

*Абрамов Ю.А., д-р техн. наук, гл. науч. сотр., УГЗУ,
Киреев А.А., канд. хим. наук, доц., УГЗУ,
Шаршанов А.Я., канд. физ.-мат. наук, доц., УГЗУ*

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ С ПОМОЩЬЮ ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИХ СОСТАВОВ (НА ПРИМЕРЕ КРУПНЫХ ПОЖАРОВ)

Рассмотрена локализация чрезвычайной ситуации – крупного пожара с помощью гелеобразующих составов. На основании оценки лучистого теплового потока определена ширина огнезащитной полосы, предотвращающей распространение пожара. Оценены расходы воды и огнетушащих гелеобразующих составов на локализацию линейного участка пожара

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. При тушении крупных пожаров особо остро стоит вопрос о защите смежных объектов и предотвращении дальнейшего их распространения.

Одним из важнейших этапов пожаротушения является локализация пожара. Её задачей является предотвращение дальнейшего распространения пожара и создание условий для последующего тушения. В большинстве случаев для локализации пожаров используется вода. С помощью неё обрабатывают горючие материалы вдоль фронта пожара и тем самым останавливают продвижение пламени.

Одним из недостатков воды как огнетушащего и огнезащитного средства являются большие потери её за счёт стекания с защищаемых поверхностей. Большинство твёрдых горючих материалов удерживают на своей поверхности лишь малые количества воды. Так для гладких не пропитываемых материалов удерживается лишь $\sim 0,1$ кг/м² воды [1]. Для материалов способных пропитываться водою этот показатель в несколько раз выше. Но даже в присутствии смачивателей при 10 секундном набрызге этот показатель не превышает $\sim 0,5$ кг/м² воды.

Локализация чрезвычайных ситуаций с помощью гелеобразующих составов (на примере крупных пожаров)

После испарения воды из поверхностного слоя прекращается и её огнезащитное действие. Из-за больших потерь воды и низких огнезащитных свойств её приходится подавать многократно на одни и те же защищаемые поверхности. Это существенно увеличивает расход огнетушащего вещества на огнезащиту смежных с пожаром участков, увеличивает расход сил и средств на эти цели.

Несколько выше огнезащитное действие водных растворов неорганических веществ и водо-пенных огнетушащих средств. Однако они также плохо удерживаются на вертикальных и наклонных поверхностях.

Анализ последних исследований и публикаций. Ранее для повышения эффективности пожаротушения и целей оперативной огнезащиты были предложены огнетушащие и огнезащитные гелеобразующие составы [2-4]. Один из составов 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 нетекущий 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 огнезащитное действие. Огнезащитное действие гелеобразных слоёв на первом этапе обусловлено охлаждающим действием воды, содержащейся в геле. После испарения всей воды из гелевого слоя образуется пористый слой высушенного геля (ксерогеля) который затрудняет воспламенение защищаемого горючего материала за счёт своей низкой теплопроводности.

В работах [5-6] были изучены огнезащитные свойства ряда таких систем. В частности установлено, что гелеобразные слои толщиной 1-2 мм защищают образцы древесины от прямого действия пламени в течение 3-20 минут. Также установлено, что при толщине гелеобразного слоя более 3,5 мм большинство ТГМ становятся неспособными к пламенному горению. Это делает гелеобразующие составы перспективным средством оперативной огне-

защиты и позволяет применять их для целей локализации пожаров.

Постановка задачи и её решение. Целью работы является создание модели локализации пожара с помощью гелеобразующих составов и количественное сопоставление возможностей таких составов с возможностями воды. На первом этапе рассмотрим крупный развитый пожар с большим периметром горения. Типичная задача пожарного расчета заключается в остановке продвижения фронта пожара на определённом участке. Нормативная длина защищаемого участка (l) определяется расходом огнетушащего вещества на средстве подачи (P). Теоретическая ширина защищаемого участка будет определяться интенсивностью теплового излучения от фронта пожара.

Передача тепла при пожаре может осуществляться излучением, конвекцией, теплопроводностью. В большинстве случаев теплопередача от фронта пожара осуществляется излучением [7]. Теплопередача конвекцией может быть существенной при наличии сильного ветра, наклоняющего пламя в сторону защищаемого объекта.

Результирующий удельный лучистый тепловой поток у поверхности тела, облучаемого факелом, оценивается соотношением

$$q = q_0 \cdot \psi, \quad (1)$$

где параметр q_0 (Вт/м²) представляет собой характерную величину удельного потока на поверхности тел, находящихся в непосредственной близости от пламени

$$q_0 = \varepsilon_{\phi} \cdot \varepsilon \cdot \sigma_0 \cdot (T_{\phi}^4 - T^4), \quad (2)$$

где ε_{ϕ} и ε – степени черноты поверхностей факела пламени и облучаемого тела, соответственно; $\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² К⁴) – константа излучения абсолютно черного тела; T_{ϕ} – средняя абсолютная температура поверхности факела, К; T – абсолютная температура обращенной к факелу поверхности нагреваемого тела, К.

Сразу отметим, что в подавляющем числе случаев, в частности в этой работе, вторым слагаемым в скобках выражения (2) можно пренебречь по сравнению с первым слагаемым. Тогда последнее соотношение запишется в виде

$$q = \varepsilon_{\phi} \cdot \varepsilon \cdot \sigma_0 \cdot T_{\phi}^4 \cdot \psi.$$

Представим факел пламени по фронту пожара в виде вертикальной плоскости бесконечной длины высотой h (рис.1).

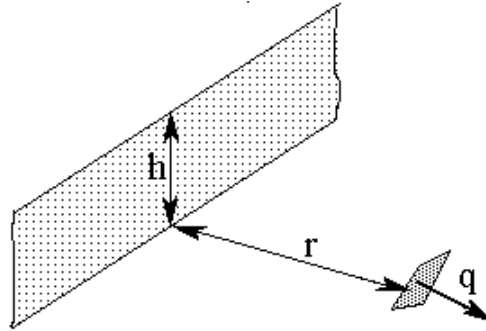


Рис. 1 - Схема лучистого теплообмена

Безразмерный множитель ψ соотношения (1) является средним угловым коэффициентом излучения облучаемого участка на поверхность факела [8]. Этот безразмерный параметр зависит только от геометрических факторов. В случае, когда факел пламени по фронту пожара представляет собой бесконечно длинную вертикальную полосу, а облучаемая поверхность находится на уровне основания этой полосы (смотри рисунок), ψ , кроме высоты полосы h , зависит от расстояния r и ориентации облучаемой поверхности. Меняя ориентацию, можно реализовать максимально возможное значение ψ на данном расстоянии

$$\psi_{\max}(r) = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{h}{r}\right)^2}}. \quad (3)$$

При такой ориентации облучаемая поверхность получает максимальную величину результирующего удельного теплового потока, равную, согласно (1)

$$q_{\max}(r) = q_0 \cdot \psi_{\max}(r). \quad (4)$$

Условием нераспространения пламени через защищаемую полосу является невозможность воспламенения горючих материа-

лов, находящихся как в пределах защищаемой полосы, так и за ее границами. Последнее условие достигается в случае, если величина удельного результирующего теплового потока q за границами полосы будет ниже критического значения $q_{кр}$ для любого находящегося там материала. Для большинства твердых горючих материалов нижний предел интенсивности теплового излучения достаточный для воспламенения при длительном воздействии источника излучения превышает $7,5 \text{ кВт/м}^2$ [9]. Это значение мы примем за критическое значение удельного теплового потока $q_{кр}$.

Решив уравнение

$$q_{\max}(r_б) = q_{кр},$$

можно найти минимальную ширину $r_б$ огнезащитной полосы, обеспечивающую невозможность воспламенения объектов за границами этой полосы при заданных параметрах пожара. В соответствии с зависимостями (3), (4) она равна

$$r_б = \frac{h}{2} \cdot \frac{1 - 2 \cdot \psi_{кр}^2}{\psi_{кр} \cdot \sqrt{1 - \psi_{кр}^2}} = \frac{h}{2 \cdot \psi_{кр}} \cdot [1 + O(\psi_{кр}^2)]. \quad (5)$$

Здесь введен параметр

$$\psi_{кр} = \frac{q_{кр}}{q_0}, \quad (6)$$

который, как будет видно из дальнейших оценок, практически во всех значимых случаях удовлетворяет неравенству $\psi_{кр} \ll 1$. Запись $O(x)$ означает величину порядка x .

Используя соотношения (5)-(6) можно рассчитать минимальную ширину огнезащитной полосы, обеспечивающую невозможность воспламенения за границами этой полосы при заданных параметрах пожара. Будем полагать, что факел имеет форму плоскости высотой $h = 5 \text{ м}$, чернотой $\varepsilon_1 = 0,8$ и средней температурой $T_ф = 1400 \text{ К}$, степень черноты элементарной площадки примем $\varepsilon_2 = 0,8$.

Подстановка соответствующих значений в уравнение (5) даст искомое значение безопасного расстояния r равное $46,5 \text{ м}$. Это

значение безопасного расстояния можно рассматривать как максимальное, так как при его расчёте был выбран нижний предел интенсивности излучения достаточный для воспламенения при длительном воздействии источника излучения равный $7,5 \text{ кВт/м}^2$. Такое значение соответствует критической интенсивности для сильно высушенной травы. Если в качестве горючего материала выбрать древесину $q_{кр}=12,6 \text{ кДж/м}^2$, то соответствующее безопасное расстояние составит $27,7 \text{ м}$. В случае, если одновременно с последним допущением принять, что высота пламени составит 3 м , то безопасное расстояние сократится до $16,6 \text{ м}$.

Как видно из соотношения (2) в наибольшей степени на результирующий удельный тепловой поток влияет температура факела пламени. При выборе температуры пламени равной 1000 К соответствующее значение теплового потока снизится в $3,8$ раза по сравнению с тепловым потоком при температуре 1400 К . При этом безопасное расстояние сократится с $46,5 \text{ м}$ до $12,1 \text{ м}$.

Для расчета количества огнезащитного вещества, необходимого для обеспечения невозможности воспламенения локализуемой полосы, рассчитаем максимально возможный избыточный тепловой поток, падающий на защищаемую поверхность. Расстояние от фронта пожара (глубина огнезащиты) была определена равной $46,5 \text{ м}$. Тепловой поток будет варьироваться от максимального значения вблизи фронта пожара ($r = 0$) равному

$$q_{\max}(0) = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \sigma_0 \cdot T^4 = 98,6 \text{ кВт/м}^2, \quad (7)$$

до критического значения $7,5 \text{ кВт/м}^2$ на расстоянии $46,5 \text{ м}$.

Согласно соотношениям (3) - (5), такой поток Q_L в расчете на единицу длины фронта локализуемой полосы равен

$$Q_L = \int_0^{r_0} dr [q_{\max}(r) - q_{кр}] = \frac{q_0 \cdot h}{2} \cdot \left[\ln\left(\frac{1}{2\psi_{кр}}\right) + C - 1 + O(\psi_{кр}^2) \right], \quad (8)$$

где

$$C \equiv \lim_{Z \rightarrow \infty} \left[\sqrt{2} \cdot \int_0^Z \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{x^2}}} dx - \ln(Z) \right] \approx 0.9194. \quad (9)$$

Подстановка выбранных данных даёт значение $Q_L=749$ кВт/м.

На основании полученного значения мощности теплового излучения можно рассчитать общее количество энергии, падающей на локализирующую полосу за определённое время. Время выгорания пожарной нагрузки обычно составляет от 15 до 30 мин. С учётом того, что интенсивность горения вначале возрастает, достигает максимума и затем постепенно убывает, примем за время горения значение 15 мин. За это время на единицу длины локализирующей полосы придётся суммарная энергия $E=749 \cdot 15 \cdot 60 = 6,74 \cdot 10^5$ кДж/м.

Для того чтобы защитить локализирующую полосу с помощью подачи воды, необходимо подать на неё такое количество воды, которое при нагревании и испарении могло поглотить всю энергию падающего теплового излучения. Причём примем, что вода подаётся на участки полосы с разными интенсивностями излучения в количествах точно равными необходимым для этих участков. Начальную температуру воды примем равной 20°C . Также предположим, что после испарения пары воды не участвуют в охлаждении защищаемых поверхностей. Тогда теоретически охлаждающее действие 1 кг воды составит

$$Q_{\text{воды}} = C_{p \text{ воды}} \cdot (T_{\text{кип}} - T_{\text{нач}}) + \Delta H_{\text{кип}} = 4,18 \cdot 80 + 2254 = 2588 \text{ кДж/кг},$$

где C_p – удельная изобарная теплоёмкость, кДж/(кг·К), $\Delta H_{\text{кип}}$ – удельная теплота парообразования кДж/кг, воды.

Практически большая часть воды при пожаротушении и огнезащите теряется за счёт стекания. Коэффициент использования воды редко превышает 10% [10]. Поэтому практическое охлаждающее действие 1 кг воды будет составлять $Q_{\text{воды(практич)}} \sim 260$ кДж/кг.

Рассчитаем общее количество воды необходимое для предотвращения воспламенения локализирующего участка шириной 1 м (площадью 46,5 м) в течение времени 15 мин. При этом пренебрежём возможным отражением теплового излучения смоченными поверхностями

$$m_{\text{воды}} = E / Q_{\text{воды (практич)}} = 6,74 \cdot 10^5 / 260 = 2600 \text{ кг/м.}$$

Для защиты этой же площади гелевым огнезащитным покрытием необходимо нанести на поверхность слой геля толщиной 3,5 мм. С учётом того, что реальная поверхность имеет неровности, примем толщину огнезащитного гелевого слоя $l=5$ мм. Тогда объём геля, необходимый для защиты локализирующего участка шириной в 1 м составит

$$V = l \cdot S = 0,005 \cdot 46,5 = 0,23 \text{ м}^3/\text{м}.$$

Это соответствует массе ~ 250 кг. Отметим, что толщина слоя геля на расстояниях с небольшими тепловыми потоками может быть уменьшена. Поэтому реальное количество необходимого для огнезащиты геля может быть ещё уменьшено.

Выводы. На основании оценки лучистого теплового потока определена ширина огнезащитной полосы, предотвращающей распространение пожара. Она может варьироваться в зависимости от характера горючих материалов и параметров пламени от 10 до 50 м. Показано, что масса гелеобразующего состава, необходимая для локализации линейного участка пожара, на порядок меньше массы воды, необходимой для этих целей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ross R.H., Honkonen D/L., Salaymeh S.R. // Trans. Amer. Nucl. Soc. 1991. V. 63. – p. 218-220.
2. 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.
3. Киреев О.О., Бабенко О.В. Обґрунтування вибору систем для дослідження явища гелеутворення при розробці нових рідинних засобів пожежогасіння. “Проблемы пожарной безопасности”, 2002, вып.12, –С.107-110.
4. Пат. 60882 Україна, МКІ 7А62С1/00. Способ гасіння пожежі та склад для його здійснення / Борисов П.Ф., Росоха В.О., Абрамов Ю.О., Киреев О.О., Бабенко О.В. (Україна).-№ 2003032600. Заявл. 25.03.2003; опубл. 15.10.2003, бюл. № 10, 2003.
5. Киреев А.А., Тарасова Г.В., Жерноклёв К.В. // Вісник Національного технічного університету «Харківський

- політехнічний інститут». Хімія, хімічна технологія та екологія. 2006.– 43. – С. 65-70
6. Абрамов Ю.О., Кіреєв О.О., Щербина О.М. Дослідження впливу товщини шару гелю на його вогнегасні властивості. „Пожежна безпека” 2006, № 8, с. 159-162.
 7. Романенко П.Н., Бубырь Н.Ф., Башкиров М.П. Теплопередача в пожарном деле. – М.: Высшая школа МВД СССР.1978 – 425 с.
 8. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергоиздат, 1981.- 486 с.
 9. Абдурагимов И.М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. М.:ВИПТШ МВД СССР. 1980.–256с.
 10. Тарахно О.В., Шаршанов А.Я. Фізико–хімічні основи використання води в пожежній справі. Харків, 2004. – С. 252.

УДК 614. 84

*Абрамов Ю.А., д-р техн. наук, гл. науч. сотр., УГЗУ,
Тарасенко А.А., канд. техн. наук, докторант, УГЗУ*

ФОРМИРОВАНИЕ АПРИОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Предложена аналитическая математическая модель поверхности, которая строится на основе повторной интерполяции на регулярной сетке по линиям уровня в виде бикубических сплайнов. Предложенная модель позволяет получать поверхности рельефа, концентрации химических и радиоактивных веществ в виде всюду гладкой функции двух переменных

Постановка проблемы. При планировании мероприятий по локализации и ликвидации ряда чрезвычайных ситуаций одним из основных источников информации являются карты изолиний. При загрязнении территории радиоактивными или химическими веществами это линии уровня радиации и концентрации. Возможность определения массы выброса загрязняющего вещества на основании карт изолиний позволяет повысить эффективность мероприятий, направленных на ликвидацию последствий

Формирование априорной информации для системы ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций