

ГОРЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ

Потребление жидкого топлива в мировом хозяйстве достигает в настоящее время гигантских масштабов и продолжает неуклонно расти. Это приводит к постоянному развитию нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности.

Жидкое топливо превратилось в настоящее время в важнейшее стратегическое сырье, и это обстоятельство приводит к необходимости создания громадных его запасов. Обеспечение пожарной безопасности при добыче, транспортировке, переработке и хранении жидкого топлива является важнейшей задачей органов пожарной охраны.

Воспламенение жидкости

Важнейшим свойством жидкости является ее способность к испарению. В результате теплового движения часть молекул, преодолевая силы поверхностного натяжения жидкости, переходит в газовую зону, образуя над поверхностью ЛВЖ, ГЖ паровоздушную смесь. За счет броуновского движения в газовой зоне имеет место и обратный процесс — конденсация. Если объем над жидкостью замкнутый, то при любой температуре жидкости устанавливается динамическое равновесие между процессами испарения и конденсации.

Таким образом, над поверхностью (зеркалом) жидкости всегда существует паровоздушная смесь, которая в состоянии равновесия характеризуется давлением насыщенных паров жидкости или их концентрацией. С ростом температуры давление насыщенных паров возрастает согласно уравнению Клайперона-Клаузиуса:

$$p = p_0 e^{-\frac{Q_{\text{исп}}}{RT^2}},$$

где $p_{\text{нп}}$ — давление насыщенного пара, Па;

$Q_{\text{исп}}$ — теплота испарения — количество тепла, необходимое для перевода в парообразное состояние единицы массы жидкости, кДж/моль;

T — температура жидкости, К.

Из (7.1) следует, что с увеличением температуры жидкости давление насыщенных паров (или их концентрация) возрастают экспоненциально (рис. 7.1). Таким образом, для любой жидкости всегда существует такой интервал температур, при котором концентрация насыщенных паров над зеркалом будет находиться в области воспламенения, т. е. НКЛВ < $\phi_{\text{н}}$ < ВКПВ

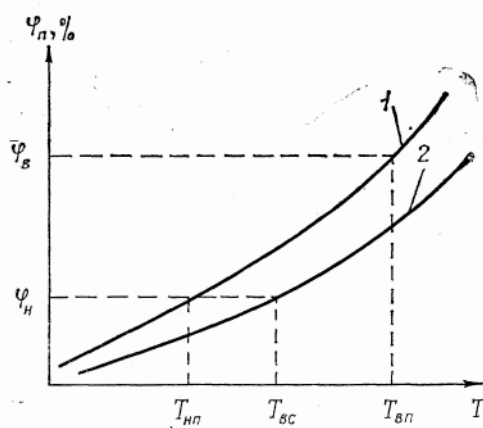


Рис. 7.1. Изменение концентрации паров над жидкостью от ее температуры
1 — концентрация насыщенных паров; 2 — концентрация ненасыщенных паров

При наличии источника зажигания такая смесь будет способна к воспламенению. При наличии источника зажигания такая смесь будет способна к воспламенению.

Под температурой вспышки понимают наименьшую температуру жидкости, при которой над ее поверхностью в условиях специальных испытаний образуется концентрация паров жидкости, способная к воспламенению от источника зажигания, но скорость их образования недостаточна для последующего горения. Таким образом, как при температуре вспышки, так и при нижнем температурном пределе воспламенения над поверхностью жидкости образуется нижний концентрационный предел воспламенения, однако в последнем случае НКПВ создается насыщенными парами. Поэтому температура вспышки всегда несколько выше, чем НТПВ (см. рис. 7.1). Хотя при температуре вспышки имеет место кратковременное воспламенение паров в воздухе, которое не способно перейти в устойчивое горение жидкости, тем не менее, при определенных условиях вспышка паров жидкости способна явиться источником возникновения пожара.

Кроме температуры вспышки, различают еще температуру воспламенения. Это наименьшая температура жидкости, при которой после воспламенения паров от источника зажигания устанавливается стационарное горение.

Существенная зависимость температур вспышки и воспламенения от условия эксперимента вызывает определенные трудности при создании расчетного метода оценки их величин. Одним из наиболее распространенных из них является полуэмпирический метод, предложенный В.И. Блиновым:

$$T_{\text{вс}} = \frac{B}{D_0 n p_{\text{вс}}} , \quad (7.2)$$

где $T_{\text{вс}}$ — температура вспышки (воспламенения), К;

$p_{\text{вс}}$ — парциальное давление насыщенного пара жидкости при температуре

вспышки (воспламенения), Па;

D_0 — коэффициент диффузии паров жидкости, $\text{м}^2/\text{с}$;

n — количество молекул кислорода, необходимое для полного окисления одной молекулы горючего;

B — константа метода определения.

Рекомендуется при расчете температуры вспышки в замкнутом сосуде принимать $B=28$, в открытом сосуде $B=45$, при расчете температуры воспламенения $B = 53$.

Распространение пламени по поверхности жидкости.

Анализ влияния условий горения на скорость распространения пламени

Свойство пламени к самопроизвольному распространению имеет место не только в случае горения смесей горючих газов с окислителем, но и при горении жидкостей и твердых веществ. При локальном воздействии тепловым источником, например открытым пламенем, жидкость будет прогреваться, возрастет скорость испарения и при достижении поверхностью жидкости температуры воспламенения в месте воздействия источника произойдет зажигание паровоздушной смеси и установится устойчивое пламя, которое затем с определенной скоростью будет распространяться по поверхности холодной жидкости.

Рассмотрим движущую силу распространения процесса горения и его механизм.

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

Основную роль в этом по современным представлениям играет теплоизлучение от пламени. Пламя, обладая высокой температурой (более 1000°C), способно, как известно, излучать тепловую энергию. Согласно закону Стефана-Больцмана, интенсивность лучистого теплового потока, отдаваемого нагретым телом, определяется соотношением:

$$Q_{\phi} = \varepsilon \times \sigma \times (T_{\phi}^4 - T_{\text{ж}}^4)$$

где ε - степень черноты,

σ - постоянная Стефана - Больцмана, $= 2079 \times 10^{-7} \text{ кДж}/(\text{м}^2 \text{ ч К}^4)$

T_{ϕ} , $T_{\text{ж}}$ - t факела и поверхности жидкости, К

Это тепло расходуется на испарение (q^1) и прогрев (q^{11}) жидкости в глубину.

$$Q_{\phi} = q^1 + q^{11} = r \times \rho \times W + \rho \times U \times (T_{\text{ж}} - T_0) \times c, \quad \text{где}$$

r - теплота испарения, кДж/г
 ρ - плотность, г/см³
 W - линейная скорость выгорания, мм/ч
 U - скорость прогрева в глубину, мм/ч
 T_0 - начальная т-ра жидкости, К
 c - удельная теплоёмкость жидкости, Дж/(г К)

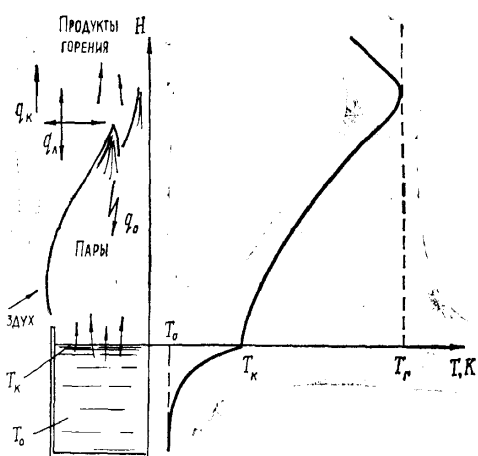
Максимальная температура жидкости равна t её кипения.

В установившемся процессе горения наблюдается равновесие между скоростью испарения и скоростью выгорания.

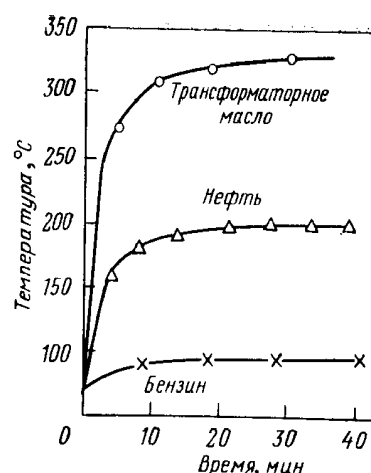
Верхний слой жидкости нагревается до более высокой температуры, чем нижние. Температура у стенок выше, чем в середине резервуара.

Таким образом, скорость распространения пламени по жидкости, т. е. путь, пройденный пламенем в единицу времени, определяется скоростью прогрева поверхности жидкости, под воздействием лучистого теплового потока от пламени, т. е. скоростью образования горючей паровоздушной смеси над зеркалом жидкости.

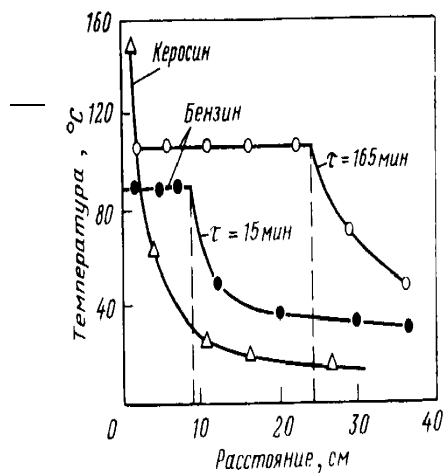
Характер распределения температур зависит от рода жидкости и условий горения. Для жидкостей, у которых скорость выгорания меньше скорости прогрева (нефть, бензин, мазут), примерно через 10 минут формируется изотермический слой, толщина которого со временем постепенно увеличивается до определённой величины.



Распределение температуры (поле температур) при горении жидкости
 T_0 - начальная температура;
 T_k - температура кипения;
 T_g — температура горения.



Изменение температуры поверхностного слоя жидкости во времени.



Распределение температуры в глубину для керосина и бензина в зависимости от расстояния от поверхности.

Вода резко снижает температуру кипения нефти, мазута. При горении нефти, содержащей воду, происходит вскипание воды, что приводит к переливанию горячей жидкости через борт резервуара (т.наз. вскипание горячей жидкости).

Над поверхностью же открытого резервуара концентрация паров по высоте будет различной: у поверхности она будет максимальной и соответствовать концентрации насыщенного пара при данной температуре, а по мере подъема над поверхностью постепенно снижается вследствие конвективного и молекулярного уноса (рис, 7.3).

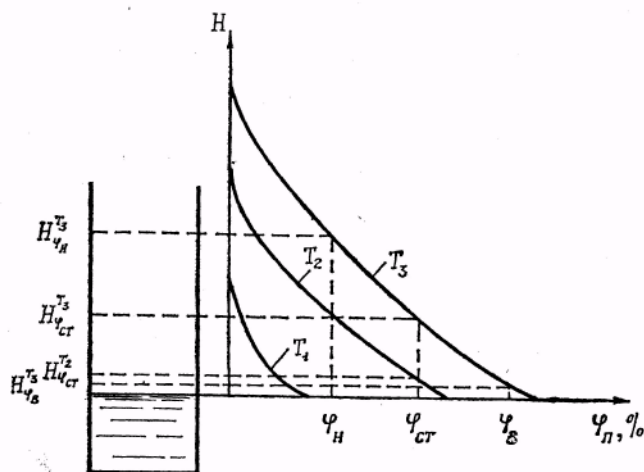


Рис. 7.3. Изменение концентрации паров жидкости по высоте над ее зеркалом
 φ_H , $\varphi_{кр}$, $\varphi_{с}$ — соответственно НКПВ, ВКПВ и стехиометрическая концентрация паров жидкости в воздухе; T_1 , T_2 и T_3 — начальные температуры жидкости ($T_1 < T_2 < T_3$); $H_{кр}$ — высота над зеркалом жидкости, на которой создается стехиометрическая концентрация

Таким образом, над поверхностью зеркала жидкости в открытом резервуаре при любой начальной температуре жидкости выше, чем $T_{см}$, будет находиться область, в которой концентрация паров в воздухе будет стехиометрической. При температуре жидкости T_2 эта концентрация будет находиться на высоте H_y от поверхности жидкости, а при температуре T_3 , большей T_2 , — на расстоянии $H^3_{ст}$. При температуре, близкой к температуре вспышки жидкости T_B распространение пламени по поверхности жидкости будет равной скорости его распространения по смеси паров в воздухе, на НКПВ, т. е. 3-4см/с. При этом фронт пламени будет расположен у поверхности жидкости. При дальнейшем увеличении начальной температуры скорость распространения пламени по жидкости будет возрастать аналогично изменению нормальной скорости распространения пламени по паровоздушной смеси с увеличением ее концентрации.

Скорость выгорания жидкостей, влияющие факторы.

При определённой температуре, выше $t_{вс}$, раз подожжённая жидкость продолжает гореть после удаления источника зажигания. Такая минимальная температура называется температурой воспламенения ($t_{вос}$). Для ЛВЖ она выше $t_{вс}$ на 1-5 °С, для ГЖ - на 30-35 °С.

Линейная скорость выгорания - высота столба жидкости, выгорающая в единицу времени :

$$G_r = \frac{h_{ж}}{\tau_r} \quad \left(\frac{мм}{с} \right)$$

Массовая скорость выгорания - масса жидкости, выгорающая в единицу времени с единицы площади поверхности :

$$W_z = \frac{m_{ж}}{S_r \times \tau_r} \quad \left(\frac{г}{м^2 \times с} \right)$$

Между линейной и массовой скоростями горения существует зависимость :

$$W_z = \rho \times G_z$$

(следует следить за размерностями величин и при необходимости вводить поправочный коэффициент).

Прогрев жидкости по глубине. Нагрев поверхности жидкости лучистым потоком от пламени сопровождается передачей тепла вглубь ее. Этот теплоперенос осуществляется в основном теплопроводностью и ламинарной конвекцией за счет движения нагретых и холодных слоев жидкости. Прогрев жидкости теплопроводностью осуществляется на небольшую глубину (2-5 см) и может быть описан уравнением вида

$$T_x - T_0 = (T_k - T_0) e^{-\kappa x},$$

где T_x — температура слоя жидкости на глубине x , К;

T_k — температура поверхности (температура кипения), К; κ — коэффициент пропорциональности, м⁻¹—К

Этот тип температурного поля называется распределением температуры первого рода .

Ламинарная конвекция возникает в результате различной температуры жидкости у стенок резервуара и в его центре, а также вследствие фракционной разгонки в верхнем слое при горении смесей. Дополнительная передача тепла от нагретых стенок резервуара к жидкости приводит к прогреву ее слоев у стенок до более высокой температуры, чем в центре. Более нагретая у стенок жидкость (или даже пузырьки пара в случае ее перегрева у стенок выше температуры кипения) поднимается вверх, что способствует интенсивному перемешиванию и быстрому прогреву слоя жидкости на большую глубину. Образуется так называемый гомотермический слой, т. е. слой с практически постоянной температурой, толщина которого растет во времени горения. Такое температурное поле называют распределением температуры второго рода (рис. 7.7). Образование гомотермического слоя возможно также и в результате фракционной перегонки приповерхностных слоев смесей 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.

Определяющее влияние перегрева жидкости у стенок резервуара на формирование гомотермического слоя подтверждают следующие экспериментальные данные. При горении бензина в резервуаре диаметром 2,64 мм без охлаждения стенок приводило к достаточно быстрому образованию гомотермического слоя. При интенсивном охлаждении стенок прогрев жидкости на глубину осуществлялся главным образом теплопроводностью и в процессе всего времени горения имело место распределение температуры первого рода. Установлено, что чем выше температура кипения жидкости (дизельное топливо, трансформаторное масло), тем труднее образуется гомотермический слой. При их горении температура стенок резервуара редко превышает температуру кипения. Однако при горении влажных высококипящих нефтепродуктов вероятность образования гомотермического слоя также высока. При прогреве стенок резервуара до 100°С и выше образуются пузырьки водяного пара, которые, устремляясь вверх, вызывают интенсивное перемешивание всей жидкости и быстрый прогрев в глубину. Возможность образования достаточно толстого

гомотермического слоя при горении влажных нефтепродуктов чревата явлениями вскипания и выброса жидкости.

Исходя из рассмотренных выше представлений о механизме выгорания жидкости, проанализируем влияние некоторых факторов на массовую скорость.

Скорость выгорания зависит от : рода жидкости, температуры, диаметра резервуара, уровня жидкости, скорости ветра .

Для горелок малых диаметров скорость сгорания сравнительно велика. При увеличении диаметра скорость сначала снижается из-за нагрева от стенок, затем возрастает, т.к. ламинарное горение переходит в турбулентное и остаётся постоянным при диаметрах ≥ 2 м.

При турбулентном горении ниже полнота горения (появляется копоть), увеличивается тепловой поток от пламени, быстрее отводятся пары, увеличивается скорость испарения.

При снижении уровня жидкости затрудняются процессы тепломассопереноса (отток продуктов горения, приток окислителя, пламя удаляется от поверхности жидкости), поэтому скорость горения падает и при определённом расстоянии жидкости от верхнего борта резервуара (критическая высота самотушения) горение становится невозможным. Критическая высота самотушения при $\varnothing = 23$ м равна 1 км (реальная высота резервуара= 12 м).

Оценив доли тепла от общего тепловыделения при горении жидкости, которая затрачивается на ее подготовку следует, что менее 2% от общего тепловыделения при горении жидкости затрачивается на поставку ее паров в зону горения. В момент установления процесса выгорания температура поверхности жидкости резко возрастает от температуры воспламенения до температуры кипения, которая в дальнейшем по мере выгорания остается неизменной. Однако это справедливо только для индивидуальных жидкостей. В процессе горения смеси жидкостей, имеющих разную температуру кипения (бензины, нефть и т. д.), происходит как бы их фракционная перегонка. Вначале происходит выход легкокипящих фракций, затем всех более высококипящих. Этот процесс сопровождается постепенным (квазистационарным) повышением температуры на поверхности жидкости. Влажное горючее может быть представлено как смесь двух жидкостей (горючее + вода), в процессе горения которых происходит их фракционная разгонка. Если температура кипения горючей жидкости меньше температуры кипения воды (100°C), то происходит преимущественное выгорание горючего, смесь обогащается водой, скорость выгорания снижается и, наконец, горение прекращается. Если температура кипения жидкости больше 100°C , напротив, вначале преимущественно

испаряется влага, концентрация ее снижается: скорость выгорания жидкости возрастает, вплоть до скорости горения чистого продукта (рис. 7.11).

Влияние скорости ветра. Как правило, с повышением скорости ветра скорость выгорания жидкости увеличивается. Ветер интенсифицирует процесс смешения горючего с окислителем, повышая температуру пламени и приближая пламя к поверхности горения.

Все это повышает интенсивность теплового потока, поступающего на нагрев и испарение жидкости, следовательно, приводит к росту скорости выгорания. При большей скорости ветра пламя может срываться, что приведет к прекращению горения. Так, - например, при горении тракторного керосина в резервуаре диаметром 3'М наступал срыв пламени при достижении скорости ветра 22 м-с^{-1} .

Влияние концентрации кислорода в атмосфере. Большинство жидкостей не способны к горению в атмосфере с содержанием кислорода менее 15%. С повышением концентрации кислорода выше этого предела скорость выгорания возрастает (рис. 7.12). В атмосфере, обогащенной кислородом, горение жидкости протекает с выделением большого количества сажи в пламени и наблюдается интенсивное кипение жидкой фазы. Для многокомпонентных жидкостей (бензин, керосин и т. п.) температура поверхности с увеличением содержания кислорода в окружающей среде возрастает (рис. 7.13).

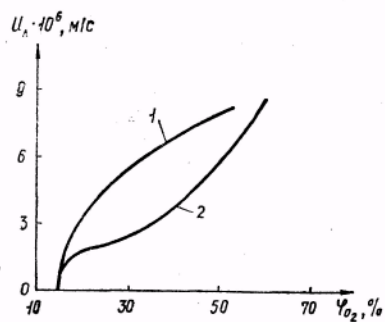


Рис. 7.12. Зависимость скорости выгорания жидкости от содержания кислорода в атмосфере
1 — бензин; 2 — дизельное топливо

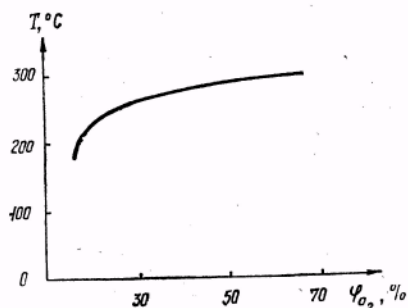


Рис. 7.13. Изменение температуры поверхности дизельного топлива в атмосфере с различным содержанием кислорода

Повышение скорости выгорания и температуры поверхности жидкости с ростом концентрации кислорода в атмосфере обусловлено увеличением излучающей способности пламени в результате роста температуры горения и высокого содержания сажи в нем.

5 ГОРЕНИЕ ТВЁРДЫХ ВЕЩЕСТВ И ПЫЛЕЙ

5. 1 Основные показатели пожарной опасности для твердых веществ и материалов.

На пожарах чаще всего встречается горение твёрдых веществ и материалов. Большинство из них - органические соединения, в состав молекул которых входят атомы углерода, водорода, кислорода, азота, реже - хлора, фтора, кремния, металлов. Органические вещества широко используются в народном хозяйстве и быту: древесина, бумага, хлопок, ткани, резинотехнические изделия, пластмассы, синтетические волокна, продукты питания и т.п. Из неорганических могут гореть: металлы, сера, фосфор и др.

Для оценки пожарной опасности всех твёрдых веществ и материалов используют следующие показатели: группа горючести; температура самовоспламенения; температура воспламенения; способность взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и др. веществами; токсичность продуктов разложения и горения; характер взаимодействия с огнетушащими средствами и др. (см. стр. 53).

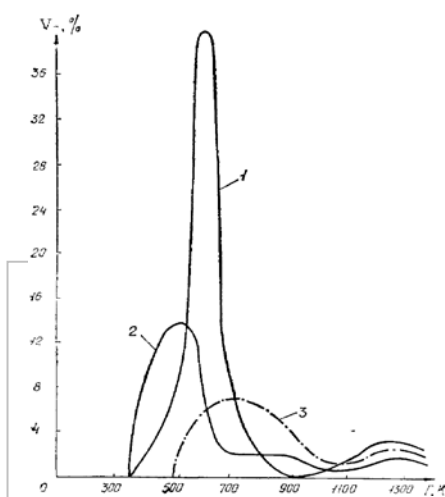
На пожарную опасность материалов могут влиять не только их состав, но и размеры (раздробленность), скученность, способность к тлению, склонность к электризации, состояние поверхности, соотношение с окислителем, увлажнение, наличие примесей и т.д.

Температура воспламенения - наименьшая температура горючего

вещества, при которой в условиях специальных испытаний вещество выделяет горючие пары или газы с такой скоростью, что после их зажигания возникает устойчивое горение.

Химическому взаимодействию горючего и окислителя, которое протекает обычно в газовой зоне, предшествует смешение этих компонентов за счёт процессов молекулярной и конвективной диффузии. Размеры и форма пламени формируются расходом газов.

Переход в газообразное состояние твердых веществ при нагревании и горении в значительной степени зависит от их физико-химических свойств. Это может быть: испарение без образования жидкой фазы (нафталин, уротропин); плавление, затем - испарение (парафин, металлы, сера, фосфор); плавление, затем - разложение (полимеры); однако чаще всего происходит разложение из твёрдого состояния (уголь, древесина и др.



Зависимость относительного выхода летучих продуктов пиролиза твердых веществ от температуры

- 1 — древесина;
- 2 — торф;
- 3 — каменный уголь

целлюлозосодержащие вещества, некоторые полимеры).

Состав продуктов разложения зависит от состава горючего и его температуры: при низких преобладает CO_2 и водяной пар, скорость их выхода невелика. При более высоких температурах образуются горючие газы - водород, метан и др. углеводороды, пары спиртов, HCN и др., скорость их выхода возрастает.

Таким образом, газообразные продукты при нагревании твёрдых веществ образуются в определённом интервале температур и с переменной скоростью, причём при разложении разных горючих материалов выделяется различное количество газообразных продуктов.

Состав продуктов горения зависит от состава горючего и условий горения:

при низких температурах и (или) недостатке окислителя, высоком

содержании углерода в горючем - образуются продукты неполного

горения.

5.2 Скорость выгорания

Скорость выгорания определяет интенсивность тепловыделения на пожаре, а, следовательно, температуру пожара, интенсивность его развития и другие параметры.

Для твёрдых материалов различают:

1. Удельная массовая скорость выгорания - масса вещества, сгорающая в единицу времени с единицы площади горения. Она не зависит от величины поверхности вещества.
2. Приведенная массовая скорость выгорания - масса вещества, сгорающая в единицу времени с единицы площади пожара (т.е. проекции поверхности горения на горизонтальную или др. поверхность). Средние показатели скорости выгорания (в кг/м^2 мин): бумага разрыхлённая - 0,48; древесина (конструкции, мебель) - 0,84; пиломатериалы в штабеле - 7-8; резина - 0,67; текстолит - 0,4; хлопок разрыхлённый - 0,24.
3. Скорость распространения горения - перемещение фронта пламени по поверхности вещества за единицу времени. Различают: по вертикали вверх, вниз и по горизонтали.
4. Скорость распространения пожара - перемещение фронта пламени по поверхности вещества с учётом разрывов между скоплениями горючих материалов. Средние показатели скорости в м/мин: бумага в рулонах - 0,27 м/мин; резина - 1,1; каучук - 0,4; текстиль - 0,38; штабели досок - 4,0.

Процесс распространения пламени по поверхности твёрдых веществ протекает за счёт передачи части тепла, выделяющегося в зоне пламени, к поверхности горящего материала с помощью излучения, конвекции и теплопроводности. В зависимости от условий горения соотношение количеств тепла, поступающих этими видами теплопередачи, может быть различным. Это обстоятельство и является одной из главных причин зависимости скорости выгорания от условий горения.

На любую из скоростей влияют : вид материала, состояние его поверхности, размеры, раздробленность, влажность, температура, состав воздуха, приток окислителя (ветер), направление горения (с учётом анизотропии).

5. 3 *Состав и строение целлюлозосодержащих материалов, их поведение при горении.*

К целлюлозосодержащим материалам относятся: древесина, хлопок, солома, торф, х/б ткани, бумага и изделия из них.

В химический состав древесины входят: С-42-46%; О-38-47%; Н-4-6%, а также влага и зола (до 8%). Эти материалы имеют пористое строение, поры (от 57% по объёму у дуба до 72% у ели) заполнены воздухом. Поэтому расход воздуха на их горение невелик, они имеют способность к тлению.

Сгорание на открытом воздухе - как правило, полное. Из-за пористого строения древесина имеет низкую теплопроводность, поэтому достаточно быстро воспламеняется и медленно прогревается в глубину.

При воздействии источника зажигания быстро нагревается тонкий поверхностный слой, в котором быстро испаряется влага и начинается разложение. В продуктах разложения до 250 °С содержатся в основном вода H_2O и углекислый газ CO_2 , выше - появляются оксид углерода CO , водород H_2 , метан CH_4 , этилен C_2H_4 , пары уксусной кислоты CH_3COOH , метилового спирта CH_3OH и др., которые способны гореть.

Температура воспламенения древесины (зависит от вида и состояния древесины) примерно равна 230-260 °С. По мере разложения и выгорания древесины на её поверхности образуется слой древесного угля толщиной до 2,5 см, прогретого до 500-700 °С, древесина под ним нагревается до 300 °С и

разлагается. Пары, проходя сквозь поры угля, продолжают гореть вместе с образующимся углем.

Т.е. горение древесины состоит из двух фаз: гомогенное горение газообразных продуктов разложения и гетерогенного горения древесного угля. Особенно опасна первая фаза, т.к. она сопровождается выделением высоконагретых продуктов разложения и горения и интенсивным излучением от пламени.

Примерно так же ведут себя при горении и другие целлюлозосодержащие материалы.

Разложение целлюлозосодержащих материалов сопровождается

выделением тепла, поэтому при малой скорости теплоотвода возможно их

самонагревание вплоть до возникновения горения, поэтому надо следить,

чтобы в больших массах (при плотной укладке) не происходил нагрев

выше 100 °С.

Несколько отличаются аналогичные показатели для хлопка и торфа.

Торф начинает разлагаться уже при 100 - 105 °С, заметное разложение протекает при 150 °С, температуры: воспламенения - 210 °С, самовоспламенения - 407 °С; для хлопка-сырца температуры: самонагревания - 60 °С, тления - 205 °С.

Хлопок и торф содержат наибольшее количество пор, в связи с чем очень легко воспламеняются от источников с очень малым запасом энергии (даже от искры, образованной при трении упаковочной проволоки), способны продолжать тлеть за счет кислорода, содержащегося в химическом составе и порах, поэтому тушение изолирующими средствами не даёт полной гарантии. При тушении приходится разбивать и растаскивать тюки, добавлять в воду смачиватели для большего эффекта проникновения воды вглубь. После ликвидации пламенного горения следует убедиться в полной невозможности возобновления горения из-за возможных очагов тления.

Хлопок легко самовозгорается при контакте с сильными окислителями : азотной и серной кислота и др. Загрязнённый отходами, семенными коробочками, влажный хлопок способен самовозгораться на воздухе, высушенный и связанный в тюки (как при перевозке) - нет. Торф способен самовозгораться в местах залежей при длительно стоящей сухой и жаркой погоде, а также свежедобытый (см. стр. 30).

Пыль взрывоопасна.

5. 4 Особенности горения и тушения металлов.

На поверхности многих металлов образуются твёрдые оксиды, препятствующие окислению. Некоторые способны гореть только в

измельченном виде (Fe, Al, Zn, Sn).

Металлы **Li, K, Na, Mg, Ca** по способности к горению относятся к летучим. Они имеют температуру плавления оксида выше, чем температуру плавления самого металла, поэтому на поверхности жидкого металла может находиться твёрдая пористая корочка оксида, через которую проникают пары металла, способного к окислению. Благодаря этому летучие металлы сгорают полностью, горение сопровождается образованием плотного белого дыма, происходит разбрызгивание горящего металла. **Mg, Ca** способны самовозгораться при взаимодействии с водой в горячем состоянии, **Li, K, Na** - даже в холодном.

Для нелетучих металлов характерны высокие температуры плавления (выше 1000 K) и кипения (выше 1500 K), образующиеся при высоких температурах оксиды находятся в жидком состоянии и не дают продолжаться горению. Поэтому они могут гореть в состоянии порошков, тонкой проволоки, стружки, или в условиях очень высоких температур, без образования дыма.

Вода при температурах выше 1700 °C разлагается на водород и кислород, образуя гремучую смесь (возможен взрыв), поэтому её нельзя подавать на раскалённые поверхности.

При тушении металлов не допускается использовать пену, воду и др. средства на её основе. CO₂, порошки общего назначения, хладоны не дают эффекта. Следует использовать специальные порошки: ПС, МГС, РС, ПГС-М, объёмное тушение аргоном, комбинированным составом (N₂ + CO₂).

5. 5 Особенности горения и тушения полимеров.

К полимерам относятся: пластмассы, каучуки, синтетические волокна и изделия из них. Это высокомолекулярные вещества с молекулярной массой от 10000 до нескольких миллионов, молекулы состоят из многократно повторяющихся одинаковых звеньев.

Под воздействием кислорода воздуха, тепла, воды, кислот, щелочей и др.

полимеры изменяют свои свойства и теряют прочность. Устойчивость

полимеров зависит от их строения и состава. Различные добавки

(наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, отвердители, смазки,

красители и пигменты) позволяют замедлить старение, придать полимерам

необходимые свойства. Негорючие добавки снижают пожарную опасность

полимеров.

По отношению к нагреванию полимеры делятся на термопластичные

(плавящиеся) и термореактивные (неплавкие и нерастворимые). Последние являются менее пожароопасными, выдерживают без изменения прочности достаточно высокие температуры, некоторые из них даже негорючие. При нагревании полимеры разлагаются либо сразу из твёрдого состояния, либо в процессе плавления (при 120-150 °С и выше). Большинство полимеров при нагревании плавится и в процессе горения образует на горизонтальной поверхности жидкий слой толщиной 6-8 мм. С вертикальных и наклонных поверхностей жидкость стекает, распространяя горение на значительное расстояние.

Продукты разложения токсичны, могут образовывать взрывоопасные смеси. Полимеры отличаются высоким содержанием углерода (63-89%), большинство из них не содержит кислорода, поэтому при горении расходуется большой объём воздуха (10-12 м³/кг), образуется сажа и др. продукты неполного горения, часто токсичные: CO, H₂S, HCN, NH₃, др. соединения азота, HCl, альдегиды и др. В связи с этим при тушении личный состав должен использовать изолирующие противогазы.

Пламя обычно светящее, часто сильно коптящее. Пыли часто

взрывоопасны.

Рекомендуемые средства тушения: вода, лучше со смачивателями, воздушно-механическая пена, порошок ПФ.

Ниже приведены некоторые показатели пожарной опасности для отдельных полимеров.

ПЛАСТМАССЫ

Пластическими массами называют материалы на основе полимеров,

содержащие различные добавки, и способные под влиянием температуры и

давления формоваться, становиться пластичными. Пластмассы широко

применяют в различных отраслях народного хозяйства и в быту.

а) Термопластичные полимеры (полиэтилен, полистирол, оргстекло, поливинилхлорид и др.) получают полимеризацией, под действием источника зажигания они плавятся, разлагаются; продукты разложения образуют с воздухом горючие смеси. В составе продуктов разложения могут находиться синильная кислота HCN, оксид углерода CO, оксиды азота NO, NO₂, хлористый водород HCl и др. токсичные соединения.

Температура воспл. пластмасс выше 200 °С, температура сам. - выше 400 °С, теплота сгорания - более 31500 кДж/кг, температура горения - до 1300 °С, пыли - взрывоопасны. Плохо смачиваются водой, поэтому при тушении желательно применять смачиватели.

б) термореактивные полимеры на основе фенолформальдегидных и меламиноформальдегидных смол получают поликонденсацией. Они, как правило, более устойчивы к действию химических реактивов, воды, высоких температур. Температура воспламенения выше 350 °С, температура самовоспламенения - выше 490 °С, теплота сгорания - более 22400 кДж/кг, пыли - взрывоопасны. Прессованием с добавкой наполнителей получают облицовочные плиты, стеклопластики, текстолит, электроустановочные изделия, ДВП, ДСП и др. При горении выделяется большое количество токсичных продуктов разложения (оксиды углерода и азота).

СИНТЕТИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА

Качество натуральных волокон (хлопка, льна, пеньки, шерсти, шёлка, асбеста) и объём их производства не всегда удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям, поэтому в настоящее время в различных отраслях промышленности широко используются искусственные и синтетические волокна. Их производство более экономично, не зависит от природно-климатических условий, можно получать волокна с заданными свойствами.

Синтетические волокна получают прядением из раствора или расплава полимера, продавливая его через мелкие отверстия – фильеры. При последующей обработке (вытягивании, скручивании, термофиксации) волокну придают определённые физико – механические свойства. Волокна и изделия из них при нагревании плавятся, могут растекаться.

Капрон - наиболее распространён. Химически нестоек. Основное применение - шинная промышленность (корд), транспортёрные ленты, приводные ремни, рукава, верёвки, рыболовные снасти и т.д. (температуры плавления - 208-215 °С, разложения - 300 °С, воспламенения - 395 °С, $Q_{\text{сгор}}$ - 31206 кДж/кг),

Лавсан - химически устойчив, высоко прочный, стоек термически, хороший диэлектрик, изделия не сминаемы. По свойствам близок к шерсти. Применяют для изготовления шлангов для нефтепродуктов, пожарных рукавов, корда, транспортёрных лент, ремней, как заменитель шерсти и добавки к ней в тканях. (температуры: воспл. - 390 °С, сам. - 440 °С, $Q_{\text{сгор}}$ - 22638 кДж/кг),.

Нитрон - негигроскопичен, очень прочен, упруг и эластичен, светостоек, химическая стойкость - между капроном и лавсаном. Похож на шерсть. Применяют для изготовления тканей, верхнего трикотажа, спецодежды, технических изделий (шланги). (температура плав. - 220-230

°С, разлож. - 220-230 °С, воспл. - 200 °С, сам. - 505 °С, $Q_{\text{сгор}}$ - 30828 кДж/кг),

Хлорин - стоек к действию кислот и щелочей, большинству растворителей, кроме ацетона, альдегидов и кетонов. Относится к трудно сгораемым материалам. Изготавливают фильтры, спецодежду, лечебное бельё, (температура плав. - выше 70 °С, разлож. - 180 °С, воспл. - 200 °С, сам. - 540 °С, $Q_{\text{сгор}}$ - 12130 кДж/кг),

КАУЧУКИ:

Натуральный - производят из сока тропического дерева ГЕВЕЯ. По химическому составу - смесь высокомолекулярных непредельных углеводов. Высокоэластичное смолоподобное вещество светло-коричневого цвета. Хорошо растворяется во многих органических растворителях: бензоле, толуоле, эфирах и др. Широко используется в автомобилестроении, авиастроении, в военной технике для производства шин самолётов, большегрузных автомобилей. (температуры: плав.- 120 °С, разлож.- 250 °С, воспл.- 129 °С, сам. - 275, горения- 1500-1700, $Q_{\text{сгор}}$ - 44768 кДж/кг). Пламя- яркое, коптящее, с большим тепловым излучением. При горении разбрызгиваются горящие капли, каучук плавится и растекается, образуя подвижную среду, увеличивая площадь пожара и сложность тушения.

Синтетические каучуки получают из нефтяных газов, этилового спирта, ацетилена. Производство более экономично, не зависит от климатических условий, можно получать заранее заданные свойства.

Натрий-бутадиеновый (СКБ). Близок к натуральному, но при окислении становится твёрдым и жёстким. Применяют в резиновой, обувной, кабельной и др. отраслях промышленности; каучук общего назначения. (температуры: воспл. - 220 °С, сам. - 352 °С, горения - 1550-1560 °С, $Q_{\text{сгор}}$ - 45360 кДж/кг).

Хлоропреновый (наирит) Стоек к действию озона, света, масла, истирания, некоторые не горючи, изготавливают транспортёрные ленты, приводные ремни, рукава, оболочки кабелей (1 т каучука заменяет 6 т свинца) , формовые изделия.

Бутадиен-стирольный (СКС, Буна S) по износостойкости, тепловому сопротивлению, озонному и естественному старению, пароводонепроницаемости превосходит натуральный, но уступает по морозостойкости. (температуры: воспл. - 285 °С, сам. - 336 °С, горения - 1500-1600 °С, $Q_{\text{сгор}}$ - 43680-44100 кДж/кг).

5. 6 Пути снижения горючести твердых веществ

Пути снижения горючести зависят от конкретных свойств твердых веществ и материалов. В отдельных случаях возможно применение огнезащитных покрытий. Например: поверхности изделий покрывают негорючими или вспенивающимися лаками и красками, другими материалами, образующими негорючую или трудно возгораемую пленку,

которая при разложении выделяет много негорючих газов, оттесняющих и разбавляющих кислород. Используют отражающие покрытия (алюминиевая фольга). Строительные конструкции могут быть, кроме того, защищены штукатуркой, асбоцементными плитами, листами из металла, негорючего пластика и т.п.

Волокнистые и пористые материалы подвергают огнезащитной пропитке антипиренами, кремнийорганическими жидкостями.

При производстве полимерных материалов в них вводят специальные добавки, снижающие горючесть.

5. 7 *Образование пылевоздушных смесей в производственных условиях. Общие определения.*

Во многих технологических процессах, связанных с приготовлением, использованием, транспортированием измельчённых, порошкообразных или легко крошащихся материалов, возникает возможность образования взрыво- или пожароопасной ситуации. Взрывы промышленных пылей представляют большую опасность, т.к. часто влекут за собой не только большие материальные убытки, но и гибель людей. Пыль может находиться во взвешенном или в осевшем состоянии.

Пыль - дисперсная система, состоящая из газообразной дисперсионной среды и твёрдой дисперсной фазы (с размерами частичек до 850 мкм).

Аэровзвесь, или аэрозоль - пыль, находящаяся во взвешенном состоянии.

Аэрогель - пыль, осевшая на различные поверхности.

По поведению при горении аэрозоль сходна с газовоздушными смесями, аэрогель - с твёрдыми веществами.

Основными свойствами, влияющими на пожарную опасность пылей, являются:

1. Дисперсность - степень измельчённости. Степенью дисперсности наз. Величину, обратно пропорциональную размеру (среднему диаметру) пылинок: $N=1/d$. Чем выше степень дисперсности, тем опаснее пыль.
2. Химическая активность - способность вступать в химические реакции с другими веществами, в т.ч. в реакции окисления; зависит от природы вещества и степени дисперсности. Чем выше, тем опаснее.
3. Адсорбционная способность, т.е. способность поглощать пары и газы поверхностью вещества, зависит от самого вещества, степени дисперсности. Процесс экзотермичен, а поэтому пожароопасен. (сажа способна поглотить воздуха в 19 раз больше, чем её объём).

4. Склонность к электризации зависит от удельного электрического сопротивления материала, влажности, силы трения, скорости движения, степени дисперсности. Может происходить накопление зарядов статического электричества в несколько десятков кВ. Искра способна стать источником зажигания. Меры борьбы - увлажнение (выше 70% - не опасно), ионизация, заземление

5. 8 Особенности горения и пожарная опасность пылей.

Аэровзвеси воспламеняются и горят аналогично газовой смеси, поэтому показатели пожарной опасности - те же: НКПР (но не в % по объёму а в г/м³), МВСК, минимальная энергия зажигания, максимальное давление взрыва, скорость нарастания давления.

Скорость распространения фронта пламени возрастает с повышением

начальной температуры и степени дисперсности, с уменьшением объёмной теплоёмкости. Она зависит также от концентрации пыли и кислорода, содержания летучих веществ и золы в пыли.

Давление при взрыве и скорость его нарастания растут с увеличением степени дисперсности. Нарастание давления сопровождается волной сжатия, скорость которой может меняться от нескольких см/с до нескольких сотен м/с. Быстрое нарастание давления бывает достаточным для повреждения или разрушения оборудования.

В трубах или штольных значительной протяжённости возникает ударная волна, которая опережает фронт пламени и переводит осевшую пыль во взвешенное состояние, усиливая взрывной эффект.

Воспламенение и горение взвеси возможно при её концентрации, соответствующей области воспламенения. НКПР учитывают при классификации производств и отдельных установок по степени пожарной опасности в соотв. со СНиП, при расчёте безопасных режимов работы пневмотранспорта, пылеосаждения и т.п.

На величину НКПР пылей оказывают влияние те же факторы, что и у газов, : мощность источника зажигания, скорость движения потока (турбулентность), негорючие примеси, в т.ч. влажность и зольность, температура, давление, диаметр потока, а также в значительной мере -

степень дисперсности.

Обычно концентрации пыли, соответствующие НКПР, возможны только внутри трубопроводов, оборудования или в непосредственной близости от них (при аварии).

<u>Показатели пожарной опасности аэрогелей:</u>	температура
воспламенения,	температура
самовоспламенения,	температура
самонагревания, температура тления.	

Эти величины понижаются с ростом степени дисперсности, концентрации кислорода, мощности источника зажигания, массы и скученности пыли. снижением влажности (для целлюлозных и полимерных пылей). Металлические пыли и порошки имеют более низкую температуру воспламенения с водяном паре или атмосфере CO_2 .

В процессе нагрева пыли при определённой температуре на некоторых участках образуются обугленные продукты реакции, которые при дальнейшем нагревании переходят в пирофорное состояние и самопроизвольно накаляются до свечения, пыль начинает тлеть.

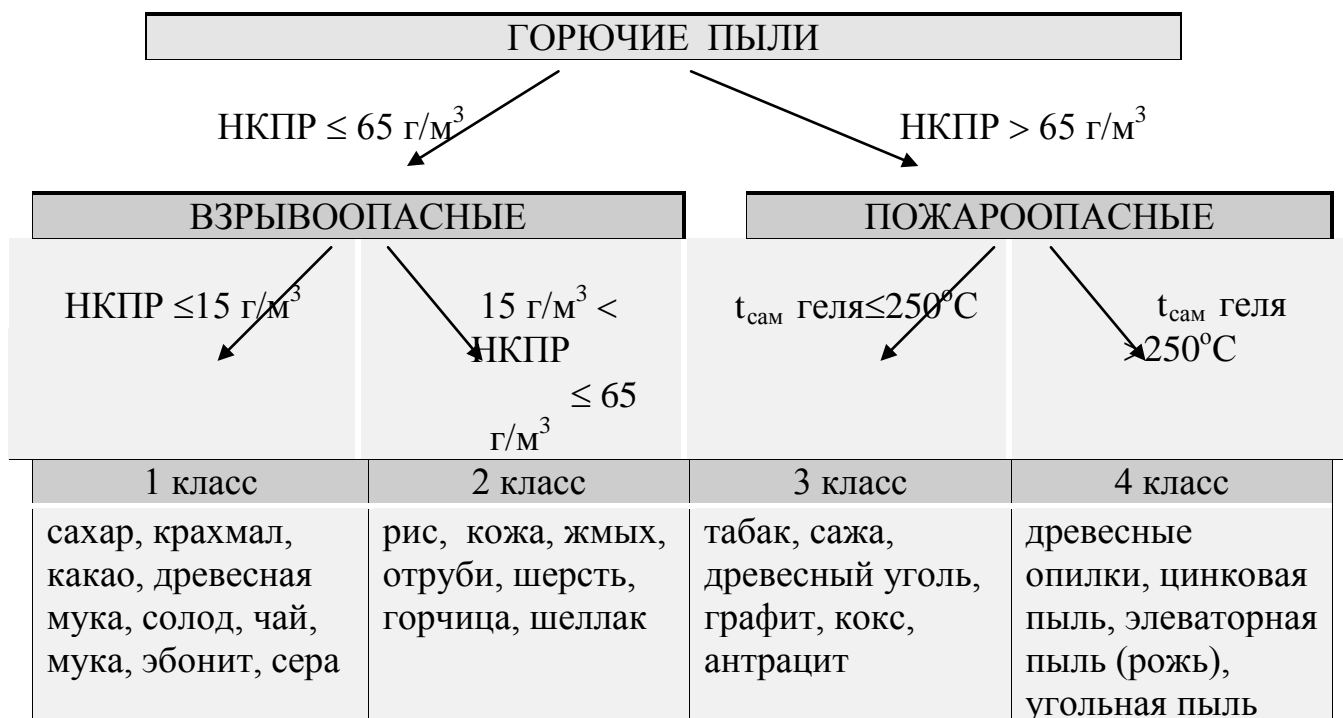
Температура тления - наименьшая температура аэрогеля, при которой на отдельных участках её появляется тление. При слабом встряхивании тлеющей массы она тут же самовоспламеняется. Температура тления зависит от степени дисперсности, влажности, теплоёмкости, теплопроводности пыли.

Многие аэрогели склонны к самовозгоранию: травяная и древесная мука, древесные опилки, металлические пудры и порошки (алюминий, железо, никель, медь, цирконий, цинк и др.) Как правило, увлажнение ускоряет их самовозгорание.

Согласно СНиП и ПУЭ пыли делятся по НКПР на взрывоопасные и пожароопасные; в соответствии с этим, а также с учётом конкретных условий классифицируются отдельные установки, помещения и производства.

В конкретных производственных условиях для определения параметров пожароопасности пыли их определяют экспериментально, на основании результатов и проводят соответствующие противопожарные мероприятия.

В зависимости от величины НКПР пыли классифицируют: (один из вариантов)



Так как свойства пылей могут меняться в широком диапазоне, при решении вопроса об отнесении конкретного производства к определённом классу взрыво-пожароопасности следует провести лабораторное определение соответствующих показателей данной пыли.

5. 9 Меры предупреждения загораний и взрывов пылей.

Меры профилактики начинаются уже на стадии проектирования: в зависимости от свойств применяемых материалов и возможностей образования п/о или в/о ситуации определяют категорию производства и выбирают соотв. степень защиты исполнения оборудования (чаще пыленепроницаемое), рассчитывают прочность строительных и др. конструкций, эл. цепей и их элементов, допустимые температуры.

При работе действующих предприятий в зависимости от конкретных возможностей используются:

1. Замена материалов на негорючие и трудногорючие.
2. Снижение температуры теплоносителей.
3. Предупреждение возможности появления потенциальных источников зажигания (тепловых и электрических искр, нагрева электрических лампочек, накопления статического заряда, недопущения курения и т.д.)
4. Обеспыливание (гладкие поверхности оборудования, полов, стен в помещении, удаление скоплений пыли, увлажнение, пылеочистительные установки).

5. Уменьшение перемещений материала.
6. Установка оборудования, подавляющего взрыв.
7. Снижение содержания воздуха при транспортировке (вакуум).
8. Снижение содержания кислорода введением негорючих или флегматизирующих газов.
9. Недопустимость совместного хранения и перевозки горючих веществ с окислителями.

При тушении аэрогелей следует отключать установки по переработке пыли, аспирационные, вентиляционные установки, пневмотранспорт. Нельзя применять компактные струи, а следует использовать тонкораспылённую воду со смачивателями, воздушно-механическую пену, тушащие порошки, не допуская всклубливания пыли.