

Раздел 1. Пожары. Классификация пожаров. Опасные факторы пожаров

Тема 1.2. Пожары. Виды, классификация пожаров

Вопрос 1. Общие сведения о горении

Горение - это химическая реакция окисления, сопровождающаяся выделением большого количества теплоты и свечением. Окислителем чаще всего является кислород воздуха, иногда - другие химические элементы: хлор, фтор и др.

Для возникновения процесса горения необходимо наличие горючего вещества, окислителя и источника зажигания. Горючим называется вещество (материал, смесь, конструкция), способное самостоятельно гореть после удаления источника зажигания. Под источником зажигания понимают горячее или раскаленное тело, а также электрический разряд, обладающие запасом энергии и температурой, достаточной для возникновения горения других веществ (пламя, искры, раскаленные предметы, выделяемая при трении теплота и др.).

Необходимым и достаточным условием для горения при пожаре обычно представляют в виде «классического треугольника пожара» (рис. 1): горючее - окислитель - источник воспламенения. Устранив одно из слагаемых треугольника, снижается вероятность возникновения пожара.



Рис. 1 Классический треугольник пожара.

Горение бывает полное и неполное. Полное горение протекает при достаточном количестве кислорода (не менее 14 %), в результате чего образуются вещества, неспособные к длительному окислению (диоксид углерода, вода, азот и др.). При недостаточном содержании кислорода (менее 10 %) происходит неполное беспламенное горение (тление), сопровождающееся образованием токсичных и горючих продуктов (спиртов, кетонов, угарного газа и т. п.).

Пожар - неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства. Пожар следует отличать от сжигания, представляющего собой контролируемое горение внутри или вне специального очага.

Разные горючие вещества могут сгорать быстрее или медленнее. Скорость горения характеризуется количеством горючего вещества, сгорающего в единицу времени с единицы площади. В зависимости от скорости процесса различают собственно горение, взрыв и детонацию.

Взрыв - это быстрое превращение вещества (взрывное горение), сопровождающееся образованием большого количества сжатых газов, под давлением которых могут происходить разрушения. Горючие газообразные продукты взрыва, соприкасаясь с воздухом, часто воспламеняются, что обычно приводит к пожару, усугубляющему негативные последствия взрыва.

Детонационное горение возникает во взрывоопасной среде при прохождении по ней достаточно сильной ударной волны. При ударном сжатии температура газа может повыситься до $T_{\text{самовоспламенения}}$ температуры самовоспламенения. Происходит химическая реакция. Часть выделившейся теплоты затрачивается на энергетическое развитие и усиление ударной волны, поэтому она перемещается по горючей смеси не ослабевая. Такой комплекс, представляющий собой ударную волну и зону химической реакции, называют детонационной волной, а само явление - **детонацией**. Детонационное горение вызывает сильные разрушения и поэтому представляет большую опасность при образовании горючих газовых систем.

Следует различать термины «самовозгорание» и «самовоспламенение».

Самовозгорание - это явление резкого увеличения скорости экзотермических реакций, приводящее к горению вещества, материала или смеси в отсутствие источника зажигания. Оно может быть тепловое, химическое и микробиологическое.

Самовоспламенение представляет собой самовозгорание, сопровождающееся появлением пламени. Температура самовоспламенения большинства горючих жидкостей находится в пределах 250...700 °С (исключения: сероуглерод - 112...150 °С, серный эфир - 175...205 °С), а

твердых горючих веществ - 150...700 °С, хотя, например, целлулоид способен самовоспламеняться уже при температуре 141 °С.

Вопрос 2. Классификация пожаров

С целью детального изучения пожаров и разработки тактики борьбы с ними пожары классифицируются по группам, видам и классам. Классификация проводится на основе распределения их по признакам сходства и различия.

В зависимости от агрегатного состояния и природы горючих веществ и материалов пожары подразделяются на классы **A, B, C, D** и подклассы **A1, A2, B1, B2, D1, D2, D3** (табл. 1). В зарубежной классификации выделены также классы пожаров **E** (тушение установок и оборудования под напряжением) и **F** (тушение радиоактивных материалов).

Существуют и другие классификации пожаров. По условиям массо- и теплообмена с окружающей средой все пожары разделяются на два больших класса - **пожары на открытом пространстве** (1 класс) и **пожары в ограждениях** (2 класс). В зависимости от изменения площади горения пожары на открытом пространстве, в свою очередь, подразделяются на распространяющиеся (класс 1а) и [^]распространяющиеся (класс 1б).

Распространяющимися называются пожары, характеризующиеся увеличением значений их параметров во времени (площади пожара, например). Эти параметры определяются, в частности, направлением и скоростью ветра, величиной и природой пожарной нагрузки.

^распространяющимися (локальными) называются пожары, характеризующиеся постоянством значений параметров во времени. Примерами таких пожаров могут быть пожары в резервуарах с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями, газонефтяных скважин, стоящих отдельно строений, установок и т.д. Среди пожаров на открытом пространстве нужно выделить массовые пожары (класс 1в).

Массовый пожар - это совокупность сплошных и отдельных пожаров в населенных пунктах, а также на открытых крупных складах горючих материалов и на промышленных предприятиях. Под **отдельным** понимают пожар, возникший в отдельном здании или сооружении. Под **сплошным**

пожаром понимают процесс одновременного интенсивного горения преобладающего числа зданий и сооружений на данном участке застройки.

Таблица 1 - Классификация пожаров в зависимости от агрегатного состояния и природы горючих веществ и материалов

Обозначение класса	Характеристика класса	Обозначение подкласса	Характеристика подкласса
А	горение твердых материалов	А1	горение твердых материалов, сопровождаемое тлением (древесина, бумага, солома, уголь, текстильные изделия)
		А2	горение твердых материалов, не сопровождаемое тлением (пластмассы и т.д.)
В	горение жидкостей	В1	горение жидкостей, не растворяющихся в воде (бензин, другие нефтепродукты и т.д.), а также некоторых твердых веществ, переходящих в жидкое состояние при нагревании (парафин и т.п.)
		В2	горение жидкостей, растворимых в воде (спирты, органические кислоты и т.д.)
С	горение газов		бытовой газ, водород, пропан и т.д.
D	горение металлов	D1	горение легких металлов, за исключением щелочных (алюминий, магний, их сплавы и т.д.)
		D2	горение щелочных и некоторых щелочноземельных металлов (натрий, калий, кальций и т.д.)
		D3	горение некоторых металлосодержащих соединений (металлоорганические соединения, гидриды металлов и т.п.)

Вопрос 3. Открытые пожары. Пожары газовых фонтанов

Классификация пожаров газовых фонтанов

По условиям газо- и теплообмена все пожары разделяют на две большие группы:

- > пожары на открытом пространстве (открытые);
- > пожары в ограждении (внутренние).

Первая группа пожаров (пожары на открытом пространстве) характеризуется свободным газообменом с окружающей средой, который обуславливает высокую интенсивность протекания процессов горения. Условия газообмена зависят от внешних естественных газовых потоков (от скорости и направления ветра, влажности воздуха и др.). При этом теплообмен осуществляется конвекцией и излучением практически с неограниченным окружающим пространством, не происходит накопление тепла в зоне горения. За температуру таких пожаров принимают температуру пламени. К открытым пожарам относятся природные пожары, пожары газовых и нефтяных фонтанов, складов древесины, горючих жидкостей в резервуарах, пожары на технологических установках объектов газовой, нефтяной, химической промышленности и т. п.

Вторая группа пожаров (пожары в ограждении) характеризуется зависимостью газо- и теплообмена от большого числа факторов: вида горючего материала, величины и расположения пожарной нагрузки, размеров и расположения проемов в конструкциях здания и др. Теплообмен осуществляется конвекцией, теплопроводностью и излучением. За температуру таких пожаров принимают среднюю температуру газовой среды горящего помещения.

Выброс нефти и газа - это внезапное самопроизвольное истечение из буровой скважины нефти и (или) газа в процессе бурения скважины.

Пожары фонтанов условно разделяют на **три группы**: газовые, газонефтяные и нефтяные.

1) Газовыми считаются фонтаны с содержанием горючего газа не менее 95% по массе.

2) Газонефтяными считаются фонтаны с содержанием газа более 50% и нефти менее 50% по массе.

3) К нефтяным относятся фонтаны с содержанием нефти более 50% по массе.

По конфигурации в зависимости от состояния устья скважины и формы факела пламени:

- > компактные (вертикальные и горизонтальные);
- > распылённые (истечение происходит из неплотностей арматуры, противовыбросового оборудования, а так же из устья скважины, когда пламя разделяется на несколько струй, образуя рассеянный факел);
- > комбинированные (струя имеет сложную конфигурацию факела, состоящую из распылённых и компактных струй).

Дебит - расход газа при пожаре (млн м³/сутки).

Кроме того, газовые и газонефтяные фонтаны условно подразделяются по мощности (дебиту):

- > слабые - с дебитом газа до 2 млн м³/сутки;
- > средние - от 2 до 5 млн м³/сутки;
- > мощные - свыше 5 млн м³/сутки.

Параметры пожаров

Основными параметрами пожара газового фонтана являются:

- > дебит;
- > теплота пожара;
- > интенсивность лучистого теплового потока на различных расстояниях от устья скважины;
- > режим истечения струи и др.

1) **Дебит** - расход газа при пожаре (млн м³/сутки) (расчет данного параметра представлен в следующем разделе).

2) **Теплота пожара (интенсивность тепловыделения)** - количество тепла, выделяющееся в зоне горения в единицу времени ($Вт = Дж/с$):

$$q = v \cdot Q_H =$$

где v - коэффициент полноты сгорания (0,75-0,9); Q_H - низшая теплота сгорания вещества, Дж/кг.

3) **Интенсивность лучистого теплового потока на различных расстояниях от устья скважины** - определяет допустимое время

пребывания и границы зон, в которых могут проводиться те или другие виды аварийно-спасательные работ.

$$Q_{л} = \eta_{л} \cdot Q_{н}(1 - \eta_{х}) \cdot V, \text{ кВт}$$

где $Q_{н}$ - низшая теплота сгорания смеси газов, кДж/м³; $\eta_{л}$ - теплотери излучением пламени; $\eta_{х}$ - химический недожог (доли от низшей теплоты сгорания), м³/с.

Излучение воспринимается поверхностью шара:

$$S = 4\pi R^2 \cdot m^2$$

Таким образом, мощность лучистого теплового потока от пламени на различных расстояниях от устья скважины может быть рассчитана по уравнению.

$$q_{л} = \frac{Q_{л}}{S} = \frac{\eta_{л} \cdot Q_{н}(1 - \eta_{х}) \cdot V}{4\pi \left[\left(\frac{H}{2} \right)^2 + L^2 \right]} = \frac{\eta_{л} \cdot q_{н}}{4\pi \left[\left(\frac{H}{2} \right)^2 + L^2 \right]}$$

Дебит фонтана и методы его оценки, зона отрыва пламени.

Фронт горения в турбулентном факеле пламени из-за пульсаций масс горючего, воздуха и продуктов горения получается размытым, раздолбленным и неустойчивым. Особенно это проявляется в зоне догорания.

Одним из важных параметров газового факела является его длина (высота). Установлена экспериментальная зависимость между высотой факела $H_{ф}$ и дебитом (расходом) газовой скважины:

$$H_{ф} = 23 V_{Г}^{0,4}$$

где $V_{Г}$ - дебит фонтана (расход газа), млн м³/сутки.

Для практических расчетов с точностью $\pm 5\%$ может быть использована более простая формула для определения дебита фонтана:

$$V_{Г} = 0,0025 H_{ф}^2,$$

что соответствует высоте факела

$$H_{\phi} \approx 20\sqrt{V_{\Gamma}}$$

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).

Зона отрыва пламени

Из теории горения известно, что для стабилизации фронта пламени необходимым условием является равенство скорости газового потока w_{H} и скорости распространения пламени v_{p} ($w_{\text{H}} = v_{\text{p}}$).

Турбулентное горение характеризуется значительно большей скоростью v_{T} , чем нормальные скорости горения. Турбулентная скорость распространения пламени v_{T} зависит от скорости потока и концентрации горючей смеси (рис. 1).

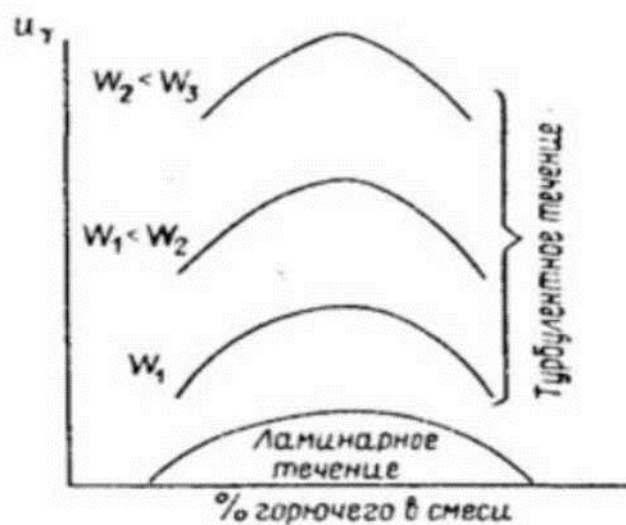


Рис. 1 - Зависимость турбулентной скорости распространения пламени от концентрации горючего в смеси и скорости потока

При высоких давлениях скорость потока газа на срезе трубы значительно превышает величину турбулентной скорости распространения пламени v_{T} , при этом факел пламени отрывается, и процесс горения газа начинается на некотором расстоянии от среза трубы. Если скорость истечения газа мала, то пламя почти соприкасается с устьем. При увеличении скорости газа высота отрыва факела увеличивается, и при некоторой

скорости может произойти газодинамический срыв пламени, т. е. самопроизвольное потухание.

Опасные факторы пожара

Опасными факторами пожаров газовых, газонефтяных и нефтяных фонтанов являются:

- > тепловой поток от фронта пламени;
- > пламя и искры;
- > повышенная температура окружающей среды;
- > повышенная концентрация продуктов горения и термического разложения.

Сопутствующие проявления опасных факторов пожара:

- > внезапный выброс нефти и газа;
- > выброс породы;
- > растекание нефти и конденсата вокруг скважины и образование зоны горения на поверхности земли;
- > воздействие огнетушащих веществ.

Расчет безопасных расстояний

Теплота пожара газового фонтана определяется по формуле:

$$Q = 3 \cdot 2 \cdot H$$

где Q_H - низшая теплота сгорания газа, Дж/м³; V_T - расход (дебит) газового фонтана, м³ /с; ν — коэффициент полноты сгорания (для газовых фонтанов $\nu \sim 1$).

Одним из факторов, препятствующих ликвидации пожаров газовых фонтанов, является высокая плотность потока теплового излучения факела пламени, которая для компактного вертикального факела газового фонтана в безветренную погоду может быть рассчитана по формуле (Вт/м²)

$$q' = \frac{f q}{4\pi R^2} = \frac{f Q_H V_T}{4\pi R^2},$$

где f - коэффициент излучения факела пламени, учитывающий рассеивание излучения в окружающее пространство; R - расстояние от центра пламени до рассматриваемой точки на поверхности земли, м.

Коэффициент излучения факела f определяется по формуле:

$$f = 0,05\sqrt{M},$$

где M - средняя молярная масса компонентов горючей смеси, равная

$$M = \sum M_i a_i,$$

где M_i - молярная масса i -го компонента горючей смеси; a_i - доля i -го компонента в смеси.

Значение f принимается, например:

- > для метана - 0,2;
- > пропана 0,33;
- > других углеводородов - 0,4.

Зная безопасную величину плотности потока теплового излучения, можно рассчитать предельное расстояние (рис. 2) от центра факела:

$$M = \sum M_i a_i,$$

При расчетах принимают, что тепловое излучение с интенсивностью 5,6406 Дж/ (м²·ч) является безопасным и личный состав может выдерживать такие тепловые нагрузки без специальной защиты в течение неограниченного времени.

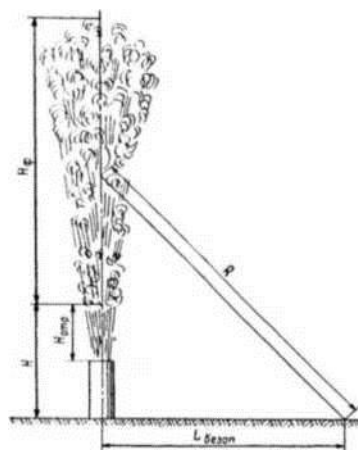


Рис. 2 - Принципиальная схема расчета безопасного расстояния до горящего факела газового фонтана

Безопасное расстояние (рис. 2), на котором может работать личный состав, рассчитывается по формуле.

$$L_{\text{безоп}} = \left[R^2 - \left(H + \frac{H_{\Phi}}{2} \right)^2 \right]^{1/2}.$$

При сильном ветре пламя факела отклоняется от вертикального положения (рис. 3), поэтому зона теплового воздействия будет иметь форму эллипса.

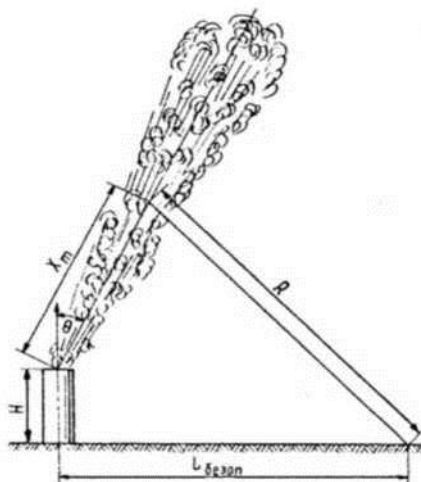


Рис. 3 - Принципиальная схема расчета безопасного расстояния для наклонного факела газового фонтана

В этом случае безопасное расстояние от устья скважины увеличивается и может быть рассчитано по формуле:

$$L_{\text{безоп}} = \left\{ R^2 - \left[H + \left(\frac{H_{\Phi}}{2} - H \right) \cos \theta \right]^2 \right\}^{1/2} + (X_M - H) \sin \theta,$$

где θ - угол наклона факела пламени.

Подставив в формулу известные константы и рассчитанную величину R , получим безопасное расстояние до устья скважины, где может находиться личный состав неограниченное время без специальных защитных средств.

Вопрос 4. Открытые пожары. Пожары резервуаров

Физико-химические процессы при горении жидкостей в резервуарах, структура факела пламени

Возникновение пожара в резервуаре зависит от следующих факторов: наличия источника зажигания, свойств горючей жидкости, конструктивных особенностей резервуара, наличия взрывоопасных концентраций внутри и снаружи резервуара. В большинстве случаев пожар внутри резервуара начинается со взрыва паровоздушной смеси.

Факельное горение может возникнуть на дыхательной арматуре, местах соединения пенных камер со стенками резервуара, других отверстиях или трещинах в крыше или стенке резервуара при концентрации паров в

резервуаре выше ВКПВ. Если при факельном горении наблюдается черный дым или красное пламя, то это свидетельствует о высокой концентрации паров горючего в объеме резервуара. В этом случае опасность взрыва незначительная.

На резервуаре с плавающей крышей возможно образование локальных очагов горения в зоне уплотняющего затвора, в местах скопления горючей жидкости на плавающей крыше. При хранении нефти и нефтепродуктов в условиях низких температур возможно зависание понтонов или плавающей крыши при откачке продукта из резервуара, что может привести к падению их с последующим возникновением пожара.

Над поверхностью жидкости всегда существует паровоздушная смесь, которая в состоянии равновесия характеризуется давлением насыщенных паров.

После того, как температура жидкости достигает температуры воспламенения (это минимальная температура жидкости, при которой пары образуются с такой скоростью, что происходит их воспламенение от источника зажигания и устанавливается стационарное горение) происходит воспламенение паровоздушной смеси и устанавливается пламя, которое будет с определенной скоростью распространяться по поверхности жидкости.

Распространение пламени происходит в результате теплопередачи излучением, конвекцией и молекулярной теплопроводностью от зоны пламени к поверхности зеркала жидкости.

Основную роль играет теплоизлучение от пламени. Согласно закону Стефана-Больцмана, интенсивность лучистого потока равна:

$$q_{\text{л}} = \varepsilon_0 \cdot \sigma (T_{\text{Г}} - T_0)^4,$$

где $q_{\text{л}}$ - интенсивность лучистого потока, кВт/м²;

ε_0 - степень черноты пламени (0.75-1.0);

σ - const Стефана Больцмана, равная 5.7-10-11 кДж/хЛсж¹;

$T_{\text{Г}}$ - температура пламени, К;

T_0 - температура среды, К.

Если площадь горючей жидкости достаточно велика, а воспламенение произошло над частью поверхности, то пламя будет быстро распространяться со скоростью 5-6 см/с на нижнем или верхнем

концентрационном пределе (если концентрация пара над поверхностью равна СН или СВ) и со скоростью 45-50 см/с для паров с концентрацией, равной стехиометрической.

Например, объём резервуара 10000 м³, диаметр равен 30 м, а воспламенение произошло у одного из бортов, то пламя достигнет противоположный борт за ~1 мин.

Таким образом скорость распространения пламени по поверхности - это путь, пройденный пламенем за единицу времени. Она определяется скоростью прогрева поверхности жидкости, т.е., скоростью образования паровоздушной смеси.

Механизм выгорания жидкостей

Одним из этапов диффузионного горения жидкостей, характеризующим механизм горения жидкостей, является ее *выгорание*. После распространения пламени по ее поверхности вследствие воспламенения устанавливается диффузионный режим выгорания жидкости. Выгорание характеризуется удельной массовой (W_m) и линейной (W_n) скоростями.

Удельная массовая скорость - количество вещества, выгорающего с единицы площади зеркала жидкости в единицу времени (кг/м² с).

Линейная скорость - расстояние, на которое перемещается уровень зеркала жидкости в единицу времени за счет ее выгорания (м/с):

$$W_n = \frac{h}{\tau}, \text{ м/с.}$$

Массовая и линейная скорости взаимосвязаны друг с другом через плотность жидкости (ρ):

$$W_m = W_n \rho.$$

Важной особенностью механизма выгорания является тот факт, что после воспламенения жидкости и возрастания ее температуры от 0 до $t_{кн}$ происходит формирование прогретого слоя. Это приводит к тому, что скорость выгорания повышается. При этом возрастает высота факела пламени в зависимости от диаметра резервуара и природы жидкости.

После 1 — 10 мин горения наступает стабилизация процесса, размеры пламени остаются неизменными. Устанавливается определенный тепло- и массообмен между зоной горения и поверхностью жидкости (зеркалом жидкости). Теплота для нагрева жидкости поступает как от факела пламени, так и путем теплопроводности через стенки резервуара (q_{cr}). При достаточно большом диаметре резервуара величиной q_{cr} можно пренебречь, тогда расход теплового потока (q_0) от факела пламени можно представить следующим уравнением:

$$q_0 = \rho W_{л} \left[c(T_{к} - T_0) + Q_{исп}^{ск} \right],$$

где c — теплоемкость жидкости, кДж/(кг·К); ρ — плотность жидкости, кг/м³; $W_{л}$ — линейная скорость выгорания, м/с; $Q_{исп}^{ск}$ — теплота парообразования, кДж/кг; $T_{к}$ — температура кипения, К; T_0 — температура начальная, К.

В момент установления процесса выгорания температура поверхности жидкости резко возрастает до температуры кипения (/кип), которая в дальнейшем по мере выгорания остается неизменной для индивидуальных жидкостей. Для смеси жидкостей (бензин) температура поверхности жидкости повышается постепенно, так как они состоят из индивидуальных жидкостей, кипящих при разной температуре.

Скорость выгорания жидкости также зависит от уровня жидкости в резервуаре. По мере его снижения в резервуаре увеличивается расстояние от пламени до поверхности жидкости, уменьшается приток теплоты к жидкости, скорость горения уменьшается. При некотором критическом расстоянии поверхности жидкости от кромки борта резервуара может наступить самотушение. Это расстояние называется *критической высотой*.

Механизм образования гомотермического слоя. Явления вскипания и выброса жидкости при горении ее в резервуарах.

После воспламенения температура на поверхности жидкости быстро возрастает, достигая определенного значения. Для химически чистых, однородных ГЖ она очень близка к температуре кипения, но всегда несколько ниже ее. Для неоднородных нефтепродуктов температура поверхностного слоя всегда несколько выше температуры кипения данной жидкости.

Температурное поле в слое ГЖ неравномерно как по координатам (по толщине и в горизонтальной плоскости), так и по времени.

В одном случае передача тепла 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.

В другом случае при горении жидкостей в резервуарах большого диаметра возникает прогретый слой, толщина которого растет во времени, а температура в этом слое почти одинакова с температурой на поверхности. У борта жидкость нагревается быстрее, так как тепла на борт попадает больше.

Глубина, на которую опустится нижняя граница гомотермического слоя за время горения π , складывается из толщины выгоревшего слоя жидкости ΔH , м, и толщины самого слоя $\delta_{гтс}$, м (рис. 4).

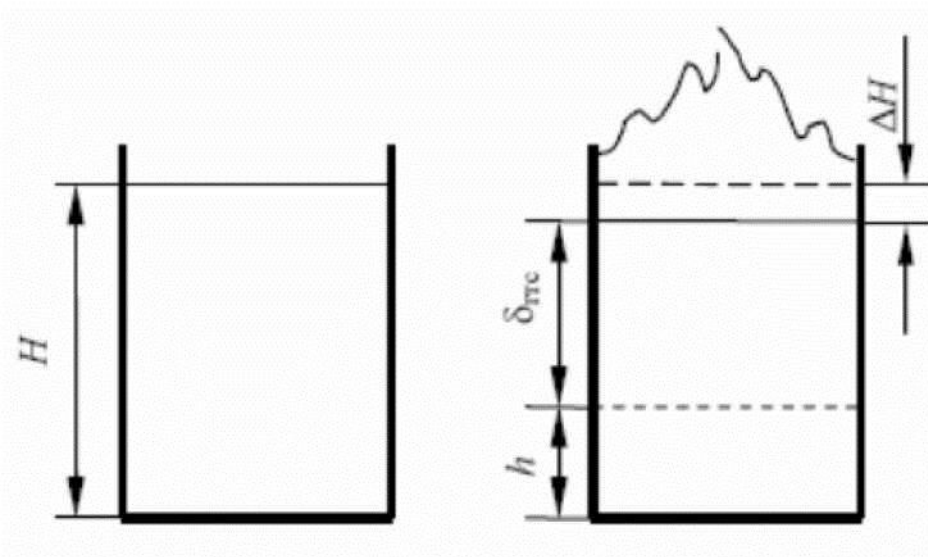


Рис. 4 - Схема для определения толщины гомотермического слоя

Тогда

$$h = H - (\Delta H + \delta_{гтс});$$

$$\Delta H = \tau \cdot v_d;$$

$$\delta_{гтс} = \tau \cdot v_{гтс},$$

где v^{TM} - скорость нарастания гомотермического слоя (зависит от природы жидкости), м/с.

Образование гомотермического слоя возможно также и в результате фракционной перегонки приповерхностных слоев смеси жидкостей,

имеющих различную температуру кипения. По мере выгорания таких жидкостей приповерхностный слой обогащается более плотными высококипящими фракциями, которые опускаются вниз, способствуя тем самым конвективному прогреву жидкости.

При горении влажных высококипящих нефтепродуктов вероятность образования гомотермического слоя также высока. Возможность образования достаточно толстого гомотермического слоя при горении влажных нефтепродуктов чревата явлениями вскипания и выброса жидкости. Если температура кипения жидкости выше, чем температура кипения воды, то вода вскипает и выделяется пар, увеличивается объем (в 1700 раз объем водяного пара больше объема жидкости) и происходит выброс жидкости из резервуара.

Перед выбросом наблюдается вибрация стенок резервуара, начинается подъем жидкости, слышен гул. Это явление приводит к резкому увеличению площади пожара, интенсификации его развития и распространения. Кроме того, это явление представляет большую опасность для личного состава.

Вопрос 5. Открытые пожары твердых горючих материалов

Особенности горения твердых горючих материалов.

Как и все открытые пожары, пожары на складах лесоматериалов характеризуются отсутствием ограничения газообмена. Особенностью этих пожаров в отличие от пожаров газовых фонтанов, резервуаров с жидкостями 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 пожара на складах лесоматериалов является большой объем зоны горения, что обусловлено большим объемом продуктов термического разложения, которые выделяются с сильно развитой поверхности горючего материала. Сгорая, эти продукты разложения образуют большое количество нагретых продуктов горения, поднимающихся вверх.

Вследствие этого, формирующиеся мощные тепловые потоки нагретых продуктов горения и воздуха приводят к созданию локальной аэродинамической обстановки, практически независимой от метеоусловий.

Аэродинамические потоки увлекают за собой доски и другие предметы, это способствует возникновению новых очагов пожаров, как правило, на большом расстоянии от основной зоны горения (до нескольких сотен метров). Средняя линейная скорость распространения фронта пламени на складах лесоматериалов изменяется в широких пределах от 0.1 до 4 м/мин, а в некоторых случаях до 10 м/мин и более. Если бревна уложены компактно, то скорость горения их значительно ниже, чем в том штабеле, где возможно проветривание.

Горение штабелей бревен или брусьев, когда материал сложен рядами, можно рассматривать как горение изолированных поверхностей.

В реальных условиях сложная геометрия и конфигурация твердых материалов может существенно влиять на процесс горения.

Например, бревна сложены в штабель, который представляет собой сетку поперечно сложенных рядов бревен. Скопление тепла внутри штабеля и взаимное поперечное тепловое излучение горящих поверхностей способствуют энергичному горению бревен.

Горение по горючему материалу распространяется тогда, когда температура материала достигает температуры воспламенения, т.е. скорость распространения пламени определяется скоростью прогрева поверхностного слоя материала до температуры воспламенения.

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

Чем больше толщина досок, тем больше тепла расходуется на прогрев досок, т.е. из зоны тепло уходит на прогрев, а так как доски имеют большие линейные размеры, то время прогрева по всей длине увеличивается, а скорость распространения горения уменьшается. В реальных 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.

Влажность оказывает большое влияние на скорость распространения пламени, т.к. повышается теплоемкость влажного материала, увеличиваются затраты тепла на нагрев, на испарение влаги.

Огромное влияние на распространение пламени на складах лесоматериалов оказывает направление и скорость ветра. Скорость распространения пламени по направлению ветра определяется по эмпирической формуле:

$$V_P = V_{po} \left[1 + 0,14 \left(\frac{V_v}{V_{po}} \right)^{0,32} \right],$$

где V_{po} - скорость распространения пламени по штабелям при отсутствии ветра, м/с; V_v - скорость ветра, м/с.

При увеличении скорости ветра до 20 м/с скорость распространения пламени увеличивается почти в 2 раза. Пожары на складах лесоматериалов, особенно пиломатериалов, характеризуются высокими скоростями выгорания. Это связано, прежде всего, с тем, что штабели, в которых хранятся пиломатериалы, образуют сильно развитую поверхность горения. Поэтому приведенная массовая скорость выгорания может быть высокой.

Примером таких пожаров может быть пожар в лесопильном цехе г. Петрозаводска в 2004 г. В цехе была древесина, её отходы, масла для смазки оборудования. Здание было большого объёма без перегородок. На крыше велись сварочные работы. Пожар быстро охватил все помещения, достиг ёмкостей с маслом, которые от высокой температуры разгерметизировались. Несущие конструкции обрушились, пожар перешел в открытый. Локализовали через 2 часа, и тушили ещё 4 часа.

Вопрос 6. Пожарная нагрузка, коэффициент поверхности горения.

Под *пожарной нагрузкой объекта* $R_{г.н}$, кг/м² понимают массу всех горючих и трудногорючих материалов, приходящихся на 1 м² площади пола помещения или площади, занимаемой этими материалами на открытой площадке:

$$R_{г.н} = P/F$$

где P - масса горючих и трудногорючих материалов, кг; F - площадь пола помещения или открытой местности, м²

Под *полной пожарной нагрузкой* принимают суммарное количество тепла, выделяемое в воздушное пространство здания, помещения, пожарного

отсека, ограниченного / выделенного строительными преградами распространения огня - противопожарными перегородками; стенами, перекрытиями, после полного сгорания всех горючих твердых материалов, легковоспламеняющихся жидких веществ, газов.

Удельной пожарной нагрузкой принято считать отношение полной нагрузки к площади здания, помещения, где она складирована, размещена, смонтирована, установлена.

Классификация

При ориентировочной оценке категории опасности здания, отдельного производственного или складского помещения, проведении усредненных расчетов довольно часто удельную пожарную нагрузку объекта определяют, как общую массу всех сгораемых веществ; включая элементы строительных конструкций, отделки интерьера из горючих/трудногорючих материалов. Например, древесины, как только просушенной для производства работ, так и подвергнутой различным видам огнезащитной пропитки.

При проведении такой предварительной оценки удельной нагрузки для отнесения помещения к определенной категории следует учитывать не всю площадь здания, отдельного помещения, технологического сооружения, а только площадь, где размещена эта нагрузка.

Существуют следующие виды пожарной нагрузки помещений:

Пожарная нагрузка помещения определяется как сумма постоянной и временной нагрузок.

1) **Постоянная** - состоит из суммы массы всех стационарных элементов отделки интерьера помещений, строительных конструкций, выполненных из легкосгораемых веществ, трудногорючих материалов. Например, бумаги, текстиля, декоративного пластика, всех видов древесины, включая входные, межкомнатные двери, стеллажи (капитальные из металлического каркаса, намертво прикрученные к полу), перегородки, подвесные потолки, оконные рамы, переплеты.

2) **Временная** - это сгораемые, трудногорючие материалы, вещества, из которых выполнена легко сменяемая обстановка помещений, зданий - от мебели, оргтехники, инженерно-технического, технологического оборудования, до хранящегося исходного сырья, готовой товарной продукции для производственных, складских объектов; заменяемых элементов интерьера, личного имущества, одежды - для жилых домов.

3) **Полная пожарная нагрузка** складывается из постоянной и временной, а удельная рассчитывается как отношение полной нагрузки к площади ее размещения.

Поверхность горения - поверхность горючих материалов, с которой может происходить выделение продуктов разложения (испарения) при горении материалов (п.г., м²).

Коэффициент поверхности горения (коэффициент пожарной нагрузки) $K_{п}$ - отношение площади поверхности горения к площади пожара, которое характеризует свободную для горения поверхность пожарной нагрузки.

$$K_{п} = \frac{S_{г}}{S_{п}}$$

где $S_{г}$ - площадь поверхности горения i -го изделия, м²,
 $S_{п}$ - площадь пожара элемента пожарной нагрузки, м².

Вопрос 7. Лесные и степные пожары.

Лесные пожары. Вероятность возникновения и распространения лесных пожаров существенно возрастает в сухую жаркую погоду, когда происходит не только подсушивание, но и предварительный разогрев материалов.

Скорость распространения огня днем больше, чем ночью, так как в ночное время снижается температура окружающей среды и происходит увеличение влажности воздуха и горючих материалов.

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

Различают **низовые** и **верховые** лесные пожары.

При низовом пожаре сгорает лесная подстилка, состоящая из опавших листьев, хвои, веток. Сгорает также живой покров - мох, кустарники, трава.

Особенностями этих пожаров являются небольшая скорость распространения (до 5 км/ч) и высота пламени (2-2,5 м).

При верховом пожаре распространение горения происходит по кронам деревьев. Скорость распространения верховых пожаров может достигать 25 км/ч. Быстрому развитию лесных верховых пожаров способствует ветер, достигающий скорости 6-12 м/с и более. При верховых пожарах возможно образование мощной конвекционной колонки (высотой до 5 км), за счет которой на высоту свыше 1 км поднимаются горящие угли. Выпадая на еще не горящие участки леса, они образуют новые очаги пожаров.

Важнейшими характеристиками лесных пожаров являются *скорость их распространения и высота пламени*.

По скорости распространения и степени воздействия на растительность лесные пожары подразделяются на беглые и устойчивые. При беглом пожаре фронт пламени распространяется «скачками», сгорает более сухой материал, большая часть площади остается не затронутой огнем. При устойчивом пожаре огонь «заглубляется»: прогорают корни и кора деревьев, сгорают валежник, сухостой, травяная подстилка.

По высоте пламени пожары делятся на слабые, средние и сильные. Скорость распространения слабого низового пожара не превышает 1 м/мин, среднего - от 1 до 3 м/мин, сильного - свыше 3 м/мин. Слабый верховой пожар имеет скорость до 3 м/мин, средний - до 100 м/мин, а сильный - свыше 100 м/мин.

Степные пожары. Эти пожары являются наиболее опасными в периоды устойчивой засушливой погоды. Скорость распространения пожара достигает 700 м/мин, так как трава и злаковые растения имеют малое сечение стебля, представляют собой тонкостенные полые трубки и легко воспламеняются. Наличие ветра также способствует увеличению скорости распространения пожара вследствие наклона факела пламени к еще не горящим материалам и из-за переноса искр.

Другой особенностью таких пожаров является сравнительно небольшая ширина фронта горения, что обусловлено малым запасом горючих материалов на единице горящей площади и высокой скоростью выгорания.

Иногда при таких пожарах образуются так называемые огненные смерчи, которые способствуют переходу огня через препятствия шириной до 12 м (реки, дороги, противопожарные полосы и др.). Степные пожары могут переходить в лесные, торфяные и вызывать пожары в близлежащих населенных пунктах.

В случае загорания стогов сена и соломы пламя быстро распространяется по их поверхности, а затем происходит процесс относительно медленного их выгорания (тления). Выгорание может интенсифицироваться при наличии ветра, так как увеличивается скорость притока воздуха к тлеющим поверхностям. Также возможен перенос ветром горящих частиц и увеличение площади пожара

Классификация лесных пожаров, общие закономерности их развития.

Лесной пожар - это пожар, распространяющийся по лесной площади.

С экологической точки зрения лесные пожары имеют как положительные, так и отрицательные стороны. Последствия пожаров многозначны: гибель древостоев, уничтожение ценной древесины, нарушение состояния растительных покровов, а на уровне экосистем - изменение состояния водосборных бассейнов, сукцессионные процессы. Опасность для человека связана не только с прямым действием огня, но также с резким повышением концентрации угарного газа, окиси углерода и снижением процента кислорода в атмосферном воздухе.

В зависимости от характера возгорания и состава леса лесные пожары подразделяются на:

- > ***низовой*** (лесной пожар, распространяющийся по нижним ярусам лесной растительности, лесной подстилке, опаду);
- > ***верховой*** (лесной пожар, охватывающий полог леса);
- > ***повальный*** (лесной пожар, охватывающий все компоненты лесного биогеоценоза);
- > ***ландшафтный*** (пожар, охватывающий различные компоненты географического ландшафта);
- > ***торфяной*** (лесной пожар, при котором горит торфяной слой заболоченных и болотных почв).

По интенсивности лесные пожары подразделяются на ***слабые, средние и сильные***. Интенсивность горения зависит от состояния и запаса горючих материалов, уклона местности, времени суток и особенно силы ветра.

По скорости распространения огня низовые и верховые пожары делятся на устойчивые и беглые. Скорость распространения слабого низового пожара не превышает 1 м/мин, сильного - свыше 3 м/мин. Слабый верховой пожар имеет скорость до 3 м/мин, средний - до 100 м/мин, а сильный - свыше 100 м/мин.

Высота слабого низового пожара до 0,5 м, среднего - 1,5 м, сильного - свыше 1,5 м. Слабым почвенным (подземным) пожаром считается такой, у которого глубина прогорания не превышает 25 см, средним - 25-50 см, сильным - более 50 см.

Время развития пожаров определяется временем прибытия сил и средств ликвидации пожара в лесопожарную зону.

Вопрос 8. Основные способы прекращения горения.

Прекращение горения любого вещества достигается путём физического или химического воздействия на реакцию горения, в результате чего происходит уменьшение количества выделяющегося тепла, снижение температуры горения и, в конечном счете, прекращение реакции. Прекращение горения достигается по нескольким механизмам. Исходя из этого, различают следующие механизмы прекращения горения: разбавление концентраций реагирующих веществ; изоляция реагирующих веществ; охлаждение реагирующих веществ; химическое торможение реакции горения.

На практике, часто совмещают одновременно несколько методов прекращения горения.

Прекращение горения путём разбавления концентрации реагирующих веществ основано на разбавлении воздуха или горючего вещества, поступающего в зону горения, негорючими веществами до тех пор, пока образующаяся в зоне реакции смесь станет негорючей. Условия прекращения горения в таком случае требуют, чтобы используемые для этой цели вещества были негорючими, низкотеплопроводными, обладать большой теплоемкостью и не поддерживать горения. К таким веществам относятся: азот, продукты сгорания, двуокись углерода, водяной пар.

Их можно вводить непосредственно в факел пламени, а также в объем помещения, где происходит горение.

Прекращение горения путём изоляции реагирующих веществ. В этом случае горючее вещество или зону горения отделяют от воздуха. Огнетушащие средства: твердые листовые материалы (войлок, асбест, металлические крышки и др.), негорючие сыпучие материалы (песок, тальк и др.), жидкие вещества (химическая и воздушно-механическая пена, воду в чистом виде и с добавками, повышающими ее вязкость и смачивающую способность), газообразные вещества (продукты сгорания, азот, двуокись углерода).

Тушение методом охлаждения реагирующих веществ - до такого состояния, когда выделяющиеся пары не в состоянии будут воспламениться. Условия прекращения горения, которое осуществляется огнетушащими средствами, состоят в их высокой теплоёмкости, величиной удельной

теплоты плавления и парообразования, способности равномерно распределяться на поверхности горящего вещества.

Сущность **прекращения горения химическим торможением реакции горения** заключается в том, что в воздух горящего помещения или непосредственно в зону горения вводятся такие огнетушащие вещества, которые вступают во взаимодействие с активными центрами реакции окисления, образуют с ними либо негорючие, либо менее активные соединения, обрывая тем самым цепную реакцию горения. Галоидированные углеводороды - особо активные вещества, оказывающие ингибирующее действие, т. е. тормозящее химическую реакцию горения. Наиболее широкое применение нашли составы на основе брома и фтора. Галоидированные углеводороды и огнетушащие составы на их основе имеют высокую огнетушащую способность при сравнительно небольших расходах. Огнетушащие порошки, которые подаются в горящие объемы в виде аэрозоля (т. е. порошок не покрывает горящую поверхность, а облако из него окружает зону горения), прекращают горение также путем химического торможения.

Вопрос 9. Огнетушащие средства.

Основные огнетушащие вещества - вода в жидком и парообразном состоянии, химическая и воздушно-механическая пена, водные растворы солей, инертные газы, галоидированные огнетушащие составы и сухие огнетушащие порошки.

Наиболее распространенным средством тушения пожаров является вода. Попадая в зону горения, вода нагревается и испаряется, отнимая большое количество теплоты от горящих веществ. При испарении воды образуется большое количество пара (из 1 л образуется больше 1700 л пара), который затрудняет доступ воздуха к очагу горения. Кроме того, сильная струя воды может сбить пламя, что облегчает тушение пожара.

Вода используется в виде компактных или распыленных струй, в тонкораспыленном состоянии (с размером капель 10 мкм) и со смачивателями. В виде компактных и распыленных струй из лафетных и ручных пожарных стволов вода применяется для тушения большинства твердых горючих веществ и материалов, тяжелых нефтепродуктов, для создания водяных завес и охлаждения объектов, находящихся вблизи очага пожара (рис. 1).



Рис. 1. Тушение пожара компактной струей воды.

Тонкораспыленной водой эффективно тушатся твердые вещества и материалы, горючие и легковоспламеняющиеся жидкости. При этом снижается расход воды, минимально увлажняются и портятся материалы, снижается температура в горящем помещении и осаждается дым (рис. 2).



Рис. 2. Оросители для создания тонкораспыленных водных струй.

Для тушения веществ, плохо смачиваемых водой (например, хлопка, торфа), в воду для уменьшения ее поверхностного натяжения вводят специальные смачиватели.

Водяной пар применяют для тушения пожаров в небольших по объему помещениях объемом и пожаров на открытых площадках и установках. Пар увлажняет горящие предметы и снижает концентрацию кислорода.

Пена представляет собой массу пузырьков газа, заключенных в тонкие оболочки жидкости. Растекаясь по поверхности горячей жидкости, пена изолирует ее от пламени, вследствие чего прекращается поступление паров в зону горения. В связи с тем, что в пене содержится вода, происходит некоторое охлаждение поверхности жидкости.

Применяют два вида пены: химическую и воздушно-механическую. Химическую пену получают при взаимодействии щелочного и кислотного

растворов в присутствии специальных веществ - пенообразователей, при этом образуется углекислый газ. Пузырьки газа обволакиваются водой с пенообразователем, в результате создается устойчивая пена, которая может долго оставаться на поверхности жидкости. Воздушно-механическая пена представляет собой смесь воздуха, воды и пенообразователя. Пену используют для тушения легковоспламеняющихся жидкостей (рис. 3).



Рис. 3. Применение воздушно-механической пены.

Инертные газы, главным образом углекислота и азот, понижают концентрацию кислорода в очаге горения и тормозят интенсивность горения. Их целесообразно использовать в тех случаях, когда применение воды может вызвать взрыв, распространение горения, повреждение аппаратуры и приборов и уникальных ценностей (в музеях и др.). Они плохо тушат вещества, способные тлеть (дерево, бумагу), и не тушат волокнистые материалы (хлопок, ткани и др.).

Углекислота - незаменимое средство для быстрого тушения небольших очагов пожара, а также вследствие своей неэлектропроводности для тушения загоревшихся электродвигателей и других электротехнических установок.

Порошковые составы применяют для тушения легковоспламеняющихся жидкостей, сжиженных газов и др. Огнегасящее действие их основано на изоляции горящего материала от доступа кислорода воздуха или изоляции паров или газов от зоны горения. Отрицательным свойством таких порошков является то, что они не охлаждают горящие вещества и те могут повторно воспламениться от нагретых конструкций. Применение порошковых составов ограничено ввиду их сравнительно небольшой огнетушащей эффективности, кроме того, при хранении они слеживаются. Однако порошки нашли широкое применение в огнетушителях.

Список литературы:

1. ГОСТ Р 53554-2009 «Поиск, разведка и разработка месторождений углеводородного сырья. Термины и определения».
2. Учебное пособие: Физико-химические основы развития и тушения пожара: учеб. пособие / И.И. Рашоян. - Тольятти: Изд-во ТГУ, 2013. - 107 с.
3. Андросов А.С., Салеев Е.П. Примеры и задачи по курсу «Теория горения и взрыва». - М., 2008.
4. Тимофеева С.С., Дроздова Т.И., Плотникова Г.В., Гольчевский В.Ф. Физико-химические основы развития и тушения пожаров: учеб. пособие. - Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013. - 178 с
5. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».
6. Курбатский Н.П. О классификации лесных пожаров // Лесн. хоз- во. - 1970. - №3. - С. 68-73.