

УДК 614.84

Савченко А.В., адъюнкт, Киреев А.А., канд. химич. наук, доцент, Шарашанов А.Я., канд. физ-мат. наук, доцент (Университет гражданской защиты Украины)

ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА В КВАРТИРЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИХ СОСТАВОВ. УЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОГНЕТУШАЩЕГО ВЕЩЕСТВА

Представлена модель тушения пожаров в жилом секторе гелеобразующими составами. Приведена оценка времени тушения пожара при использовании гелеобразующих составов с учетом коэффициента использования огнетушащих веществ.

Постановка проблемы. Статистика свидетельствует: наибольшее количество пожаров в Украине происходит в жилом секторе. Для тушения этих пожаров, оперативно-спасательными подразделениями используются тактические приемы, целесообразность которых определяется спецификой жилого фонда. Эффективность этих приемов главным образом зависит от вида используемого огнетушащего вещества (ОВ). При этом каждое ОВ имеет известные недостатки, которые ограничивают его применение. Вследствие перечисленного, процесс пожаротушения далек от оптимального, и это причина дополнительных убытков от пожаров. Например, в жилых домах это залив водой ниже размещенных этажей. Поэтому, правильное определение сил и средств, необходимых для тушения пожаров на объектах жилого сектора является одним из составляющих рациональной организации пожаротушения. Количественно эта задача может быть решена на основе разработки математических моделей пожаротушения.

Исходными данными для математической модели должны быть: скорость распространения пожара, скорость его тушения. Необходимо учитывать тот факт, что скорость тушения пожара различными (ОВ)

неодинакова. Различия в значительной степени определяются потерями ОВ в процессе тушения.

Анализ последних достижений и публикаций. На сегодняшний день не разработаны общепринятые принципы и количественные закономерности, позволяющие априорно рассчитывать условия пожаротушения [1]. В работах [1, 2] представлены полуэмпирические модели пожаротушения, в которых время тушения связано с интенсивностью подачи ОВ.

$$\tau = \frac{A}{I}, \quad (1)$$

$$\tau = \frac{A}{I - B}, \quad (2)$$

$$\tau = \frac{B}{I} - \ln\left(1 - \frac{b}{I}\right), \quad (3)$$

$$\tau = \tau_0 + k \ln \frac{I - A}{I - B}, \quad (4)$$

$$\tau = \frac{I}{A \cdot I - B}, \quad (5)$$

$$\tau = \frac{I \cdot V}{A \cdot I - B \cdot V}, \quad (6)$$

Где A, B, k, τ_0 – константы, V – интенсивность выгорания.

Для приведенных моделей общим является полное усреднение условий тушения, предположение об одновременном и равномерном тушении всей площади горения, игнорирование возможности повторного воспламенения, отсутствие возможности учета распространения пожара.

Наиболее ясно физический смысл заложен в модель, вывод уравнения которой приведен в [3]:

$$\tau = \frac{q^0 + I_0 \cdot r_0}{I - I_0}, \quad (7)$$

Где q_0, I_0, r_0 - величины, численные значения которых зависят от типа горючего материала. В данной модели был принят ряд допущений: тушение осуществляется по всей площади горения, отсутствуют потери

ОВ, процесс отвода тепла от факела пламени независим от процесса охлаждения горючего материала.

Постановка задачи и её решение. С целью получения адекватной математической модели позволяющей описывать условия ликвидации пожара на объектах жилого сектора, были учтены: возможность распространения пожара и коэффициент использования ОВ. Возможность повторного воспламенения в данной работе не рассматривается.

Очевидно, тушение пожара может быть достигнуто, если скорость тушения превышает скорость его распространения. Время тушения зависит от площади пожара, скорости его распространения и скорости его тушения. Площадь пожара является функцией большого количества параметров: начальной площади пожара (на момент начала тушения), размещения и типа горючих материалов, внешних условий (температура, сила и направление ветра). Первостепенное значение для определения количественных характеристик развития и тушения пожара имеет знание его формы развития. В большинстве случаев пожары в жилых зданиях с помещениями небольшой площади имеют прямоугольную форму развития от начала возникновения горения [4]. Ограничимся рассмотрением случая, когда площадь пожара зависит от начальной площади пожара и времени: $S=F(S_0, \tau)$.

Примем, что для каждого твердого горючего материала существует минимальное количество ОВ, равномерное нанесение которого на горящую поверхность прекращает процесс горения. Также будем считать, что ОВ подается равномерно с заданной поверхностной плотностью.

Введем следующие обозначения:

S – площадь горячей поверхности; S_0 – начальная площадь горячей поверхности. Под площадью горячей поверхности будем понимать суммарную площадь всех горящих поверхностей в очаге пожара. Она в общем случае отличается от площади пожара и площади горения [4, 5].

В качестве характеристик подачи ОВ будем использовать: P – расход (кг/с или л/с); I – интенсивность подачи ОВ (кг/(с·м²) или л/(с·м²)). Между P и I существует связь:

$$I=P/S.$$

Введем скорость тушения пожара (s). Скорость тушения пожара равна площади поверхности, на которую нанесено ОВ (в количестве достаточном для прекращения горения) в единицу времени. Очевидно, что s прямо пропорционально расходу ОВ и его коэффициенту использования (K), и зависит от горючего материала. Для каждого горючего материала существует минимальное количество (объем) ОВ (V), обработка которым (при отсутствии потерь) горячей поверхности этого материала площадью S приводит к тушению этой поверхности:

$$V / S=l. \tag{8}$$

Физический смысл этого отношения очевиден. Оно равняется минимальной гипотетической толщине слоя ОВ нанесение, которого приводит к тушению этой поверхности [3]. С учетом коэффициента использования ОВ уравнение (8) запишется:

$$V \cdot K / S=l \tag{9}$$

С учетом того, что $P=V/\tau$ уравнение (9) запишется:

$$P \cdot \tau_{туш} \cdot K / S=l,$$

где $\tau_{туш}$ – время тушения. Из последнего уравнения выразим $\tau_{туш}$

$$\tau_{туш}=l \cdot S / (P \cdot K)=l (I \cdot K).$$

С учетом вышеизложенного выразим скорость тушения:

$$s = S / \tau_{туш} = P \cdot K / l = S \cdot I \cdot K / l. \tag{10}$$

Таким образом, в выражении (10) скорость тушения определяется через подачу ОВ (P или I), коэффициент использования ОВ (K), и характеристику горючего вещества (l).

Рассмотрим, как время тушения зависит от площади горения и её изменения в ходе пожара. Примем, что отсутствует повторное

воспламенение. Условие тушения – обработка всей горячей поверхности ОВ в количестве достаточном для прекращения горения:

$$s \cdot \tau_{\text{муш}} = S = F(S_0 \tau)$$

Пожар в квартире ограничивается стенами. Рассмотрим вариант, при котором фронт пожара достиг стен и дальше не распространяется (рис.1).



Рис.1 Площадь горения ограничена стенами, пожар не распространяется.

В этом случае без подачи ОВ площадь горения постоянна:

$$\frac{dS}{d\tau} = 0 \text{ или } S = S_0 = \text{const}$$

Тогда:

$$s \cdot \tau_{\text{муш}} = S = S_0$$

Откуда:

$$s \cdot \tau_{\text{муш}} = \frac{S_0}{s} = \frac{I \cdot S_0}{K \cdot P} = \frac{I}{I \cdot K} \quad (11)$$

Это выражение по своей сути совпадает эмпирическим соотношением (1).

В реальных условиях при тушении пожара значительная часть ОВ теряется за счет различных факторов. Основные из них: стекание жидких ОВ с вертикальных и наклонных поверхностей, нерациональные действия пожарных подразделений. По данным работ [6, 7] коэффициент использования воды ($K_{\text{вода}}$) при тушении компактными струями лежит в диапазоне от 0,01 до 0,1. Примем в качестве усредненного значения $K_{\text{вода}} = 0,05$.

Для распыленной воды существенны потери вследствие отсутствия контакта капель жидкости с сильно нагретыми поверхностями (явление Лейденфроста). В последнем случае отсутствует единое мнение по

значению коэффициента использования воды. В работе [8] было сопоставлено охлаждающее действие тонкораспыленной воды и гелеобразующих огнетушащих систем (ГОС), определенных в одинаковых условиях. Так как теоретические значения охлаждающих действий воды и ГОС близки, можно заключить, что различие в их практически выявленном охлаждающем действии объясняется различными потерями ОВ. Из данных этих исследований можно заключить, что отношение коэффициентов использования ГОС и тонкораспыленной воды составляет величины в интервале от 2 до 5. Примем за среднее значение величину $K_{\text{вода расп}}=3,5$.

$$K_{\text{гель}}/K_{\text{вода расп}} \approx 3,5$$

В этом случае можно рассчитать отношение времени тушения при использовании воды к времени тушения при использовании ГОС при одинаковых интенсивностях подачи ОВ. Так как гель по охлаждающему действию мало отличается от воды (в нём ~90% воды), будем считать, что значение l для воды и геля одинаково. При использовании воды в виде компактных струй получим:

$$\frac{\tau_{\text{туш}}(\text{вода})}{\tau_{\text{туш}}(\text{гель})} = \frac{I}{K_{\text{вода}} \cdot I} \cdot \frac{K_{\text{гель}} \cdot I}{I} = \frac{K_{\text{гель}}}{K_{\text{вода}}} \quad (12)$$

Потери ОВ при тушении ГОС минимальны, так как практически отсутствует стекание геля и незначительны потери за счет явления Лейденфроста. Если исключить из рассмотрения нерациональные действия пожарных подразделений, то можно принять, что $K_{\text{гель}}$ близко к единице. В таком случае при применении компактных струй будем иметь:

$$\frac{\tau_{\text{туш}}(\text{вода})}{\tau_{\text{туш}}(\text{гель})} = \frac{K_{\text{гель}}}{K_{\text{вода}}} = \frac{1}{0,05} = 20. \quad (13)$$

Применение тонкораспыленных струй даст следующее соотношение времён тушения:

$$\frac{\tau_{\text{туш}}(\text{вода.расп})}{\tau_{\text{туш}}(\text{гель})} = \frac{K_{\text{гель}}}{K_{\text{вода.распыл}}} \approx 3,5. \quad (14)$$

Теперь рассмотрим случай, когда пожар достиг двух противоположных стен, но продолжает развиваться в стороны (рис.2).



Рис.2 Пожар ограничен двумя противоположными стенами, распространение происходит в стороны.

В этом случае, когда ОВ на тушение не подается, площадь пожара увеличивается линейно со временем. Во многих случаях именно в жилом секторе пожар развивается подобным образом. Поэтому при прямоугольной форме пожара:

$$\frac{dS}{d\tau} = a \text{ или } S = S_0 + a \cdot \tau.$$

Условием тушения будет:

$$S_0 + a \cdot \tau_{туш} = S \cdot \tau_{туш}$$

$$\tau_{туш} = \frac{S_0}{s - a} = \frac{S_0}{K \cdot P / l - a} = \frac{I}{I \cdot K / l - a / S_0} \quad (15)$$

Это соотношение, по сути, совпадает с эмпирическим выражением (2).

Из соотношения (15) можно заключить, что в таком случае принципиальная возможность потушить пожар реализуется при условии выполнения неравенства:

$$P \cdot K / l > a. \quad (16)$$

Смысл этого неравенства – скорость тушения должна превосходить скорость распространения пожара.

Оперативно - спасательные подразделения в основном используют стволы: СРК-50 (расход 3,7л/с) и РС-70 (расход 7,4 л/с). Для количественного сопоставления времен тушения водой и гелем примем расход ОВ 5л/с. Самой большой составляющей горючей нагрузки в квартире 47,1% [9] является древесина. Рассмотрим её в качестве горючего

материала. Для древесины $l=0,5$ мм. Перейдя в систему СИ. Из соотношения (15) получим:

$$\tau_{\text{туш}} = \frac{S_0}{10 \cdot K - a} \quad (17)$$

В случае тушения компактной струёй ($K=0,05$) можно потушить пожар, скорость распространения которого $a < 0,5$ м²/с. В случае тушения тонкораспыленными струями ($K \approx 0,3$) можно потушить пожар, скорость распространения которого $a < 3$ м²/с. В случае тушения ГОС ($K \approx 1$) можно потушить пожар, скорость распространения которого $a < 10$ м²/с.

Рассчитанные для принятых значениях P и l отношения времен тушения водой и гелем для различных значений скоростей распространения пожара (a) сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Отношение времён тушения водой и гелеобразующей системой при разных скоростях распространения пожара (a)

a , м ² /с	$\tau_{\text{туш}}(\text{вода}) / \tau_{\text{туш}}(\text{гель})$	
	Вода компактной струёй	Вода тонкораспыленная
0	20	3,5
0,1	24,8	3,5
0,2	32,7	3,5
0,3	48,5	3,6
0,4	96	3,7
0,45	191	3,7
1	*	4,5
2	*	8
2,5	*	15
3	*	*

*- тушение не достигается

Выводы. Таким образом, можно заключить, что при условии отсутствия распространения пожара время тушения гелеобразующими составами меньше времени тушения водой в ~ 20 раз при использовании компактных струй и в $\sim 3,5$ раза при использовании тонкораспыленной воды. В случае возможности увеличения площади пожара по линейному закону эти отношения достигают сотен и десятков раз соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бубнов В.П., Шишканов М.Н. Разработка модели определения эффективного способа и средства тушения пожара // *Черезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. Ч.1. Тез. докл. 2-ой междунар. Научно-практической конференции. Минск. 2003. с. 170-172.*
- 2 Жартовский В., Цапенко А., Стеценко В. // *Пожежна безпека. 2003. №7(46).-С.28-29; №8(47).-С.28-30.*
- 3 Абдурагимов И.М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. М.: ВИПТШ МВД СССР. 1980.-256с.
- 4 Иванников В.П., Ключ П.П., Мазур Л.К. Справочник по тушению пожаров. Киев, РИО МВД УССР, 1975. – 226с.
- 5 Иванников В.П., Ключ П.П., Справочник руководителя тушения пожаров. М.: Стройиздат, 1987.-288с.
- 6 Тарахно О.В., Шаршанов А.Я. Фізико-хімічні основи використання води в пожежній справі. Харків. 2004.- 252с.
- 7 Лінчевський Є.А., Сировой В.В. Розробка тактичного забезпечення до імпульсних вогнегасників. // *Пожежна безпека: Науковий збірник. Ч.3, Черкаси. 1999.– С. 21-23.*
- 8 Кіреєв О.О., Бабенко О.В. Оптимізація складу гелеутворюючих вогнегасних систем// *Проблеми пожежної безпеки. – Харьков: Фолио, 2004. - Вып. 15. С. 103 – 106.*
- 9 Ми Зуи Тхань Горючая загрузка в современных жилых помещениях // *Пожаровзрывобезопасность. – 2005. Т. 14, №4 – С. 30-37.*