

УДК 614.8

*А.Е. Басманов, докт. техн. наук, гл. научн. сотрудник УГЗУ,  
А.А. Михайлюк, инспектор факультета ГЗНУТ*

## **ВЫБОР ЗОН БЕЗОПАСНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ СИЛ И СРЕДСТВ ПРИ ТУШЕНИИ ГОРЯЩЕГО РЕЗЕРВУАРА**

Рассмотрено влияние теплового потока от горящего резервуара на личный состав и технику при различных методах подачи огнетушащего вещества в очаг пожара. На основе расчета плотности теплового потока сделан вывод о возможных зонах безопасного размещения сил и средств.

**Постановка проблемы.** В связи с повышением роли нефти и нефтепродуктов в мировой экономике, повсеместным увеличением государственных резервных запасов увеличивается и количество пожаров на нефтехранилищах.

В среднем в резервуарных парках на территории СНГ происходит около 12 крупных пожаров в год. Из них в Украине происходит 2 пожара в 3 года. При этом каждый четвертый пожар носит затяжной характер и заканчивается полным выгоранием нефтепродуктов. Около 90% пожаров и загораний происходит на резервуарах, заполненных нефтью и бензином.

Так, например, только за первое полугодие 2007 года на территории СНГ произошло около 10 пожаров на нефтепромыслах, нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ), перевалочных и распределительных нефтебазах, транспортных и промышленных предприятиях, сопровождающихся горением темных и светлых нефтепродуктов, находящихся в резервуарах различного объема.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В [3,4] приведено необходимое кол-во сил и средств для локализации и ликвидации пожара горящего резервуара, но ничего не говорится о том, где они должны быть размещены. В тоже время технологические установки резервуарного парка, силы и средства, участвующие в тушении подвергаются воздействию теплового потока [2]. В работе [2] рассмотрен расчет величины теплового потока от горящего резервуара для факелов различной формы. Наблюдения показывают, что факел имеет форму, близкую к конусу [2].

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является расчет величины теплового потока от горящего резервуара с нефтепродуктом и выбор зон безопасного размещения личного состава, подвижной техники и стационарных установок пожаротушения. Определение этих параметров необходимо для

составления оперативных планов пожаротушения резервуарных парков.

Рассмотрим горение в вертикальном стальном резервуаре (РВС), заполненном нефтью доверху. Будем считать, что ветер отсутствует.

Тепловой поток излучением от факела к другим телам определяется законом Стефана-Больцмана:

$$q = \varepsilon_{\text{пр}} \cdot c_0 \left[ \left( \frac{T_{\text{ф}}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T}{100} \right)^4 \right] \psi, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_{\text{пр}}$  – приведенная степень черноты системы;  $c_0 = 5,67 \text{ Вт/м}^2\text{К}^4$ ;  $T_{\text{ф}}$  – средняя температура поверхности факела;  $T$  – температура, обращенной к факелу поверхности тела;  $\psi$  – локальный угловой коэффициент облучения.

Приведенная степень черноты системы определяется по формуле:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \varepsilon_{\text{ф}} \varepsilon_{\text{т}}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_{\text{ф}}$  – степень черноты пламени;  $\varepsilon_{\text{т}}$  – степень черноты тела. Коэффициент взаимного облучения  $\psi$  может быть рассчитан следующим образом:

$$\psi = \frac{1}{\pi} \iint_S \frac{\cos \varphi_1 \cos \varphi_2}{r^2} ds, \quad (3)$$

где  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  – углы между вектором, соединяющим точки на поверхности факела и облучаемой поверхности, и нормальными векторами к этим поверхностям в этих точках;  $r$  – расстояние от точки на поверхности факела до облучаемой точки. Коэффициент взаимного облучения  $\psi$  существенно зависит от формы факела. В частности, для факела в форме конуса формула (3) принимает вид [2]:

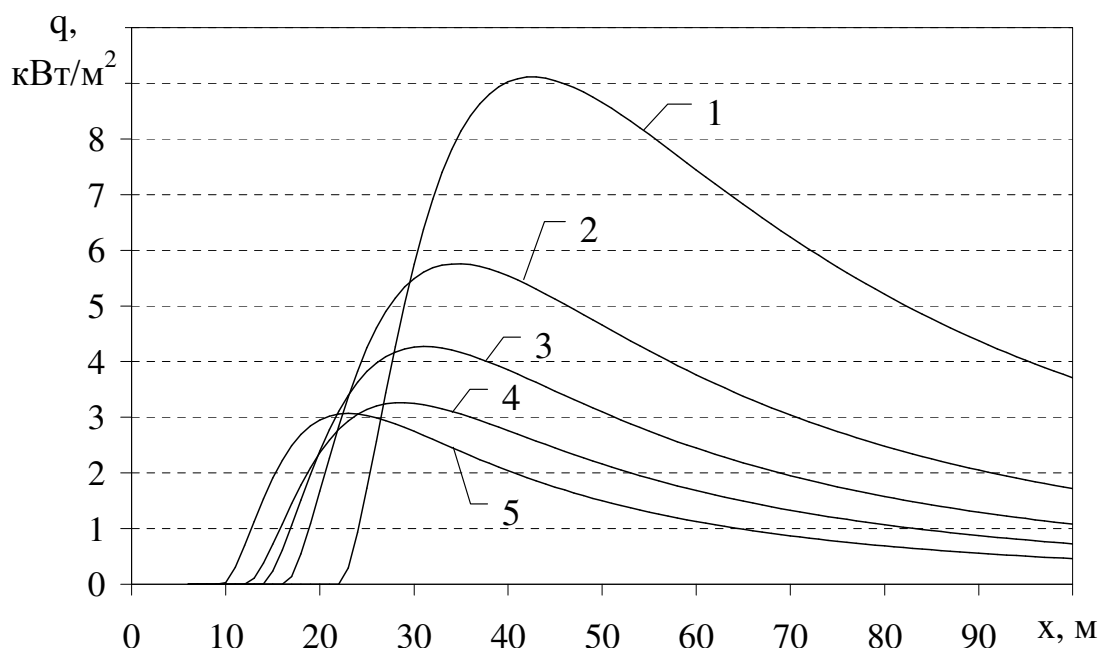
$$\psi = \frac{\cos \delta}{\pi} \cdot \int_h^{h+H} dz \cdot \int_{\beta_1}^{\beta_2} \frac{[r_0 \cos(\varphi - \chi) - (H + h) \text{tg} \delta] \cdot [r_0 - \rho \cos(\varphi - \chi)]}{[r_0^2 + \rho^2 - 2r_0\rho \cos(\varphi - \chi) + z^2]^2} \rho dx,$$

где  $\rho = (H + h - z)\text{tg}\delta$ ;  $\text{tg}\delta = R/H$  – угол при вершине конуса;  $\varphi$  – угол под которым виден конус на высоте  $z$ ;  $h$  – высота резервуара;  $R$  – радиус резервуара;  $H$  – высота пламени;  $r_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$ ;  $(x_0, y_0)$  – координаты облучаемой точки у поверхности земли, в системе координат, начало отсчета которой совпадает с центром основания резервуара. Высота факела над резервуаром связана с диаметром резервуара соотношением:

$$H = 1,4D \text{ (ЛВЖ)},$$

$$H = 1,2D \text{ (ГЖ)}.$$

В качестве примера на рисунке 1 приведены зависимости плотности теплового потока от горящих резервуаров с нефтью ( $\epsilon_\phi = 0,85$ ,  $T_\phi = 1373 \text{ К}$ ,  $H = 1,2D$ ). Температура облучаемой поверхности принималась равной температуре окружающего воздуха  $T_0 = 293 \text{ К}$ , а степень ее черноты  $\epsilon_T = 0,8$ .

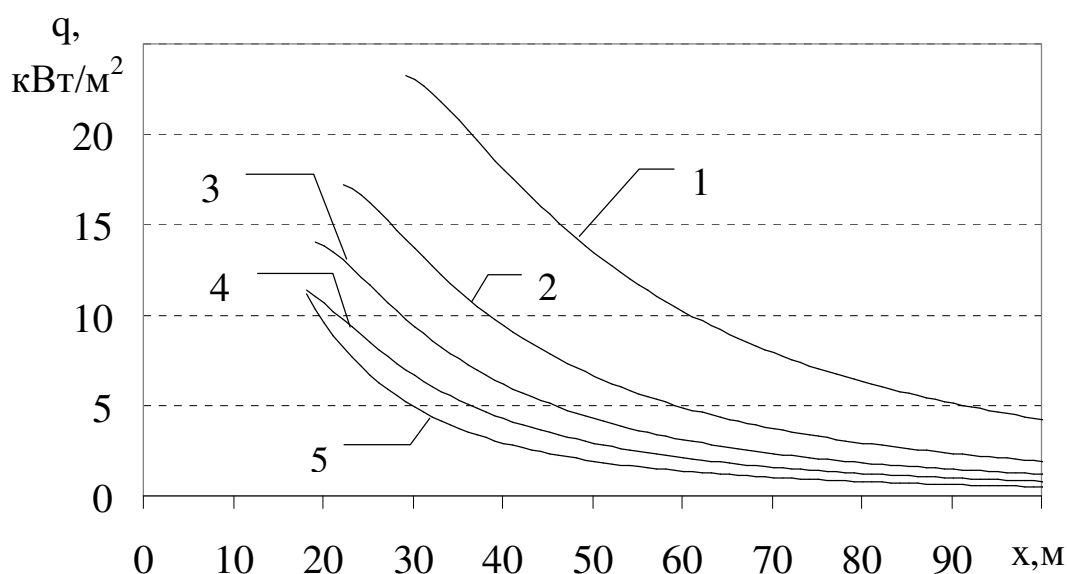


**Рисунок 1 – Зависимость теплового потока на высоте  $h = 0$  для различных резервуаров от расстояния: 1 – РВС-10000; 2 – РВС-5000; 3 – РВС-3000; 4 – РВС-2000; 5 – РВС-1000**

Из рисунка видно, что для резервуаров РВС-3000 и меньше тепловой поток не превосходит  $4,2 \text{ кВт/м}^2$ , т.е. не накладывает ограничений на расположение личного состава и техники. Для РВС-

5000 и РВС-10000 личный состав должен размещаться не ближе ... и ... соответственно.

Другим способом подачи пены в горящий резервуар является подача пены с лафетных вышек. Достоинством такого метода является размещение вышки на удалении от резервуара и отсутствие необходимости приближаться личному составу к горящему резервуару. С другой стороны лафетные вышки подвержены влиянию большего теплового потока. В качестве примера на рисунке 2 приведены зависимости плотности теплового потока от горящих резервуаров с нефтью для тех же условий окружающей среды, что и на рис. 1.



**Рисунок 1 – Зависимость теплового потока на высоте  $h=10$  для различных резервуаров от расстояния: 1 – РВС-10000; 2 – РВС-5000; 3 – РВС-3000; 4 – РВС-2000; 5 – РВС-1000.**

Исходя из проведенных расчетов влияния теплового потока на личный состав, технику и оборудование определим по тактико-техническим характеристикам пожарно-техническое оборудование (лафетные стволы), которое может использоваться для подачи огнетушащего вещества с лафетных вышек. Тактико-технические характеристики некоторых лафетных стволов приведены в табл. 1.

**Таблица 1 - Тактико-технические характеристики лафетных ствол**

| Название | Расход пенообразователя при давлении 0,6 | Дальность пенной струи при давлении 0,6 МПа, | Рабочее давление, МПа |
|----------|--|--|-----------------------|
|----------|--|--|-----------------------|

|          | МПа, л/с | м  |         |
|----------|----------|----|---------|
| ЛС–С–20у | 20       | 35 | 0,4–0,8 |
| ЛС–С–40у | 40       | 40 | 0,4–0,8 |
| ЛС–С–60у | 60       | 65 | 0,6–1   |

### Выводы.

По результатам проведенных расчетов при подаче огнетушащего вещества с уровня земли ( $h=0$  м) в очаг пожара воздействие теплового потока имеет меньшую величину и соответственно меньше влияет на личный состав, технику и оборудование чем при подаче с лафетной вышки равной высоте резервуара с нефтепродуктом ( $h=10$  м). Однако при подачи огнетушащего вещества с лафетной вышки ( $h=10$  м) точность попадания намного увеличивается и уменьшается время ликвидации пожара и расход огнетушащего вещества, но при этом следует отметить, что подавать огнетушащее вещество с лафетной вышки сложнее, необходимо создавать соответствующие дополнительные конструкции.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций в резервуарных парках с нефтепродуктами // – Харьков.: УГЗУ, 2006. – 256 с.
2. Андриенко В.Н., Говаленков С.В., Созник А.П. Математическая модель теплового излучения от факелов, имеющих форму конуса. Проблемы пожарной безопасности. 2003, №14. – С.24–28.
3. Иванников В.П, Ключ П.П. Справочник руководителя тушения пожара// – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.
4. НАПБ 05.02.–03 Інструкція щодо гасіння пожеж у резервуарах із нафтою та нафтопродуктами.
5. Наумов В.В., Цариченко С.Г. Оптимизация параметров подачи пены на тушение нефтепродуктов в резервуарах. Снижение риска гибели людей при пожарах: Материалы XVIII научно-практической конференции М.: 2003. – Ч.2. – С.15-16.
6. Мотин Л.А. Автоматизированные и роботизированные комплексы в задачах ликвидации техногенных аварий // Пожаровзрывобезопасность.- М.: 2004, №2.-2004. С.37-43.