

УДК 621.3

А.Е.БАСМАНОВ, канд. техн. наук,  
*Академия гражданской защиты Украины, г.Харьков*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРЕНИЯ НЕПОЛНОГО РЕЗЕРВУАРА С НЕФТЕПРОДУКТОМ**

Приводится математическая модель, описывающая форму и температуру излучающей поверхности при горении резервуара, заполненного нефтепродуктом до некоторого уровня. Модель предназначена для расчета теплового излучения от такого резервуара при пожаре в резервуарном парке.

Одной из основных опасностей при пожарах в резервуарных парках является нагрев соседних резервуаров с последующим их воспламенением или взрывом. Основным способом теплопередачи при пожаре в резервуарном парке является передача тепла излучением. В общем случае это требует знания формы факела пламени горящего резервуара и его температуры.

В [1] построена модель нагрева резервуара под действием излучения от факела горящего резервуара. Обычно предполагается, что факел приближенно имеет форму конуса [2-4] с диаметром основания равным диаметру резервуара, а горящий резервуар заполнен доверху. На практике часто оказывается, что горящий резервуар заполнен нефтепродуктом не полностью, и нижняя часть факела оказывается закрытой сухой стенкой. Но, нагреваясь от факела, стенка также становится источником излучения.

Предположим, что при горении резервуара, заполненного нефтепродуктом не полностью, выделяется такое же количество тепла, как и в случае отсутствия сухих стенок. Это тепло распределяется между сухой стенкой и факелом так, что их температура одинаковая. Такое предположение основано на эмпирических данных [3], говорящих о том, что при горении нефтепродукта в неполном резервуаре излучение от раскаленных стенок практически полностью компенсирует скрытую часть факела.

Для всех резервуаров, начиная от РВС-200 и больших, соотношение между диаметром  $D$  и высотой  $H$  таково, что  $1,2D > H$  [3]. Это означает, что при горении любого нефтепродукта пламя всегда будет выступать над верхней частью горящего резервуара (рис.1).

Пусть  $R$  – радиус резервуара,  $h$  – высота факела,  $h_0$  – высота сухой стенки. Сухая стенка будет нагреваться за счет излучения от факела и от восходящих потоков разогретых продуктов горения. Стенка также будет отдавать тепло во внешнее пространство излучением и

конвекцией.

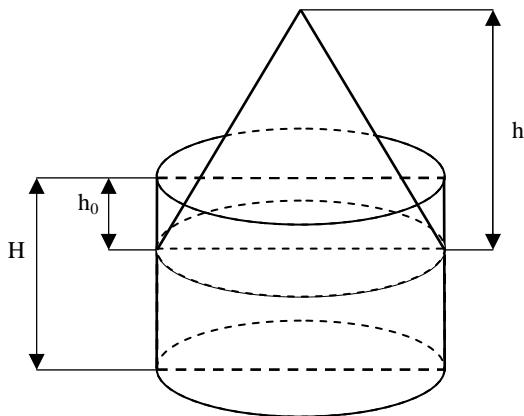


Рис.1 – Факел над неполным резервуаром с нефтепродуктом

Излучающую поверхность, состоящую из нагретшейся стенки и верхней части факела, поднимающейся над резервуаром, будем приближенно представлять в виде выпуклой поверхности  $\Omega = \Omega_1 \cup \Omega_2$  (рис.2), состоящей из цилиндра (нагретшаяся часть резервуара) и поставленного на него конуса с тем же радиусом (факел).

Общее количество тепла  $Q_\phi$ , которое отдавал бы факел во внешнюю среду при отсутствии стенок резервуара за время  $dt$ , должно совпадать с количеством  $Q_\Omega$ , которое отдает поверхность  $\Omega$ .

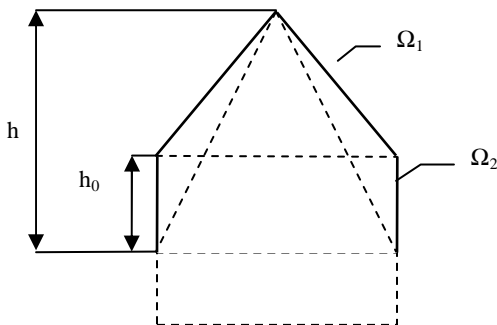


Рис.2 – Излучающая поверхность  $\Omega$  (сплошная линия) горящего неполного резервуара с нефтепродуктом:  $\Omega_1$  – поверхность факела;  $\Omega_2$  – сухая стенка.

Для упрощения будем полагать, что средняя температура поверхности факела в отсутствии стенок  $T_\phi$ , а средняя температура поверхности  $\Omega$  равна  $T_\Omega$ . Тогда

$$Q_\phi = c_0 \epsilon_\phi \left( \left( \frac{T_\phi}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_0}{100} \right)^4 \right) S_\phi dt, \quad (1)$$

где  $S_\phi$  – площадь поверхности факела при отсутствии сухой стенки резервуара;  $\epsilon_\phi$  – коэффициент черноты пламени;  $T_0$  – температура окружающей среды. При наличии сухой стенки:

$$Q_\Omega = c_0 (\epsilon_\phi S_{\Omega_1} + S_{\Omega_2} \epsilon_c) \left( \left( \frac{T_\Omega}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_0}{100} \right)^4 \right) dt, \quad (2)$$

где  $S_{\Omega_1}$ ,  $S_{\Omega_2}$  – площади поверхностей  $\Omega_1$  и  $\Omega_2$  соответственно;  $\epsilon_c$  – коэффициент черноты стенок резервуара. Приравнивая правые части (1) и (2), найдем температуру, которую будет иметь излучающая поверхность:

$$T_\Omega = 100 \sqrt[4]{ \left( \frac{T_\phi}{100} \right)^4 \frac{\epsilon_\phi S_\phi}{\epsilon_\phi S_{\Omega_1} + S_{\Omega_2} \epsilon_c} + \left( \frac{T_0}{100} \right)^4 \left( 1 - \frac{\epsilon_\phi S_\phi}{\epsilon_\phi S_{\Omega_1} + S_{\Omega_2} \epsilon_c} \right) }. \quad (3)$$

Поскольку  $S_{\Omega_1} + S_{\Omega_2} > S_\phi$ , а  $\epsilon_\phi \approx \epsilon_c$ , то температура поверхности  $\Omega$  будет меньше температуры факела. Действительно, площадь поверхности факела в форме конуса:

$$S_\phi = \pi R h \sqrt{1 + \left( \frac{R}{h} \right)^2}.$$

Площадь поверхности  $\Omega$  (при  $h_0 < h$ ) складывается из площадей конуса верхней части факела, выступающего над стенкой резервуара,  $S_{\Omega_1} = \pi R \sqrt{(h - h_0)^2 + R^2}$  и площади сухой стены  $S_{\Omega_2} = 2\pi R h_0$ . Тогда

$$\frac{\epsilon_\phi S_{\Omega_1} + S_{\Omega_2} \epsilon_c}{\epsilon_\phi S_\phi} = \frac{1}{\sqrt{1 + (R/h)^2}} \left( \sqrt{\left( 1 - \frac{h_0}{h} \right)^2 + \left( \frac{R}{h} \right)^2} + 2 \frac{\epsilon_c}{\epsilon_\phi} \frac{h_0}{h} \right).$$

Поскольку отношение  $R/h$  является постоянным для данного типа нефтепродукта, то, обозначив его через  $C$  и вводя относительную неполноту резервуара  $x = h_0/h$ , получим:

$$\frac{\varepsilon_{\phi} S_{\Omega_1} + S_{\Omega_2} \varepsilon_c}{\varepsilon_{\phi} S_{\phi}} = \frac{1}{\sqrt{1+c^2}} \left( \sqrt{(1-x)^2 + c^2} + 2 \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{\phi}} x \right), \quad 0 \leq x \leq 1.$$

На рис.3 приведена зависимость температуры (3) излучающей поверхности  $\Omega$  от относительной неполноты резервуара для горящего бензина ( $T_{\phi} = 1473 \text{ K}$ ,  $1/c = h/R = 2,8$ ,  $\varepsilon_{\phi} = 0,97$ ), нефти ( $T_{\phi} = 1373 \text{ K}$ ,  $1/c = h/R = 2,4$ ,  $\varepsilon_{\phi} = 0,85$ ), мазута ( $T_{\phi} = 1273 \text{ K}$ ,  $1/c = h/R = 2,4$ ,  $\varepsilon_{\phi} = 0,85$ ). Температура окружающей среды принята  $T_0 = 293 \text{ K}$ , а коэффициент черноты стенки резервуара –  $\varepsilon_c = 0,8$ .

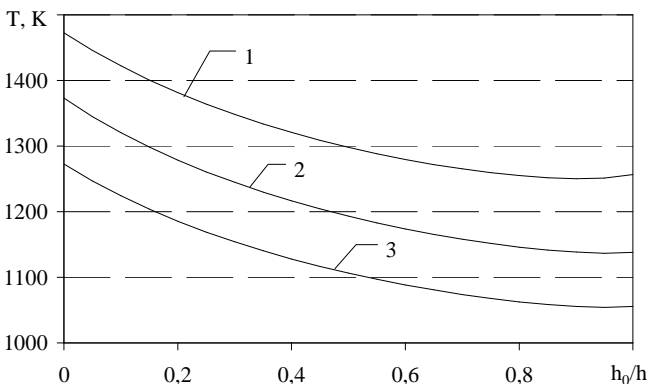


Рис.3 – Зависимость температуры излучающей поверхности от высоты сухой стенки в горящем резервуаре: 1 – бензин; 2 – нефть; 3 – мазут.

Из рис.3 видно, что при отношениях  $h_0/h$  близких к единице, наблюдается некоторый рост температуры излучающей поверхности. Это связано с уменьшением площади поверхности, когда конус факела оказывается полностью закрытым стенками. Однако геометрические размеры используемых на практике резервуаров таковы [3], что факел поднимается над резервуаром при любом уровне нефтепродукта.

Тепловой поток от излучающей поверхности  $\Omega$  к другим объектам (например, к соседним резервуарам) будет несколько уменьшаться

за счет того, что излучаемая энергия распределяется по поверхности большей площади.

Таким образом, построена математическая модель теплового излучения горящего резервуара, заполненного нефтепродуктом не доверху. Из этой модели следует, что с понижением уровня нефтепродукта площадь излучающей поверхности увеличивается за счет нагретых сухих стенок, а средняя температура уменьшается. В результате, понижение уровня приводит к незначительному уменьшению теплового потока. Этот результат качественно согласуется с опытными данными.

Перспективы дальнейших исследований связаны с учетом случайных пульсаций формы факела и его температуры.

1.Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Влияние пожара на резервуар с нефтепродуктом // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: Сб. науч. тр. Вып.29. – Харьков: ХНАДУ, 2005. – С.131-133.

2.Андрієнко В.Н., Говаленков С.В., Сознік А.П. Математическая модель теплового излучения от факелов, имеющих форму конуса // Проблемы пожарной безопасности. Вып.14. – Харьков: Фолио, 2003. – С.24-28.

3.Волков О.М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. – М.: Недра, 1984. – 151 с.

4.Сознік О.П., Говаленков С.В., Андрієнко В.М. Геометричне моделювання випромінювання полум'я при пожежі нафти в резервуарі // Прикладна геометрія та інженерна графіка: Зб. Таврійської державної агротехнічної академії. Вип.4, т.27. – Мелітополь: ТДАТА, 2004. – С.20-25.

*Получено 31.05.2006*

УДК 614.8 : 62.5

Ю.А.АБРАМОВ, д-р техн. наук, В.П.САДКОВОЙ, канд. психол. наук  
*Академия гражданской защиты Украины, г.Харьков*

## **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ГИДРОМАГИСТРАЛЕЙ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ**

Получены математические модели гидромагистралей систем автоматического пожаротушения, принадлежащие классу передаточных и переходных функций.

Анализ статистических данных свидетельствует, что на момент прибытия подразделений пожарной охраны к месту вызова площадь пожара с доверительной вероятностью 0,9 составляет порядка 100 м<sup>2</sup>. В этой связи возрастает роль систем автоматического пожаротушения (САП), задачей которых является обеспечение локализации и тушения пожаров до прибытия подразделений пожарной охраны.

Применительно к САП модели гидромагистралей рассматривались в [1], где приводятся выражения для передаточных функций в