

А. И. Купцов, Д. Я. Исламхузин, Ф. М. Гимранов

АНАЛИЗ ДЕЙСТВУЮЩИХ НОРМАТИВНЫХ МЕТОДИК РАСЧЕТА ПОСЛЕДСТВИЙ ПОЖАРА ПРОЛИВА ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ НА НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВАХ

Ключевые слова: пожар пролива, тепловое излучение, коэффициент облученности, диаметр пролива,

Проведен сравнительный анализ используемых на практике методик расчета последствий пожаров проливов. Оценка их корректности осуществляется путем сравнения с данными известных натурных испытаний. Установлено, что результаты расчетов по разным методикам значительно отличаются друг от друга. Сделан вывод о том, что все методики не достаточно корректно учитывают влияния ветра.

Keywords: pool fire, thermal radiation, the factor of the irradiance, diameter pool.

A comparative analysis of calculation methods used in practice, of results pool fire has been fulfilled. Assessment of their correctness is carried out by comparison with data of known full-scale tests. It has been established that the results of calculations by different methods are significantly different from each other. It is concluded that all the methods do not quite correctly account for the influence of wind.

В практике разработки планов локализации и ликвидации аварий на нефтехимических и химических производствах, в которых обращаются легко воспламеняемые, горючие жидкости и сжиженные природные газы, деклараций промышленной безопасности, при оценке пожарного риска и других обязательных процедурах эксплуатации опасных производственных объектов возникает необходимость расчета последствий вероятных пожаров пролива. Полученные расчетные данные являются основой для разработки профилактических, защитных, технических и организационных мероприятий.

Основным опасным поражающим фактором пожара пролива является тепловое излучение [1-2]. Для количественного расчета величины воздействия теплового излучения на человека и защищаемые объекты разработаны и рекомендованы ряд методик [3-5].

Продукты горения моделируется во всех методиках условно как цилиндр. В маловетренную погоду считается, что цилиндр будет иметь вертикальную форму [6].

В действующих нормативно-методических документах [3-5] принимается, что тепловое излучение происходит от непосредственно поверхности этого цилиндра. Интенсивность теплового излучения q (кВт/м²) для пожара пролива определяется по формуле:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau, \quad (1)$$

где E_f - среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени, кВт/м²; F_q - угловой коэффициент облученности; τ - коэффициент пропускания атмосферы.

Величина E_f - табличная [3-5] или принимается на основе имеющихся экспериментальных данных.

Коэффициент пропускания атмосферы τ при горении рассчитывается по формуле:

$$\tau = \exp[-7 \cdot 10^{-4} \cdot (r - 0,5 \cdot d)], \quad (2)$$

где r - расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта, м; d - эффективный диаметр пролива, м;

Угловой коэффициент облученности F_q вычисляется по формуле:

$$F_q = \sqrt{F_v^2 + F_h^2}, \quad (3)$$

где F_v , F_h - факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок.

Однако оказалось, что угловой коэффициент облученности в разных методиках рассчитывается по-разному.

В нормативном документе ГОСТ Р 12.3.047-98 [3] расчет коэффициента облученности осуществляется при отсутствии ветра. Как отмечалось, испаряющиеся пары в безветренную погоду образуют паровоздушное облако цилиндрической формы, и соответственно, облако горения имеет ту же форму (рис. 1).

Факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок находятся как:

$$F_v = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \frac{1}{S} \cdot \arctg \left(\frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}} \right) + \frac{h}{S} \cdot \left[\arctg \left(\sqrt{\frac{S-1}{S+1}} \right) - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}} \right) \right] \right\} \quad (4)$$

$$F_h = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \frac{B - 1/S}{\sqrt{B^2 - 1}} \cdot \left[\arctg \left(\sqrt{\frac{(B+1) \cdot (S-1)}{(B-1) \cdot (S+1)}} \right) - \frac{(A - 1/S)}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}} \right) \right] \right\} \quad (5)$$

$$A = \frac{h^2 + S^2 + 1}{2S}, \quad B = \frac{S^2 + 1}{2S}, \quad S = \frac{2r}{d}, \quad h = \frac{2H}{d}$$

где r - расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта, м; d - эффективный диаметр пролива, м; H - длина пламени, м; (расчетные формулы для диаметра пролива и длины пламени представлены в методике [3]).

В 2009 году вступил в силу документ СП 12.13130.2009 [4]. Он отличается от предыдущего [3] тем, что в формуле (4) нахождения фактора облученности для вертикальной площадки в левой части знак «+» заменен на знак «-».

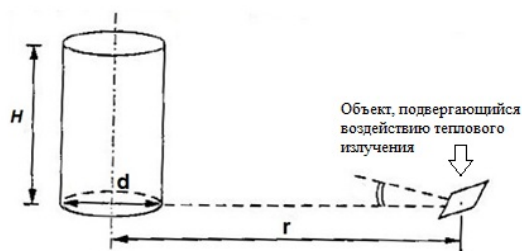


Рис. 1 - Условная форма облака горения по методикам [3;4]

В последней редакции «Методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» [5] от 14.12.2010 факторы облученности определяются из условия, что имеет место ветровое воздействие. Пожар пролива будет иметь форму уже наклонного цилиндра (рис. 2). Соответственно, это приводит к изменению уравнений (4) и (5), которые приобретают вид (6) и (7):

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \begin{aligned} & -E \cdot \arctg D + E \cdot \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1+a \cdot \sin \theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctg \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) + \\ & + \frac{\cos \theta}{C} \cdot \left[\arctg \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \arctg \left(\frac{F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) \right] \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \begin{aligned} & \arctg \left(\frac{1}{D} \right) + \frac{\sin \theta}{C} \cdot \left[\arctg \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \arctg \left(\frac{F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) \right] - \\ & - \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot (b+1) \cdot a \cdot b \cdot \sin \theta}{A \cdot B} \right] \cdot \arctg \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где $a = \frac{2L}{d}$, $b = \frac{2X}{d}$,

$$A = \sqrt{(a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot a \cdot (b+1) \cdot \sin \theta)},$$

$$B = \sqrt{(a^2 + (b-1)^2 - 2 \cdot a \cdot (b-1) \cdot \sin \theta)}$$

$$C = \sqrt{(1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2 \theta)}, \quad D = \sqrt{\frac{(b-1)}{(b+1)}},$$

$$E = \frac{a \cdot \cos \theta}{b - a \cdot \sin \theta}, \quad F = \sqrt{(b^2 - 1)}$$

где X - расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта, м; d - эффективный диаметр пролива, м; L - длина пламени, м; θ - угол отклонения пламени от вертикали под действием ветра; (расчетные формулы для диаметра пролива, длины пламени и угла отклонения пламени представлены в методике [5]).

Нами была рассмотрена еще методика, где факторы облученности, учитывающие ветровое воздействие, рассчитывались по уравнениям Аталаха [7]. Они отличаются тем, что в формуле (6) для нахождения фактора облученности для вертикальной площадки значение $\cos \theta / C$ умножено на второе слагаемое вместо третьего, а в формуле (7) для нахождения фактора облученности для горизонтальной площадки вычитание между скобками заменено произведением.

Учитывая тот факт, что все методики, имеют цель расчета интенсивности теплового излучения, но отличаются друг от друга, логичным является сравнение результатов расчетов с экспериментальными или статистическими данными. К сожалению, таких данных оказалось крайне мало. Нами было

проведено сравнение со значениями эксперимента Montoir (рис. 3), который был проведен в Ницце (Франция) в 1987 году [8]. Эффективный диаметр пожара пролива СПГ был равен 35 м, а показания ветра менялись от 7 до 10,1 м/с. На расстоянии 140 метров интенсивность теплового излучения по ветру была равна 15 кВт/м². Результаты сравнения приведены в таблице 1.

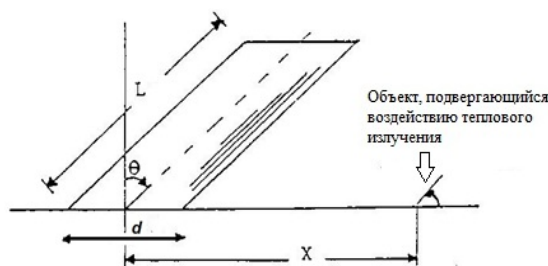


Рис. 2 - Условная форма облака горения по методике [5]



Рис. 3 - Эксперимент Montoir

Таблица 1 - Сравнение методик расчета на основе данных экспериментального пожара пролива

Методика	Угловой коэффициент облученности	Интенсивность теплового излучения
ГОСТ Р 12.3.047-98	0,005	0,64
СП 12.13130.2009	0,027	3,56
Приказ МЧС № 404 (ред. 2010г.)	0,26	33,5±0,59
с уравнениями Аталаха [7]	0,063	8,1±2,2
Эксперимент [8]	-	15

Анализ методик с данными эксперимента показал, что при расчетах интенсивности теплового излучения необходимо обязательно учитывать наличие ветра. Применяемая нормативная методика [5], учитывающая наличие ветра, значительно завышает значение интенсивности излучения. Методика с использованием уравнений Аталаха показывает наиболее близкий результат, но занижает поражающий фактор пожара пролива по сравнению с экспериментальными данными. Расхождения действующих методик со значениями эксперимента можно объяснить тем, что процесс пожара пролива не стационарен, скорость ветра различна как по высо-

те, так и по времени, в процессе пожара пролива меняется состав продуктов горения и т.д.

В целом, для объективной оценки реальной опасности от воздействия теплового излучения пожаров пролива, необходимы дополнительные экспериментальные исследования с учетом влияния ветра при разных диаметрах пролитых горючих жидкостей и при разных расстояниях до защищаемого объекта. Результаты же расчетов по действующим нормативным методикам можно считать только ориентировочными. Такое предположение существенно затрудняет принятие адекватных и эффективных мер по защите людей и объектов от воздействия теплового излучения в случае пожара пролива.

Литература

1. Ф.М. Гимранов, Вестник Казан. технол. ун-та, 5, 158-161 (2010).

2. Р.Ш. Еналеев, А.М. Закиров, Ю. С. Чистов, Э.Ш. Теляков, Вестник Казан. технол. ун-та, 17, 50-55 (2012).
3. ГОСТ Р 12.3.047-98 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля».
4. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».
5. «Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах», утвержденная приказом МЧС РФ от 10.07.2009г. N 404 (ред. от 14. 12. 2010г.)
6. В. Маршалл, *Основные опасности химических производств*. Мир, М. 1989. 672с.
7. S. Atallah, J.N. Shah, Topical report GRI-89/0176, GRI, (1990)
8. D. Nedelka, et al., *Int. Conf. Liq. Nat. Gas*, 2, 9, 17-20 (1989)

© **А. И. Купцов** – аспирант каф. промышленной безопасности КНИТУ, artpb@yandex.ru; **Д. Я. Исламхузин** - канд. техн. наук, доц. той же кафедры; **Ф. М. Гимранов** - д-р техн. наук, проф., зав. каф. промышленной безопасности КНИТУ.