные уравнения, из которых состоит математическая модель пожара, вытекают из фундаментальных законов природы - первого закона термодинамики, закона сохранения массы и закона сохранения импульса. Эти уравнения отражают и увязывают всю совокупность взаимосвязанных и взаимообусловленных процессов, присущих пожару - тепловыделение в результате горения, дымовыделение в пламенной зоне, изменение оптических свойств газовой среды, выделение и распространение токсичных газов, газообмен помещения с окружающей средой и со смежными помещениями, теплообмен и нагревание ограждающих конструкций, снижение концентрации кислорода в помещении.

Методы прогнозирования ОФП различают в зависимости от вида математической модели пожара. Математические модели пожара в помещении условно делятся на три класса (три вида): интегральные, зонные, полевые (дифференциальные).

Интегральная модель пожара позволяет получить информацию, т.е. сделать прогноз, о средних значениях параметров состояния среды в помещении для любого момента развития пожара. При этом для того, чтобы сопоставлять средние параметры среды с их предельными значениями в рабочей зоне, используются формулы, полученные на основе экспериментальных исследований пространственного распределения температур, концентраций продуктов горения, оптической плотности дыма и т. д.

Зонная модель позволяет получить информацию о размерах характерных пространственных зон, возникающих при пожаре в помещении и средних параметров состояния среды в этих зонах. В качестве характерных пространственных зон можно выделить, например, в начальной стадии пожара припотолочную область пространства, область восходящего над очагом горения потока нагретых газов и область незадымленной холодной части пространства.

Полевая дифференциальная модель позволяет рассчитать для любого момента развития пожара значения всех локальных параметров состояния во всех точках пространства внутри помещения.

Перечисленные модели отличаются друг от друга объемом той информации, которую они могут дать о состоянии газовой среды в помещении и взаимодействующих с ней конструкций на разных этапах (стадиях) пожара. В этом отношении наиболее детальные сведения можно получить с помощью полевой модели.

В математическом отношении три вышеназванных вида моделей пожара характеризуются разным уровнем сложности.

Интегральная модель пожара в своей основе представлена системой обыкновенных дифференциальных уравнений. Искомыми функциями выступают среднеобъемные параметры состояния среды, независимым аргументом является время  $t$ .

Основу зонной модели пожара в общем случае составляет совокупность нескольких систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Параметры состояния среды в каждой зоне являются искомыми функциями, а независимым аргументом является время  $t$ . Искомыми функциями являются также координаты, определяющие положение границ характерных зон.

Наиболее сложной в математическом отношении является полевая модель. Ее основу составляет система уравнений в частных производных, описывающих пространственно-временное распределение температур и скоростей газовой среды в помещении, концентраций компонентов этой среды (кислород, оксид и диоксид углерода и т.д.), давлений и плотностей. Искомыми функциями в этой модели являются плотность и температура среды, скорость движения газа, концентрации компонентов газовой среды, оптическая плотность дыма (натуральный показатель ослабления света в дисперсной среде) и т.д. Независимыми аргументами являются координаты  $x, y, z$  и время  $t$ .

Чтобы сделать научно обоснованный прогноз, обращаются к той или иной модели пожара. Выбор модели определяется целью (задачами) прогноза. Путем решения системы дифференциальных уравнений, которые составляют основу выбранной математической модели, устанавливают конкретный характер динамики ОФП.

Следует отметить, что даже при использовании интегральной модели пожара получить аналитическое решение присущей этой модели системы обыкновенных дифференциальных уравнений в общем случае невозможно.

Реализация вышеназванных методов прогнозирования возможна лишь путем численного решения системы дифференциальных уравнений, присущих выбранной модели пожара. Это численное решение можно выполнить только с помощью современных компьютеров.

## 2. ПАРАМЕТРЫ И ЗОНЫ ПОЖАРА

### Параметры пожара

Из практики известно, что главное и основное явление на всех пожарах - это горение, но сами пожары всегда различны, индивидуальны. Во-первых, разнообразны виды и режимы процесса горения (горение кинематическое и диффузионное, гомогенное и гетерогенное, ламинарное и турбулентное, дифлаграционное и детонационное, полное и неполное и т.д.); во-вторых, разнообразны условия, в которых происходит горение (состояние и расположение горючего вещества, тепло— и массообмен в зоне горения и др.). Поэтому каждый пожар необходимо регистрировать, описывать, исследовать, сравнивать с другими, близкими по характеру, т.е. изучать параметры пожара.

Продолжительность пожара - время с момента его возникновения до полного прекращения горения.

Площадь пожара - площадь проекции зоны горения на горизонтальную или вертикальную плоскость. На внутренних пожарах в многоэтажных зданиях общая площадь пожара находится как сумма площадей пожара всех этажей. В большинстве случаев пользуются проекцией зоны горения на горизонтальную плоскость, сравнительно редко - на вертикальную, например при пожаре на газовом фонтане, при горении одиночной

конструкции небольшой толщины, расположенной вертикально, например, перегородки, декорации и т.п. Площадь пожара является одним из основных параметров пожара, особенно важным при оценке его размеров, при выборе метода тушения, при определении особенностей тактики его тушения и расчете количества сил и средств, необходимых для его локализации и ликвидации.

Температура пожара – для внутреннего пожара под температурой пожара понимают среднеобъемную температуру газовой среды в помещении, а под температурой открытого пожара — температуру пламени. Температура внутренних пожаром, как правило, ниже, чем открытых.

Линейная скорость распространения пожара - скорость распространения горения по поверхности горючего материала в единицу времени. Она зависит от вида и природы горючих веществ и материалов, от способности к воспламенению и начальной температуры, от интенсивности газообмена на пожаре и направленности конвективных газовых потоков, от степени измельченности горючих материалов, их пространственного расположения и других факторов.

Линейная скорость распространения горения непостоянна во времени, поэтому в практических расчетах пользуются средними значениями, которые являются величинами весьма приближенными.

Наибольшей скоростью распространения горения обладают газы, поскольку в смеси с воздухом они уже подготовлены к горению и для его продолжения, если горение возникло, затрачивается тепло на нагрев смеси только до температуры воспламенения.

Линейная скорость распространения горения для жидкостей в основном зависит от их начальной температуры. Особенно резкое возрастание наблюдается при нагреве горючих жидкостей до температуры

вспышки, так как наибольшее значение линейной скорости для горючих жидкостей наблюдается при температуре воспламенения и равно скорости распространения горения по паровоздушным смесям.

Наименьшей линейной скоростью распространения горения обладают твердые горючие материалы, для подготовки к горению которых требуется больше тепла, чем для жидкостей и газов. Линейная скорость распространения горения твердых горючих материалов зависит почти от всех перечисленных факторов, но особенно от их пространственного расположения. Например, скорость распространения пламени по вертикальным и горизонтальным поверхностям может отличаться в 5...6 раз, а распространение пламени по вертикальной поверхности снизу вверх и сверху вниз приблизительно в 10 раз. Линейная скорость распространения горения по горизонтальной поверхности наиболее часто используется в расчетах.

Интенсивность газообмена - это количество воздуха, притекающее в единицу времени к единице площади пожара. Различают требуемую интенсивность газообмена и фактическую. Требуемая интенсивность газообмена показывает, какое количество воздуха должно притекать в единицу времени к единице площади пожара для обеспечения полного сгорания материала. Поскольку полное горение в условиях пожара практически никогда не достигается, то она характеризует удельный расход воздуха, при котором возможна максимальная полнота сгорания горючего материала. Фактическая интенсивность газообмена характеризует фактический приток воздуха на пожаре, а следовательно, полноту сгорания, плотность задымления, интенсивность развития и распространения пожара и другие параметры. Интенсивность газообмена относится к внутренним пожарам, где ограждающие конструкции ограничивают приток воздуха в объем помещения (а следовательно, и в

зону горения), но проемы в ограждающих конструкциях позволяют определить количество воздуха, поступающего в объем помещения. На открытых пожарах воздух поступает из окружающего пространства непосредственно в зону горения и расход его остается неизвестным.

Интенсивность или плотность задымления - характеризуют ухудшение видимости и степень токсичности атмосферы в зоне задымления. Ухудшение видимости при задымлении определяется по толщине слоя дыма, через который не виден свет эталонной лампы, или по количеству твердых частиц, содержащихся в единице объема воздуха.

Теплота пожара - характеризует, какое количество тепла выделяется в зоне горения в единицу времени. Приведенная теплота пожара показывает, какое количество тепла выделяется в единицу времени с единицы площади пожара.

Коэффициент химического недожога для веществ и материалов выбирается в зависимости от количества воздуха, необходимого для полного сгорания единицы массы горючего.

Кроме перечисленных параметров пожара, существуют еще и такие, как: периметр пожара, фронт распространения горения, высота пламени, интенсивность излучения пламени и др.

Следует иметь в виду, что все параметры пожара изменяются во времени и взаимосвязаны друг с другом. Например, продолжительность пожара зависит не только от величины пожарной нагрузки, но и от скорости ее выгорания. Последняя, в свою очередь, зависит от вида и температуры пожара, а температура от интенсивности газообмена и тепловыделения. Основным фактором, определяющим параметры пожара, является вид и величина пожарной нагрузки. Под пожарной нагрузкой объекта понимают массу всех горючих и трудногорючих материалов,

приходящихся на один квадратный метр площади пола помещения или площади, занимаемой этими материалами на открытой площадке.

В пожарную нагрузку помещений, зданий и сооружений входят не только оборудование, мебель, продукция, сырье и т.д., но и конструктивные элементы зданий, изготовленные из горючих или трудногорючих материалов, т.е. стены, пол, потолок, оконные переплеты, двери, стеллажи, перекрытия, перегородки и т.д. Пожарная нагрузка в помещениях делится на постоянную (горючие и трудногорючие материалы строительных конструкций, технологическое оборудование и т.п.) и временную (сырье, готовая продукция, мебель и т.п.). Пожарная нагрузка помещения определяется как сумма постоянной и временной нагрузки.

В зданиях пожарная нагрузка для каждого этажа определяется отдельно. Масса горючих элементов чердачного перекрытия и покрытия включается в пожарную нагрузку чердака. Величина пожарной нагрузки для некоторых помещений принимается следующей:

для жилых, административных и промышленных зданий величина пожарной нагрузки не превышает  $50 \text{ кг/м}^2$  (если основные элементы зданий негорючие);

средняя величина пожарной нагрузки в жилом секторе составляет для однокомнатных квартир -  $27 \text{ кг/м}^2$ , для двухкомнатных -  $30 \text{ кг/м}^2$ , для трехкомнатных -  $40 \text{ кг/м}^2$ ;

в зданиях третьей степени огнестойкости пожарная нагрузка составляет  $100 \text{ кг/м}^2$ ;

в производственных помещениях, связанных с производством и обработкой горючих веществ и материалов, пожарная нагрузка составляет от  $250$  до  $500 \text{ кг/м}^2$ ;

в складских помещениях, сушилках и т.п. пожарная нагрузка достигает 1000...1500 кг/м<sup>2</sup>;

в помещениях, в которых расположены линии современных технологических процессов и в высокостеллажных складах она составляет 2000...3000 кг/м<sup>2</sup>.

Для твердых горючих материалов важное значение имеет структура пожарной нагрузки (т.е. ее дисперсность) и характер ее пространственного размещения (плотно уложенными рядами, отдельными штабелями или пачками, сплошное расположение или с разрывом, горизонтальное, наклонное, вертикальное и т.д.). Например, одни и те же картонные коробки с обувью или рулоны (тюки) ткани, уложенные горизонтально на полу склада подвального типа и на стеллажах складов высотой 8...10 м и более дадут принципиально различную картину динамики пожара. Во втором случае пожар будет развиваться и распространяться в 5...10 раз быстрее, чем в первом. Другой пример: листовая бумага и обои, как правило, выгорают полностью, по всей поверхности на ранних стадиях пожара. В то же время рулоны бумаги почти не горят. Горение рулонов возможно только после продолжительного прогрева их до температуры, значительно превышающей температуру начала пиролиза бумаги. Из примеров видно, как интенсивность горения зависит от относительной площади свободной поверхности горючего материала.

### Зоны пожара

Для изучения пожаров, для научно обоснованной системы мер профилактики, для четкой организации руководства боевыми действиями подразделений по тушению пожаров и других целей пространство, в котором происходит пожар, и вокруг него условно делят на три зоны: горения; теплового воздействия и задымления. Эти зоны, как правило, не имеют строгих и четких границ.

Зона горения. Зоной горения называется часть пространства, в котором происходит подготовка горючих веществ к горению (подогрев, испарение, разложение) и их горение. Она включает в себя объем паров и газов, ограниченный собственно зоной горения и поверхностью горящих веществ, с которой пары и газы поступают в объем зоны горения. При беспламенном горении и тлении, например, хлопка, кокса, войлока, торфа и других твердых горючих веществ и материалов зона горения совпадает с поверхностью горения. Иногда зона горения ограничивается конструктивными элементами — стенами здания, стенками резервуаров, аппаратов и т.д. Зона горения является теплогенератором на пожаре, так как именно здесь выделяется все тепло и развивается самая высокая температура. Однако процесс тепловыделения происходит не во всей зоне, а во фронте горения, и здесь же развиваются максимальные температуры. Внутри факела пламени температура значительно ниже, а у поверхности горючего материала ещё ниже. Она близка к температуре разложения для твердых горючих веществ и материалов и к температуре кипения жидкости для ЛВЖ и ГЖ.

Зона теплового воздействия. Зоной теплового воздействия называется часть пространства, примыкающая к зоне горения, в которой тепловое воздействие приводит к заметному изменению состояния материалов и конструкций и делает невозможным пребывание в нем людей без специальной тепловой защиты (теплозащитных костюмов, отражательных экранов, водяных завес и т.п.).

Если в зоне теплового воздействия находятся горючие вещества или материалы, то под действием тепловых потоков происходит их подготовка к горению, создаются условия для их воспламенения и распространения огня. С распространением зоны горения границы зоны теплового воздействия расширяются, и этот процесс повторяется непрерывно.

Тепло из фронта горения распространяется в окружающее пространство как конвекцией, так и излучением. Конвективные токи горячих газов направлены преимущественно вверх, а количество тепла, переносимое ими в единицу времени, пропорционально градиенту температур между газом - теплоносителем и тепловоспринимающей средой и коэффициенту теплообмена.

Тепло, излучаемое пламенем, распространяется по всем направлениям полусферического пространства. Интенсивность излучения пламени зависит от его температуры и излучательной способности.

Зона теплового воздействия на внутренних пожарах будет меньше по размерам, чем на открытых, так как стены здания играют роль экранов, а площадь проемов, через которые возможно излучение, невелика. Кроме того, дым, который выделяется на внутренних пожарах, резко снижает интенсивность излучения, поскольку является хорошей поглощающей средой. Направления передачи тепла в зоне теплового воздействия на открытых и внутренних пожарах также различны. На открытых пожарах верхняя часть зоны теплового воздействия энергетически более мощная, поскольку конвективные токи и излучение совпадают по направлению. На внутренних пожарах направление передачи тепла излучением может не совпадать с передачей тепла конвекцией, поэтому зона теплового воздействия может состоять из участков, где действует только излучение или только конвекция или где оба вида тепловых потоков действуют совместно.

При тушении пожара необходимо знать границы зоны теплового воздействия. Ближней границей зоны теплового воздействия является зона горения, а дальняя определяется по двум показателям: или по термодинамической температуре в данной точке пространства или по интенсивности лучистого теплового потока. По температуре граница зоны

теплого воздействия принимается в той части пространства, где температура среды превышает  $+60...+70^{\circ}\text{C}$ . При данной температуре невозможно длительное пребывание людей и выполнение ими активных боевых действий.

За дальнюю границу зоны теплового воздействия по интенсивности лучистого теплового потока принимают такое удаление от зоны горения, где лучистое тепло, воздействуя на незащищенные части тела человека (лицо, руки) вызывает болевое ощущение не мгновенно, а через промежуток времени, соизмеримый с оперативным временем, т.е. временем, необходимым для активного воздействия бойца, вооруженного средствами тушения, на основные параметры пожара. Численную величину этого времени следует определять экспериментально на характерных реальных пожарах. Для внутренних пожаров в зданиях при средней интенсивности их развития, при современном вооружении бойца (например, стволом тонкораспыленной воды, с раствором смачивателя или загустителя) это время условно можно принять равным 15 с. Расстояние для присутствия людей, не защищенных специальными средствами от лучистой энергии пожара, составляет 27...30 м.

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

Зона задымления может частично включать в себя зону горения и всю или часть зоны теплового воздействия. Как правило, зона задымления — самая большая часть пространства.

Это объясняется тем, что дым представляет собой аэрозоль (смесь воздуха с газообразными продуктами полного и неполного горения и мелкодисперсной твердой и жидкой фазой, поэтому он легко вовлекается

в движение даже слабыми конвективными токами, а при наличии мощных конвективных токов, которые наблюдаются на пожарах, дым разносится на значительные расстояния.

Особое значение зона задымления и изменение ее параметров во времени имеет на внутренних пожарах, при пожарах в зданиях и помещениях.

На открытых пожарах дым, как правило, уходит выше зоны действия людей и редко оказывает большое влияние на выполнение боевых операций. На открытых пожарах положение зоны задымления зависит в основном от размеров площади пожара и метеорологических условий. Из практики и исследований известно, что наибольшие размеры зоны задымления бывают при скорости ветра от 2 до 8 м/с. При скорости ветра меньше 2 м/с дым почти не прижимается к земле, а уходит вверх, не препятствуя действию людей в зоне пожара. При скорости ветра больше 8 м/с дым хоть и прижимается к земле, но интенсивные воздушные потоки сильнее разбавляют его и не создают плотного задымления, препятствующего выполнению боевых действий.

Параметрами для определения внешних предельных границ зоны задымления являются: степень видимости в зоне задымления; концентрация кислорода, которая не должна быть ниже 12...15% для обеспечения жизнедеятельности человека; наличие опасных концентраций токсичных продуктов пиролиза и горения материалов.

Плотность дыма, состав продуктов горения и пиролиза, скорость дымовыделения и другие параметры его зависят от химической структуры горючего материала, его плотности, размеров, от теплового потока, поступающего к нему, температуры горения, от аэродинамических условий горения и коэффициента избытка воздуха.

Дым еще характеризуется температурой. При температуре среды +60...+70°C и большой влажности воздуха создаются тяжелые условия для организма человека, особенно при физической работе. Таким образом, четкой внешней границы зоны задымления нет. В этом случае пользуются практическими рекомендациями по работе личного состава в зоне задымления.

### 3. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ОТКРЫТЫХ ПОЖАРОВ

#### Открытые пожары и их отличительные особенности

К открытым пожарам относятся пожары газовых и нефтяных фонтанов; пожары складов древесины, хлопка, караванов торфа и других горючих веществ и материалов; пожары горючих жидкостей в резервуарах, сжиженных газов в газгольдерах; пожары на технологических установках, таких, как ректификационные колонны, сорбционные башни, этажерки и технологические установки на объектах нефтяной, химической, нефтехимической, газовой промышленности. К открытым пожарам относятся также лесные и степные пожары, пожары на торфополях, открытых складах каменного угля, сланца и других горючих материалов. В открытые пожары могут перейти и обычные внутренние пожары в зданиях и сооружениях V степени огнестойкости.

Особенностью всех этих пожаров являются условия тепло- и газообмена. На этих пожарах не происходит "накопления" тепла в газовом пространстве зоны горения. Горение происходит в более естественных условиях, не ограниченных строительными конструкциями. Теплообмен осуществляется практически с неограниченным окружающим пространством. Поэтому за температуру таких пожаров, как правило, принимают температуру пламени, так как она несколько выше

температуры внутренних пожаров, где за температуру пожара принимают среднюю температуру газовой среды в помещении.

Газообмен на открытых пожарах также отличается от газообмена на внутренних пожарах. На открытых пожарах он не ограничен конструктивными элементами зданий и сооружений и, следовательно, более интенсивен. Поэтому он в большей степени зависит от внешних естественных газовых потоков: интенсивности и направления ветра. Интенсивность и направление ветра оказывают большое влияние на процесс горения на открытых пожарах и на зоны пожара.

Зона горения определяется, главным образом, распределением горючих веществ в пространстве и формирующими ее конвективными газовыми потоками. Зона теплового воздействия определяется преимущественно лучистым тепловым потоком, так как конвективные тепловые потоки уходят вверх в неограниченное пространство и почти не влияют на зону теплового воздействия на поверхности земли; поэтому они чаще всего не препятствуют ведению боевых действий на пожаре. Мощные восходящие конвективные газовые потоки у основания очага горения создают разрежение. Например, у основания газового фонтана, горящего резервуара эти потоки создают столь интенсивный обдув свежим воздухом, что несколько снижают тепловое воздействие.

Соответственно изменяется и характер зоны задымления. За исключением горения торфа на больших площадях и леса в безветренную влажную (сырую) погоду, зона задымления, как правило, не создает затруднений по борьбе с открытыми пожарами, как на некоторых внутренних пожарах. Эти особенности открытых пожаров в значительной степени определяют и специфику методов борьбы с ними, особенности применяемых приемов и способов их тушения и характер боевых действий подразделений пожарной охраны.

Особенности пожаров на газовых, газонефтяных и нефтяных фонтанах

Пожары фонтанов условно разделяют на три группы: газовые, газонефтяные и нефтяные. Газовыми считаются фонтаны с содержанием горючего газа не менее 95% по массе, газонефтяными - газа более 50% и нефти менее 50% по массе, а нефтяными - фонтаны с дебитом нефти более 50% по массе. Кроме того, газовые и газонефтяные фонтаны условно подразделяются по мощности (дебиту) на слабые - с дебитом газа до 2млн.м<sup>3</sup>/сутки, средние - от 2 до 5 млн.м<sup>3</sup>/сутки и мощные - свыше 5млн.м<sup>3</sup>/сутки.

При авариях на скважинах истечение газа из фонтанной арматуры происходит при высоких перепадах давления, значительно превышающих критический, т.е. на срезе трубы устанавливается скорость истечения, равная скорости звука. Для метана скорость звука равна приблизительно 400 м/с.

Горение газового фонтана является диффузионным. В окружающую атмосферу вытекает свежий газ, а горение происходит в результате взаимной диффузии газа и кислорода воздуха.

Горение газовых фонтанов устойчивое, которое может длиться неделями и даже месяцами и не зависит от метеорологических условий - ветра, дождя и т.п. Для ликвидации такого пожара необходимо огромное количество сил и средств.

Поскольку в реальных условиях истечение газа из фонтанной арматуры происходит в основном со скоростями в несколько десятков и даже сотен метров в секунду, характер изменения поля скоростей и концентраций газа вдоль струи и в поперечных сечениях (отстоящих на различных (им стояниях от места истечения) будут определяться основными закономерностями турбулентной газовой струи.

Рассматривая факелы газонефтяных фонтанов, можно пользоваться (с некоторыми поправками) основными закономерностями турбулентных газовых струй, так как при соотношении массы жидкой фазы (нефти) к массе газа около единицы отношение объемов газа и нефти будет около тысячи. По мере удаления от среза трубы (за счет массообмена струи с окружающим воздухом) это соотношение будет увеличиваться в десятки раз. Скорость движения капелек нефти в струе будет приблизительно равна скорости движения газовой фазы. Поэтому такую двухфазную струю можно рассматривать как свободную затопленную турбулентную струю.

Существуют три области равных концентраций, соответствующие нижнему концентрационному пределу воспламенения, стехиометрическому составу смеси и верхнему концентрационному пределу воспламенения. Ниже нижнего и выше верхнего концентрационных пределов воспламенений горение невозможно, так как ниже нижнего концентрационного предела воспламенения имеется избыток воздуха, а выше верхнего - избыток горючего газа. Горение будет идти с максимальной скоростью в области, соответствующей стехиометрическому составу смеси.

При турбулентном диффузионном горении концентрации газа и кислорода падают до нуля в зоне горения, а концентрация продуктов горения и их температура достигают максимума. Образующиеся продукты горения диффундируют как в окружающее пространство, смешиваясь с воздухом, так и внутрь факела, смешиваясь с горючим газом.

Распространение пламени и воспламенение новых порций газа при турбулентном диффузионном горении осуществляется теплопроводностью и диффузией горячих продуктов горения. Положение

поверхности горения и скорость горения определяются интенсивностью турбулентной диффузии.

Температура газа в ядре постоянных скоростей близка к температуре истечения газа. Максимальная температура пламени находится на поверхности стехиометрического состава. Воспламенение турбулентной струи газа осуществляется по периферии (по кольцевой области), где скорость распространения пламени имеет максимальное значение. По мере удаления от среза трубы зона высоких температур приближается к оси струи и на некотором расстоянии от среза трубы зона высоких температур достигает оси трубы. Это расстояние называется длиной зоны воспламенения.

Длина зоны воспламенения тем больше, чем выше молекулярная масса горючего, так как для сгорания единицы массы газа должно поступить большее количество воздуха из окружающей атмосферы. И наоборот, чем меньше молекулярная масса горючего, тем меньше длина зоны воспламенения.

В зоне догорания происходит догорание отдельных молекул горючего, на которые разбивается струя в результате турбулентных пульсаций. Процесс смешения в этой зоне осуществляется в основном за счет молекулярной диффузии, кроме того, эта зона характеризуется значительным недостатком кислорода, поэтому сгорание газа происходит очень медленно, что обуславливает значительную длину зоны догорания. Длина зоны догорания определяется протяженностью пути движения молекул газа за время их выгорания и пропорциональна скорости движения газа.

Фронт горения в турбулентном факеле пламени из-за турбулентных пульсаций масс горючего, воздуха и продуктов горения получается

размытым, раздробленным на отдельные части и неустойчивым. Особенно это проявляется в зоне догорания.

Одним из важных параметров газового факела является его длина (высота). Под высотой факела горения понимается наблюдаемая визуально или "фотографическая" длина факела.

Исследованиями установлено, что с увеличением расхода газа высота факела пламени растет медленно, причем на нее не оказывает существенного влияния диаметр насадка.

Высота пламени у газонефтяных фонтанов несколько больше, чем у газовых. Нефтяные фонтаны с большим дебитом нефти и незначительным содержанием газа имеют небольшую высоту факела пламени, примерно 20...30 м. Пламя газового фонтана имеет светло-желтую окраску. При пожарах газонефтяных фонтанов вся нефть, как правило, сгорает в воздухе, пламя имеет оранжевый цвет, иногда горение сопровождается клубами черного дыма. При пожарах нефтяных фонтанов только незначительная часть нефти успевает испариться и сгореть в воздухе, а большая ее часть выпадает на землю, разливается вокруг устья скважины и продолжает гореть. Нефтяной фонтан горит темным оранжевым пламенем с большим выделением черного дыма. Процесс истечения и горения факела фонтана сопровождается сильным шумом (ревом), достигающим у устья 130 децибелл.

Для устойчивого горения факела пламени необходимо равенство скоростей распространения пламени и встречного газового потока.

Одним из факторов, препятствующих ликвидации пожаров газовых фонтанов, является высокая интенсивность теплового излучения факела пламени. Поэтому при атаке на газовый фонтан большое количество воды (до 500 л/с) тратится на орошение поверхности земли вокруг скважины в радиусе 10...15 м для снижения температуры в этой зоне, а также на

защиту от теплового излучения личного состава и техники, принимающих участие в ликвидации пожара.

### Особенности пожаров в резервуарах с горючими жидкостями

Горение жидкости в резервуаре представляет собой горение паровоздушной смеси, образующейся над зеркалом горючей жидкости. Поток пара к зоне горения поступает непрерывно благодаря процессу испарения, который, в свою очередь, определяется интенсивностью лучистого теплового потока из зоны горения к зеркалу горючей жидкости. Кислород, необходимый для горения, поступает в зону горения из окружающей среды вместе с воздухом, интенсивно притекающим в зону горения под действием сил конвективной молярной диффузии. Поэтому пламя горючих жидкостей в резервуарах является диффузионным, когда процесс перемешивания горючего и окислителя происходит непосредственно перед зоной протекания химических реакций. Молярная диффузия в значительной степени определяет интенсивность горения, полноту сгорания, скорость выгорания, скорость распространения горения, температуру пламени и другие параметры пожара.

Известно, что характер, форма и размеры пламени при прочих равных условиях определяются видом горючей жидкости, ее температурой и размерами сосуда. Для небольших сосудов характерны ламинарные режимы горения. С увеличением объемов сосудов режим горения переходит в турбулентный. Горение жидкостей в технических резервуарах в большинстве случаев бывает турбулентным.

Высота пламени горящего резервуара прямо пропорциональна его диаметру.

На высоту факела пламени резервуара большое влияние оказывает скорость ветра. Ветер дополнительно интенсифицирует процесс горения за счет лучшего притока кислорода в зону горения.

При скорости ветра более 1 м/с относительное увеличение высоты пламени и отклонение его от вертикальной оси горючих жидкостей различно. При скорости ветра около 4 м/с и более отклонение факела пламени от вертикальной оси составляет  $60...70^\circ$ , т.е. пламя практически горизонтально.

При тушении горящих жидкостей с поверхности резервуаров необходимо знать температуру факела пламени и его лучистый тепловой поток. На температуру большое влияние оказывают турбулентные пульсации и метеорологические условия, поэтому она непрерывно изменяется. Лучистый тепловой поток факела пламени при горении жидкостей в резервуарах в основном определяется излучением сажистых частиц и промежуточных продуктов разложения, которые присутствуют в пламени. Как известно, при горении жидкостей со свободной поверхности в большинстве случаев образуется светящееся пламя. Светимость пламени возникает в результате процесса разложения (пиролиза) паров ГЖ или ЛВЖ при их движении с поверхности зеркала к фронту горения. В результате этого возникают новые фазы - твердого сажистого углерода, жидких и твердых промежуточных углеводородных соединений.

Зона теплового воздействия при пожаре в резервуаре определяется в большинстве случаев лучистым тепловым потоком. Поэтому необходимо знать, какую долю тепла составляет лучистый тепловой поток от общего количества тепла при горении паров жидкости над резервуаром. Для большинства углеводородных горючих жидкостей это отношение равно  $0,4...0,5$ . Зная общую потерю тепла за счет излучения пламени, можно рассчитать количество тепла, излучаемого в направлении зеркала

жидкости, а если пренебречь количеством тепла, передаваемого жидкости через стенки резервуара, то и общее количество тепла, идущего на поддержание непрерывного процесса горения жидкости над резервуаром, т.е. на испарение горючей жидкости.

Экспериментально установлено, что по мере снижения уровня жидкости в резервуаре скорость ее выгорания уменьшается.

Уменьшение скорости выгорания обусловлено тем, что с увеличением расстояния до зоны горения понижается градиент концентрации паров жидкости.

После воспламенения температура на поверхности жидкости быстро возрастает, достигая определенного значения. Для химически чистых, однородных жидкостей она очень близка к температуре кипения, но всегда несколько ниже нее.

Экспериментально установлено, что при горении жидкостей распределение температур по толщине может быть двух типов.

И одном случае передача тепла с поверхности жидкости в глубину осуществляется теплопроводностью, что приводит к прогреву жидкости на небольшую глубину (2...5 см). Температура в прогретом слое быстро понижается с увеличением расстояния от поверхности жидкости. Величина прогретого слоя остается постоянной и не изменяется по мере выгорания жидкости.

При горении жидкостей в резервуарах большого диаметра характер прогрева существенно отличается от первого. При горении возникает прогретый слой, толщина которого растет во времени, а температура в этом слое почти одинакова с температурой на поверхности жидкости. Такой слой называют гомотермическим. Под гомотермическим слоем температура жидкости быстро падает до начальной.

Распределение второго типа может наблюдаться при определенных условиях, характеризующих интенсивность прогрева стенок резервуара у всех нефтепродуктов и даже у индивидуальных жидкостей. Но чаще всего такое распределение наблюдается при горении бензина, влажных нефтей, масел и мазутов. Распределение первого типа характерно для горения керосина, трансформаторного и солярового масел, дизельного топлива и других жидкостей с высокой температурой кипения. При их горении температура стенки резервуара чаще всего не превышает температуры кипения, поэтому не возникает интенсивных конвективных токов, а следовательно, и быстрого прогрева жидкостей вглубь.

Если при горении любых жидкостей охлаждать стенки резервуара, то гомотермического слоя не возникает, так как прогрев вглубь осуществляется в основном теплопроводностью стенок.

Прямым следствием образования гомотермического слоя при горении некоторых видов горючих жидкостей является выброс их из резервуара. Он обусловлен вскипанием перегретых слоев воды, расположенных под гомотермическим споем горючей жидкости. Выброс происходит в тот момент, когда толщина слоя достигает уровня воды. Это явление приводит к резкому увеличению площади пожара, интенсификации его распространения и развития. Кроме того, это явление представляет большую опасность для личного состава.

Кроме явления выброса, при определенных условиях может наблюдаться вскипание нефтепродуктов. К вскипанию способны все нефтепродукты, имеющие воду и прогревающиеся при горении выше  $100^{\circ}\text{C}$ . В процессе прогрева нефтепродукта влага, находящаяся в верхних слоях, частично опускается в нижележащий и постепенно на границе прогретых и холодных слоев накапливается слой с повышенным содержанием влаги. Когда температура обводненного слоя повышается до

100°С и выше, начинается парообразование. Пузырьки водяного пара, двигаясь вверх, вспенивают нефтепродукт, объем его увеличивается, и если высота сухого борта невелика, то горящий вспененный нефтепродукт переливается через борт резервуара.

#### Открытые пожары, связанные с горением твердых горючих материалов

К открытым пожарам, связанным с горением твердых горючих материалов, относятся: пожары на складах лесоматериалов, лесные пожары, пожары торфополей, а также пожары хлебных массивов и степные пожары.

Пожары на складах лесоматериалов. Как и все открытые пожары, пожары на складах лесоматериалов характерны отсутствием ограничений газообмена и своеобразием параметров зон пожара. Особенностью этих пожаров от газонефтяных фонтанов и резервуаров с ЛВЖ, ГЖ является большая скорость их распространения, особенно при наличии ветра, а также распространение пожара на значительные расстояния вследствие разлета искр и головней, переносимых мощными конвективными потоками, возникающими в результате образования аэродинамического вихря в зоне горения.

Характерной особенностью пожаров на складах лесоматериалов является большой объем зоны горения, что обусловлено значительным объемом продуктов термического разложения, выделяющихся с сильно развитой поверхности горючего материала. Сгорая, эти вещества образуют большое количество нагретых продуктов горения, поднимающихся вверх. Вследствие этого формируются мощные потоки нагретых продуктов горения и свежего воздуха, приводящие к созданию локальной аэродинамической обстановки, практически не зависящей от метеорологических условий. Аэродинамические потоки увлекают за собой

горящие доски и другие предметы, способные привести к возникновению новых очагов пожаров, как правило, на большом расстоянии от основной зоны горения (до нескольких сотен метров).

Анализ имевших место пожаров и результаты экспериментальных исследований показывают, что средняя линейная скорость распространения фронта пламени на складах лесоматериалов изменяется в широких пределах от 0,1 до 4 м/мин, а в некоторых случаях достигает 10 м/мин и более. Скорость распространения огня зависит, во-первых, от размеров материалов и изделий, а во-вторых, от их влажности. Как известно, ассортимент лесоматериалов, хранящихся на складах, достаточно широк: от щепы и древесных отходов, имеющих минимальные размеры 1 мм, до круглого леса с наименьшим размером бревен 10 см и более.

Горение распространяется по горючему материалу тогда, когда температура материала достигает температуры воспламенения, т.е. той температуры, при которой состав и количество выделяющихся продуктов разложения обеспечивают образование горючей смеси их с воздухом. То есть время распространения пламени на данный участок поверхности, а следовательно, и скорость распространения пламени определяются временем прогрева поверхностного слоя материала до температуры воспламенения.

Таким образом, уменьшение линейных размеров пожарной нагрузки приводит к интенсификации теплового воздействия на подготавливаемые к горению участки материала, а следовательно, и к увеличению скорости распространения пламени.

Рассмотрим, как линейные размеры элементов пожарной нагрузки влияют на теплоотвод от поверхностных слоев материала. Чем больше, например, толщина досок, тем больше тепла теряется теплопроводностью

на прогрев материала. Так как пламя распространяется преимущественно по поверхности материала, то увеличение линейных размеров элементов пожарной нагрузки приводит к возрастанию времени прогрева поверхностного слоя до температуры воспламенения, а следовательно, к снижению скорости распространения пламенного горения.

В натуральных условиях скорость распространения пламени по штабелям из досок толщиной 25 мм в 2-2,5 раза выше, чем по штабелям из досок толщиной 50 мм.

Большое влияние на скорость распространения пламени оказывает влажность древесины. Во-первых, повышается теплоемкость влажного материала, следовательно, увеличиваются затраты тепла на его нагрев; во-вторых, требуются дополнительные затраты тепла на испарение влаги; в-третьих, увеличивается теплопроводность материала, что вызывает дополнительные потери тепла на прогрев материала, и т.п.

Увеличение влажности материала с 11 до 28% приводит к снижению скорости распространения пламени в 4 раза.

Большое влияние на распространение пламени на складах лесоматериалов оказывает направление и скорость ветра. При увеличении скорости ветра до 20 м/с происходит возрастание скорости распространения пламени почти в 2 раза, причем интенсивность нарастания скорости распространения пламени снижается с увеличением скорости ветра.

Пожары на складах лесоматериалов, особенно пиломатериалов, характеризуются высокими скоростями выгорания. Это связано прежде всего с тем, что штабели, в которых хранятся пиломатериалы, обладают сильно развитой поверхностью горения. Поэтому приведенная массовая скорость выгорания (с единицы площади пожара) может составлять при

горении штабелей несколько десятков килограммов с 1 м<sup>2</sup> пожара в минуту

Лесные пожары. Вероятность возникновения и распространения лесных пожаров существенно возрастает в сухую жаркую погоду, когда происходит не только подсушивание, но и предварительный разогрев горючих материалов. Скорость распространения огня днем больше, чем ночью. В ночное время, кроме охлаждения материала за счет снижения температуры окружающей среды, происходит увеличение равновесной влажности горючих материалов.

На распространение лесных пожаров влияет рельеф местности. Если пожар распространяется вверх по склону, его распространению способствует предварительный разогрев лесных горючих материалов конвективными потоками нагретых продуктов горения. Скорость распространения пожара в этом случае больше, чем на горизонтальном участке леса. При распространении пожара вниз по склону скорость уменьшается.

В зависимости от вида горючих материалов, по которым происходит распространение пожара, различают низовые и верховые лесные пожары.

При низовом пожаре сгорает и выделяет тепло лесная подстилка, состоящая из опавших листьев, хвои, сучьев и веток.

При низовых пожарах сгорает также живой покров: мох, кустарник и трава. Особенности этих пожаров являются сравнительно невысокая скорость распространения (до 5 км/час) и небольшая высота пламени (до 2...2,5 м).

При низкой влажности горючих материалов подстилки и живого покрова, а также при их большом количестве низовой пожар может видоизменяться в верховой, когда распространение пламенного горения

происходит по кронам деревьев. Этот вид пожаров является наиболее губительным для лесных массивов.

При благоприятных погодных и рельефных условиях скорость распространения верховых пожаров может достигать 25 км/час. Быстрому развитию лесных верховых пожаров способствует ветер, достигающий 6...12 м/с. Другим фактором, способствующим быстрому увеличению площади лесных пожаров, является создание мощной конвекционной колонны (высотой до 5 км), за счет которой на высоту свыше 1 км поднимаются горящие угли. Выпадая на еще негорящие участки леса, они образуют новые очаги пожаров, которые затем сливаются с основной зоной горения.

Торфяные пожапы. Торф в естественных условиях не способен к самостоятельному горению из-за значительной равновесной влажности. Однако при длительном сохранении жаркой засушливой погоды создаются условия для возникновения торфяных пожаров даже на неосушенных полях. Залежи торфа, подготовленные к разработке (осушенные), способны гореть даже весной. Особенно опасными с точки зрения возникновения и распространения пожара являются караваны, а также торфополя на предприятиях фрезерной добычи, где торфяная масса перерабатывается в мелкую крошку, а затем высушивается.

На скорость распространения пожара большое влияние оказывает скорость ветра. Так, при скорости ветра 10 м/с и более горящая крошка легко поднимается воздушными потоками и переносится на значительные расстояния (до 50 м), образуя новые очаги пожара. Скорость распространения пожара достигает 20...25 м/мин. Форма площади пожара на торфополях чаще всего бывает угловой с расширением ее по направлению ветра. Переносимая ветром горящая крошка представляет опасность для людей.

Торфяная масса содержит в своем составе (в порах) достаточное количество воздуха, поэтому способна гореть по гетерогенному механизму (тлеть) даже без доступа воздуха, образуя подземные прогары, которые при тушении пожаров представляют серьезную опасность для людей и техники. Скорость распространения подземного пожара невелика и, как правило, не превышает нескольких метров в сутки.

Степные пожары и пожары хлебных массивов. Эти пожары являются наиболее опасными в периоды устойчивой засушливой погоды. Скорость распространения пожара достигает 700 м/мин. Такая высокая скорость распространения пламени при горении растительного покрова обуславливается характеристиками горючего материала. Трава и злаковые растения, по которым распространяется пожар (листья, веточки), имеют очень незначительные размеры сечения. Стебли высушенных растений представляют собой тонкостенные полые трубки и легко воспламеняются под воздействием фронта пламенного горения. Наличие ветра способствует увеличению скорости распространения пламени вследствие наклона факела пламени к еще негорящим материалам, а также из-за переноса искр воздушными потоками.

Другой особенностью таких пожаров является сравнительно небольшая ширина фронта пламенного горения, что обусловлено малым запасом горючих материалов на единице площади пожара и высокой скоростью выгорания. Иногда при таких пожарах образуются так называемые смерчи, которые способствуют переходу огня через естественные и искусственные препятствия (реки, дороги, перепаханные полосы и тл.) шириной по 12 м.

Степные пожары, пожары лугов, полей и хлебных массивов могут переходить в лесные, торфяные пожары и вызывать пожары населенных пунктов, сельскохозяйственных и промышленных предприятий, к

которым прилегают территории, покрытые соответствующими горючими материалами. Не отличаются по механизму распространения и выгорания от рассмотренных видов пожаров пожары буртов хлопка, стогов сена и соломы.

В случаях загорания этих объектов пламя быстро распространяется по их поверхности, а затем происходит процесс относительно медленного выгорания. Выгорание резко интенсифицируется при наличии ветра, когда скорость подвода воздуха к тлеющей поверхности горючего увеличивается. В этом случае возможен перенос горящих частиц и увеличение площади пожара.

#### 4. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ВНУТРЕННИХ ПОЖАРОВ

##### Понятие динамики пожаров

Под динамикой пожара понимается изменение основных параметров пожара во времени и пространстве. Поэтому необходимо изучить законы изменения параметров пожара во времени и пространстве. О характере пожара можно судить по совокупности большого числа его параметров: по площади пожара, по температуре пожара, скорости его распространения, интенсивности тепловыделения, интенсивности газообмена, скорости выгорания пожарной нагрузки, интенсивности задымления и плотности дыма и т.д. Обычно при исследовании сложных процессов и явлений выделяют первичные, определяющие параметры, и вторичные, т.е. производные от них. При исследовании пожаров это сделать почти невозможно.

Во-первых, потому что практически невозможно определить, что в этой сложной совокупности процессов и явлений следует считать первичным, а что вторичным, производным (тепловыделение определяет

газообмен, или, наоборот, тепловыделение есть функция газообмена в зоне горения и т.д.).

Во-вторых, потому что многие параметры пожара становятся первичными или производными в зависимости от цели исследования, от позиции исследователя.

В-третьих, не всегда первичные, наиболее важные по своей физической сущности процессы, являются определяющими с точки зрения исследователя пожара.

Так, например, с точки зрения физической сущности процесса горения на пожаре интенсивность газообмена является одним из основных параметров. Но с точки зрения динамики пожара его можно почти не рассматривать. Можно рассматривать лишь его следствие - интенсификацию процесса горения, рост скорости распространения пожара и скорости выгорания пожарной нагрузки, а уже как следствие этого - скорость роста температуры пожара и т.д.

Поэтому в качестве основных параметров, изменяемых во времени, для изучения динамики пожара примем: площадь пожара, температуру пожара и интенсивность задымления на пожаре.

Эти параметры пожара наиболее доступны измерению, анализу, расчету. Они служат исходными параметрами для определения вида применяемой техники и расчета сил и средств, проектирования автоматических систем пожаротушения и т.п.

Проследим изменение параметров пожара во времени и в пространстве с момента загорания до выхода их на стационарный режим, в случае свободного развития пожара (без тушения).

Рассмотрим наиболее общий случай развития пожара в здании с горением равномерно распределенных по поверхности пола твердых горючих материалов, внутри помещения обычного типа с начальной

температурой среды 20°C. Большинство пожаров, связанных с горением ТГМ (кроме некоторых частных случаев, когда пожар является следствием взрыва или умышленного поджога), начинается, как правило, с возникновения открытого пламенного горения или тления на сравнительно небольшом участке. Пламя, возникшее от постороннего источника зажигания, медленно распространяется по поверхности горючего материала. Вокруг зоны горения сразу возникнет конвективный газовый поток, обеспечивающий необходимый газообмен. Поверхность горючего материала под зоной горения и перед ней начнет прогреваться на большую глубину. Интенсивность выделения летучих фракций и продуктов пиролиза ТГМ повысится. Размер факела пламени увеличится в объеме, продолжая распространяться и по поверхности горючего материала на те зоны, где поверхностный слой материала прогрелся до температуры, равной или выше температуры его воспламенения. Одновременно интенсифицируется конвективный газовый поток вокруг факела пламени больших размеров и вместе с тем растет, интенсифицируется лучистый поток тепла из зоны горения в окружающее пространство, в том числе и к поверхности горючего материала. Эта первая фаза пожара, точнее, перехода загорания в пожар, длится 1...3 мин.

Затем начинается этап развития пожара. Вступает в действие новый фактор - медленное повышение температуры среды в помещении (вторая фаза пожара). Весь описанный выше процесс повторяется, но уже с большей интенсивностью: быстрее прогревается вглубь "горящий" слой древесины на большей площади, соответственно интенсивнее выделяются летучие фракции горючих материалов. Быстрее растет объем зоны горения, еще интенсивнее конвективный тепловой, газовый и лучистый потоки, увеличивается площадь пожара, в том числе и за счет увеличения скорости распространения пожара, круче растет температура в

помещении. Этот второй этап длится примерно 5...10 мин. Начинается третий этап пожара - бурный процесс нарастания всех рассмотренных выше параметров. Температура в помещении поднимается до +250...+300°C. Начинается так называемая стадия объемного развития пожара, когда пламя заполняет практически весь объем помещения, а процесс распространения пламени происходит уже не по поверхности твердых горючих материалов, а дистанционно, через разрывы пожарной нагрузки, под действием конвективных и лучистых потоков тепла воспламеняются отдельно отстоящие от зоны горения предметы и горючие материалы.

Начинается "объемная фаза" развития пожара и фаза объемного распространения пожара. При температуре газовой среды в помещении +300°C происходит разрушение остекления. Догорание продуктов сгорания может при этом происходить и за пределами помещения (огонь вырывается из проемов наружу). Скачком изменяется интенсивность газообмена: она резко возрастает, интенсифицируется процесс оттока горячих продуктов горения и приток свежего воздуха в зону горения (четвертый этап пожара). При этом температура в помещении может кратковременно несколько снизиться. Но в соответствии с изменением условий газообмена резко возрастают такие параметры пожара, как полнота сгорания, скорость выгорания и скорость распространения процесса горения. Соответственно резко возрастает удельное и общее тепловыделение на пожаре. Температура, несколько снизившаяся в момент разрушения остекления из-за притока холодного воздуха, резко возрастает, достигая +500...+600 °C. Процесс развития пожара бурно интенсифицируется, увеличивается численное значение всех параметров пожара, рассмотренных выше. Площадь пожара, среднеобъемная

температура в помещении (+800...+900 °С), интенсивность выгорания пожарной нагрузки и степень задымления достигают максимума.

Параметры пржара стабилизируются. Эта пятая фаза наступает обычно на 20...25 минуте пожара и длится в зависимости от величины и характера пожарной нагрузки еще 20...30 минут и более.

Затем (при условии свободного развития пожара) начинает постепенно наступать шестая фаза пожара, характерная постепенным снижением его интенсивности, так как основная часть пожарной нагрузки уже выгорела.

Толщина обугленного слоя на поверхности горючего материала, составляющая 5...10 мм, препятствует дальнейшему проникновению тепла вглубь и выходу летучих фракций из горючего материала. Кроме того, наиболее летучие фракции под действием высокой средней температуры в помещении уже выделились. Интенсивность их поступления в зону горения снижается. Верхний слой угля начинает гореть беспламенным горением по механизму гетерогенного окисления, поглощая значительную часть кислорода воздуха, поступающего в зону горения. В помещении накопилось большое количество продуктов горения. Среднеобъемная концентрация кислорода в помещении снизилась до 16...17%, а концентрация продуктов горения, препятствующих интенсивному горению, возросла до предельного значения. Интенсивность лучистого переноса тепла к горючему материалу уменьшилась и из-за снижения температуры в зоне горения, и из-за повышения оптической плотности среды. Из-за большого задымления она стала менее прозрачной даже для теплового излучения.

Интенсивность горения медленно снижается, что влечет за собой понижение всех остальных параметров пожара (вплоть до площади горения). Площадь пожара не сокращается, она может расти или стабилизироваться, а площадь горения сокращается. Наступает седьмая

стадия пожара - догорание в виде медленного тления, после чего через некоторое, иногда весьма продолжительное время, пожар догорает и прекращается.

В настоящее время большинство объектов оборудуются автоматическими системами пожарной сигнализации и тушения пожара. Автоматические системы пожарной сигнализации должны сработать на первой стадии развития пожара. Автоматические системы тушения пожара должны включаться на первой или второй фазе его развития. В этой фазе пожар еще не достиг максимальной интенсивности развития. Тушение пожара передвижными средствами начинается, как правило, через 10...15 мин после извещения о пожаре, т.е. через 15...20 мин после его возникновения (3...5 мин до срабатывания системы сигнализации о пожаре; 5...10 мин - следование на пожар; 3...5 мин разведка и боевое развертывание). То есть, тактические боевые действия, как правило, начинаются на третьей - четвертой фазе, а иногда и на пятой фазе его развития, когда параметры пожара достигли наибольшей интенсивности своего развития или максимального значения.

#### Тепловой режим пожара

Выделяющееся при горении тепло является основной причиной развития пожара и возникновения многих сопровождающих его явлений. Это тепло вызывает нагрев окружающих зону горения горючих и негорючих материалов. При этом горючие материалы подготавливаются к горению и затем воспламеняются, а негорючие разлагаются, плавятся, строительные конструкции деформируются и теряют прочность. Тепловыделение на пожаре сопровождается также движением газовых потоков и задымлением определенного объема пространства около зоны горения.

Возникновение и скорость протекания тепловых процессов зависит от интенсивности тепловыделения в зоне горения, т.е. от теплоты пожара. Количественной характеристикой изменения тепловыделения на пожаре в зависимости от различных условий горения служит температурный режим. Под температурным режимом пожара понимают изменение температуры во времени.

Определение температуры пожара как экспериментально, так и расчетом чрезвычайно сложно. Для инженерных расчетов, при решении ряда практических задач температуру пожара определяют из уравнения теплового баланса. Баланс тепла на пожаре составляется не только для определения температуры пожара, но и для выявления количественного распределения тепловой энергии.

Для открытых пожаров установлено, что доля тепла, передаваемого из зоны горения излучением и конвекцией, составляет 40...50%. Оставшаяся доля тепла (50...60%) идет на нагрев продуктов горения. Таким образом, 60% от теоретической температуры горения данного горючего материала дадут приближенное значение температуры пламени. Температура открытых пожаров зависит от теплотворной способности горючих материалов, скорости их выгорания и метеорологических условий. В среднем максимальная температура открытого пожара для горючих газов составляет +1200...+1350 °С, для жидкостей +1100...+1300 °С и для твердых горючих материалов органического происхождения +1100...+1250 °С.

При внутреннем пожаре на температуру влияет больше факторов: вид горючего материала, величина пожарной нагрузки и ее расположение, площадь горения, размеры здания (площадь пола, высота помещений и т.д.) и интенсивность газообмена (размеры и расположение проемов). Рассмотрим подробнее влияние перечисленных факторов.

Всю продолжительность пожара можно разделить на три характерных периода по изменению температуры. Начальный период, соответствующий периоду роста пожара, характеризуется сравнительно невысокой среднеобъемной температурой.

Основной период, в течение которого сгорает 70...80% общей нагрузки горючих материалов. Окончание основного периода соответствует моменту, когда среднеобъемная температура достигает наибольшего значения или уменьшается не более, чем до 80% от максимального значения.

Заключительный период характеризуется убыванием температуры вследствие выгорания пожарной нагрузки. Поскольку скорость роста и абсолютное значение температуры пожара в каждом конкретном случае имеют свои характерные особенности, введено понятие стандартной температурной кривой, обобщающей наиболее характерные особенности изменения температуры внутренних пожаров.

Существенное влияние на температурный режим пожара оказывает высота помещения. В высоких помещениях скорость роста температуры выше, а максимальное значение температуры меньше, чем в помещениях малой высоты. Это объясняется тем, что во втором случае коэффициент избытка воздуха выше, чем в первом, и потери тепла из зоны горения больше.

Внутренний пожар - это более сложный случай процесса горения по сравнению с открытым пожаром, так как объем, где происходит горение, ограничен и не все тепло теряется безвозвратно.

Тепло на пожаре выделяется непосредственно в зоне горения и распространяется из нее конвекцией, лучеиспусканием и теплопроводностью. Тепло, передаваемое теплопроводностью, сравнительно невелико и, как правило, в расчетах не учитывается.

Тепло, передаваемое из зоны горения конвекцией при горения жидких горючих в условиях внутреннего пожара, составляет 55-60%, а при горении твердых горючих материалов, например, штабелей древесины, 60-70% от общего количества тепла, выделяющегося на пожаре. Остальные 30—40% тепла передаются из зоны горения излучением. Соотношение этих величин зависит не только от вида горючего, но и от стадии развития пожара, температуры окружающих предметов, оптической плотности среды, условий газообмена. Поскольку конвективные потоки направлены из зоны горения преимущественно вверх, то суммарные тепловые потоки по различным направлениям будут неравноценны. Знание величины и направления суммарных тепловых потоков позволит определить не только соответствующие зоны пожара, но и доминирующее направление и интенсивность распространения пожара.

Максимальная температура пожара, которая обычно выше среднеобъемной, бывает в зоне горения. По мере удаления от нее температура газов снижается за счет разбавления продуктов горения воздухом и потерь тепла в окружающее пространство. Наивысшая температура в зоне горения +900 °С, в самой удаленной точке +200 °С.

Большое влияние на распределение температуры оказывает интенсивность газообмена и направленность конвективных газовых потоков. Например в помещениях с большой интенсивностью газообмена и высокотемпературным режимом, несмотря на интенсивное тепловыделение и высокую температуру в верхней части помещения, в нижней его части возможно пребывание людей благодаря интенсивному притоку холодного воздуха и интенсивному оттоку горячих продуктов горения. Причем неравномерность параметров газовой среды по вертикали проявляется тем резче, чем больше высота помещения.

Очевидно, что и средняя температура такого пожара может быть сравнительно невелика.

В помещениях с малой интенсивностью газообмена и низкотемпературным режимом горение происходит с большим недостатком воздуха. Однако температура в помещении при таком горении почти одинакова по объему и может быть очень высокой за счет слабого оттока продуктов горения. Эти обстоятельства необходимо учитывать при тушении пожара для обеспечения безопасной и эффективной работы личного состава.

Рассмотрим развитие пожара с момента его загорания. Как известно, над всяким источником тепла формируется тепловая струя. Воздух (газ), нагретый в зоне горения до высокой температуры, уносится вверх, а взамен его к очагу пожара подтекают новые порции более холодного воздуха.

В начальной стадии развития пожара горение происходит за счет воздуха, находящегося в объеме помещения, газообмен с окружающей (внешней) атмосферой отсутствует. Нагретые в зоне горения до высокой температуры продукты горения поднимаются вверх, вовлекая по пути движения примыкающие к ним массы холодного воздуха. В результате обмена энергией тепловой струи (продуктов горения) с холодным воздухом ее скорость и температура по мере удаления от источника пожара уменьшаются и охлажденный воздух (а точнее, смесь воздуха с продуктами горения) вновь возвращаются к очагу горения. На ранней стадии, когда площадь пожара невелика, тепловая струя затухает, не достигнув верхнего перекрытия помещения.

Зона горения является мощным побудителем движения воздушных масс в объеме помещения. При увеличении площади пожара мощность тепловой струи увеличивается, горячие газы с холодным воздухом

частично растекаются под перекрытием, частично удаляются через проемы, а охлажденный воздух за счет потерь теплоты опускается вдоль стен вниз, попадает в зону химических реакций и, нагретый вновь, поднимается вверх. В помещении здания создается непрерывная циркуляция газовых потоков, температура в объеме помещения постепенно возрастает. В результате перепада температур между окружающим воздухом и горячим газом в объеме помещения из-за разности плотностей между горячим газом и холодным воздухом возникает газообмен. Кроме того, поскольку объем нагретых газов больше того же объема холодных, а давление в помещении остается постоянным, то часть газов будет вытесняться за счет термического расширения. То есть масса газов в помещении будет постепенно уменьшаться по мере роста температуры. Взамен ушедшего из помещения газа поступает свежий воздух из окружающей атмосферы. Причиной газообмена является разность давлений столбов наружного и внутреннего воздуха.

Основные закономерности газообмена необходимо знать для правильного использования их при тушении пожара. На практике известны случаи, когда при недостатке сил и средств для тушения пожара в трюме судна, находящегося в рейсе, прибегают к герметизации отсека для снижения интенсивности тепловыделения. При этом охлаждают водой перегородки, соединяющие данный отсек с соседними.

При пожарах выделяется дым. Плотность дыма на пожарах в основном зависит от вида ТГМ и интенсивности газообмена. Увеличение концентрации дыма в зоне задымления происходит в результате разности количества выделяемого дыма в зоне горения, и количества дыма, удаляемого через проемы, где происходит пожар.

Характерные схемы развития некоторых видов пожаров

Для прогнозирования обстановки на пожаре, для правильной организации боевых действий по ведению спасательных работ, по локализации и тушению пожара, для проектирования автоматических систем сигнализации и тушения пожара необходимо знать законы развития и изменения параметров пожара во времени и в пространстве.

Рассмотрим зависимость интенсивности развития пожара от вида и характера пожарной нагрузки, состояния горючих материалов и некоторых их специфических особенностей. Если горючий материал, составляющий пожарную нагрузку, однороден (например, древесина, кипы бумаги или другие горючие материалы) и равномерно размещен по площади пола и если в помещении нет ориентированных газовых потоков, то процесс горения будет распространяться равномерно во все стороны и будет иметь форму, близкую к круговой. Чем более горючий материал составляет пожарную нагрузку, тем интенсивнее развитие пожара. Чем больше скорость линейного распространения пламени, тем выше скорость роста площади пожара; чем выше теплота сгорания данного материала, тем больше скорость роста интенсивности тепловыделения на пожаре, выше скорость роста температуры пожара; чем мельче частицы материала (больше дисперсность), тем больше скорость выгорания его. Чем менее компактно уложен материал, тем больше коэффициент поверхности горения, тем больше поверхность нагревания горючего материала, легче поступает воздух в зону горения и интенсивнее выходят летучие фракции из горючего материала и тем, соответственно, выше скорость линейного распространения пожара и т.д.

#### Особенности динамики пожаров на транспорте

Развитие пожаров на судах. Анализ статистики пожаров на судах показывает, что пожары в основном происходят в следующих помещениях и отсеках:

в жилых и служебных помещениях - 32%; в машинно-котельных отделениях (МКО) - 36%; в грузовых отсеках - 30%; на открытых палубах - 2%.

По данным зарубежной статистики, 70% из общего числа пожаров возникает при нахождении судна в порту или на ремонте и 30% - в море.

На характер развития внутреннего пожара судна существенное влияние оказывают конструктивно-планировочные решения помещений.

Большая часть судов построена из стали. В корпусе судна, надстройках, рубках имеется разветвленная сеть жилых и служебных помещений, связанных между собой коридорами, трапами или шахтами трапов. Количество выходов на верхнюю открытую палубу ограничено. Пожарная нагрузка достигает 60- 70 кг/м<sup>2</sup>. Между отделкой бортов, подволоки, пола и металлической основой судна образуются воздушные зазоры. По ним прокладываются различные коммуникации: трубопроводы, электрокабели, воздуходувы систем вентиляции, которые способствуют развитию пожара и перебросу пламени из одного помещения в другое. Высота жилых и служебных помещений примерно постоянна для всех судов и составляет 2,4...2,7 м.

Пожары в жилых и служебных помещениях, как правило, начинаются с загорания в одном из помещений (каюте, салоне, кладовой) и некоторое время развиваются скрыто. Процесс горения осуществляется за счет воздуха, содержащегося в объеме помещения и подаваемого по системе вентиляции. Кратность воздухообмена в жилых и служебных помещениях равна 3...4. Выделяющиеся продукты горения заполняют объем помещения, а также через неплотности и смежные с ним отсеки нагревают отделочные материалы переборок, мебель и др. Пожар, как правило, обнаруживают визуально или по запаху дыма. Во время тушения таких пожаров не рекомендуется открывать дверь помещения, в котором

происходит пожар, так как это-приводит к резкой интенсификации горения за счет поступления свежих порций воздуха из коридора. При открытии двери пламя выбрасывается в коридор, что приводит к повышению температуры в нем за счет быстрого сгорания продуктов термического разложения. Коридор быстро заполняется дымом, токсикологическая обстановка резко ухудшается и становится опасной для пребывания людей в коридоре и соседних помещениях. Пожар резко возрастает, так как один из главных его параметров - площадь пожара - больше не имеет ограничений и может увеличиваться беспрепятственно. В процессе развития и протекания пожара в этой группе помещений можно выделить три характерные стадии развития. Начальная стадия, которая длится с возникновения пожара до полного "охвата" всего помещения пламенем, температура в помещении может достигать +450...+500 °С. Длительность этого периода зависит от размеров первоначального очага загорания, его местоположения, характера расположения пожарной нагрузки в помещении и т.п. и может продолжаться до 20 мин.

Стадия активного горения начинается с общей "вспышки" в объеме помещения и длится до выгорания 70...80% пожарной нагрузки. В этот период в объеме помещения температура достигает своего максимального значения.

И, наконец, стадия затухания, которая характеризуется спадом температуры и длится до полного выгорания пожарной нагрузки.

На каждой стадии пожара характерным является и распространение пламени. На начальной стадии линейное распространение пламени происходит по поверхности пожарной нагрузки со скоростью 1,5...2 м/мин в зависимости от физических свойств отделочных материалов. На этой стадии пожар развивается в пределах одного помещения.

Для второй стадии характерно распространение горения на смежные помещения. Процесс распространения пламени носит объемный характер вследствие возникновения новых очагов горения на некотором расстоянии от первоначального, например, под действием излучения пламени, конвективных токов нагретых газов или теплопроводности. В этом случае линейная скорость распространения пламени резко возрастает и ее значение приближается к скорости распространения пламени по газоздушным смесям. Стадия активного горения является наиболее опасной.

Исследованиями температурного поля в объеме жилых и служебных помещений установлено, что наибольшая неравномерность температур по высоте помещения наблюдается при наименьшей пожарной нагрузке, а при нагрузке  $30 \text{ кг/м}^2$  и больше на стадии активного горения температура по высоте помещения практически не изменяется. Температура продуктов горения в верхней части дверного проема каюты несколько выше среднеобъемной. Процесс горения в этой группе помещений может саморегулироваться за счет газообмена, газообмен ограничивает скорость роста площади пожара и ее максимальное значение.

В условиях развитого пожара коридоры, дымопроницаемые шахты, отдельные траповые марши, лифты, воздуховоды становятся своеобразной дымовой трубой. По ним пожар может распространиться в рубки постов управления судном и серьезно осложнить обстановку по ликвидации пожара.

Специфика развития пожаров на судах накладывает определенные трудности на проведение спасательных операций, так как эвакуация людей и имущества идет снизу вверх, в зону распространения дыма и высоконагретых продуктов горения.

В машинно-котельных отделениях (МКО) всех судов используют жидкое топливо с температурой вспышки выше +61 °С. Пожары в МКО происходят вследствие утечек топлива из расходных цистерн, трубопроводов топливной системы и др. Воспламенение пролитого топлива происходит в результате его контакта с нагретыми до высокой температуры поверхностями (выхлопные патрубки, коллекторы двигателей, стенки котлов) и под действием открытого пламени. Особенно интенсивно происходит развитие пожара в МКО при разрушении топливных и масляных трубок, находящихся под высоким давлением. Мелкодиспергированное топливо образует мощный факел пламени с высокоразвитой поверхностью горения, что приводит к резкому повышению температуры в объеме машинного отделения.

Развитию пожара в МКО способствует большая по сравнению с другими судовыми помещениями кратность газообмена. Поэтому при ликвидации такого пожара в первую очередь необходимо отключить разрушенную топливную магистраль, вентиляцию, принять меры к предупреждению взрыва топливных цистерн и сосудов высокого давления.

Пожары в МКО характеризуются высоким температурным режимом, запущенный пожар в результате прогрева переборок и подволоков, способствует распространению пожара на смежные отсеки-надстройку, трюмы и т.п. Гораздо реже пожары распространяются из смежных отсеков в МКО.

Пожары на танкерах сравнительно редки, но большинство их приводит к сильным повреждениям или гибели судна. Они, как правило, сопровождаются взрывами топливно-воздушной смеси в танках, которые вызывают деформацию корпуса судна. Возникновение взрыва и пожара зависит от загазованности помещений путем распространения газа и

наличия в загазованном помещении источников зажигания. Образование взрывоопасных концентраций в танках происходит под действием повышения температуры, а также колебаний нефти при движении судна.

Взрывы и пожары на танкерах можно предотвратить за счет конструктивных мероприятий, исключающих возможность образования горючих паровоздушных смесей, а также применяя системы контроля газовой среды и предупреждения об образовании взрывоопасных концентраций.

Наиболее опасными являются пожары в танках, близко расположенных к надстройкам и командным рубкам. Пожар из танка может распространиться под действием ветра в эти помещения через открытые двери или иллюминаторы, что осложняет обстановку управления судном, а следовательно, и процесс ликвидации пожара. Поэтому при тушении пожара судно необходимо сориентировать относительно ветра так, чтобы пламя не попадало на командную рубку.

Особую опасность представляют пожары тяжелых нефтепродуктов, склонных к вскипанию и выбросу. Разлив и горение нефтепродуктов вокруг судна резко осложняют обстановку, приводят к увеличению площади пожара на судне, затрудняют эвакуацию людей.

Причинами пожаров в сухогрузных трюмах являются:

тепловое, химическое или биологическое самовозгорание грузов;

небрежное обращение с огнем;

нарушение правил пожарной безопасности при работе с открытым огнем.

Пожар в трюме, как правило, протекает в режиме тления с сильным задымлением. Это объясняется плотностью укладки пожарной нагрузки в объеме трюма и ограниченным газообменом. Температура развившегося пожара достигает высоких значений, что затрудняет его ликвидацию.

Большая плотность укладки и сильная задымленность осложняют доступ к очагу горения.

Даже при локальном горении пожар в большинстве случаев приводит к порче всего груза.

Развитие пожаров на самолетах и вертолетах. Анализ статистики аварий и катастроф пассажирских самолетов и вертолетов показывает, что значительная часть их приходится на долю пожаров. Причем большинство аварий и катастроф, как правило, сопровождается пожарами и взрывами, что приводит к гибели людей и летательного аппарата.

Тенденция развития современной авиации направлена на увеличение скорости и дальности беспосадочного полета и увеличение количества пассажиров. Уже сейчас на авиалиниях мира эксплуатируются самолеты, перевозящие 350...400 пассажиров. Аварии и катастрофы на таких авиалайнерах представляют угрозу для жизни большого количества людей, поэтому повышению безопасности полетов и выживаемости пассажиров при авариях и катастрофах на самолетах гражданской авиации придается первостепенное значение.

Причинами пожара на самолете могут быть:

течь топлива при разрушении трубопроводов высокого давления, течь в гидросистеме или маслосистеме самолета;

разрушение двигателя, обрыв лопаток турбины, прогар камеры сгорания и т.п.;

разрушение трубопроводов системы обогрева и кондиционирования;

взрыв топливных баков в результате удара молнии в самолет;

различные механические воздействия - удар конструкции самолетов и вертолетов при столкновении с преградами, при грубой посадке, особенно при посадке с убранными шасси, боевое поражение и т.п.

Все пассажирские самолеты оснащены эффективными бортовыми автоматическими средствами тушения пожара, которые предназначены для ликвидации пожара во внутренних отсеках самолета, возникшего в полете и вызванного отказами в работе основных систем самолета. Пожары, возникшие на земле, вне конструкции самолета ликвидируются наземными средствами тушения.

Пожароопасными отсеками на самолетах и вертолетах являются:

отсеки топливных баков;

отсеки силовых установок;

багажный и технический отсеки;

шасси;

отсек редуктора несущего винта - у вертолета.

Наибольшую пожарную опасность представляют отсеки топливных баков, запас топлива в которых на современных самолетах достигает 50...100 т.

В качестве топлива применяется керосин с температурой вспышки около 30°C. Особенно опасными являются пожары, вызванные разрушением топливных баков при взлете или посадке.

Топливо разбрызгивается на значительное расстояние, площадь пожара достигает нескольких сотен квадратных метров (400...500 и более) в течение 1...2 мин.

Огнестойкость конструкции самолетов и вертолетов очень маленькая. За 2...3 мин огонь может привести к необратимым изменениям в конструкции самолета и к его разрушению. Поэтому при ликвидации пожара в первую очередь необходимо принять меры к эвакуации людей, защите фюзеляжа самолета и крыльевых топливных баков от действия огня. Пожары могут сопровождаться взрывами топливных баков.

Обстановка особенно усложняется, если пожар на самолете происходит при работающих двигателях. В этом случае необходимо принять меры к их выключению путем подачи огнетушащих составов во входное устройство двигателей или путем механического прекращения подачи топлива к ним. Наземные пожары в отсеках силовых установок менее опасны, чем пожары пролитого топлива, так как горючие жидкости в них находятся в меньших количествах, горение происходит при ограниченном газообмене, конструктивные материалы более огнестойки по сравнению с другими отсеками. Прекращение горения достигается перекрытием дроссельного и пожарных кранов двигателя и подачей огнетушащих средств в подкапотное пространство. Наименее опасным для конструкции самолета является пожар внутри двигателя, вызванный неплотным прикрытием дроссельного крана, так как внутренние полости двигателей выполнены из жаропрочных сплавов. Для тушения необходимо поставить сектор газа в положение "Стоп", перекрыть пожарный кран и сделать холодную прокрутку двигателя. Пожары в багажных и технических отсеках развиваются менее интенсивно, чем в других. Они сопровождаются задымлением отсеков и проникновением дыма и продуктов пиролиза в пассажирский салон и кабину пилотов, так как они имеют общую систему вентиляции. При тушении таких пожаров необходимо принять экстренные меры к эвакуации людей. Интенсификации развития пожаров в технических отсеках могут способствовать взрывы сосудов высокого давления (гидроаккумуляторов, кислородных баллонов и т.п.), разрушения аккумуляторов. Пожары в багажных и технических отсеках могут быть ликвидированы экипажем ручными огнетушителями. Для подачи огнетушащих составов в полу пассажирского салона предусмотрены специальные люки. Кроме того, в

них могут подаваться огнетушащие составы от наземных средств тушения через люки, находящиеся снаружи самолета.

Пожары шасси, вызванные перегревом тормозных колодок при резком торможении самолета, являются наименее опасными, так как мала вероятность переброса пламени на фюзеляж самолета. Для их ликвидации требуется наименьшее количество огнетушащих средств.

Эвакуация людей из горящего самолета производится через специальные двери и люки, однако при аварии их может заклинить, поэтому в современных самолетах предусмотрены места для вскрытия обшивки самолета.

Развитие пожаров на железнодорожном и шоссейном транспорте.  
Причины пожаров на железнодорожном транспорте примерно аналогичны причинам пожаров на судах. Процесс горения в купе железнодорожного вагона сопровождается сильным дымолением, которое по системе вентиляции проникает в смежные помещения. Скорость роста температуры в купе будет определяться мощностью источника зажигания, его расположением относительно пожарной нагрузки, пожарной нагрузкой, ее физико-химическими свойствами и газообменом. Большое влияние на характер развития пожара будет оказывать газообмен; например, пожар в купе при открытом окне, открытой двери в коридор и открытых одном-двух окнах в коридоре будет существенно отличаться от пожара в купе при закрытых окне и двери.

На шоссейном транспорте наиболее опасными являются пожары с разливом горючих жидкостей вокруг транспортных средств, так как возрастает вероятность попадания и воспламенения их внутри пассажирского салона. Неисправности топливной системы вызывают пожар в моторном отсеке, который обнаруживается визуально на ранней

стадии. В этом случае эвакуация людей из салона может быть произведена раньше, чем пламя распространится на него.