

УДК 614.842

*В.С. Бабенко, канд. техн. наук, директор холдинга
«Пожежна безпека та надзвичайні ситуації»
А.П. Кремена, нач. отдела ГП «КБ «Южное»*

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОЖАРОТУШАЩЕЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДИСПЕРГИРОВАННОЙ ЖИДКОСТИ
С ЗОНОЙ ПОЖАРА РАЗЛИВА**

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

Рассмотрены механизмы взаимодействия подаваемого извне потока диспергированной пожаротушающей жидкости с зоной пожара разлива горючей жидкости. Получены оценки их влияния на интенсивность тушения, предложен подход к разработке адекватной модели.

Ключевые слова: пожар, факел, разлив, поток, капля.

Постановка проблемы. Характерным направлением работ по повышению пожаротушающей эффективности способов и средств борьбы с различного вида пожарами, в том числе разливов горючих жидкостей (ГЖ), является динамичное расширение использования диспергированных пожаротушающих жидкостей (ПТЖ) [1].

В процессе взаимодействия диспергированной ПТЖ с факелом пожара и ГЖ происходит охлаждение газовой среды факела, уменьшение потока тепла к поверхности разлива. Следствием этого является снижение температуры поверхности горения, уменьшение скорости испарения ГЖ, вплоть до перехода от стационарного горения к затухающему и подавлению пожара. Однако задача прогнозирования процесса тушения чрезвычайно трудна для моделирования, что обусловлено сложностью эволюционирующей системы «пожар - диспергированная ПТЖ», в которой протекают не изученные полностью и не имеющие объяснения взаимосвязанные процессы, ряд из которых вообще скрыт от непосредственного наблюдения.

Ввиду многообразия и сложности этих процессов в настоящее время отсутствует математическая модель тушения, адекватно отражающая их совокупное действие [2, 3, 4], в связи с чем «расчетная интенсивность подачи ПТЖ определяется опытным путем с учетом анализа потушенных пожаров на родственных объектах» [3].

Актуальность разработки такой модели обусловлена необходимостью успешного решения практически важных задач наиболее полного использования пожаротушающего потенциала диспергиро-

ванной ПТЖ. Это во многом зависит от объективности и точности представлений об основных механизмах взаимодействия полидисперсного потока ПТЖ с факелом пожара и пожарной нагрузкой, оценки их значимости для пожаротушения и адекватности математического описания.

Анализ последних достижений и публикаций. Результаты исследований пожаротушающего воздействия диспергированных жидкостей на горение бассейнов и разливов ГЖ приведены в [1, 2, 5-7]. Их анализ позволяет сделать вывод, что интенсивность и эффективность пожаротушения определяется, в основном, следующими процессами:

- сепарацией капель ПТЖ в факеле пожара и их тепломассообменом с потоком восходящих продуктов сгорания;
- экранированием пожарной нагрузки от теплового излучения факела;
- тепломассообменом капель с поверхностью горячей в разливе жидкостью;
- перемешиванием неравномерно нагретого слоя горячей жидкости тонущими неиспарившимися каплями ПТЖ.

Постановка задачи и ее решение. Опыт математического моделирования процесса пожаротушения наглядно показывает, что совершенствование моделей приводит к выявлению все новых механизмов взаимодействия системы «пожар - диспергированная ПТЖ». Однако уровень адекватности моделей определяется не столько их размерностью, сколько полнотой учета наиболее значимых по пожаротушающей эффективности процессов и механизмов. Учитывая изложенное и полагая, что приведенный перечень процессов оказывает определяющее влияние на характер протекания тушения пожара разлива ГЖ подаваемым извне потоком диспергированной ПТЖ, выполним оценки значимости их влияния на пожаротушающую эффективность.

В факеле пожара происходит разделение подаваемого извне полидисперсного потока ПТЖ на опускающийся и поднимающийся потоки капель.

Массовая доля опускающихся капель полидисперсного потока ПТЖ, подаваемого извне в зону устойчивого пламени пожара на высоте Z_1 , в соответствии с уравнением Розин-Рамлера, составит [8]

$$G_1 = e^{-0,693 \left(\frac{1,08 \cdot 10^{-3} Z_1}{d_{m0}} \right)^2}, \quad (1)$$

где d_{m0} – медианный диаметр капель полидисперсного потока ПТЖ, подаваемой в зону горения, м.

При этом начальные значения медианных диаметров капель опускающегося (d_{m1}) и поднимающегося (d_{m2}) полидисперсных потоков ПТЖ определяются выражениями:

$$d_{m1} = d_{m0} \sqrt{1 - \frac{\ln G_1}{0,693}}, \text{ м}; \quad (2)$$

$$d_{m2} = d_{m0} \sqrt{1 - \frac{\ln(1 + G_1)}{0,693}}, \text{ м}. \quad (3)$$

В процессе движения в факеле пожара опускающегося и поднимающегося потоков ПТЖ, рассматриваемых далее в виде монодисперсных аэрозвесей капель, происходит их прогрев, испарение и, как следствие, изменение интенсивности этих потоков.

В связи со сложностью и недостаточной изученностью процессов взаимодействия капель ПТЖ с факелом пожара для расчета процессов теплообмена опускающихся и поднимающихся капель с факелом целесообразно использовать результаты экспериментальных исследований по охлаждению движущихся потоков высокотемпературного газа полидисперсным потоком воды [9], представленные в виде обобщенной критериальной зависимости, из которой следует выражение для длины участка испарения $L_{\text{исп}}$ полидисперсного потока ПТЖ в факеле пожара:

$$L_{\text{исп}} = 4,94 \cdot 10^3 \frac{T_{\Gamma}^{0,381}}{(T_{\Gamma} - 373)^{0,75}} \cdot \frac{d_{\text{м}}^{0,4} \bar{q}^{-0,7}}{\bar{W}_{\Gamma}^{0,1}}, \text{ м}. \quad (4)$$

Учитывая, что интенсивность потока продуктов сгорания (ПС) в факеле

$$J_{\Gamma} = (\alpha \cdot L_0 \rho_{\text{в}} + 1) \dot{m}_{\text{сг}}, \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}), \quad (5)$$

где $\dot{m}_{\text{сг}}$ – скорость сгорания горючего вещества, кг/(м² · с); L_0 – объем воздуха, теоретически необходимый для сжигания одного килограмма горючего, м³/кг; α – коэффициент избытка воздуха; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, кг/м³.

Из (4), (5) можно получить, выражение для определения интенсивности испарения полидисперсного потока ПТЖ на пути $L_{\text{исп}}$ в факеле пожара

$$J_{\text{исп}} = 5,23 \cdot 10^{-6} (\alpha \cdot L_0 \rho_{\text{в}} + 1) \dot{m}_{\text{сг}} \cdot \frac{(T_{\Gamma} - 373)^{1,07}}{T_{\Gamma}^{0,545}} \cdot \frac{\bar{W}_{\Gamma}^{0,143} \cdot L_{\text{исп}}^{1,43}}{d_{\text{м}}^{0,572}}, \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}), \quad (6)$$

позволяющее рассчитывать изменение интенсивностей поднимающегося и опускающегося полидисперсных потоков ПТЖ в процессе их движения в факеле пожара и оценивать степень охлаждения ПС.

Капли ПТЖ, двигаясь в восходящем потоке ПС, ослабляют тепловое излучение от факела к поверхности горения вследствие рассеяния излучения в капельном слое [5].

Зависимость коэффициента ослабления теплового излучения пламени от интенсивности диспергированного потока ПТЖ, полученная на основании результатов экспериментального исследования ослабления теплового излучения факела пожара водяными завесами с различной интенсивностью полидисперсного потока капель [5], имеет вид

$$\beta = (1,8 \div 2,0)J. \quad (7)$$

При подаче диспергированной ПТЖ на высоте Z_1 под излучающую плоскость факела [7], находящуюся на высоте $Y_{\text{изл}} = (1,05 \div 1,16)D_n$, где D_n – диаметр пожара, м, ослабление теплового потока излучения к поверхности горения определяется совместным действием двух завес с различной интенсивностью капельных потоков, одна из которых образована опускающимися к поверхности горения каплями, а другая – поднимающимися. Ввиду этого тепловой поток излучения факела пожара к поверхности пожарной нагрузки определится выражением

$$q_{\Sigma_1} = q_{\Sigma} e^{-\beta(\bar{J}_1 Z_1 + \bar{J}_2 L_{2\text{исп}})}, \text{ кВт/м}^2, \quad (8)$$

где \bar{J}_1 , \bar{J}_2 – средние интенсивности опускающегося и поднимающегося капельных потоков, соответственно, кг/(м² · с); $L_{2\text{исп}}$ – протяженность участка, на котором учитывается испарение поднимающегося потока капель, м.

$$\bar{J}_1 = J_0 G_1 - \frac{J_{\text{исп}}}{2}; \quad \bar{J}_2 = \frac{J_0(1 - G_1)}{2} - \frac{J_{2\text{исп}}}{2}, \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}, \quad (9)$$

где $J_{\text{исп}}$ – интенсивность испарения потока J_1 на участке протяженностью Z_1 , кг/(м² · с); $J_{2\text{исп}}$ – интенсивность испарения потока J_2 на участке $L_{2\text{исп}}$, кг/(м² · с).

Приходящие к поверхности горячей жидкости капли ПТЖ взаимодействуют с ней и захлаживают ее наиболее прогретый поверхностный слой, что приводит к снижению скорости испарения (и сгорания) жидкости. Интенсивность захлаживания определяется

плотностью капельного потока, скоростью встречи капель с поверхностью жидкости и диаметром капель у поверхности. Для определения этих характеристик будем рассматривать опускающийся к поверхности горячей жидкости полидисперсный поток как монодисперсный с плотностью потока капель

$$n = \frac{6J_1}{\pi d_{м1}^3 \rho_{ПТЖ}}, 1/(м^2 \cdot с). \quad (10)$$

Зависимость для определения предельно достижимой скорости падения капли ПТЖ шарообразной формы диаметром d_k в газовой среде факела пожара имеет вид [10]:

$$V_{п} = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{\rho_{ПТЖ}}{\rho_{пс}} \cdot \frac{g}{C_x} d_k}, м/с, \quad (11)$$

где $C_x = f(\bar{V}, \nu_{пс}, d_k)$ – коэффициент сопротивления движению капли [12]; $\rho_{ПТЖ}, \rho_{пс}$ – плотность пожаротушащей жидкости и продуктов сгорания, соответственно, кг/м³; \bar{V} – относительная скорость обтекания капли потоком ПС, м/с; $\nu_{пс}$ – кинематическая вязкость ПС, м²/с.

Из (11), (12) после подстановки значений $\bar{V}, \rho_{пс}, \nu_{пс}, \rho_{ПТЖ}$, соответствующих зоне устойчивого пламени факела пожара, следует соотношение для определения предельно достижимой скорости падения капель ПТЖ в факеле пожара

$$V_{п} = 4,8 Z_1^{0,125} d_k^{0,75}, м/с, \quad (12)$$

где d_k – диаметр капли, мм.

Действительная скорость капель у поверхности жидкости V определяется решением уравнения [10]

$$\frac{gZ_1}{V_{п}^2} = -\frac{V}{V_{п}} - \ln\left(1 - \frac{V}{V_{п}}\right), \quad (13)$$

устанавливающего связь между высотой подачи Z_1 и предельно достижимой скоростью падения капель $V_{п}$.

Переходя к определению диаметра испаряющейся в процессе движения капли, отметим, что время ее опускания с высоты Z_1 к поверхности горячей жидкости может быть оценено по выражению [10]

$$\tau_{\text{оп}} = \frac{V_{\text{п}}}{g} \ln \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{п}} - V}, \text{ с}, \quad (14)$$

а время прогрева до равновесной температуры ($T_{\text{равн}} = T_{\text{кип}}$) – по формуле [11]

$$\tau_{\text{пр}} = \frac{\alpha \cdot d_{\text{к}}^3}{24a_{\text{ПТЖ}} \cdot \lambda_{\text{ПТЖ}}} \cdot \ln \frac{T_{\text{пс}} - T_0}{T_{\text{пс}} - T_{\text{равн}}}, \text{ с}, \quad (15)$$

где $T_{\text{пс}}$ – температура продуктов сгорания, К; $a_{\text{ПТЖ}}$ – коэффициент температуропроводности ПТЖ, $\text{м}^2/\text{с}$; α – коэффициент теплоотдачи между каплей и горячим газом, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [1]; $\lambda_{\text{ПТЖ}}$ – коэффициент теплопроводности ПТЖ, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Как показывают расчеты, время прогрева до равновесной температуры каплей диаметром $d_{\text{к}}$ от 1 до 3 мм в потоке продуктов сгорания зоны устойчивого пламени факела пожара составляет от 0,03 до 0,25с, а время их опускания к поверхности горения от 0,67 до 1,04с соответственно. Как показано в [11], время полного испарения капли ПТЖ приблизительно в 20 ÷ 35 раз больше времени ее прогрева до равновесной температуры. Отсюда можно полагать, что все приходящие к поверхности ГЖ капли потока ПТЖ, подаваемого на тушение пожара, имеют температуру, равную температуре кипения жидкости, а $J_{\text{исп}}$ пропорционально их суммарной поверхности. В таком случае медианный диаметр каплей ПТЖ у поверхности горения будет определяться выражением

$$d_{\text{мп}} = d_{\text{мл}} \sqrt{1 - \frac{J_{\text{исп}}}{J_1}}, \text{ м}, \quad (16)$$

а в качестве расчетного диаметра при определении их скорости у поверхности ГЖ необходимо принимать

$$d_{\text{к}} = \frac{d_{\text{мл}} + d_{\text{мп}}}{2} = \frac{d_{\text{мл}}}{2} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{J_{\text{исп}}}{J_1}} \right), \text{ м}. \quad (17)$$

Если скорость капли у поверхности ПН находится в пределах $1 < V < 7$ м/с, что характерно для типичных условий тушения пожаров разливов диспергированной ПТЖ, то в процессе столкновения с каплей упругая поверхность горючей жидкости прогибается и в ней образуется близкое к полусферическому углубление радиусом $R_{\text{у}}$, по поверхности которого растекается капля. В процессе обратного движения выведенной из равновесия поверхности горючей жидкости к

исходному положению («схлопывание» углубления) из примыкающего к углублению слоя жидкости толщиной $\delta_{\text{п}} \approx 0,44R_y$ формируется кумулятивная струя, на вершине которой сосредотачивается капля из ПТЖ. В жидкостях с небольшой вязкостью (керосин, бензин и т.п.) указанный процесс повторяется два - три раза. При этом время одного цикла колебаний составляет около 0,01с [12].

Формирование углубления осуществляется за счет кинетической энергии падающей капли ПТЖ, которая расходуется на совершение работы по преодолению сил поверхностного натяжения и архимедовой силы.

Радиус образующегося углубления определяется из уравнения энергетического баланса

$$\frac{\pi d_{\text{мп}}^3}{6} \cdot \rho_{\text{ПТЖ}} \cdot \frac{V_{\text{к}}^2}{2} = \sigma_{\text{ГЖ}} \cdot \pi R_y^2 + \frac{\pi}{4} \rho_{\text{ГЖ}} \cdot g R_y^4, \quad (18)$$

где $\sigma_{\text{ГЖ}}$ – поверхностное натяжение ГЖ, Н/м; $\rho_{\text{ГЖ}}$ – плотность ГЖ, кг/м³, решение которого имеет вид

$$R_y \approx 0,43 \left(\frac{\rho_{\text{ПТЖ}}}{\rho_{\text{ГЖ}}} \right)^{0,25} d_{\text{мп}}^{0,75} V_{\text{к}}^{0,5}, \text{ м.} \quad (19)$$

При этом средняя толщина слоя ПТЖ, растекающегося по поверхности полусферического углубления, составит

$$\delta_{\text{ПТЖ}} = \frac{d_{\text{мп}}^3}{12R_y^2}, \text{ м.} \quad (20)$$

Аналогичным образом можно получить выражение для оценки высоты образующейся кумулятивной струи. С учетом того, что $d_c/d_{\text{мп}} \approx 0,3 \div 0,7$ [12], оно имеет вид

$$h_c \approx 2,8 \frac{R_y}{d_{\text{мп}}}, \text{ м.} \quad (21)$$

Время, в течение которого совершается один полный цикл описанного выше процесса образования и схлопывания углубления, а также образования и опадания кумулятивной струи, составляет

$$\tau = K_c \cdot h_c \cdot \frac{\mu_{\text{ГЖ}}}{\sigma_{\text{ГЖ}}}, \text{ с.} \quad (22)$$

Значение коэффициента K_c может быть получено из условия, что при падении капли воды в разлив воды время формирования и опадания кумулятивной струи высотой $h_c \approx 0,05$ м составляет $\tau \approx 0,01$ с [12]. В таком случае из (22) следует, что

$$K_c \approx 10 \div 12. \quad (23)$$

В процессе взаимодействия капли ПТЖ с поверхностью ГЖ она испаряется. При этом испарение происходит с верхней поверхности растекшейся по углублению в ГЖ капли, а подвод тепла к ней осуществляется теплопроводностью через тонкий слой ПТЖ [13].

Проходящий через расплюснутую каплю поток тепла от горячей поверхности разлива ГЖ

$$\dot{q} = \lambda_{\text{ПТЖ}} \cdot \frac{T_{\text{п}} - T_{\text{кип}}}{\delta_{\text{ПТЖ}}}, \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}) \quad (24)$$

расходуется на испарение ПТЖ с верхней поверхности растекшейся по углублению капли ПТЖ и может быть записан в виде

$$\dot{q} = \rho_{\text{ПТЖ}} \cdot r \frac{d\delta_{\text{ПТЖ}}}{dt}, \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}). \quad (25)$$

Время испарения капли ПТЖ на поверхности ГЖ определяется из условия равенства (24) и (25) и с учетом (20) равно

$$\tau_{\text{исп}} = \frac{\rho_{\text{ПТЖ}} \cdot r}{\lambda_{\text{ПТЖ}} (T_{\text{п}} - T_{\text{кип}})} \int_0^{\delta_{\text{ПТЖ}}} \delta_{\text{ПТЖ}} d\delta_{\text{ПТЖ}} = \frac{\rho_{\text{ПТЖ}} \cdot r \cdot d_{\text{мп}}^6}{288 \lambda_{\text{ПТЖ}} (T_{\text{п}} - T_{\text{кип}}) R_y^4}, \text{ с}. \quad (26)$$

В целом выражения (10), (12), (13), (16), (17), (19)-(23) и (26) позволяют оценить массовую долю (X') капельного потока ПТЖ, испаряющуюся в процессе его взаимодействия с поверхностью горючей жидкости и интенсивность потока тепла, отводимого от поверхности горячей жидкости.

Неиспарившаяся часть $(1-X')$ потока ПТЖ в виде капель, диаметр d'_k которых определяется по аналогии с (16), будет тонуть в неравномерно нагретой горючей жидкости, осуществляя транспортировку тепла из прогретого поверхностного слоя в более холодные нижние слои разлива.

Интенсифицирующее влияние на перенос тепла в горячей жидкости тонущих в ней капель ПТЖ может быть учтено, как и в случае барботирующих паровых пузырей, введением в уравнение нестационарной теплопроводности коэффициента барботажной температуропроводности тонущего капельного потока [14]

$$a_{\text{БК}} = 5,73\varphi_{\text{к}}^{0,42} \cdot \frac{V_{\text{к}}^2}{v_{\text{к}}}, \quad (27)$$

где $V_{\text{к}}$ – скорость движения капли ПТЖ; $v_{\text{к}}$ – частота прихода капель на поверхность горения; $\varphi_{\text{к}}$ – «каплесодержание», определяемое отношением объема капель в слое разлива к его объему.

Для оценки степени влияния на интенсивность пожаротушения рассмотренных механизмов взаимодействия диспергированной ПТЖ с зоной пожара рассмотрим тушение горения разлива керосина диаметром $D_{\text{п}} = 17 \div 18$ м, когда подача потока ПТЖ (воды) с медианным диаметром капель $d_{\text{м}} \approx 2$ мм и интенсивностью, соответствующей ее нормативному значению $J_0 = 0,2$ кг/(м²·с) [3], осуществляется извне на высоте $Z = 2$ м над зеркалом разлива, обеспечивая покрытие всей площади пожара одновременно. Соответствующие расчетные данные, характеризующие вклад рассмотренных выше механизмов, в пожаротушающую эффективность диспергированного потока ПТЖ приведены ниже.

Охлаждение газовой среды факела в зоне устойчивого горения происходит за счет испарения опускающегося и поднимающегося потоков капель. Интенсивность испарения опускающегося в факеле пожара потока ПТЖ на участке длиной $L_{\text{исп}} = 2$ м, составляет (см. (4)) $J_{1\text{исп}} = 0,022$ кг/(м²·с), а интенсивность испарения на участке $L_{\text{исп}} = (1,52D_{\text{п}}^{0,8} - 2)$ м поднимающегося потока капель $J_{2\text{исп}} = 0,1$ кг/(м²·с).

Отбор тепла от газовой среды факела в зоне устойчивого горения испаряющимися потоками капель ПТЖ ведет к снижению температуры продуктов сгорания на $\Delta T \approx 30 \div 60$ К, что практически не скажется на интенсивности теплового потока излучения факела к поверхности горения.

Экранирующий эффект капельного потока ПТЖ, подаваемого на тушение определяется из соотношения (см. (8)) $q_{\text{изл}} = q_{\Sigma} \cdot e^{-(1,8 \cdot 0,09 \cdot 2 + 1,8 \cdot 0,05 \cdot 4)} = 0,5q_{\Sigma}$. При этом интенсивность теплового потока излучения факела к поверхности разлива снизится с $q_{\text{изл}} = 75$ кВт/м² [7] до величины $q_{\text{изл}} = 35$ кВт/м², которая выше минимально необходимой для поддержания стационарного режима горения керосина ($q_{\text{кр}} = 14,8$ кВт/м² [4]).

Охлаждение поверхности горения при выпадении на нее капель ПТЖ с медианным диаметром $d_{мп} = 2,5$ мм, движущихся со скоростью $4,7 \div 5,0$ м/с, обусловлено образованием углубления полусферической формы $R_y = 0,011$ м на поверхности которого испаряется в течение двух - трех циклов его формирования и схлопывания пожаротушающая жидкость капли.

По оценкам время испарения капли $d_{мп} = 2,5$ мм составляет по порядку величины (см. (26)) $\tau_{исп} \approx 10^{-2}$ с, в то время как период одного цикла «образование-схлопывание углубления» $\tau_{ц} \approx 0,06 \div 0,07$ с.

Это позволяет считать, что за время протекания двух - трех циклов колебаний большая часть капель полидисперсного потока ПТЖ, приходящего к поверхности горячей жидкости, испарится в процессе взаимодействия с ней. При этом интенсивность отвода тепла непосредственно от горячей поверхности для рассматриваемого примера составит около $140 \div 150$ кВт/м², что согласуется с результатами экспериментов по капельному охлаждению нагретых поверхностей [13].

Перемешивание неравномерно нагретого слоя горящего разлива тонущими каплями ПТЖ не оказывает существенного влияния на интенсивность тушения пожара разлива, в связи с тем, что, во-первых, значительная часть капельного потока испаряется еще на поверхности горения, а во-вторых, после возникновения пожара кипящий слой быстро распространяется на всю толщину слоя разлива.

Выводы. Анализ полученных оценок позволяет сделать вывод о преобладающем влиянии на интенсивность тушения пожара разлива диспергированной ПТЖ экранирования поверхности горения капельным потоком и ее захлаживания в процессе взаимодействия с опускающимися каплями ПТЖ. При этом необходимо отметить практически полную идентичность процессов капельного охлаждения поверхностей горения твердой и жидкой пожарных нагрузок, состоящих в расплющивании капли и ее интенсивном испарении с наружной поверхности, подвод тепла к которой осуществляется теплопроводностью.

Указанные обстоятельства позволяют конструировать рациональную модель тушения, опираясь на теоретические разработки и данные экспериментов, акцентированных на преимущественную реализацию наиболее значимых механизмов пожаротушающего взаимодействия диспергированной ПТЖ с зоной пожара разлива ГЖ. При этом представляется возможным учитывать и действие сбросовых механизмов, проявляющихся только после перехода через критическое значение теплового потока излучения от факела к поверхности горения и т.п. [7, 15].

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А. Моделирование процессов в пожарных стволах / Ю.А. Абрамов, В.Е. Росоха, Е.А. Шаповалова. – Харьков: Фолио, 2001. – 195с. – Библиогр.: С. 178-191.
2. Баратов А.Н. Пожарная безопасность. Взрывоопасность: [Справочник] / А.Н. Баратов, Е.И. Иванов, А.Я. Корольченко и др. – М.: Химия, 1987. – 272с.: ил., табл.
3. Иванников В.П., Ключ П.П. Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Иванников, П.П. Ключ. – М.: Стройиздат, 1987. – 288с.: ил., табл.
4. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров. / Пер. с англ. К. Бомштейна. – М.: Стройиздат, 1990. – 424с. – Библиогр.: С.394-417.
5. Иванов Е.Н. Пожарная защита открытых технологических установок. – М.: Химия, 1975. – 200с. – Библиогр.: 198с.
6. Казаков М.В. Средства и способы тушения пламени горючих жидкостей: (Монография) // М.В. Казаков, И.И. Петров, В.Ч. Ревутт. – М.: Стройиздат, 1977. – 113с.: ил., табл. – Библиогр.: С. 113.
7. Термогазодинамика пожаров в помещениях / В.М. Астапенко, Ю.А. Кошмаров, И.С. Молчадский, А.Н. Шевляков. – М.: Стройиздат, 1988. – 448с.: ил., табл.
8. Горение в жидкостных ракетных двигателях: (Монография) / Ю.Х. Шаулов, М.О. Лернер. – М.: Оборонгиз, 1961. – 195с.: ил., табл. – Библиогр.: С. 186-190.
9. Эффективность охлаждения газового потока мелкодиспергированной влагой / В.Т. Буглаев, М.Н. Лифшиц, Ф.В. Васильев, А.С. Стребков // Теплоэнергетика. – 1986. – № 5. – С. 45-49.
10. Исаев А.П. Гидравлика дождевальных машин. – М.: Машиностроение 1973. – 216с. – Библиогр.: С. 211-213.
11. Основы практической теории горения / В.В. Померанцев, К.М. Арефьев, Д.Б. Ахмедов и др. – Л.: Энергия, 1973. – 263с.: ил., табл.
12. Майер В.В. Кумулятивный эффект в простых опытах: Учебн. пособ. – М.: Наука, 1989. – 192с.
13. Боначина, Дель Джудиче, Комини. Капельное испарение // Теплопередача: Тр. америк. общ. инж. – мех. – 1979. – Т. 101, № 3. – С. 69-76.
14. Ильин Г.И., Свириденко Н.Ф., Сенькин В.С. Экспериментальное исследование коэффициента температуропроводности жидкости, барботируемой газом // Техническая механика. – 1995. – Вып. 2. – С. 103-107.

15. Использование теории катастроф для разработки рациональных способов и средств тушения пожаров / Будник В.С., Бабенко В.С., Даниев Ю.Ф., Свириденко Н.Ф., // Техническая механика. – 1999. – №1 – С.158-163.

В.С. Бабенко, А.П. Кремена

Сравнительный анализ пожаротушащей эффективности различных механизмов взаимодействия диспергированной жидкости с зоной пожара разлива.

Розглянуто механізми взаємодії потоку диспергованої пожежогасильної рідини, який подається ззовні, з зоною пожежі розливу горючої рідини. Отримано оцінки їх впливу на інтенсивність гасіння, запропоновано підхід до розроблення адекватної моделі.

Ключевые слова: пожежа, факел, розлив, потік, крапля.

V.S. Babenko, A.P. Kremena

Comparative analysis of the effectiveness of various extinguishing methods varianced liquid interaction with fires offensive zone.

The mechanisms of interaction flow extinguishing dispersed liquid, which is outside of the zone of fire pouring flammable liquids. Estimates of their impact on the intensity of fighting, an approach to developing an adequate model.

Keywords: fire, torch, filling, stream, drop.