

В.П. Назаров, М.В. Филиппчик, Н.Н. Старков
ТУШЕНИЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ И ПОЛЯРНЫХ ЖИДКОСТЕЙ
В РЕЗЕРВУАРЕ ТВЕРДОЙ ДВУОКИСЬЮ УГЛЕРОДА

В настоящее время резервуары средних и больших объемов с нефтепродуктами и с полярными жидкостями существующими автоматическими системами практически не тушатся, пожаротушение осуществляется в основном мобильными средствами или производят выжигание.

Таким образом, практика тушения пожаров на резервуарах ограничивается в основном использованием механизмов охлаждения и изоляции, как наиболее простых и доступных. В качестве наиболее распространенного средства тушения используют различного рода пены (в этом случае, возникают проблемы, связанные с экологией и качеством оставшейся в резервуаре продукции). В связи с этим существует необходимость разработки новых способов и средств тушения нефтепродуктов и полярных жидкостей в резервуаре, достаточно эффективных и экологически чистых.

В качестве нового способа тушения пожаров нефтепродуктов и полярных жидкостей в резервуаре предлагается способ тушения твердой двуокисью углерода.

Теоретическое обоснование рассматриваемого способа заключается в следующем: условия, необходимые и достаточные для тушения пожара, вызванного горением паров, оттекающих со свободной поверхности ЛВЖ и ГЖ, путем охлаждения ее поверхностного слоя, могут быть записаны в виде неравенства:

$$t_{\text{пов}} \leq t_{\text{всп}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{пов}}$ - температура поверхности жидкости; $t_{\text{всп}}$ - температура вспышки жидкости.

Это условие выполняется при существовании следующего неравенства:

$$\Delta Q_{\text{пов.}}^{\text{отв.}} \geq \int_{\tau} q_{\text{л}}(\tau_m) d\tau + Q_{\text{ж}}^{\text{зан.}} \quad (2)$$

где $\Delta Q_{\text{пов.}}^{\text{отв.}}$ - количество тепла, которое следует отвести от 1 м^2 поверхностного слоя жидкости; $q_{\text{л}}(\tau_m)$ - интенсивность лучистого теплового потока, поступающего от факела пламени к зеркалу поверхности ЛВЖ и ГЖ в процессе тушения; τ_m - время тушения; $Q_{\text{ж}}^{\text{зан.}}$ - количество тепла, запасенное в поверхностном слое жидкости.

Гранулы твердой двуокиси углерода помещаются в резервуар с горячей жидкостью. Так как плотность твердой фазы двуокиси углерода выше плотности жидкости, то гранулы опускаются на дно резервуара. На поверхности гранул бурно протекает процесс сублимации, в результате ко-

торого происходит активное поглощение тепла от нижнего слоя жидкости (теплота сублимации $r = 570,8 \text{ кДж кг}^{-1}$).

Выделившийся газ устремляется к поверхности зеркала жидкости. В результате сильно развитого контакта по поверхности мельчайших пузырьков двуокиси углерода с горючей жидкостью, большой разности температур газа и жидкости ($\Delta t \approx 150-250 \text{ }^\circ\text{C}$) и большой теплоемкости CO_2 происходит активное поглощение тепла для нагревания газовых потоков до температуры жидкости. Помимо поглощения тепла от жидкости, вследствие теплообмена бинарной системы газ – жидкость, газовые потоки за счет силы трения вызывают турбулентные завихрения, создающие активное перемешивание слоев, что приводит к снижению температуры поверхностного слоя.

Кроме того, в процессе сублимации с потерей массы отдельные гранулы поднимаются к поверхности. Это связано с образованием вокруг гранул постоянной газовой оболочки, которая создает подъемную силу. Происходит дополнительный тепломассоперенос, снижающий энергетический запас поверхностного слоя жидкости.

Выделяющийся газ, проникая через границу среды жидкость – атмосфера, скапливается над поверхностью зеркала жидкости. Происходит разбавление и охлаждение зоны горения. Необходимо заметить, что газ двуокиси углерода нейтральный и процентная концентрация, достаточная для потухания пламени, составляет 30 % от состава смеси.

Вследствие действия всех описанных механизмов - охлаждения и перемешивания слоев жидкости, охлаждения и разбавления зоны пламенного горения – наступает потухание пламени.

В рамках исследования огнетушащей способности твердой двуокиси углерода проводились эксперименты по изучению изменения скорости газообразования в процессе сублимации твердой двуокиси углерода, помещенной в различные типы жидкостей в холодном и нагретом состоянии.

При проведении экспериментов, через равномерные промежутки времени измерялись значения следующих показателей:

- $\Delta m_{\text{общ}}$ - изменение массы сосуда с жидкостью и помещенной в него двуокисью углерода;
- $\Delta t_{\text{жс}}$ - изменение средней температуры жидкости под воздействием тепломассопереноса, образованного потоком газа двуокиси углерода.

Массовая скорость газообразования двуокиси углерода определялась по формуле:

$$m' = \frac{\Delta m_{\text{общ},i}}{f \cdot \Delta \tau} \quad (3)$$

где m' - массовая скорость газообразования твердой двуокиси углерода; $\Delta m_{\text{общ},i}$ - измеряемая масса твердой двуокиси углерода, испаряющаяся за промежуток времени $\Delta \tau$; f - площадь поверхности испарения твердой двуокиси углерода; $\Delta \tau$ - промежуток времени между замерами параметров.

Потеря массы вычислялась с учетом испарившейся жидкости:

$$\Delta m_{\text{общ},i} = m_{\text{общ},0} - m_{\text{общ},(i-1)} - \frac{j \cdot \Delta \tau_i}{S} \quad (4)$$

где: j - интенсивность испарения жидкости, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$; S - площадь поверхности сосуда, м^2 .

Графически результаты экспериментального определения массовой скорости газообразования твердой двуокиси углерода в керосине, этиловом спирте и ацетоне при различных температурах приведены на рис. 1.

Из полученных результатов видно, что массовая скорость испарения твердой двуокиси углерода зависит главным образом от температуры и физико-химических характеристик параметров горючей жидкости. Причем, испарение твердой двуокиси углерода происходит с большей интенсивностью (скоростью) в жидкостях с более низкой температурой кипения.

Необходимо отметить, что процесс газообразования с поверхности твердой двуокиси углерода в жидкости протекает почти в 60 раз интенсивнее, чем на воздухе.

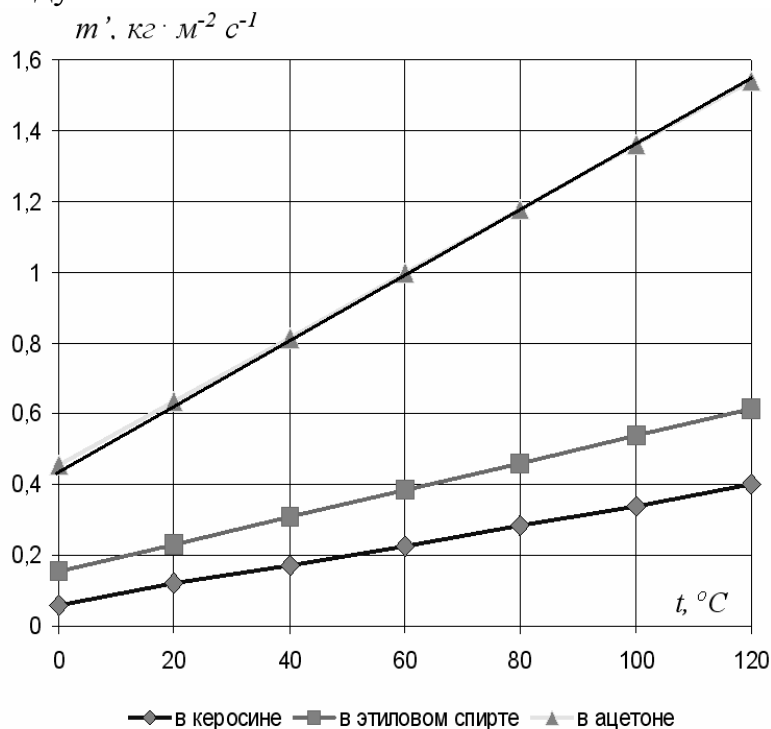


Рис. 1. Изменение массовой скорости газообразования твердой двуокиси углерода, помещенной в различные типы жидкостей при различной температуре

Проведенные эксперименты и предварительный анализ показали, что существенным фактором влияния рассматриваемого механизма на время процесса тушения является скорость изменения температурного поля в слоях жидкости, происходящая благодаря массопереносу, вызываемому газовыми потоками, образующимися при сублимации твердой двуокиси углерода. Необходимо заметить, что описываемый механизм в процессе тушения действует комплексно с другими рассматриваемыми механизмами: охлаждения слоя жидкости газовым потоком, охлаждения и разбавления зоны горения негорючим газом, изоляции зоны горения от доступа кислорода воздуха, ингибирования, что в целом приводит к успешному тушению.

При тушении пожара твердая двуокись углерода испаряясь не только охлаждает жидкость, но и снижает концентрацию горючих веществ в зоне горения, охлаждает зоны пламенных реакций газообразной CO_2 и др.

В результате проведения полигонных испытаний по тушению модели резервуара диаметром 2,5 м и высотой 0,7 м, заполненной дизельным топливом, получены результаты, приведенные на рис. 2 в виде графической зависимости времени тушения пожара от удельного количества твердой двуокиси углерода, применяемой для тушения.

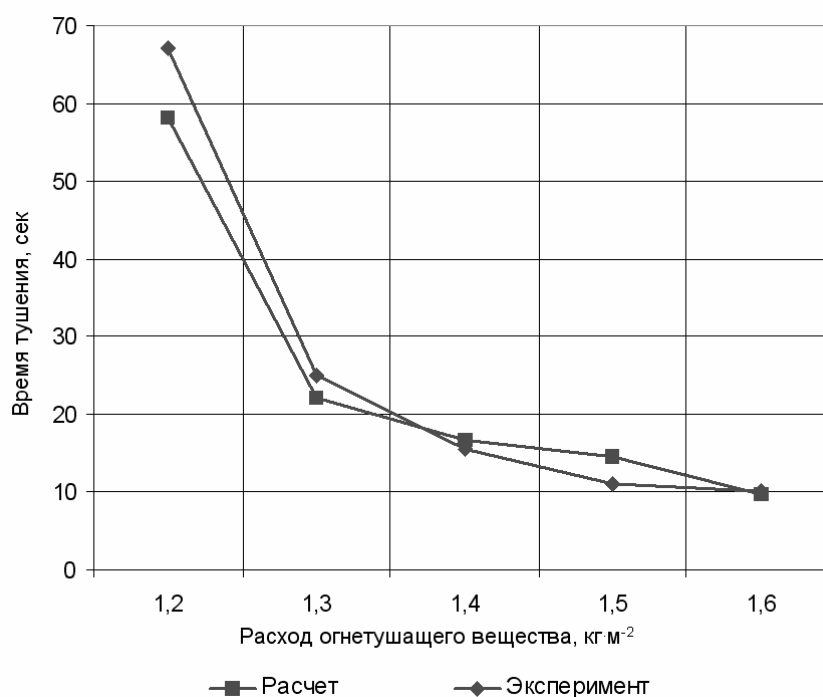


Рис. 2. Зависимость времени тушения пожара на модели резервуара от удельного количества твёрдой двуокиси углерода

Анализ результатов экспериментальных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Тушение наступает быстрее, если увеличен свободный борт резервуара. В этом случае над поверхностью образуется газовая подушка, которая создает более благоприятные условия изоляции поверхности жидкости от доступа кислорода воздуха. Высокий борт ослабляет внешние конвективные потоки, что увеличивает устойчивость газового облака.

2. Скорость тушения зависит от размеров частиц двуокиси углерода: у крупных частиц процесс сублимации происходит дольше, чем у мелких частиц, что обусловлено разницей площадей взаимодействия твердого вещества с жидкостью, значит большее количество газа в единицу времени будет выделяться при подаче более мелких частиц углекислоты.

3. При тушении на открытом пространстве немаловажную роль играет ветер. Двуокись углерода следует подавать с наветренной стороны, для более эффективного тушения. При сильном ветре количество огнетушащего вещества, необходимого для тушения, увеличивается в несколько раз.

4. При тушении пожара твердая двуокись углерода не только охлаждает ЛВЖ и ГЖ, но и снижает концентрацию горючих веществ в зоне горения, охлаждает зоны пламенных реакций газообразной CO_2 . Расчетным путем оценить количественное значение удельного веса каждого из этих механизмов тушения трудно из-за недостатка исходных данных о параметрах процесса тушения. Расчетные оценки по данным лабораторных опытов показывают, что пламя керосина гасится в резервуаре диаметром 30 см при содержании паров

$\text{CO}_2 = 15 \%$. Эта концентрация ниже гасящей, равной 25-30 %, но в совокупности с охлаждением жидкой фазы горючего усиливается суммарный эффект тушения.

5. Преимущество тушения пожаров ЛВЖ и ГЖ твердой двуокисью углерода видно и при оценке стоимости сохраненного горючего вещества (спиртов, масел, нефтепродуктов и пр.). Экономический анализ показал, что предлагаемый способ пожаротушения дешевле базового.

Необходимо отметить также, что твердая двуокись углерода осуществляет тушение пожаров любых легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, в том числе и полярных: ацетон, спирты, эфиры.

Если обратиться к экологическому аспекту, то следует отметить, что CO_2 , которая образуется при пожаре, - это наименьший токсический загрязнитель воздуха, а его способность поглощать излучение и вызывать парниковый эффект можно не учитывать, так как объем продуктов горения при пожаре несравнимо меньше объема промышленных выбросов. Гораздо

более опасны выбросы других продуктов горения и пиролиза: CO, SO₂, NO, NO₂, NH₄.

Таким образом, способ тушения пожаров твердой двуокисью углерода представляется перспективным: высокоэффективным и экономичным для тушения пожаров нефти, нефтепродуктов, а также полярных жидкостей в резервуарах.