

- 4.NFPA 2001-92. Standard on clean agent fire extinguishing systems.
- 5.ISO 14520-2000. Gaseous fire extinguishing systems. Physical properties and system design.
- 6.Юдин В., Шуринов А. К вопросу о замене озоноразрушающих хладонов в смонтированных установках пожаротушения // Пожарное дело. – 1997. – №8. – С.60-61.
- 7.Галогенсодержащие пожаротушащие агенты. Свойства и применение: Справ. изд. / В.Г.Барабанов, Е.Г.Белевцев, В.С.Зотиков и др.; Под ред. д-ра техн. наук Н.П.Копылова. – СПб: ТЕЗА, 1999. – 132 с.
- 8.Методические рекомендации по порядку осуществления замены озоноразрушающих огнетушащих веществ в установках пожаротушения особо важных объектов. – М.: ВНИИПО МВД России, 1998. – 35 с.
- 9.Копылов Н.П. Проблемы газового пожаротушения в свете требований Монреальского протокола по хлорфторуглеродам // Материалы 11-й науч. конф. «Проблемы предотвращения и тушения пожаров на объектах народного хозяйства». – М., 1992. – С.16-24.
- 10.Антонов А.В., Цапко Ю.В., Кот А.П. Використання газових вогнегасних речовин для пожежогасіння та флегматизування горючих середовищ // Пожежна безпека: Зб. наук. праць. – Львів: Сполом, 2001. – С.242-244.
- 11.Антонов А.В., Орел В.П., Цапко Ю.В. Флегматизування горючих середовищ інертними розріджувачами, інгібіторами та їх сумішами // Збірник наукових праць. Вип.1. – Севастополь: Севастопольський ВМІ ім. П.С.Нахімова, 2002. – С.148-149.
- 12.Гамильтон Д. CO₂ – заменитель хладона // Пожарная охрана: РЖ. – 1992. – №3. – Ref.op.: CO₂ – the «real» alternative to Halon // МЕ: Mar Eng Rew. – 1991. – P.18-19.
- 13.Сиамра К. Установки тушения углекислым газом под низким давлением // Пожарная охрана: РЖ. – 1991. – №2. – Ref.op.: L'impianto di spegnimento incendi a CO₂ a bassa pressione con serbatoio di stoccaggio // Autom nav. – 1990. – №6. – P. 99-101.
- 14.Пожаротушение без фреона // Пожарная охрана: РЖ. – 1993. – №6. – Ref.op.: Schweiz Feuerwehr-Ztg. – 1992. – № 9. – P. 548-550.

Отримано 30.08.2007

УДК 621.3

А.Е.БАСМАНОВ, д-р техн. наук

Університет громадянської захисти України, г.Харьков

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАМЕНИ НАД РАЗЛИВОМ НЕФТЕПРОДУКТА

Предлагается математическая модель, описывающая поверхность пламени над разливом нефтепродукта произвольной формы. Модель предназначена для расчета теплового потока от пожара и оценки его воздействия на соседние объекты.

Одним из опасных последствий аварий, возникающих при хранении и транспортировке нефтепродуктов, является их разлив. Возгорание разлитого нефтепродукта создает опасность распространения пламени на соседние здания и сооружения, а также представляет серьезную угрозу для жизни и здоровья людей.

Несмотря на детально разработанные модели теплового излучения от горящих цилиндрических резервуаров (РВС) [1, 3], для разли-

вов нефтепродуктов такие модели отсутствуют. Расчет теплового потока от факела требует описания его формы. Например, при горении нефтепродуктов в цилиндрических резервуарах обычно предполагают коническую форму факела, основанием которого является круг [1]. В общем случае при горении разлива в основании факела будет лежать плоская фигура. Поэтому возникает необходимость описания формы факела над разливом произвольной формы.

Построим математическую модель поверхности пламени над горящим разливом нефтепродукта в отсутствии ветра. При этом будем исходить из следующих предположений.

1. Под тепловым воздействием факела происходит равномерное испарение со всей поверхности горящего нефтепродукта. При этом пары нефтепродукта движутся вертикально вверх с одинаковой скоростью, перемещение паров в горизонтальном направлении отсутствует.

2. Горение паров нефтепродукта происходит только в месте их контакта с окружающим воздухом.

3. Количество сгорающих паров пропорционально площади поверхности соприкосновения между парами и окружающим воздухом.

Обоснуем сделанные предположения. Эксперименты показывают, что при горении нефтепродукта в отсутствии ветра пламя располагается над его зеркалом, практически не выступая за границы зеркала. Это позволяет пренебречь диффузией паров в горизонтальном направлении по сравнению с их восходящей скоростью (порядка 10 м/с [2, 4]). На этом и основывается предположение 1. Если бы горение отсутствовало, то согласно предположению 1, пары нефтепродукта равномерно заполняли бы объем призмы, основанием которой является разлив. Однако, ввиду сгорания паров, их несгоревшее количество в горизонтальном сечении уменьшается с высотой. Предположение 2 основывается на экспериментах [4], показавших, что горение происходит в поверхностном слое пламени. Горение внутри невозможно ввиду отсутствия там кислорода.

Рассмотрим горизонтальное сечение Ω_1 факела на высоте z_1 (рис.1). Выгорание паров приводит к «сжатию» контура по нормали. При этом за промежуток времени Δt точка $A_1(x_1, y_1, z_1)$, принадлежащая границе $\partial\Omega_1$, переместится в направлении единичного нормального вектора $\vec{n}(n_x, n_y)$ на расстояние Δn и в направлении вектора $(0, 0, 1)$ на расстояние Δz .

Таким образом, за промежуток времени Δt граница $\partial\Omega_1$ сечения

Ω_1 перейдет в границу $\partial\Omega_2$ сечения Ω_2 :

$$(x_2, y_2, z_2) = (x_1 + n_x \Delta n, y_1 + n_y \Delta n, z_1 + \Delta z).$$

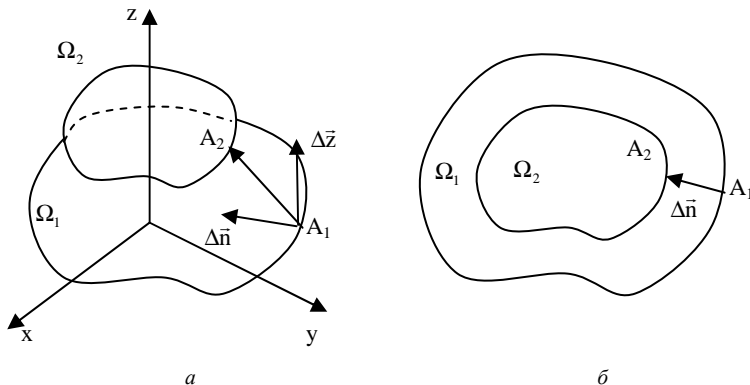


Рис.1 – Изменение горизонтального сечения Ω пламени над разливом с высотой: изометрическая проекция (а) и вид сверху (б)

Рассматривая приращение

$$(\Delta x, \Delta y, \Delta z) = (x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1) = (n_x \Delta n, n_y \Delta n, \Delta z)$$

и переходя к пределу при $\Delta t \rightarrow 0$, получим:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dz} = n_x \frac{dn}{dz} \\ \frac{dy}{dz} = n_y \frac{dn}{dz} \end{cases}.$$

Согласно предположению 3, $dn/dz = c$, где c – константа, зависящая от вида нефтепродукта. Тогда

$$\begin{cases} \frac{dx}{dz} = n_x c \\ \frac{dy}{dz} = n_y c \end{cases}. \quad (1)$$

Значение константы c определим из следующих соображений: из эксперимента известно, что при горении нефтепродукта в цилиндрических резервуарах диаметром D факел имеет форму конуса высотой $1,2D$ для горючих жидкостей (ГЖ) и $1,4D$ для легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) [4]. Сопоставление экспериментальных дан-

ных с системой уравнений дает значение константы c :

$$c = 1/2,8 \text{ (ЛВЖ)}, \quad c = 1/2,4 \text{ (ГЖ)}. \quad (2)$$

Проекция поверхности пламени на поверхность земли будет совпадать с областью разлива Ω . Поэтому ее построение сводится к определению координаты z точки (x, y, z) , где $(x, y) \in \Omega$. В случае гладкой границы $\partial\Omega$ области Ω это означает, что

$$z = r/c, \quad (3)$$

где r – расстояние от точки (x, y) до границы $\partial\Omega$ области разлива Ω .

Уравнения (1) не применимы к точкам кривой $\partial\Omega$, в которых она не является гладкой. Но, с точки зрения практики, границу области разлива всегда можно рассматривать как гладкую кривую. Даже если граница имеет излом, ее можно аппроксимировать гладкой кривой с любой степенью точности. Это позволяет применять формулу (3) для произвольной кусочно-гладкой границы области разлива. В том частном случае, когда область разлива является кругом, формула (3) будет давать конус высотой $1,2D$ или $1,4D$ в зависимости от вида нефтепродукта, что соответствует экспериментальным исследованиям горения нефтепродуктов в резервуарах.

В качестве примера на рис.2 приведена поверхность пламени для разлива диаметром порядка 40 м.

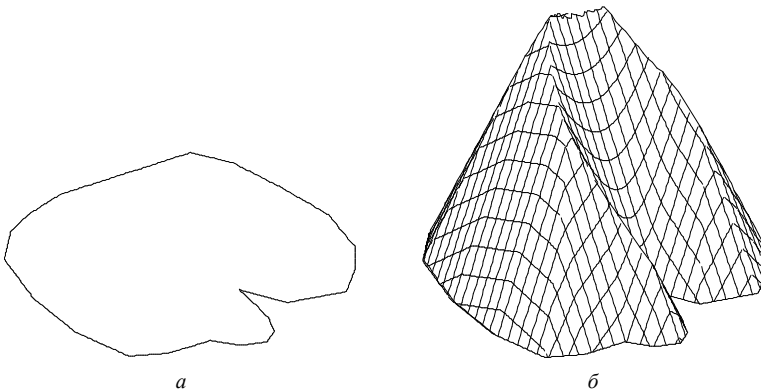


Рис.2 – Разлив нефтепродукта (а) и поверхность пламени над ним (б)

Построенная модель позволяет описать излучающую поверхность пламени над разливом нефтепродукта произвольной формы и может

быть использована для расчета теплового излучения от него. Предлагаемый подход допускает эффективную компьютерную реализацию и может быть использован руководителем тушения пожара для принятия оперативных решений.

Перспективы дальнейших исследований связаны с учетом влияния ветра на форму пламени.

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

2.Баратов А.Н., Иванов Е.Н. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности. – М.: Химия, 1979. – 368 с.

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

4.Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров. – М.: Стройиздат, 1990. – 420 с.

Получено 07.09.2007

УДК 614.8

Е.А.ТИЩЕНКО, В.П.САДКОВОЙ, канд. техн наук,

Ю.А.АБРАМОВ, д-р техн. наук

Университет гражданской защиты Украины, г.Харьков

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ В ТЕПЛОВОМ ПОТОКЕ ПРИ ПОЖАРЕ В ПОМЕЩЕНИИ

Приводится оценка радиационной составляющей теплового потока для пожарной нагрузки в виде горючей жидкости.

По данным [1], в 70% случаев первые подразделения прибывают на пожар не позднее, чем через 10 минут. При этом число погибших может достигать 60%, а ущерб составлять около 50% от общего ущерба. Эти данные свидетельствуют о том, что кардинальное решение проблемы по уменьшению числа погибших на пожаре и по снижению ущерба от него возможно путем использования (особенно на начальной стадии развития пожара) систем раннего обнаружения опасных факторов пожара и систем автоматического пожаротушения.

Эффективность таких систем определяется совершенством их математического обеспечения. Степень совершенства такого математического обеспечения должна определяться на компромиссной основе. В частности, компромисс должен включать оценки адекватности математического описания процессов, имеющих место во время пожара.

Наиболее полное описание состояния вопроса о математическом моделировании процессов, протекающих во время пожара в помещении, представлено в [2]. Однако и в этой работе указывается на то обстоятельство, что в настоящее время отсутствуют надежные методы по