

УДК 614.84

*А.А. Киреев, канд. хим. наук, доцент, УГЗУ,
К.В. Жерноклёв, канд. хим. наук, ст. преподаватель, УГЗУ,
А.Н. Коленов, преподаватель, УЗГУ*

**ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ТУШЕНИЯ КРУПНЫХ ПОЖАРОВ ПРИ
ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИХ СОСТАВОВ**

(представлено д-ром хим. наук Д.В. Калугиным)

Оценены времена локализации и ликвидации крупных пожаров при использовании гелеобразующих огнетушащих составов. Показано преимущество гелеобразующих составов при тушении крупных пожаров по сравнению с традиционным огнетушащим веществом – водой.

Ключевые слова: Крупные пожары, время тушения пожаров, гелеобразующие составы.

Постановка проблемы. Одной из наиболее распространённых чрезвычайных ситуаций являются крупные пожары. Они характеризуются большими площадями и периметрами горения. На ликвидацию крупных пожаров привлекается большое количество сил и средств. Время, затрачиваемое на их ликвидацию, составляет от десятков до сотен часов.

Крупные пожары характеризуются наличием интенсивных тепловых потоков в зоне теплового воздействия. Это вызывает воспламенение материалов в этих зонах. Кроме этого, при тушении крупных пожаров характерно явление повторного воспламенения ранее потушенных участков под действием тепловых потоков от непотушенных областей пожара. Поэтому актуальной является задача разработки огнетушащих средств затрудняющих повторное воспламенение материалов после обработки их огнетушащими веществами.

Анализ последних исследований и публикаций. Ранее для повышения эффективности пожаротушения и целей оперативной огнезащиты были предложены огнетушащие и огнезащитные гелеобразующие системы (ГОС) [1-3]. Один из составов такой системы представляет собой раствор гелеобразующего компонента – силиката щелочного металла. Второй состав – раствор веществ вызывающих быстрое гелеобразование силикатной составляющей. При подаче таких растворов они смешиваются на горящих или защищаемых поверхностях. Между компонентами растворов происходит взаимодействие, приводящее к образованию геля. Гель образует на поверхности нетекучий огнезащитный слой. Этот слой прочно закрепляется на вертикальных и наклонных поверхностях.

По сравнению с водой гелеобразующие составы имеют преимущество, заключающееся в существенном уменьшении потерь огнетушащего вещества за счет стекания с наклонных и вертикальных поверхностей. Другим преимуществом гелеобразующих огнетушащих составов является их высокое оперативное огнезащитное действие.

В работах [4-5] были изучены оперативные огнезащитные свойства ряда таких систем. В частности установлено, что гелеобразные слои толщиной 1-2 мм защищают образцы древесины от воспламенения при прямом действии пламени в течение 3-20 минут, а толщиной более 3,5 мм переводят большинство ТГМ в негорючее состояние. Это делает гелеобразующие составы перспективным средством оперативной огнезащиты и позволяет применять их для целей локализации пожаров [6]. Однако оценки времени локализации и ликвидации пожаров при использовании ГОС не было проведено.

Постановка задачи и её решение. Целью работы является оценка времени тушения крупного пожара с помощью гелеобразующих составов. Это можно сделать на основе разработки математической модели пожаротушения, которая должна учитывать возможности распространения пожара, возможности повторного воспламенения, а также учитывать огнетушащие свойства и коэффициент использования огнетушащего вещества.

Тушение пожара может быть достигнуто, если скорость тушения превышает сумму скоростей распространения пожара и скорости распространения повторного воспламенения. Важнейшей характеристикой процесса тушения является время тушения. Оно зависит от площади пожара, скорости его распространения и скорости тушения [8].

Площадь пожара в свою очередь является функцией большого количества параметров: начальной площади пожара (на момент начала тушения), типа горючих материалов и их размещения, внешних условий (температура, сила и направление ветра). Как и ранее [8] ограничимся рассмотрением случая, когда площадь пожара зависит от начальной площади пожара и времени: $S = F(S_0, \tau)$.

При рассмотрении вопроса о скорости тушения пожара примем, что для каждого твёрдого горючего материала существует минимальное количество ОВ, быстрое равномерное нанесение которого на горящую поверхность прекращает процесс горения. Кроме того, будем считать, что существуют средства подачи ОВ, позволяющие равномерно с заданной поверхностной плотностью подавать их на горящие поверхности.

Примем такие же обозначения, что и в работе [8]: $S_{\text{пож}}$ – площадь пожара, $K_{\text{гор}}$ – коэффициент площади горения, S – площадь горящей поверхности; S_0 – начальная площадь горящей поверхности, K – коэффициент использования огнетушащего вещества, l – минимальная толщина слоя огнетушащего вещества быстрого нанесения, которого вызывает тушение этой поверхности. В качестве характеристики подачи будем использовать расход огнетушащего вещества (P) ($\text{м}^3/\text{с}$).

За скорость тушения площади горения (s) примем площадь, потушенную в единицу времени. Её можно определить из соотношения:

$$s = \frac{P \cdot K}{l}. \quad (1)$$

В пожарной тактике принято различать два основных закона распространения пожара – линейный рост площади со временем (для прямоугольной форме пожара) и квадратичный закон роста площади пожара от времени (для круговой и угловой форм пожара). Кроме того, возможен случай постоянства площади пожара. Для случая постоянства площади пожара и линейного закона роста его площади ранее были получены выражения для времени тушения в этих случаях [8]:

$$\tau_{\text{туш}} = \frac{S_{\text{пож}} \cdot K_{\text{гор}}}{s} = \frac{S_0}{s} = \frac{l \cdot S_0}{K \cdot P}. \quad (S=S_0=\text{const}). \quad (2)$$

$$\tau_{\text{туш}} = \frac{S_0}{s - a} = \frac{S_0}{P \cdot K / l - a}. \quad (S=S_0+a\tau). \quad (3)$$

Для случая квадратичного закона роста площади пожара ($\frac{dS}{d\tau} = a + b \cdot \tau$ или $S = S_0 + a \cdot \tau + 0,5b \cdot \tau^2$) в предположении, что скорость распространения пожара не зависит от скорости его тушения, условием тушения будет:

$$S_0 + a \cdot \tau_{\text{туш}} + \frac{1}{2} \cdot b \cdot \tau_{\text{туш}}^2 = s \cdot \tau_{\text{туш}},$$

$$\tau_{\text{дог}} = \frac{s - a - \sqrt{(s - a)^2 - 2bS_0}}{2}. \quad \text{или}$$

$$\tau_{\text{туш}} = \frac{PK/l - a - \sqrt{(PK/l - a)^2 - 2bS_0}}{2}. \quad (4)$$

Принципиальная возможность потушить пожар в таком случае реализуется при условии выполнения неравенств: $s > a$ и $(s - a)^2 > 2bS_0$. Совместное решение которых даёт $s > a + \sqrt{2bS_0}$ или $\frac{PK}{l} > a + \sqrt{2bS_0}$.

Предположение о независимости скорости распространения пожара от операций по его тушению выполняется в случае самого нерационального тушения, например, когда тушение проводится во внутренних частях пожара, а не по его периметру. На практике тушение начинают с локализации пожара, то есть с остановки распространения пламени по периметру пожара (в случае равноценности всех направлений распространения пожара) или по фронту так называемых решающих направлений [9]. Рассмотрим случай равноценности всех направлений распространения пожара. В таком случае применяют метод локализации пожара путём его охвата.

В работе [6] показано преимущество ГОС на этапе локализации пожара. После завершения этапа локализации можно принять, что площадь пожара перестаёт увеличиваться и дальнейшие операции по его тушению приводят к постепенному уменьшению площади пожара (этап ликвидации пожара).

Одновременно необходимо подчеркнуть, что при выводе соотношений (2), (3) и (4) не учитывалось возможность повторного воспламенения. Повторное воспламенение может происходить по двум основным причинам. Во-первых, оно может происходить за счёт тепла аккумулированного в горючем материале. Для предотвращения повторного воспламенения по этой причине достаточно охладить горючий материал до температуры, при которой не будут выделяться в достаточном количестве горючие газообразные продукты термодеструкции. Другая возможность повторного воспламенения обусловлена нагреванием потушенных материалов за счёт теплового излучения от непотушенных областей пожара. Последний фактор сильно проявляется в случае крупных пожаров.

Время повторного воспламенения зависит от большого количества факторов: характера горючих материалов, их размещения, внешних условий, типа используемого ОВ, интенсивности теплового

излучения в зоне пожара. Интенсивность теплового излучения также зависит от большого числа факторов: типа горючих материалов, их влажности, интенсивности процесса горения, площади пожара, расстояния потушенных участков от факела пламени.

Наибольшее влияние на время повторного воспламенения оказывает количество огнетушащего вещества нанесенного на его поверхность [7,10]. Для тонких слоёв гелеобразных покрытий (до 1 мм) время повторного воспламенения мало отличается от времени повторного воспламенения горючих материалов, обработанных такими же количествами воды. Время повторного воспламенения для слоя геля толщиной 1 мм обычно не превышает 1–2 минуты. При увеличении количества поданных огнетушащих веществ увеличиваются преимущества ГОС. Так для слоёв геля толщиной 2 мм повторное воспламенение древесины наступает через 4–6 минут. При подаче такого же количества воды на защищаемую поверхность время повторного воспламенения древесины остаётся меньше 1 минуты. Дальнейшее увеличение количества поданной на единицу поверхности воды мало изменяет время повторного воспламенения древесины, так как избыток воды стекает с наклонных и вертикальных твёрдых поверхностей. Увеличение же количества поданных гелеобразующих составов существенно увеличивает время повторного воспламенения твёрдых горючих материалов. Толщине гелеобразного слоя (ГОС $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$) более 4 мм древесина становится неспособной к повторному воспламенению. Такой же толщине слоя гелеобразного покрытия достаточно и для недопущения воспламенения ранее не горевшей древесины.

Таким образом можно сделать вывод, что при условии подачи на горящие поверхности такого количества ГОС, которое обеспечивает получение гелеобразного слоя толщиной 4 мм становится возможным применять для расчёта времени тушения соотношение 4, которое не учитывает возможность повторного воспламенения.

Рассмотрим процесс тушения отдельной части крупного пожара с длинной участка по фронту пожара равной L м. Тушение начинается со стадии локализации пожара. В работе [6] показано, что для высоты пламени 5 м и наличие в зоне теплового воздействия материалов способных к воспламенению под действием теплового излучения с интенсивностью $7,5 \text{ кВт/м}^2$ (сухая трава), объём геля, необходимый для защиты локализуемого участка шириной в 1 м составит $0,23 \text{ м}^3/\text{м}$. Для рассматриваемого локализуемого участка общие затраты ГОС составят $0,23 \cdot L \text{ м}^3$. Если принять что техническое средство подачи ГОС в очаг пожара обеспечивает типичный для ручного ствола расход (P) равный 5 л/с, то на процесс локализации участка крупного пожара будет затрачено время:

$$\tau_{\text{лок}} = \frac{0,23 \cdot L}{P} = \frac{0,23 \cdot L}{5 \cdot 10^{-3}} = 46 \cdot L.$$

При таком способе локализации пожара обеспечивается длительное обеспечение отсутствия воспламенения горючих материалов, находящихся в зоне теплового воздействия.

При использовании воды для защиты локализуемого участка шириной в 1 м необходимо обеспечить подачу 2,6 м³/м воды [6]. На локализацию участка шириной L потребуется при заданном расходе огнетушащего вещества время равное:

$$\tau_{\text{лок}}(\text{H}_2\text{O}) = \frac{2,6 \cdot L}{P} = \frac{2,6 \cdot L}{5 \cdot 10^{-3}} = 520 \cdot L.$$

Это время более чем на порядок превышает время локализации с помощью ГОС. Кроме того, при использовании воды необходимо постоянно проводить обработку защищаемых площадей, так как вода не обеспечивает долговременной огнезащиты.

После окончания стадии локализации становится возможным переход к стадии ликвидации пожара. Для обеспечения надёжного длительного прекращения горения необходимо обеспечить отсутствие повторного воспламенения потушенных участков пожара от действия теплового излучения от непотушенных областей пожара. Для этого необходимо осуществлять подачу ГОС, которая обеспечивает образование слоя геля толщиной $l = 4$ мм. Если принять коэффициент площади горения ($K_{\text{гор}}$) равным 4, коэффициент использования огнетушащего вещества (K) равным 1, а расход на средстве подаче $P = 5 \cdot 10^{-3}$ м³/с, то скорость тушения пожара будет равной:

$$s = \frac{P}{1 \cdot K_{\text{гор}}} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3} \cdot 4} = 0,31 \text{ м}^2 / \text{с}.$$

Время ликвидации горения на участке пожара площадью S будет равно:

$$\tau_{\text{ликв}} = \frac{S_{\text{пож}} \cdot K_{\text{гор}}}{s} = \frac{4 \cdot S_{\text{пож}}}{0,31} = 13 \cdot S_{\text{пож}}.$$

При использовании воды практически невозможно обеспечить отсутствие повторного воспламенения потушенных участков. Это в

свою очередь позволяет потушить такую площадь горения, затраты времени на подачу воды на которую не превышают время повторного воспламенения. Даже если допустить отсутствие повторного воспламенения, скорость тушения водой за счёт её потерь будет на порядок меньше (коэффициент использования воды обычно не превышает 10%) чем скорость тушения с использованием ГОС. Соответственно во столько же раз будут отличаться и времена, затрачиваемые на стадию ликвидации пожара:

$$\tau_{\text{ликв}}(\text{H}_2\text{O}) = \frac{S_{\text{пож}} \cdot K_{\text{гор}}}{0,1 \cdot s} = \frac{4 \cdot S_{\text{пож}}}{0,031} = 130 \cdot S_{\text{пож}}$$

Общее время тушения части крупного пожара шириной по фронту L составит при рассматриваемых условиях в случае использования ГОС:

$$\tau_{\text{туш}} = \tau_{\text{лок}} + \tau_{\text{ликв}} = 46 \cdot L + 13 \cdot S_{\text{пож}},$$

а при использовании воды в качестве огнетушащего средства:

$$\tau_{\text{туш}}(\text{H}_2\text{O}) = \tau_{\text{лок}}(\text{H}_2\text{O}) + \tau_{\text{ликв}}(\text{H}_2\text{O}) = 520 \cdot L + 130 \cdot S_{\text{пож}}$$

Выводы. Использование огнетушащих гелеобразующих составов уменьшает время тушения крупных пожаров более чем на порядок по сравнению с тушением таких пожаров с помощью воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент 2264242 Российская федерация. МПК7 А62 С 5/033, Способ тушения пожара и состав для его осуществления / Борисов П.Ф., Росоха В.Е., Абрамов Ю.А., Киреев А.А., Бабенко А.В. Заявка №2003237256/12. Заявл. 23.12.2003, Опубл. 20.11.10.2005, Бюл. №32.

2. Кіреєв О.О., Бабенко О.В. Обґрунтування вибору систем для дослідження явища гелеутворення при розробці нових рідинних засобів пожежогасіння. // Проблеми пожарной безопасности. – 2002. – вып.12. – С.107-110.

3. Пат. 60882 Україна, МКІ 7А62С1/00. Способ гасіння пожежі та склад для його здійснення / Борисов П.Ф., Росоха В.О., Абрамов Ю.О., Кіреєв О.О., Бабенко О.В. (Україна).-№ 2003032600. Заявл. 25.03.2003; опубл. 15.10.2003, бюл. № 10, 2003.

4. Кіреєв О.О. Вогнезахисні властивості силікатних гелеутворюючих систем // Науковий вісник будівництва. – 2006.– вып.37.– С.188-192.

5. Абрамов Ю.О., Кіреєв О.О., Щербина О.М., Бедзай О.М. Дослідження вогнегасної дії гелеутворюючих систем на основі силікатів // Пожежна безпека.– 2007.– №.11. – С.100-104.

6. Абрамов Ю.А., Киреев А.А., Шаршанов А.Я. Локализация чрезвычайных ситуаций с помощью гелеобразующих составов (на примере крупных пожаров) // Проблемы надзвичайних ситуацій.– 2007.– вып.6.– С.3-11.

7. Абрамов Ю.А., Киреев А.А., Щербина О.Н. Влияние гелеобразных слоёв на время повторного воспламенения древесины // Пожежна безпека.– 2007.– №.10.– С.88-91.

8. Абрамов Ю.А., Киреев А.А., Шаршанов А.Я. Феноменологический подход к оценке времени тушения пожара при использовании огнетушащих гелеобразующих составов // Проблемы пожарной безопасности.– 2007.– вып.21. – С.3-9.

9. Иванников В.П., Ключ П.П. Справочник руководителя тушения пожара. М.: Стройиздат. 1987. – 288 с.

10. Абрамов Ю.О., Кіреєв О.О., Щербина О.М., Дослідження впливу товщини шару гелю на його вогнезахисні властивості // Пожежна безпека. – 2006. – №.8. – С.159-162.
nuczu.edu.ua

О.О. Кіреєв, К.В. Жернольов, О.М.Колєнов

Оцінювання часу гасіння великих пожеж при використанні гелеутворюючих складів.

Проведена оцінка часу локалізування та ліквідування великих пожеж при використанні гелеутворюючих складів. Показана перевага гелеутворюючих складів при гасінні великих пожеж по зрівнянню з традиційною вогнегасною речовиною – водою.

Ключові слова: великі пожежі, час гасіння пожеж, гелеутворюючі склади.

A.A. Kireev, K.V. Zhernokluov, A.N.Kolenov

Estimation the time of extinguishment of great fire by use gelforming composition.

Localization and liquidation times of great fires were estimated by using gelforming fire-extinguishing compositions. The advantages of gel-forming compositions for great fires extinguishing on comparison to the traditional fire-extinguishing agent water were demonstrated.

Key terms: Great fire, time of extinguishment of fire, gel-forming compositions.