

**МИНИСТЕРСТВО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ УКРАИНЫ**

ПРОБЛЕМЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Выпуск 30

Свидетельство о государственной регистрации
печатного средства массовой информации
серия КВ № 16673-5245 ПР, выдано
Министерством юстиции Украины 28.05.2010 года

Утверждено к печати ученым советом
НУГЗ Украины
(протокол № 2 от 8.11.2011 г.)

Харьков
НУГЗУ - 2011

УДК 614.8 + 614.84 + 621.3 + 614.841 + 614.842 + 541.678.686.01 +
331.436 + 624.012 + 614.842.6 + 614.841.332 + 521.633 + 662.613.12 +
669.046.44 + 519.85

Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2011. –
Вып. 30. – 284 с.

Издание основано в 1997 году. Включено в перечень изданий
ВАК Украины (приказ № 1-03/8 от 11.10.2000 г.).

Представлены результаты научных исследований в области по-
жарной безопасности. Рассматриваются организационно-технические
аспекты совершенствования пожарной безопасности, отражающие со-
временные методы повышения эффективности противопожарной защи-
ты и тенденции развития научных исследований в данной области.

Материалы предназначены для инженерно-технических работ-
ников пожарной охраны, научно-педагогического персонала, адъюнк-
тов, слушателей и курсантов пожарно-технических учебных заведе-
ний.

Ил. – 117, табл. – 22.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: д-р техн. наук, проф. *Ю.А. Абрамов*
(отв. ред.), д-р техн. наук, проф. *О.П. Алексеев*, д-р техн. наук, проф.
В.А. Андронов, д-р техн. наук, проф. *О.Е. Басманов*, д-р техн. наук, проф.
В.М. Комяк, д-р техн. наук, проф. *В.И. Кривцова*, д-р техн. наук, проф.
Л.Н. Куценко, д-р техн. наук, проф. *А.Н. Ларин*, д-р техн. наук, проф.
Э.Е. Прохач, д-р хим. наук, проф. *В.Д. Калугин*, д-р техн. наук,
А.Н. Соболев.

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. О.Н. Фоменко,
д-р техн. наук, проф. О.Г. Руденко.

Видання засноване у 1997 році. Включене до переліку видань
ВАК України (наказ № 1-03/8 від 11.10.2000 р.).

Наведені результати наукових досліджень у галузі пожежної
безпеки. Розглядаються організаційно-технічні аспекти вдосконалення
пожежної безпеки, що відображають сучасні методи підвищення ефе-
ктивності протипожежного захисту та тенденції розвитку наукових
досліджень в даній галузі.

Матеріали призначені для інженерно-технічних робітників по-
жежної охорони, науково-педагогічного персоналу, ад'юнктів, слуша-
чів та курсантів пожежно-технічних навчальних закладів.

*Ю.А. Абрамов, гл. научн. сотр., НУГЗУ,
С.Н. Бесараб, ад'юнкт, ЧАПБ,
В.П. Садковой, ректор, НУГЗУ*

УСЛОВИЯ И ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА КЛАССА В РАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ

Определены условия и время тушения пожара класса В распыленной водой, которые могут быть потенциально достижимы в системах автоматического пожаротушения.

Ключевые слова: пожар класса В, распыленная вода, потенциальное время тушения, пожар класса В.

Постановка проблемы. Использование распыленной воды для тушения пожаров класса В развивается по двум направлениям:

- прекращение горения путем нарушения теплового равновесия между пламенем и окружающей средой вследствие испарения капель воды вблизи пламени;
- прекращение горения путем снижения температуры поверхности горячей жидкости до температуры, соответствующей ее тушению, вследствие снижения скорости отвода паров топлива от поверхности раздела фаз в области диффузионного смешения горючего и окислителя.

Эффективность реализации этих направлений во многом определяется потенциальными возможностями систем пожаротушения. В этой связи одной из проблем при тушении распыленной водой является определение потенциально достижимых характеристик систем тушения и, в частности, автоматических систем пожаротушения.

Анализ последних исследований и публикаций. Для систем тушения распыленной водой используется в качестве основной характеристики время тушения [1]. В [2] эмпирическим путем получена зависимость времени тушения от диаметра капель воды и интенсивности ее подачи, однако в работе отсутствуют сведения по выбору этих параметров, обеспечивающих потенциальные возможности при использовании распыленной воды. В [3] путем решения алгебраического уравнения баланса тепла на поверхности горячей жидкости получена зависимость времени тушения от интенсивности подачи распыленной воды. Использование такой аналитической зависимости для получения оценок времени тушения горячей жидкости является весьма проблематичным вследствие того, что ряд параметров априори не определены. По этой причине такая зависимость носит иллюстративный характер и практически не используется.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является определение потенциальных временных характеристик систем автоматического пожаротушения распыленной водой применительно к пожарам класса В.

Объектом управления такой системы автоматического пожаротушения является горящая жидкость, на которую осуществляется внешнее воздействие путем подачи распыленной воды. В первом приближении процесс тушения пожара класса В распыленной водой описывается математической моделью вида [4]

$$\frac{\partial \theta(z, t)}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \omega(z, \tau)}{\partial z^2}; \quad (1)$$

$$\omega(z, 0) = 0; \quad \frac{\partial \omega(0, \tau)}{\partial z} = 0,5\omega(0, \tau) - A \exp(0,25\tau); \quad \omega(\infty, \tau) = 0; \quad (2)$$

$$\tau = v^2 a^{-1} t; \quad z = va^{-1} x; \quad \theta = (T_k - T)(T_k - T_0)^{-1}; \quad A = I r a K_1 [\lambda v (T_k - T_0)]^{-1}; \\ \omega(z, \tau) = \theta(x, \tau) \exp(0,5z + 0,25\tau), \quad (3)$$

где T_k , T_0 – температура кипения горючей жидкости и температура окружающей среды соответственно; λ – теплоемкость жидкости; v – линейная скорость распространения пламени; a – коэффициент температуропроводности; r – теплота испарения воды; I – интенсивность подачи распыленной воды; K_1 – коэффициент использования воды; x , t – координата и время соответственно (размерные переменные).

В [5] получено упрощенное решение системы (1)÷(3), которое имеет вид

$$\theta(\tau) = A[1 - \exp(-d\tau)], \quad (4)$$

где $d = 1,3875$, что позволяет учесть динамические свойства объекта управления системы автоматического пожаротушения в виде передаточной функции

$$W_0(p) = B(\tau_0 p + 1)^{-1} \quad (5)$$

с параметрами

$$B = r a K_1 [\lambda v (T_k - T_0)]^{-1}, \quad \tau_0 = 0,72 a v^{-2}. \quad (6)$$

Вследствие того, что

$$v = \psi \rho^{-1}; \quad a = \lambda (c\rho)^{-1}, \quad (7)$$

где ψ – массовая скорость выгорания жидкости; ρ , c – плотность и теплоемкость горючей жидкости, выражение (6) можно переписать

следующим образом

$$B = rK_1 [c\psi(T_k - T_0)]^{-1}, \quad \tau_0 = 0,72a(\rho\psi^{-1})^2. \quad (8)$$

Потенциальные характеристики процесса тушения горячей жидкости распыленной водой определяются из условия, что интенсивность ее подачи описывается функцией Хевисайда, т.е.

$$I(t) = I \cdot 1(t), \quad (9)$$

где $1(t)$ – функция Хевисайда.

Тогда потенциально достижимое время тушения t_{pot} горячей жидкости распыленной водой будет определяться из уравнения

$$L^{-1} [IB[\rho(\tau_0 + 1)]^{-1}] - \theta_T = 0, \quad (10)$$

где $\theta_T = (T_k - T_T)(T_k - T_0)^{-1}$, T_T – температура тушения; L^{-1} – оператор обратного преобразования Лапласа.

С учетом (3) и (5) это уравнение трансформируется к виду

$$A \left[1 - \exp\left(-\frac{t_{\text{pot}}}{\tau_0}\right) \right] - \theta_T = 0, \quad (11)$$

откуда следует

$$t_{\text{pot}} = -\tau_0 \ln\left(1 - \frac{\theta_T}{A}\right). \quad (12)$$

Из этого выражения вытекает условие, при котором обеспечивается процесс тушения горячей жидкости распыленной водой. Это условие имеет вид

$$A > \theta_T, \quad (13)$$

откуда следует, что тушение возможно, если интенсивность подачи распыленной воды будет определяться неравенством

$$I > \frac{c\psi(T_k - T_T)}{rK_1} = I_{\text{кр}}. \quad (14)$$

Выражение (12) с учетом (2), (3) и (8) можно переписать следующим образом

$$t_{\text{pot}} = -\frac{0,72a\rho^2}{\psi^2} \ln\left[1 - \frac{c\psi(T_k - T_T)}{rK_1 I}\right], \quad (15)$$

которое описывает зависимость потенциально возможного времени тушения пожара класса В распыленной водой от интенсивности ее подачи.

На рис. 1 приведены зависимости $t_{\text{pot}} = f(I)$, полученные в соответствии с (5) для трех горючих жидкостей, параметры которых приведены в табл. 1

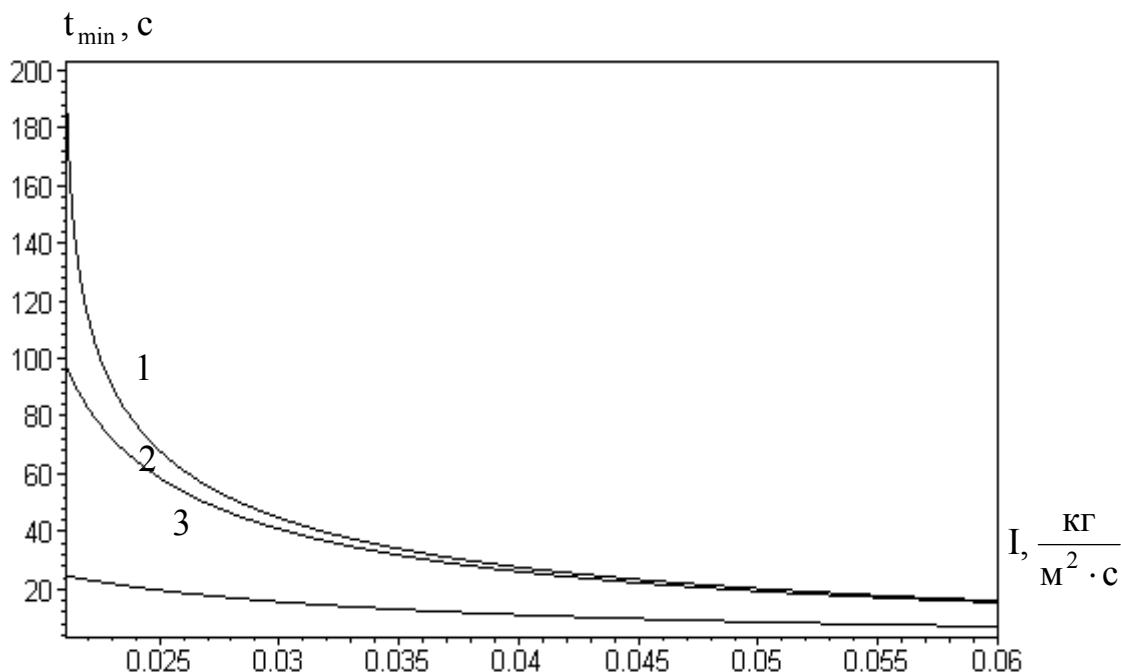


Рис. 1 – Зависимость $t_{\text{pot}} = f(I)$: 1 – дизельное топливо «Л»; 2 – масло трансформаторное; 3 – масло турбинное УТ-30

Эти зависимости получены при $K_1 = 0,5$, а также в предположении, что площадь горения составляет несколько единиц м^2 .

Таблица 1
Параметры горючих жидкостей

№ п/п	Горючая жидкость	Параметры					
		$\psi \times 10^2, \text{кг}(\text{м}^2\text{с})^{-1}$	$c \times 10^{-3}, \text{Дж}(\text{кг} \cdot \text{К})^{-1}$	$a \times 10^7, \text{м}^2\text{с}^{-1}$	$T_{\text{к}}, \text{К}$	$T_{\text{т}}, \text{К}$	$\rho \times 10^{-3}, \text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$
1	Дизельное топливо «Л»	5,0	3,0	2,3	493	353	0,75
2	Масло трансформаторное	4,0	2,9	1,6	588	421	0,74
3	Масло турбинное УТ-30	3,0	2,7	1,0	603	476	0,73

Реальные значения времени тушения таких жидкостей находятся выше графических зависимостей, приведенных на рис. 1, что обусловлено инерционностью функциональных элементов системы автоматического пожаротушения.

Выводы. Аналитическим путем получены условия, при которых возможно тушение пожара класса В распыленной водой, а также получено выражение, определяющее потенциально возможные временные характеристики систем автоматического пожаротушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабуров В.П. Автоматические установки пожаротушения / В.П. Бабуров, В.В. Бабулин, В.И. Фомин. – М.: Пожнаука, 2007. – 294 с.
2. Rasbash D.J. The extinction of fires by water spray / D.J. Rasbash // Fire research abstracts and reviews. – 1962. – Vol. 4. – N 1,2. – P. 28-53.
3. Кухто А.Н. Зависимость времени тушения от интенсивности подачи воды / А.Н. Кухто, Е. Н Панин // Пожаротушение. – М.: ВНИИПО, 1984. – С. 84-93.
4. Садковой В.П. Упрощенная математическая модель объекта управления системы автоматического пожаротушения / В.П. Садковой, Ю.А. Абрамов // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХДТУБА, 2007. – Вип. 43. – С. 142-146.
5. Садковой В.П. Выбор модели объекта управления в системе ослабления последствий чрезвычайных ситуаций / В.П. Садковой // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: УЦЗУ, 2007. – Вип. 6. – С. 115-120.

Ю.О. Абрамов, С.Н. Бесараб, В.П. Садковий

Умови і часові характеристики гасіння пожеж класу В розпиленою водою

Визначено умови і час гасіння пожежі класу В розпиленою водою, які можуть бути потенційно досягнуті в системах автоматичного пожежогасіння.

Ключові слова: пожежа класу В, розпилена вода, потенційний час гасіння.

Y.A. Abramov, S.N. Besarab, V.P. Sadkovoy

Terms and time characteristics of extinguishing fire class b by water spray

The terms and time of extinguishing fire class B by water spray are built. They potentially could be achieved in automatic fire-extinguishing systems.

Keywords: class B fire, water spray, potential extinguishing time.

*Ю.А. Абрамов, докт. техн. наук, профессор, НУГЗУ,
А.А. Тарасенко, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., НУГЗУ,
О.Е. Безуглов, нач. кафедры, НУГЗУ*

МАРШРУТ ДВИЖЕНИЯ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ НАЗЕМНОГО ЛАНДШАФТНОГО ПОЖАРА

Получена модель маршрута движения подразделения при ликвидации наземного ландшафтного пожара с учетом влияния природных факторов на производительность подразделений. Показано, что площадь и периметр пожара определяется параметрами избранной тактики пожаротушения

Ключевые слова: ландшафтный пожар, граница области пожара

Постановка проблемы. Характер борьбы с наземным ландшафтным пожаром обусловлен горением на кромке, что приводит к необходимости ведения боевых действий по периметру области (дотушивание очагов горения на территории пожарища наземного ландшафтного пожара, в отличие от верхового и особенно повального лесного пожара, не является обязательным элементом его ликвидации). Поэтому силы пожаротушения двигаются вдоль динамической границы пожара (с внешней ее стороны) либо непосредственно вблизи нее, либо на расстоянии не большем дальности подачи струи из вводимых для тушения стволов (при тушении водой). Подразделения, осуществляющие локализацию, создавая противопожарный барьер, в основном двигаются вдоль границы пятидесятиметровой зоны [1], которая расширяется вместе с пожаром.

Перемещаясь вдоль динамической кромки пожара со скоростью (производительностью), определяемой тактическими возможностями, параметрами ландшафта и интенсивностью пожара, подразделения прокладывают маршрут, длина которого определяет временные и трудовые затраты на локализацию/тушение, а также расходы огне-тушащего вещества и горючего (при использовании автосредств или зажигательных аппаратов), т.е. косвенный ущерб от пожара.

Территория, границей которой являются данные маршруты при их замыкании, представляет собой область ликвидированного пожара. Ее площадь определяет прямой ущерб от пожара. Варьирование тактических приемов, способов тушения, порядка введения сил и средств пожаротушения в очаг способно привести к различной конфигурации границы области пожара. Поэтому определение совокупного ущерба от пожара и выработка оптимальных управленческих

решений по его ликвидации возможно лишь в случае нахождения границ области пожара.

Анализ последних исследований и публикаций. В работе [2] получены маршруты локализации пожара при одностороннем обходе очага. В [3-4] приведены модели двустороннего охвата очага. Во всех случаях не учитывается влияние параметров ландшафта и интенсивности пожара на производительность сил и средств.

Постановка задачи и ее решение. Необходимо получить траекторию движения БЕ при осуществлении ею боевых действий.

Пусть имеется континуальный прогноз [5] свободной динамики параметрически заданного контура пожара в виде

$$L(m; t) = \begin{cases} X(m; t); \\ Y(m; t), \end{cases} \quad (1)$$

где m - параметр; t - время.

Пусть задана векторно-функциональная модель [6] годографа радиус-вектора скорости $V_T(x; y; \varphi)$ движения i -ой боевой единицы (БЕ) (подразделения МЧС, лесопожарной бригады, отдельного бойца) в азимутальном направлении φ при проведении БЕ тушения (локализации), учитывающая топографию местности и свойства подстилающей поверхности.

Рассмотрим получение траектории движения БЕ на примере тушения пожара (локализация осуществляется также, но с заменой контура пожара на контур зоны безопасной локализации и годографа скорости тушения на годограф скорости локализации).

За время Δt точка $A(m; t)$ контура со скоростью, задаваемой годографом радиус-вектора нормальной скорости $V(X(m; t); Y(m; t); \varphi)$ [7], переместится в точку $B(m; t + \Delta t)$ (рис. 1) на расстояние

$$\Delta S = \sqrt{(X(m; t + \Delta t) - X(m; t))^2 + (Y(m; t + \Delta t) - Y(m; t))^2}. \quad (2)$$

При этом силы пожаротушения за это же время, двигаясь со скоростью, определяемой годографом скорости движения $V_T(X(m; t); Y(m; t); t; \varphi; I)$ [4] (где I - интенсивность пожара), переместятся вдоль AC на расстояние

$$\Delta S_T = \sqrt{(X(m + \Delta m; t + \Delta t) - X(m; t))^2 + (Y(m + \Delta m; t + \Delta t) - Y(m; t))^2} \quad (3)$$

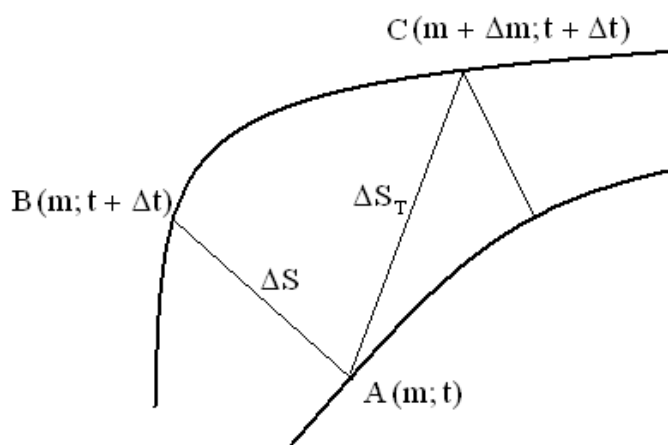


Рис. 1 - Нахождение маршрута движения сил пожаротушения

В силу того, что с точностью до линейных членов

$$f(x + \Delta x; y) = f(x; y) + \frac{\partial f(x; y)}{\partial x} \Delta x; \quad (4)$$

$$f(x + \Delta x; y + \Delta y) = f(x; y) + \frac{\partial f(x; y)}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial f(x; y)}{\partial y} \Delta y, \quad (5)$$

из (2) и (3) получим

$$\Delta S = \sqrt{\left(\frac{\partial X(m; t)}{\partial t} \Delta t\right)^2 + \left(\frac{\partial Y(m; t)}{\partial t} \Delta t\right)^2}; \quad (6)$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\left(\frac{\partial X(m; t)}{\partial t} \Delta t + \frac{\partial X(m; t)}{\partial m} \Delta m\right)^2 + \left(\frac{\partial Y(m; t)}{\partial t} \Delta t + \frac{\partial Y(m; t)}{\partial m} \Delta m\right)^2}. \quad (7)$$

Перемещение точки контура пожара вдоль АВ
 $A(m; t) \rightarrow B(m; t + \Delta t)$ осуществляется с нормальной скоростью

$$V(m; t) = \sqrt{\left(\frac{\partial X(m; t)}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial Y(m; t)}{\partial t}\right)^2}, \quad (8)$$

а перемещение сил пожаротушения вдоль АС $A(m; t) \rightarrow C(m + \Delta m; t + \Delta t)$ осуществляется вдоль направления χ со скоростью, определяемой в общем виде величиной годографа радиус-вектора скорости тушения V_T . Направление χ при этом задается выражением

$$\chi = \arctg(Y(m + \Delta m; t + \Delta t) - Y(m; t), X(m + \Delta m; t + \Delta t) - X(m; t)). \quad (9)$$

Поделив (6) и (7) на Δt и осуществив предельный переход $\Delta t \rightarrow 0$, влекущий за собой $\Delta m \rightarrow 0$ (ввиду неразрывности $X(m; t)$ и $Y(m; t)$), получим

$$\left(\frac{\partial X(m; t)}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial Y(m; t)}{\partial t}\right)^2 = V^2, \quad (10)$$

$$\left(\frac{\partial X(m; t)}{\partial t} + \frac{\partial X(m; t)}{\partial m} \frac{\partial m}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial Y(m; t)}{\partial t} + \frac{\partial Y(m; t)}{\partial m} \frac{\partial m}{\partial t}\right)^2 = V_T^2. \quad (11)$$

Объединяя (10) и (11), получим уравнение

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\partial m}{\partial t}\right)^2 \left(\left(\frac{\partial X(m; t)}{\partial m}\right)^2 + \left(\frac{\partial Y(m; t)}{\partial m}\right)^2 \right) + 2 \frac{\partial m}{\partial t} \left(\frac{\partial X(m; t)}{\partial t} \frac{\partial X(m; t)}{\partial m} + \frac{\partial Y(m; t)}{\partial t} \frac{\partial Y(m; t)}{\partial m} \right) + \\ & + (V^2 - V_T^2) = 0, \end{aligned} \quad (12)$$

решая которое относительно $\frac{\partial m}{\partial t}$, получим

$$\begin{aligned} \frac{\partial m}{\partial t} = & \left(\pm \left[\left(\frac{\partial X(m; t)}{\partial t} \frac{\partial X(m; t)}{\partial m} + \frac{\partial Y(m; t)}{\partial t} \frac{\partial Y(m; t)}{\partial m} \right)^2 + \right. \right. \\ & \left. \left. + \left(\left(\frac{\partial X(m; t)}{\partial m} \right)^2 + \left(\frac{\partial Y(m; t)}{\partial m} \right)^2 \right) (V_T^2 - V^2) \right]^{1/2} - \right. \\ & \left. - \left(\frac{\partial X(m; t)}{\partial t} \frac{\partial X(m; t)}{\partial m} + \frac{\partial Y(m; t)}{\partial t} \frac{\partial Y(m; t)}{\partial m} \right) \right) / \left(\left(\frac{\partial X(m; t)}{\partial m} \right)^2 + \left(\frac{\partial Y(m; t)}{\partial m} \right)^2 \right), \end{aligned} \quad (13)$$

где знак перед корнем определяет положительное либо отрицательное направления обхода контура пожара силами пожаротушения.

Уравнение (12) допускает аналитическое решение лишь в случае постоянства скорости распространения (т.е. в условиях равнины, безветрия и однородного слоя РГМ) и тушения пожара, что позволяет рассматривать данный случай как тестовый и использовать его для определения параметров численной процедуры.

Поскольку сложность описаний параметров ландшафта, контура пожара и годографов скорости распространения и тушения пожара исключают в общем случае аналитическое построение маршрута движения БЕ, то данный маршрут предлагается строить, используя разностную схему. При этом необходимо учесть зависимость скоро-

сти тушения от параметров ландшафта и очага пожара. Задание прогноза динамики контура пожара, годографа скорости тушения, начальных условий и временного шага в качестве входных параметров данной модели позволяет найти маршруты сил пожаротушения при тушении или локализации очага природного пожара в виде ломаных линий с координатами вершин, задаваемых множеством $\{(x_i; y_i)\}_{i=1..M}$. При этом, задавая время продолжительности тушения $T_T \geq \Delta t$, можно, циклически повторяя описанную процедуру, получить уравнение $L_T^\pm(m; t)$ проекции маршрута БЕ за $M = \lceil T_T / \Delta t \rceil$ шагов в виде параметрической линейной сплайн-интерполяции множества полученных вершин

$$L_T^\pm(m; t) = \begin{cases} \sum_{i=1}^{M-1} [x_i + (x_{i+1} - x_i)(m - i)] \cdot (\eta(m - i) - \eta(m - i - 1)); \\ \sum_{i=1}^{M-1} [y_i + (y_{i+1} - y_i)(m - i)] \cdot (\eta(m - i) - \eta(m - i - 1)), \end{cases} \quad (14)$$

где $\eta(m)$ - функция Хэвисайда.

Очевидно, что локализация может быть названа законченной в случае прекращения движения контура пожара. Полученный в результате контур ограничивает проекцию области пожара и описывается замкнутой ломаной с вершинами, задаваемым множеством точек $L_T = \{(x_m; y_m)\}_{m=1..M}$.

Зная массив вершин маршрута движения БЕ, можно получить величину периметра пожара (длину маршрута движения БЕ) в виде

$$P = \sum_{i=1}^{M-1} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}. \quad (15)$$

Площадь проекции области пожара может быть вычислена как [8]

$$S = \frac{1}{2} \sum_{m=1}^{M-1} (x_{m+1} - x_m)(y_{m+1} + y_m). \quad (16)$$

Использование разностной схемы всегда сопряжено с влиянием на результат вычислений разностного шага. Очевидно, что выбор величины шага Δt влияет на точность нахождения маршрута, поскольку происходит его спрямление отрезками ломаной тем большее, чем больше величина Δt .

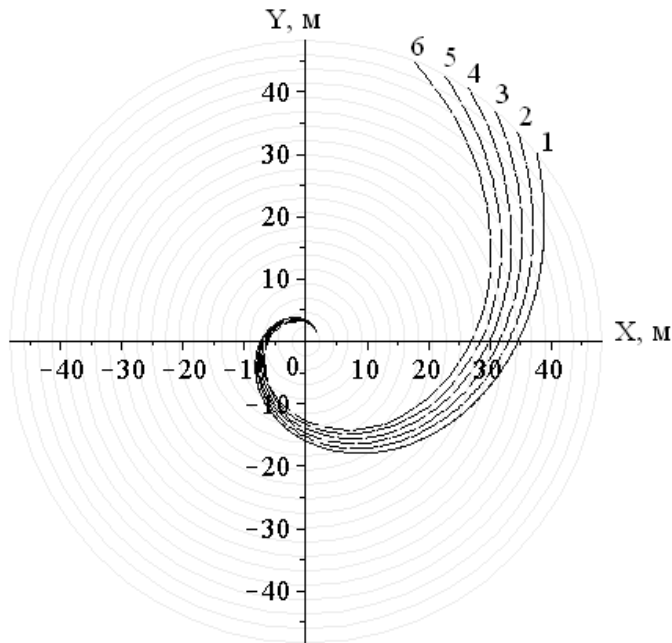


Рис. 2 - Результат вычисления маршрута движения БЕ при тушении идеализированного очага пожара. 1-точное решение; 2-6 – приближенные решения при $\Delta t = 0.1 \cdot (k-1)$ (мин), $k=2 \dots 6$

Оценить данную точность можно сравнением приближенного решения (14) и точного решения уравнения (13), которое имеет место в случае радиального роста области пожара и постоянства скорости тушения и, как можно убедиться, представляет собой логарифмическую спираль.

На рис. 2 приведен маршрут движения БЕ в случае тушения идеализированного очага, являющийся результатом решения (13) и аналогичные маршруты, полученные с помощью разностной схемы при различной величине шага Δt .

На рис. 3 приведен график относительной погрешности W имеющей место при определении площади пожара, односторонне охваченной маршрутом движения БЕ, в зависимости от величины шага Δt . Видно, что с увеличением шага происходит быстрый рост погрешности.

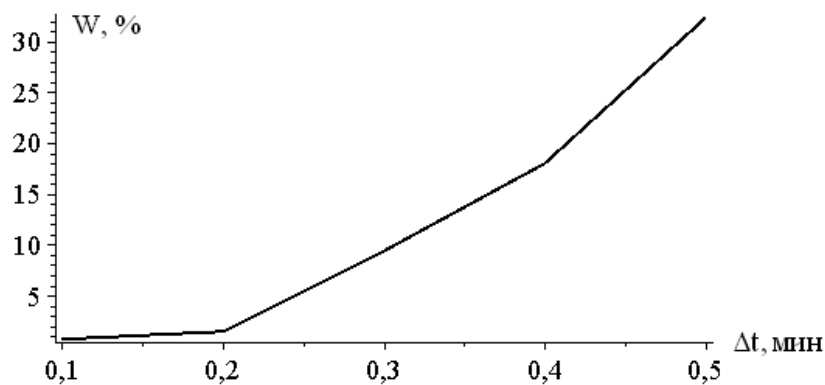


Рис. 3 - График зависимости погрешности по площади от величины Δt

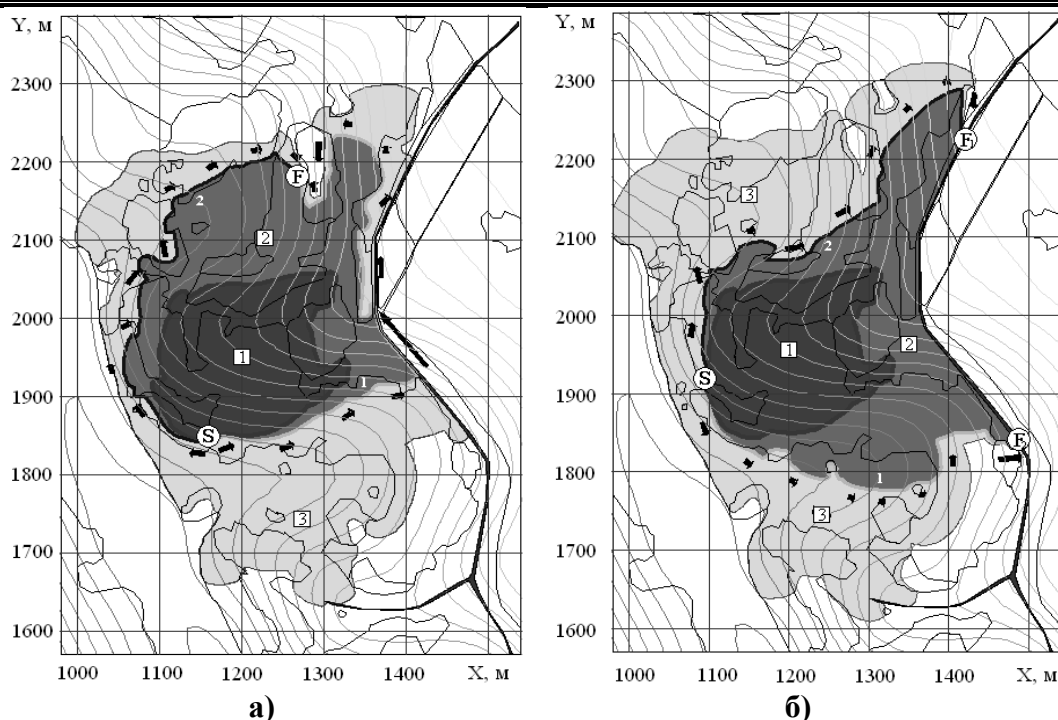


Рис. 4 – Расчет области пожара при двух различных вариантах ввода пары БЕ: 1-очаг пожара; 2-область ликвидированного пожара; 3-прогноз свободного развития пожара на момент окончания тушения а) $S = 9.1$ га, $P = 1.5$ км; б) $S = 10.0$ га, $P = 1.7$ км

В связи с этим, использование итерационной процедуры для нахождения маршрута движения БЕ должно осуществляться с достаточно малым временным шагом. Выбор $\Delta t = 0.2$ мин обеспечивает различие по площади между точным и приближенным решениями в пределах 1.5%.

Для того чтобы обеспечить возможность столь подробного прохождения, необходимо располагать уравнениями контура пожара в каждый момент времени $\Delta t \cdot i$. Наличие континуальной модели динамики контура (1) позволяет это сделать путем подстановки в качестве t значений $\Delta t \cdot i$.

Результат применения процедуры (1)-(14) с учетом влияния параметров ландшафта и интенсивности пожара на скорость тушения проиллюстрирован на рис. 4, который демонстрирует влияние выбора параметров тактики тушения на метрические характеристики области пожара.

Вывод. Получена аналитическая модель маршрута движения подразделения при ликвидации ландшафтного пожара. Осуществлена процедура численного нахождения данного маршрута при учете влияния топографии местности, свойств подстилающей поверхности и интенсивности пожара на производительность подразделений. Показано, что на метрические характеристики ликвидированного пожара оказывает влияние место ввода в очаг пожара сил и средств пожаротушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Указания по обнаружению и тушению лесных пожаров. – М.: ФСЛХ РФ, 1995. – 102 с.
2. Доррер Г.А. Теория распространения пожара как волнового процесса: Автореф. дисс.... д-ра техн. наук / ИЛД СО АН СССР. – Красноярск, 1989. – 45 с.
3. Кривошлыков С.Ф. Алгоритм минимизации времени локализации простого ландшафтного пожара // Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту: Міжнар. наук.-практ. конф. Черкаси, 12-13 травня 2006 р. – Черкаси: ІПБ. - 2006. – С. 32-33.
4. Абрамов Ю.А. Расчет параметров локализации области природного пожара / Ю.А. Абрамов, А.А. Тарасенко // Науковий вісник будівництва. - 2009. - Вип. 53. – С. 257-762.
5. Абрамов Ю.А. Континуальная модель динамики контура природного пожара / Ю.А. Абрамов, А.А. Тарасенко // Проблемы пожарной безопасности. - 2009. - Вып. 25. – С. 3-5.
6. Тарасенко О.А. Математичне моделювання вихідних параметрів областей надзвичайних ситуацій // Проблеми надзвичайних ситуацій. - 2008. - Вип. 8. - С. 185-193.
7. Тарасенко А.А. Модель динамики контура природного пожара под действием совместного влияния ландшафтно-метеорологических факторов // Проблемы пожарной безопасности. - 2008. – Вып. 24. - С. 194-200.
8. Андреева Е.В. Вычислительная геометрия на плоскости / Е.В. Андреева, Ю.Е. Егоров // Информатика. – 2002. - №40. – С. 28-31.

Ю.О. Абрамов, О.А. Тарасенко, О.Є. Безулов

МАРШРУТ РУХУ ПІДРОЗДІЛІВ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ НАЗЕМНОЇ ЛАНДШАФТНОЇ ПОЖЕЖІ

Отримано модель маршруту руху підрозділу при ліквідації наземної ландшафтної пожежі з урахуванням впливу природних факторів на продуктивність підрозділів. Показано, що площа і периметр пожежі визначаються параметрами обраної тактики пожежогасіння

Ключові слова: ландшафтна пожежа, границя області пожежі

Y.A. Abramov, A.A. Tarasenko, O.E. Bezuglov

MAN FORCES MOVING ROUTE FOR SURFACE LANDSCAPE FIRE ELIMINATION

The model of moving route of man forces for landscape fire elimination is present. It considers influence of environmental factors on productivity units. It is shown that the area and perimeter of the fire is determined by the parameters of the chosen tactics of firefighting.

Keywords: landscape fire, boundary of the fire.

УДК 504.3.054

С.І. Азаров , д-р техн. наук, ст. наук. співр., зав. сектор., ІЯД НАНУ,
В.Л. Сидоренко , канд. техн. наук, ст. викл., ІДУЦЗ НУЦЗУ,
О.В. Руденко , інж., ІЯД НАНУ

ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ НАДХОДЖЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ У ПОВІТРЯ ПРИ ПОЖЕЖАХ У ЛІСАХ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ЧАЕС

(представлено д-ром. хім. наук Прохачем Є.Е.)

Відомо, що лісові пожежі у Чорнобильській зоні є одним із найбільш потужних джерел вторинного забруднення повітря радіонуклідами різного роду. Проведені вимірювання при лісовій пожежі у с. Товстий Ліс об'ємної активності радіоактивних продуктів згоряння та їх дисперсних характеристик з метою уточнення інгалаційних доз опромінення. Показано, що об'ємна активність сумішей радіонуклідів у аерозолях приземного шару атмосферного повітря у активній фазі лісової пожежі зросли у 600 разів у порівнянні з фоновими значеннями.

Ключові слова: лісові пожежі, зона відчуження, надходження радіонуклідів.

Постановка проблеми. У процесі Чорнобильської катастрофи на територію 30-ти кілометрової зони ЧАЕС випало у вигляді радіоактивних опадів приблизно 4,4 ПБк ^{137}Cs , 4,0 ПБк ^{90}Sr та 32 ТБк $^{239,240}\text{Pu}$ [1].

У забруднених навколо ЧАЕС лісах випадіння розподілені наступним чином: у деревостані зосереджено біля 5 %, у підстилаючому шарі від 20 до 85 %, решта у мінеральному шарі ґрунту, причому з плином часу відбувається збільшення вмісту радіонуклідів як у деревостані, так і в мінеральному шарі ґрунту.

З 1990 по 2008 рр. у Чорнобильській зоні сталося 42 великі лісові пожежі, якими було охоплено 16,9 тис. га лісів та 19,6 тис. га трав'яного настилу. Пожежонебезпечний сезон настає з моменту сходу снігового покриву і триває до настання стійкої дощової осінньої погоди чи утворення снігового покриву. Найбільша кількість лісових пожеж – 65 % припадає на весну, 25 % – на осінь та 10 % – на літо. Статистика причин виникнення лісових пожеж свідчить, що 60 % пожеж пов'язано зі спалюванням відходів, халатністю та навмишними підпалами, 15 % – з екстремальними погодними умовами (іскри, блискавки, самозапалювання, розряди ліній електропередач, тощо), для решти причини не встановлено.

Внаслідок лісової пожежі радіаційний дим піднімається на досить значну висоту та перенесення радіоактивних аерозолів відбувається на велику відстань. Тривалість життя радіаційної димоаерозольної хмари у нижній тропосфері (до 1,5 км) – менше тижня, у верхній

тропосфері – приблизно місяць, у стратосфері – 1÷3 роки. При цьому відбувається осідання радіоактивних продуктів згоряння (РПЗ) на «чистих» від радіоактивного забруднення територіях. Одне з основних завдань – не допустити лісових пожеж у Чорнобильській зоні, а у випадку їх виникнення мінімізувати їх радіоактивний вплив на довкілля з одночасним забезпеченням радіаційного захисту населення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом, особливо після Чорнобильської аварії, проведено багато досліджень щодо вторинної небезпеки радіоактивних аерозолів при пожежах. Багато авторів вважають різні параметри визначальними для потрапляння РПЗ у довкілля при лісових пожежах на території Чорнобильської зони [2, 3].

Дослідження продовжуються, оскільки до цього часу немає достовірних даних, які однозначно визначають надходження різних радіонуклідів до атмосферного повітря при лісовій пожежі.

Постановка завдання та його вирішення. Дана робота присвячена пошуку параметрів, які характеризують утворення та розповсюдження РПЗ, вимивання та сухого осаду радіоактивних часток, аерозолів та легкої золи з димової хмари, визначення їх дисперсного складу, активності тощо в процесі лісової пожежі у Чорнобильській зоні.

Наприкінці квітня 1996 року поблизу села Товстий Ліс, розташованого в 20 км на захід від ЧАЕС (рис. 1), виникло декілька осередків загоряння рослинного покриву з високим рівнем радіоактивного забруднення ґрунту ($10^{15} \div 10^6$) Бк/кг. Пожежа тривала майже три доби, у результаті чого вогнем було знищено 30 га лісу та 16 га трав'яного покриву. Стовп диму сягав висоти 1,2 км, а довжина димового шлейфу – 20 км. За даними метеостанції "Чорнобиль" загальна метеорологічна ситуація в процесі лісової пожежі у точках спостереження визначалася такими показниками: північно-західний напрямок вітру, швидкість вітру у діапазоні 1,5÷3,0 м/с, пориви вітру 7÷8 м/с, середня температура повітря – 19°C. Тривала відсутність дощів, низька питома вологість повітря, стабільна температура дозволили провести виміри параметрів РПЗ на сході димового шлейфу протягом трьох діб.

Під час лісової пожежі проводився забір проб атмосферного повітря випадінь РПЗ на шлейфі димової хмари за стандартною методикою за допомогою марлевих планшетів [4, 5], розташованих на горизонтально рівній відкритій місцевості, а також натурне дослідження концентрації аерозолів та зважених частинок диму за допомогою блоків детектування БДАС-03П фірми «Ізотоп». Після чого було виконано аналіз композиції радіонуклідів та вимір об'єму активного і дисперсного складу аерозолію. Виміри питомої активності ^{137}Cs проводилися з використанням γ -детектора фірми «ORTEC» з надчистого германію, ефективність якого становила 40 %, а розподі-

льна здатність 1,95 кеВ при $E=1,33 \text{ MeV } ^{60}\text{Co}$.

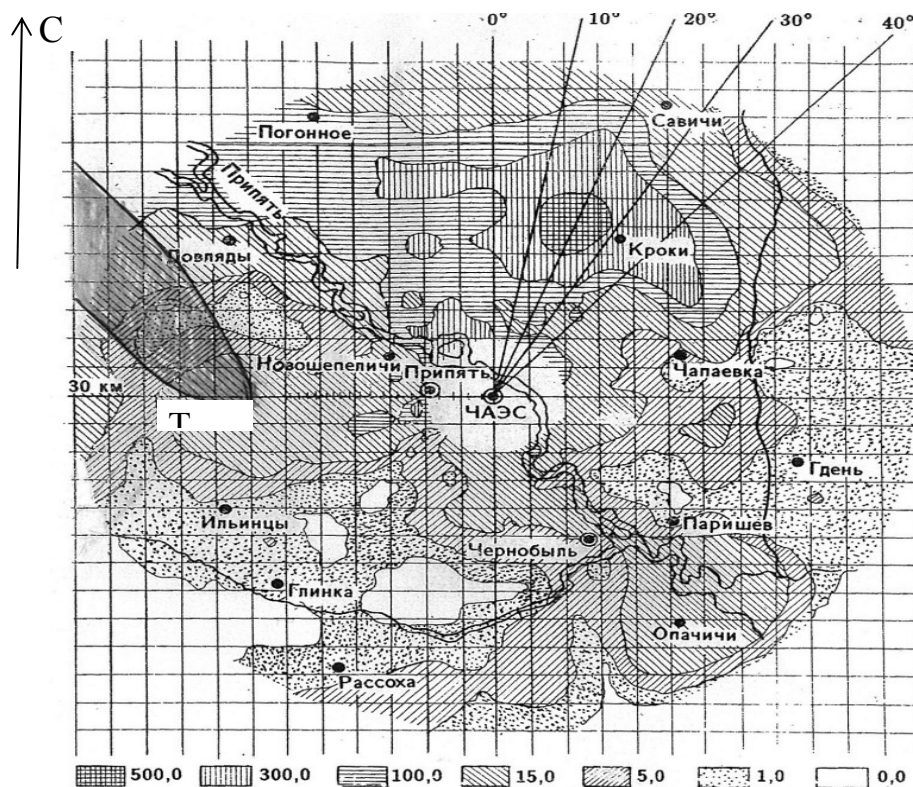


Рис. 1 – Схема радіоактивного забруднення ^{137}Cs в Чорнобильській зоні та руху диму під час лісової пожежі

У блоці детектування БДАС-03П було реалізовано безперервний режим відбору дисперсної фази диму на фільтрувальну смугу типу ЛФС-2-25 з одночасною реєстрацією об'ємної активності проб. Дисперсний склад РПЗ вимірювали за допомогою 5-ти каскадного імпактора ІБФ. Активність ^{90}Sr та трансуранових елементів (ТУЕ) (^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{241}Am) у пробах визначали за стандартною радіохімічною методикою [6, 7].

Активність екстрагованого ^{90}Sr виміряли шляхом радіометрії його дочірнього радіонукліду ^{90}Y з використанням α та β -радіометра «CANBERRA-2400». Відносна похибка вимірювання змінювалась у межах 10÷20 % для ^{137}Cs , 25÷30 % – для ^{90}Sr , 40÷50 % – ТУЕ, залежно від вмісту радіонуклідів у зразках.

Для статистичної обробки масиву експериментальних даних були використані стандартні пакети програм «Excel» та «Statistica 6.0». Середні значення та статистичні показники розраховували за загальноприйнятими формулами.

Дослідження при лісовій пожежі проводили у реальних (натурних) умовах із застосуванням методу активного експерименту за детальним моніторингом метрологічних умов та фонових значень параметрів ресуспенції.

Утворення і розповсюдження радіоактивного диму буде визна-

чатися конкретним видом лісової пожежі, фізико-хімічними процесами горіння та димоутворення, мікрофізикою та агрегатним станом радіоактивних продуктів згорання, а також конкретною метеорологічною ситуацією. Радіоактивний дим, (сажа, попел та волога), піднімаючись вгору, поступово буде осаджуватися на поверхню землі в залежності від розподілу частинок продуктів згорання за розмірами.

На рис. 2 приведено показники вмісту концентрації диму в атмосферному повітрі в усіх фазах лісової пожежі, а на рис. 3 розподіл об'ємної активності (концентрації) радіонуклідів у повітрі для різних фаз розвитку лісової пожежі.

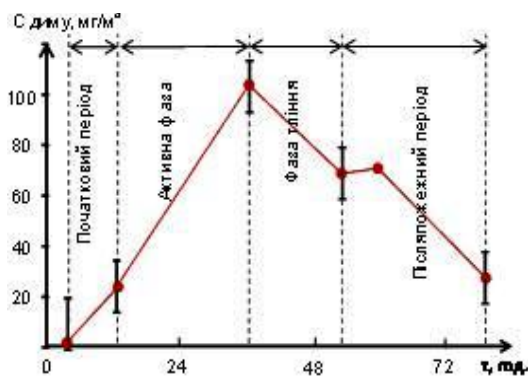


Рис. 2 – Показник вмісту концентрації диму в повітрі у місці лісової пожежі

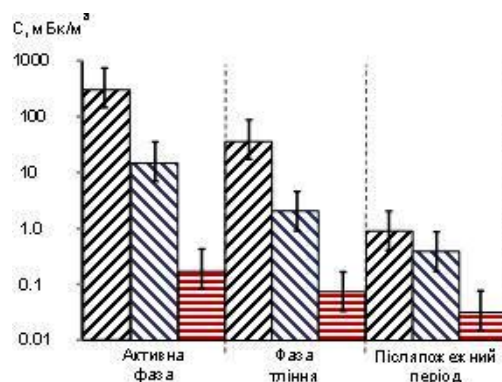


Рис. 3 – Об'ємна активність радіонуклідів у атмосферному повітрі при різних фазах лісової пожежі

З даних приведених на рис. 3 видно, що об'ємна активність РПЗ в основному обумовлена ^{137}Cs , який складає 92 % загальної активності, ^{90}Sr – 7 %, а ТУЕ – 1,0 %.

Розподіл об'ємної концентрації радіонуклідів та інтенсивність їх осідання в атмосферному повітрі на різних відстанях від лісової пожежі наведені на рис. 4 і 5.

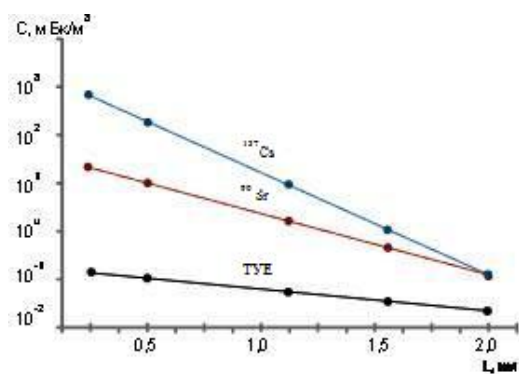


Рис. 4 – Розподіл об'ємної концентрації радіонуклідів в атмосферному повітрі в залежності від відстані при активній фазі лісової пожежі

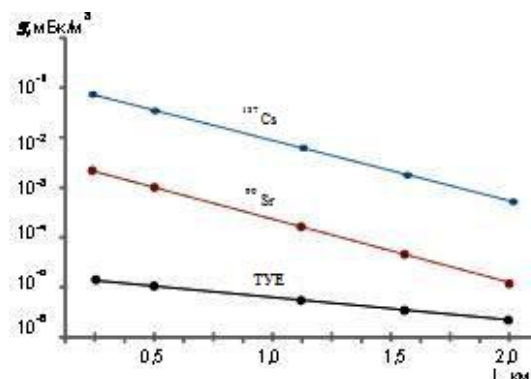


Рис. 5 – Розподіл інтенсивності осідання радіонуклідів в атмосферному повітрі в залежності від відстані при активній фазі лісової пожежі

З рис. 4 добре видно, що на відстані 2 км від місця лісової пожежі об'ємна концентрація ^{137}Cs зменшилася на три порядки, а для ^{90}Sr лише на порядок.

Рис. 5 показує, що інтенсивність осідання частинок диму з атмосфери на поверхню ґрунту буде визначатися в основному двома факторами: «сухим» гравітаційним турбулентним осадженням та вимиванням опадами. Окрім того, осідання часток диму може відбуватися за рахунок конденсації вологи та процесів дифузії.

Швидкість «сухого» осідання радіоактивних аерозольних часток різного радіуса (мкм) можна визначити за формулою Стокса [8]:

$$V = \frac{m_0 g}{6\pi\eta_\beta r_0}; \quad 0,7 \leq r_0 \leq 1,8; \quad (1)$$

$$V = \frac{r_0 g}{36\eta_\beta} (\rho - \rho_0); \quad 13,0 \leq r_0 \leq 2,5\mu, \quad (2)$$

де $\eta_\beta = 1,84 \cdot 10^{-5}$ Па·с – динамічний коефіцієнт в'язкості повітря; $r_0 = 3 \cdot 10^{-10}$ м, $m_0 = 3,6 \cdot 10^{-25}$ кг – радіус та маса аерозолю; $g = 9,81$ м/с² – прискорення вільного падіння; $\rho_\beta = 1,2193$ кг/м³ – густина повітря.

На рис. 6 зображено розраховану швидкість «сухого» осідання радіоактивних аерозольних димових частинок в залежності від відстані джерела лісової пожежі.

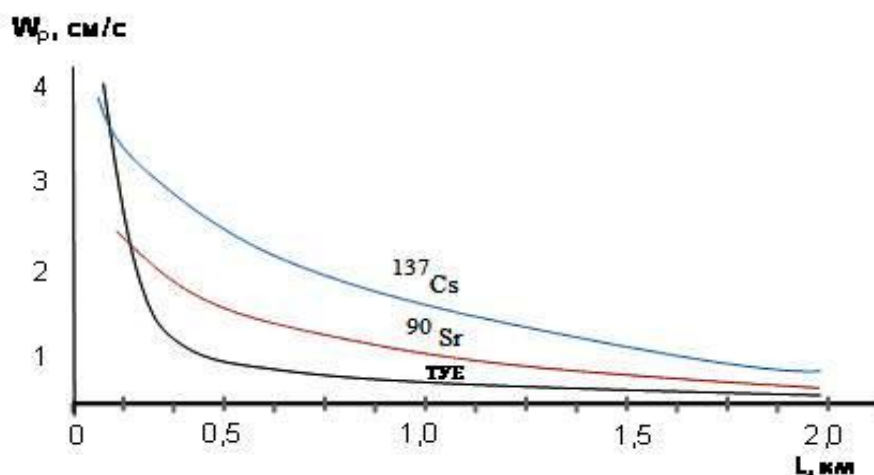


Рис. 6 – Швидкість «сухого» осідання в атмосферному повітрі радіонуклідів РІЗ

З рис. 6 видно, що аерозолі диму з ^{137}Cs найбільш стійкі у повітрі і можуть переноситися на значні відстані від місця лісової пожежі.

На рис. 7 представлено розподіл активності радіонуклідів за розмірами димових аерозолів для активної фази плинну лісової пожежі.

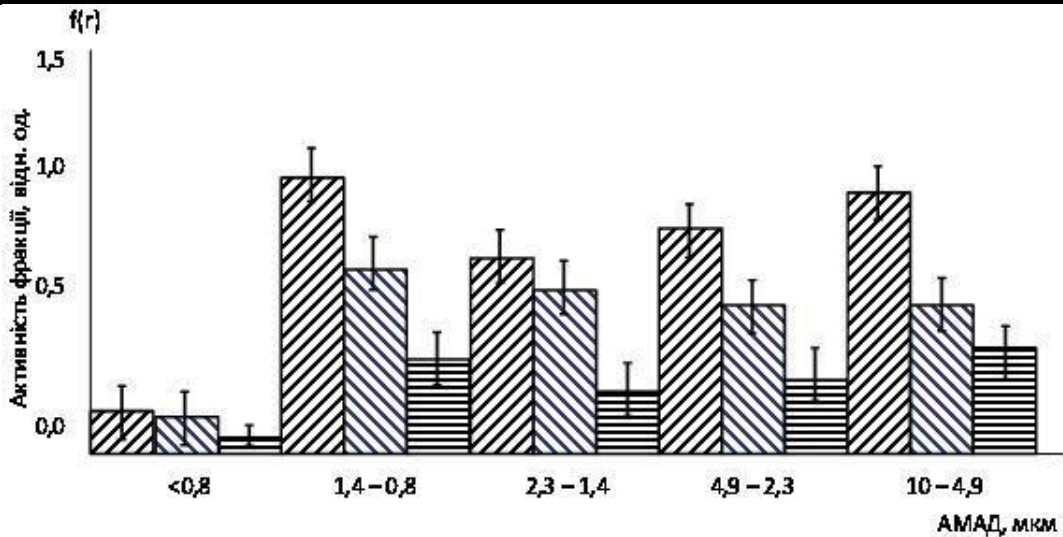


Рис. 7 – Розподіл активності радіонуклідів за розмірами по активності аеродинамічного діаметра (АМАД) в РПЗ в активній фазі лісової пожежі

З рис. 7 видно, що невелике радіоактивне навантаження буде для летючих часток РПЗ з АМАД в діапазоні 1,4÷0,8. При цьому діаметри медіан і стандартні відхилення для логарифмічно-нормального розподілу складає: $d_m=1,5$ мкм, $\tau=1,3$.

Вираз для розрахунку дози внутрішнього опромінення людини без урахування інтенсивності захисту дихальних шляхів за рахунок інгаляційного надходження радіонуклідів до організму [9, 10]:

$$E_{int}^{inhal} = V t \sum_i \sum_j e_{\tau}^{i,j} \left(\frac{C_{eq}^{\Sigma} \cdot P_{eq}^{i,j}}{100} \right), \quad (3)$$

де V – темп дихання людини, $m^3/год.$; t – час перебування людини на відкритій місцевості, год.; $e_{\tau}^{i,j}$ – доза на одиницю потрапляння активності інгаляційним шляхом зумовлена i -тим радіонуклідом j -го типу поглинання організмом, Зв/Бк; C_{eq}^{Σ} – середня концентрація суміші радіонуклідів в повітрі на висоті 1,7 метри, Бк/ m^3 ; $P_{eq}^{i,j}$ – відсотковий склад i -го нукліду j -го типу в атмосферному повітрі, %.

Попередня дозова оцінка інгаляційного опромінення розрахована за формулою (3) і за даними, приведеними на рис. 4–7 показала, що за максимальної об'ємної активності групи радіонуклідів і суміші РПЗ у приземному шарі атмосфери складає 290 мБк/ m^3 . При активній фазі лісової пожежі людина без засобів індивідуального захисту органів дихання, яка знаходилась на відкритій місцевості біля 5 годин, могла би отримати дозу внутрішнього опромінення, яка складає 0,01 мЗв.

Висновки. Проведені натуральні дослідження Чорнобильської зони свідчать про те, що зміст радіоактивних аерозолів у продуктах

згоряння при лісовій пожежі може значно збільшитися у приземному шарі атмосфери на декілька порядків і відзначається в основному ^{137}Cs . В приземному шарі атмосферного повітря переважає рідкий дим з аерозольним діаметром менш ніж 10 мкм, який в основному затримується у легенях людини до 50 %, що небезпечно у радіологічному розумінні. Виконана дозова оцінка інгаляційного опромінення людини показала, що максимальна доза при отриманні опромінення під час лісової пожежі мала порядок величини 0,01 мЗв.

ЛІТЕРАТУРА

1. Чернобыль: Радиоактивное загрязнение природных сред / [Ю.А. Израэль, С.М. Вакуловский, В.А. Ветров и др.]. – Л.: Гидрометеоздат, 1990. – 296 с.
2. Будыко А.К. Радиоактивные аэрозоли при пожарах на территориях, загрязненных продуктами Чернобыльской аварии / А.К. Будыко, В.И. Огородников // Радиационная биология. Радиэкология. – 1995. – Т. 35, Вып. 1. – С. 102–112.
3. Гаргер Е.К. Радиоактивность аэрозоля и его дисперсный состав на промплощадке ЧАЭС в период лесных пожаров / Е.К. Гаргер, В.А. Кашпур, Г.Г. Скоряк и др. // Агроекологічний журнал. – 2004. – № 3. – С. 6–12.
4. Захист від радіації. Загальні принципи відбирання проб радіоактивних речовин із повітря: ДСТУ ISO 2889. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 56 с. – (Національні стандарти України).
5. Методика определения плутония в почвах, растениях, аэрозолях, в марлевых планшетах. – М.: Геохим АН СССР, 1986. – 7 с.
6. Лаврухина А.К. Радиохимический анализ / А.К. Лаврухина, Т.В. Мальшева, Ф.И. Павлоцкая. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 220 с.
7. Мясоедов Б.Ф. Аналитическая химия трансплутониевых элементов / Б.Ф. Мясоедов, Л.И. Гусева, И.А. Лебедев. – М.: Наука, 1972. – 374 с.
8. Ламб Г. Гидродинамика / Г. Ламб. – М.: Гостехиздат, 1947. – 684 с.
9. ICRP Publication 67. Age-Dependent Doses to Members of the Public from Intakes of Radionuclides. Part 2. Ingestion Dose Coefficient – Oxford Pergamon Press. – 1993. – 116 p.
10. Методика расчета радиоактивных веществ с АЭС и облучение окружающего населения / НТД «Безопасность в атомной энергетике». – М.: Энергоатомиздат, 1984. – Т. 1, Ч. 1. – 112 с.

Азаров С.И., Сидоренко В.Л., Руденко О.В.

Изучение процесса поступления радионуклидов в воздух при пожарах в лесах зоны отчуждения ЧАЭС.

Известно, что лесные пожары в Чернобыльской зоне являются одним из самых мощных источников вторичного загрязнения воздуха радионуклидами различного вида. Проведены измерения в процессе лесного пожара вблизи села Толстый Лес объемной активности продуктов сгорания и их дисперсионные характеристики с целью уточнения ингаляционных доз облучения. Показано, что объемная активность смеси радионуклидов в аэрозолях наземной поверхности атмосферы в активной фазе лесного пожара увеличилась в 600 раз по сравнению с фоновым значением.

Ключевые слова: лесные пожары, зона отчуждения, поступление радионуклидов.

Azarov S.I., Sidorenko V.L., Rudenko O.V.

Study of process of receipt of radionuclide's in air at fires in the forests of zone of alienation of Chornobyl.

Forest fires are known as one of the most powerful sources of the atmosphere air secondary contamination by different aerosols. Experiments have been carried out the determination the radioactive aerosol volume activity and disperse characteristics in order to find out more precisely the ignition dozes during forest fires. It has been found that of the maximum smoke-screen the volume activity of radionuclide's in air increases by 600 as compared to background values.

Keywords: forest fires, zone of alienation, receipt of radionuclide's.

*П.А. Билым, канд. хим. наук, доцент кафедры, НУГЗУ,
А.П. Михайлюк, канд. хим. наук, доц., профессор кафедры, НУГЗУ,
К.А. Афанасенко, преподаватель, НУГЗУ,
Ю.И. Калябин, преподаватель, НУГЗУ*

О РОЛИ АДГЕЗИОННОГО КОНТАКТА ПОЛИМЕР – ВОЛОКНО В СОХРАНЕНИИ ПРОЧНОСТИ СТЕКЛОПЛАСТИКА НА ПОЖАРЕ

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

Установлено, что на пожаре основным фактором, который стимулирует расслоение стеклопластика под нагрузкой, является предварительное разрушение адгезионных контактов. Доля сохраненных контактов обеспечивает уровень остаточной прочности композита в зависимости от сил сцепления на границе раздела полимер-волокно.

Ключевые слова: прочность стеклопластика на пожаре, адгезионная прочность, адгезионный контакт .

Постановка проблемы. Известно, что прочность стеклопластиков в значительной мере определяется совместной работой стеклянных волокон и прослойки полимерного связующего на всех стадиях нагружения и теплового воздействия на армированную систему [1]. В основе методов определения упругих постоянных материала и расчетов на прочность лежит представление о том, что стеклопластики на всех стадиях нагружения ведут себя как сплошной монолитный материал, а механизм передачи усилий в системе полимер – стекло не зависит ни от способа приложения нагрузки, ни от ее относительной величины [2].

Гипотеза о сплошности армированных пластиков постоянно нуждается в экспериментальной и теоретической проверке. В особенности это касается композиционных материалов, выполняющих роль несущих конструкций, которые по ряду возникающих экстремальных условий эксплуатационного характера должны отвечать требованиям по огнестойкости.

Анализ последних исследований и публикаций. Опыт эксплуатации деталей и конструктивных элементов из стеклопластиков и результаты ряда исследований опровергает предположение об абсолютной монолитности материала на всех стадиях нагружения. Основным доводом в пользу данного обстоятельства исследователи видят в том, что при испытаниях на разрушение в полимерной матрице возникают напряжения, полимерное связующее растрескивается и теряет прочность задолго до того, как стеклянные волокна примут на себя полную нагрузку [3].

Нарушение монолитности отчетливо проявляется при построении кривых деформирования стеклопластиков при одностороннем на-

греве в условиях медленно развивающегося пожара [4]. Изменение модуля упругости, характерное для многих материалов, является косвенным свидетельством о нижней границе трещинообразования. В особенности это свойственно хрупким материалам, которые по причине охлаждения (остывания) после экстремального теплового воздействия, приобретая жесткость, не восстанавливают исходную прочность [5].

Постановка задачи и ее решение. В данной работе поставлена задача по определению уровня начальной нагрузки, при которой ориентированный стеклопластик ведет себя как сплошной монолитный материал, оценить, как влияют появившиеся внутренние трещины на прочностные и деформационные свойства и какова роль адгезионного взаимодействия для сохранения остаточной прочности композита после теплового воздействия пожара и последующего охлаждения.

Экспериментальная проверка сплошности материала обычно осуществляется при помощи измерения водопоглощения у образцов, предварительно нагруженных до разных уровней. В качестве примера были взяты образцы стеклопластика разной толщины на основе стеклоткани и полиэпоксидных связующих [6]. Образцы были подвергнуты полному циклу нагрева при стандартном пожаре в течение 15 минут с последующим охлаждением в стендовой печи до 20 °С. Исходная нагрузка на образцы стеклопластика, на основе бромсодержащего связующего и связующего на основе эпоксицированного динафтола, составляла 50 МПа.

Как видно из данных, представленных на рис.1, существенных различий по сорбционной способности представленных композитов не наблюдается. Общей закономерностью является повышение водопоглощения с увеличением толщины образца и длительности его выдержки в воде при нормальных условиях.

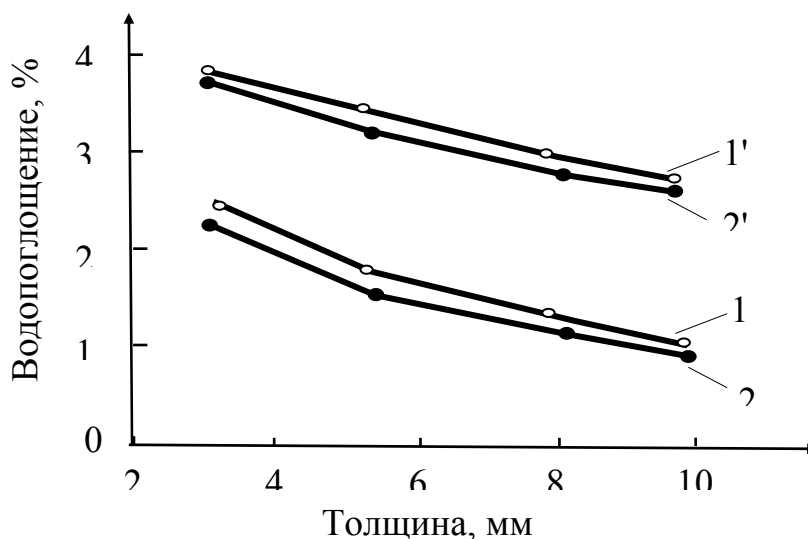


Рис. 1-Зависимость водопоглощения от толщины образца. Стеклопластик на основе: бромсодержащего связующего – 1; эпоксицированного динафтола – 2. Кривые водопоглощения после 5 суток – 1, 2; после 30 суток – 1', 2'.

Такая зависимость дает наглядное представление о достаточно близком уровне дефектности (пористости) исследуемых композитов. Если объем поглощенной жидкости отнести к объему образца, то легко установить, что трещины возникли в практически незначительной части объема. Следует отметить, что данный способ прост в аппаратном оформлении, но не достаточно точен [7].

Для экспериментальной проверки границы сплошности могут быть использованы и идеи конструкционного демпфирования [8]. Если пластик остается монолитным на всех стадиях нагружения и не происходит среза адгезионных связей, то величина рассеянной энергии при свободных затухающих колебаниях балки или вынужденных колебаниях консольно закрепленного образца из стеклопластика должна оставаться постоянной и не зависеть от степени предварительного нагружения материала. Наличие среза адгезионных связей и появление фрикционных пар должны резко увеличить рассеяние энергии за счет стока ее на поверхности трения. Хотя адгезионные участки небольшие, это должно найти отражение в релаксационном спектре вынужденных колебаний образца из стеклопластика.

Характерные кривые, иллюстрирующие изменение степень механических потерь вынужденных резонансных изгибных колебаний в зависимости от толщины нагруженного образца, представлены на рис. 2.

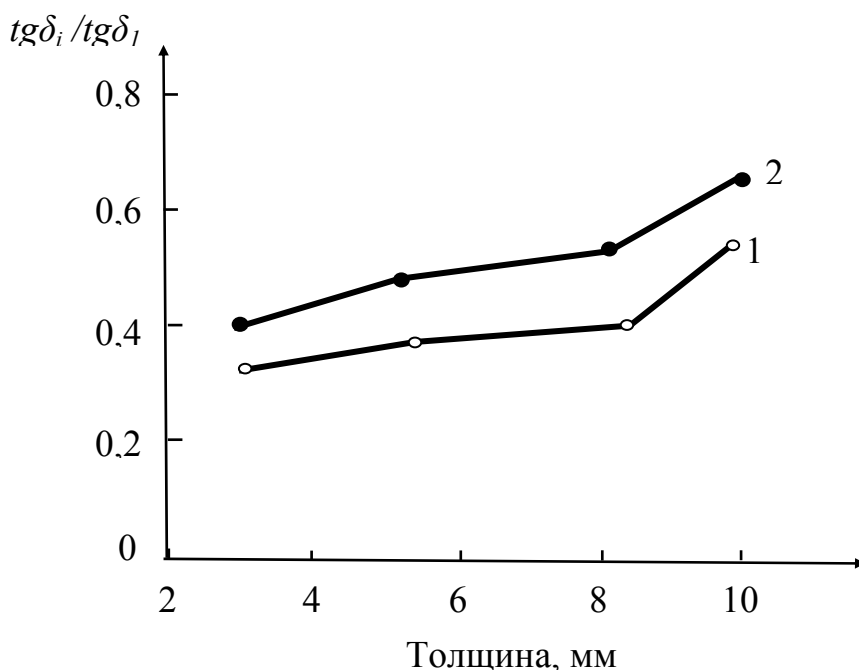


Рис. 2- Отношение величины тангенса угла механических потерь $tg\delta_i/tg\delta_1$ зависимости от толщины образца стеклопластика, прошедшего стадию нагрева и последующего охлаждения. Стеклопластик на основе: бромсодержащего связующего – 1; эпоксидированного динaftола – 2.

Судя по расположению кривых, стеклопластик на основе эпок-

сидированного динафтола имеет большее число разорванных адгезионных связей на границе раздела полимер-волокно. Однако, данный факт противоречит повышенному значению остаточной прочности рассмотренного композита (~85 МПа) и поэтому требует более детального исследования.

В связи с этим, в данной работе была подробно исследована адгезионная способность эпоксидных связующих к стеклянному волокну. Адгезионную прочность полимерное связующее – стеклянное волокно определяли на одногнездовом адгезиометре при нормальных условиях. Образцы для испытаний готовили по методике, описанной в [9]. Перед испытаниями образцы подвергали термолизу. Обработку проводили в муфельном шкафу при температуре 550 – 600 °С в течение 30 минут с последующим охлаждением до комнатной температуры.

Зависимость величины адгезионной прочности от площади контакта связующего к стекловолокну представлена на рис. 3. Эти данные показывают, что всегда имеющаяся в действительности зависимость площади соединения не сказывается в данном случае на отношении усредненных величин адгезионного взаимодействия. Следует отметить, что по величине прочности сцепления с волокном, связующее на основе эпоксидированного динафтола имеет существенные преимущества.

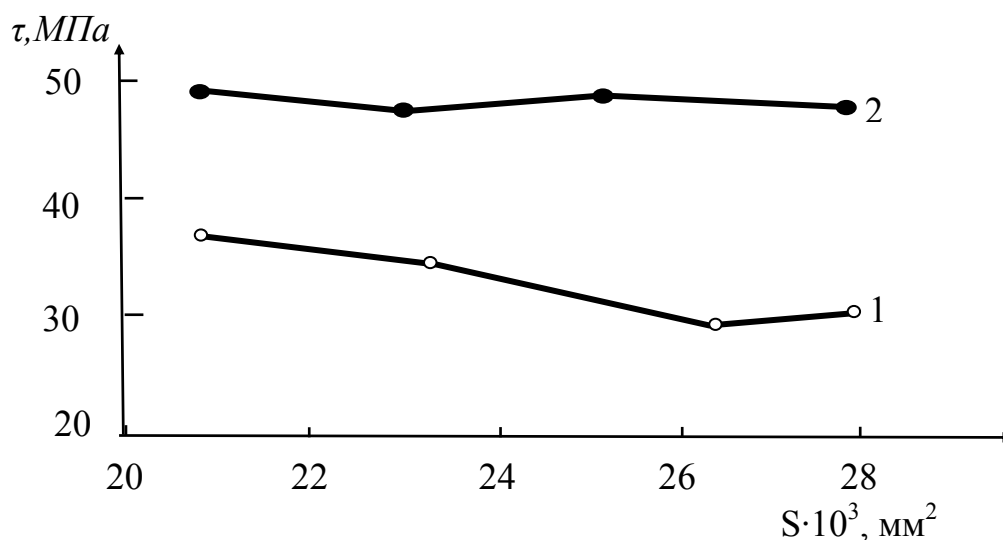


Рис. 3 – Зависимость величины адгезионной прочности (τ) от площади контакта связующего к стекловолокну. Связующее на основе: бромсодержащего олигомера - 1; эпоксидированного динафтола -2.

Из этого следует, что увеличение прочности стеклопластика при сжатии обеспечивается повышенной адгезионной прочностью связующего к волокну, а в данном случае, сохраненных после теплового действия и охлаждения адгезионных контактов в композите.

Определив усредненную величину τ и рассматривая ее как константу материала можно провести проверку одного из условий монолитности армированного пластика [10, 11]. В таком композите, в котором прочность армирующих волокон используется наиболее полно, необходимо, в частности, достичь значений адгезионной прочности, когда выполняется условие:

$$\tau_{\text{адг}} / \sigma_{\text{вол}} \geq 0,015 \div 0,040$$

Прочность исследованного алюмоборосиликатного волокна $\sigma_{\text{вол}} = 2500$ МПа. Соответственно для получения на основе этого волокна монолитного стеклопластика необходимо связующее, для которого $\tau_{\text{адг}} \geq 40 - 100$ МПа. Как видно из рис. 3, этому условию соответствует связующее на основе эпоксидированного динафтола для которого, адгезионная прочность к стеклу больше, чем нижняя из указанных границ.

Выводы. 1. Установлено, что на пожаре основным фактором, который стимулирует расслоение стеклопластиков при сжатии, является предварительное разрушение адгезионных контактов. Доля сохраненных контактов обеспечивает устойчивость полимерных слоев и, в зависимости от силы сцепления на границе раздела полимер-волокно, определяет остаточную прочность композита.

2. По результатам проверки материалов на одно из условий монолитности установлено, что наиболее полно прочность армирующих волокон используется в стеклопластике на основе эпоксидированного динафтола.

ЛИТЕРАТУРА

1. Димитриенко Ю.И. Механика композиционных материалов при высоких температурах. / Юрий Иванович Димитриенко – М.: Машиностроение, 1997. – 367 с.

2. Третьяченко Г.Н., Грачева Л.И. Термическое деформирование неметаллических деструктурирующих материалов./ Г.Н. Третьяченко, Л.И. Грачева. – К.: Наук. Думка, 1983.-248 с.

3. Грачева Л.И. Термическое деформирование и работоспособность материалов тепловой защиты./ Людмила Ивановна Грачева – Киев: Наук. думка, 2006. – 294 с.

4. Билым П.А., Михайлюк А.П., Афанасенко К.А. Несущая способность стеклопластиков в условиях одностороннего нагрева в режиме медленно развивающегося пожара. / П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков: УГЗУ, 2010. – Вып. 28. – С. 47 – 53.

5. Билым П.А., Михайлюк А.П., Афанасенко К.А., Калябин

Ю.И. Влияние экстремальных тепловых воздействий на остаточную прочность стеклопластиков / П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А., Афанасенко, Ю.И. Калябин// Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков: УГЗУ, 2010.- Вып.28.- С. 54-58.

6. Билым П.А., Михайлюк А.П., Афанасенко К.А. Изменение прочности и деформирование конструкционных стеклопластиков при нагреве в условиях развития пожара / П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А., Афанасенко //Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков: УГЗУ, 2009. – Вып. 26. – С.18-24.

7. Тарнопольский Ю.М., Скудра А.М. Конструкционная прочность и деформативность стеклопластиков. / Ю.М. Тарнопольский, А.М. Скудра - Рига: Зинатне, 1966.- 260 с.

8. Тарнопольский Ю.М., Канцис Т.Я. О механизме передачи усилий при деформировании ориентированных стеклопластиков / Ю.М. Тарнопольский, Т.Я. Канцис // Механика полимеров, 1965.- №1.- С.36-42.

9. Горбаткина Ю.А. Адгезионная прочность в системах полимер-волокно. / Юлия Александровна Горбаткина - М.: Химия, 1987.- 192 с.

10. Рабинович А.Л. Введение в механику армированных полимеров. / Александр Леонидович Рабинович - М.: Наука, 1970, 482 с.

11. Рогинский С.Л., Канович М.З., Колтунов М.А. Высокопрочные стеклопластики. / С.Л. Рогинский, М.З. Канович, М.А. Колтунов. - М.: Химия, 1979, 148 с.

П.А. Білим, О.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко, Ю.І. Калябін

Роль адгезійного контакту полімер – волокно у збереженні міцності склопластика на пожежі

Встановлено, що на пожежі основним чинником, який стимулює розшарування склопластика під навантаженням, є попереднє руйнування адгезійних контактів. Частка збережених контактів забезпечує рівень залишкової міцності композиту залежно від сил зчеплення на межі розділу полімер-волокно.

Ключові слова: міцність склопластика на пожежі, адгезійна міцність, адгезійний контакт .

P.A. Bilym, A.P. Mikhailuk, K.A. Afanasyenko, U.I. Kalybin

About role of adgezion interference polymer cement is fiber in keeping of endurance capability of stekloplastika on fire

It is set that on a fire a basal factor which stimulates breaking of stekloplastika on-loading is a preliminary break of адгезионных interferences. The stake of the stored interferences provides the level of remaining endurance capability of compo depending on forces of bond on the bound of section polymer cement-fiber.

Keywords: endurance capability stekloplastika on a fire, adgezion endurance capability, adgezion interference .

*П.А. Билым, канд. хим. наук, доцент кафедры, НУГЗУ,
А.П. Михайлюк, канд. хим. наук, профессор кафедры, НУГЗУ,
В.В. Олейник, канд. техн. наук, начальник кафедр, НУГЗУ,
А.В. Альбоцкий, канд. воен. наук, зам. нач. кафедры, НУГЗУ*

О ПРИМЕНЕНИИ ОБОБЩЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРНО- ВРЕМЕННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ К УСЛОВИЯМ РАЗВИТИЯ ПОЖАРА

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

Для условий развития пожара предложена обобщенная характеристика прочности и твердости полимерных композитов, представленная двумя экспериментальными кривыми – прочности и релаксации напряжений. Совокупность этих кривых определяет область работоспособности материала.

Ключевые слова: работоспособность композита, релаксация напряжений, разрушение и размягчение материала.

Постановка проблемы. Известно, что в каждом режиме механического воздействия, при постоянной или переменной температуре, работоспособность полимеров определяется способностью не разрушаться и не размягчаться. Применительно к вертикальным конструкциям, работоспособность отождествляют с ее «несущей способностью», которая в соответствии с ДСТУ Б В.1.1-4-98* для условий развития пожара регламентируется нагрузкой, вызывающей обрушение образца и предельным значением продольного смещения нагруженного конца. Определив, таким образом, данные характеристики, допустимо говорить о двух причинах, вызывающих потерю работоспособности. Первая причина – разрушение полимерного материала, наступающего при очень малых деформациях. Вторая причина – размягчение полимерного материала, вызывающее развитие больших деформаций без потери целостности.

Если говорить о разрушении твердых тел, то понятно, что разрушение всегда связано с потерей целостности материала, то есть с распадом его на части [1]. Когда речь идет о размягчении полимерных материалов, мнения могут быть различными. Характеризуя размягчение полимерных материалов, во многих случаях имеют в виду определенную температуру (или интервал температур), соответствующую точке стеклования [2]. Выше этой температуры материал размягчается, становится эластичным, а ниже - находится в твердом (стеклооб-

разном или кристаллическом состоянии). Эта точка зрения отражает лишь один частный случай – размягчение полимера в отсутствие механических напряжений и в определенном температурном режиме.

При механических воздействиях, а также в разных и, в особенности, экстремальных условиях нагрева или охлаждения, температура размягчения может принимать разные значения. В принципе любая температура может быть температурой размягчения при соответствующем выборе нагрузки. Хотя такая зависимость дает более полную картину размягчения полимеров, она совершенно не учитывает временной фактор. Между тем, физически обоснованной характеристикой размягчения может быть время, или более корректно в данном случае говорить о долговечности формы полимерного материала.

Таким образом, говоря о сохранении работоспособности полимерного материала при экстремальных тепловых воздействиях (таких, как пожар) прежде всего, необходимо изучить взаимосвязь между процессами разрушения и размягчения с момента приложения нагрузки до разрушения или размягчения при учете скоростей этих процессов. Последнее обстоятельство подразумевает определение и сопоставление времени жизни материала (разрушение) и долговечности его формы (размягчение).

Анализ последних исследований и публикаций. Известно, что для практической оценки работоспособности неполимерных материалов (металлы, керамика цементный камень и др.) достаточно построить диаграмму растяжения или сжатия и найти на ней предельно допустимое напряжение, при котором еще не наступает разрушение [3]. Объясняется это тем, что для данных материалов, после приостановки деформирования, в гукерской области, вблизи предела упругости и дальнейшей поддержки постоянной деформации, наблюдается со временем лишь небольшое уменьшение напряжения. Причем, равновесие наступает быстро. Поэтому, для этих материалов установившееся напряжение (его можно назвать равновесным) мало отличается от предела упругости и поэтому последний может служить удобной практической характеристикой прочности данного материала.

Для полимерных материалов такой зависимости не наблюдается вследствие ярко выраженной релаксации напряжения [4]. Это обусловлено тем, что предел упругости для полимеров лежит гораздо выше равновесного напряжения и для поддержания в полимерном материале напряжения, соответствующего пределу упругости, необходимо непрерывно деформировать материал (напряжение падает вследствие релаксации), что естественно приведет к его разрушению. Таким образом, характеристика прочности полимерных материалов по диаграмме растяжения (или сжатия) чрезвычайно условна.

Для правильной характеристики прочностных свойств полимер-

ных материалов необходимо рассматривать зависимость долговечности (по разрушению) этого материала от предыстории образца (температура и напряжение) [5]. Однако для полной характеристики работоспособности полимерного тела одних числовых значений долговечности недостаточно, так как многие полимеры при некоторых температурах и нагрузках, размягчаются, прежде чем разрушаются [6]. В этом случае, хотя материал и остается целым, он теряет свою несущую способность и не может использоваться в жестких конструкциях.

Постановка задачи и ее решение. В связи с особенностями поведения композитов, в данной работе поставлена задача по исследованию работоспособности твердого материала с указанием области значений температуры, напряжения и долговечности, в которых твердый конструкционный материал не разрушается и не превышает предельных значений деформации в условиях развития пожара. Пример такой обобщенной характеристики рассматривается для случая действия постоянной нагрузки при характеристических температурах режима наружного пожара.

Для построения графика объемной характеристики работоспособности материала, необходимо отдельно рассмотреть зависимости прочности и релаксации напряжения для условий нарастания температуры в режиме наружного пожара.

Испытывались стеклопластики с применением стеклоткани марки Т-10 и двух видов полимерных связующих эпоксифенольного типа: на основе смесевой системы олигомеров, содержащей бромированный компонент и связующего на основе эпоксицианированного динафтола. Применение последнего позволяет получать стеклопластик с улучшенной термостабильностью прочностных характеристик [7].

Рассмотрим последовательно результаты прочностных испытаний стеклопластиков и релаксации напряжений при допустимой деформации сжимающего усилия.

Как видно из данных, представленных на рисунке 1, испытываемые стеклопластики на основе бромсодержащего связующего и связующего на основе эпоксицианированного динафтола имеют примерно одинаковую исходную прочность на сжатие при комнатной температуре: 250 и 230 МПа, соответственно. С повышением температуры испытаний предел прочности стеклопластиков в условиях сжатия монотонно снижается. При этом, начальная стадия разупрочнения проходит практически линейно и заканчивается, приблизительно при температуре 290-300°C. В дальнейшем закономерность температурно-временной зависимости прочности не изменяется. Кривые 1 и 2 проходят практически параллельно оси времени. Допустимо предполагать, что в интервале от начала до 1,5 мин. испытаний происходит резкое размягчение связующего, нагретого выше температуры

теплостойкости. Однако следует отметить, что разрушение обоих видов стеклопластиков в данном временном интервале, по визуальному наблюдению, носит хрупкий характер.

С повышением температуры, когда у материала прогреваются внутренние слои, при нагрузке в образце образуется глубокая область разрыхленного смятиями вещества. Схема разрушения отвечает чистому сдвигу при сохранении видимой целостности образца и фиксируется резким снижением его продольного смещения. Следует отметить, что по истечению 15 минут композит на основе эпоксицированного динафтола обладает повышенным уровнем установившейся прочности.

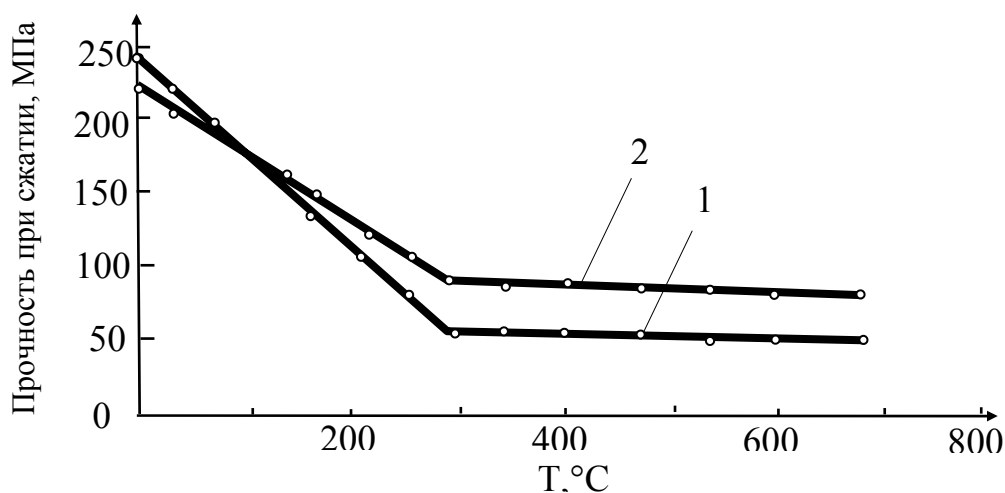


Рис. 1 – Зависимость длительной прочности образцов стеклопластиков от уровня начального постоянного напряжения при сжатии в условиях нарастания температуры по стандартному режиму наружного пожара. Связующее на основе бромсодержащего олигомера – 1 и эпоксицированного динафтола – 2.

Следующим этапом исследований является изучение времени в течении которого гарантирована работоспособность стеклопластика в условиях развития пожара. В данном случае имеют ввиду, что за это время относительная деформация в материале не превысит, согласно требованиям ДСТУ Б.В.1.1-4-98*, предельного смещения нагруженного конца образца более, чем на 1%.

Тепловое воздействие на стержневой образец проводили в испытательной печи. Образцы стеклопластиков подвергались сжатию под действием постоянной начальной нагрузки за одни сутки до начала нагрева. Исходная нагрузка при 20 °С, действующая на рабочую часть образца, соответствовала расчетному значению – 0,85 от предела кратковременной прочности при контрольных статических испытаниях.

В простейшем случае образец испытываемого материала помещается так, чтобы начальная деформация (а следовательно, и начальное

напряжение) в нем была равна нулю (рис. 2 а). Рабочие цилиндры релаксометра закрепляются, а температура повышается по заданному режиму. По общепринятой (традиционной) методике, скорость роста температуры может выбираться произвольно, но не должна быть слишком большой, так как иначе образцы не будут успевать равномерно прогреваться по всей толщине. Для образца толщиной 5 мм эксперимент проводили при скорости нагрева близкой 4 град/мин. Для поддержания требуемого темпа нагрева, напряжение на стендовую электропечь подавалось через автоматический блок питания.

Закрепленные цилиндры релаксометра препятствуют свободному тепловому расширению образца при нагревании, и поэтому в нем возникают напряжения, которые можно фиксировать при линейном нагреве, через равные промежутки времени или интервалы температур. По результатам эксперимента строятся кривые зависимости напряжения от температуры при различных начальных деформациях. Поскольку, допустимая деформация образца должна составлять не более 1% от его длины (требование ДСТУ Б.В.1.1-4-98*) эксперимент проводили при начальных относительных деформациях равных, соответственно - 1; 0,6; 0,4 % (см. схему рис. 2 б).

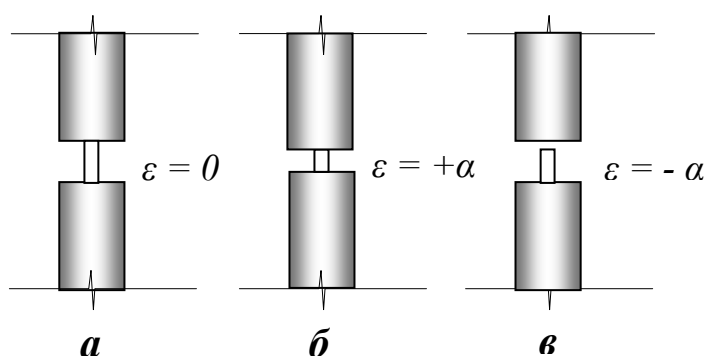


Рис. 2– Схема расположения образца в рабочих цилиндрах релаксометра (разрывной машины)

Таким образом, придавая образцу различные деформации (а следовательно, и начальные напряжения), можно получить серию кривых зависимости напряжения от температуры. Для более полной интерпретации релаксационных свойств композита предложено также рассмотреть первый и третий варианты расположения рабочих элементов релаксометра и образца (см. схему рис. 2 а, в). В первом случае образец свободно касается рабочих цилиндров и начальная деформация соответственно равна нулю. В третьем варианте, образец помещен так, что у него имеется возможность свободного теплового расширения до тех пор, пока он не коснется верхнего рабочего цилиндра релаксометра.

Как видно из экспериментальных данных, представленных на рисунке 3, все кривые (вспомогательные кривые) неизотермической релаксации при линейном нагреве характеризуются начальным ростом

напряжения до определенной температуры, пока полимерный материал остается твердым. После этой температуры полимерный материал начинает быстро релаксировать, что приводит к появлению максимума. В точке максимума скорость роста напряжения за счет теплового расширения равна скорости его падения за счет релаксации. При некоторой температуре напряжение релаксирует полностью, то есть падает до нуля. В этот момент кривая пересекает ось температур. Точка пересечения характеризует температуру стеклования полимерного композита.

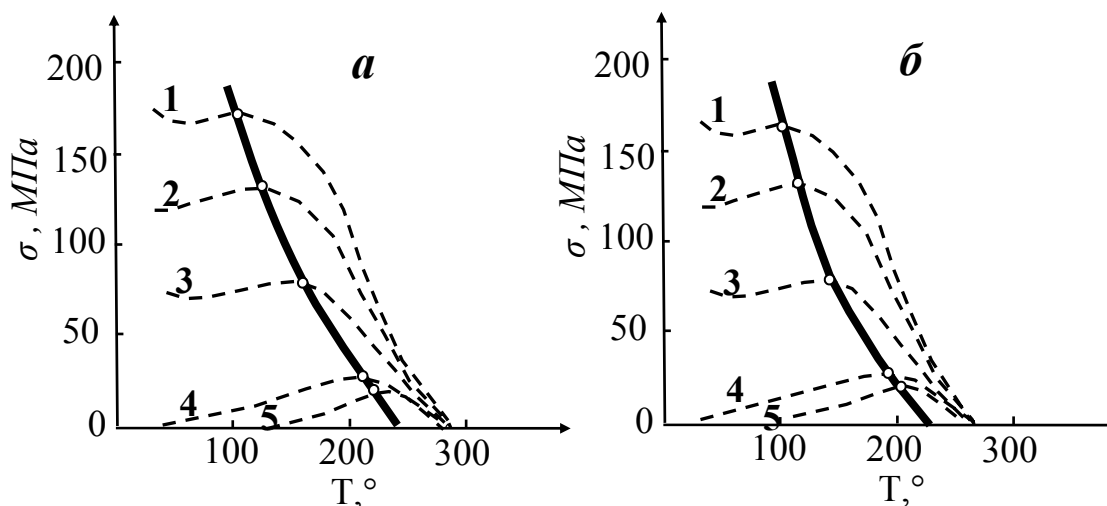


Рис. 3- Кривые неизотермической релаксации напряжения (пунктир) и области работоспособности стеклопластиков на основе: бромсодержащего связующего – *а*, эпоксирированного динафтола – *б*. Вспомогательные кривые при исходной относительной деформации образца (ϵ): 1% - 1; 0,6% - 2; 0,4% - 3; 0% - 4; формально отрицательная деформация – 5.

Таким образом, проводя эксперимент при различных начальных деформациях (положительных, равных нулю и формально даже отрицательных), можно получить семейство кривых, каждая из которых имеет один максимум. Геометрическое место точек максимумов (сплошная кривая на рис. 3 *а* и *б*) ограничивает область напряжений и температур, в которых композиционный материал относительно медленно релаксирует и поэтому проявляет отчетливо выраженную твердость. Эта область была названа областью работоспособности полимерного или композиционного материала [8]. Анализируя расположение кривых можно отметить, что по деформативности (твердости) композиты на основе рассматриваемых полимерных связующих существенно не отличаются.

Теперь рассмотрим результаты эксперимента в режиме нарастания температуры при наружном пожаре (рис. 4). Кривые, ограничивающие область работоспособности, по смыслу подобны графикам, приведенным на рис. 3. Естественно, что если опыты по неизотермической релаксации напряжения проводятся с другой скоростью

нагрева, то изменяется положение кривой. Помимо этого изменилась и форма кривой.

Приступая к определению области работоспособности, следует учитывать, что состояние связующего композиционного материала в режиме ускоренного нагрева и достижения повышенных температур претерпевает существенные изменения. В зависимости от этого кривая работоспособности отражает не только ряд подсостояний стеклообразного полимер. На ней так же могут быть зафиксированы основные релаксационные изменения, связанные с образованием на поверхности композита перерожденного слоя, который образуется в результате интенсивного нагрева и прохождения пиролитических превращений [9]. Косвенным подтверждением частичного пиролиза материала является отсутствие полной релаксации вспомогательных кривых до нулевого значения напряжения.

Таким образом, если эксперимент проводить в режиме наружного пожара, который охватывает широкий интервал температур, область работоспособности имеет вид, показанный на рис. 4.

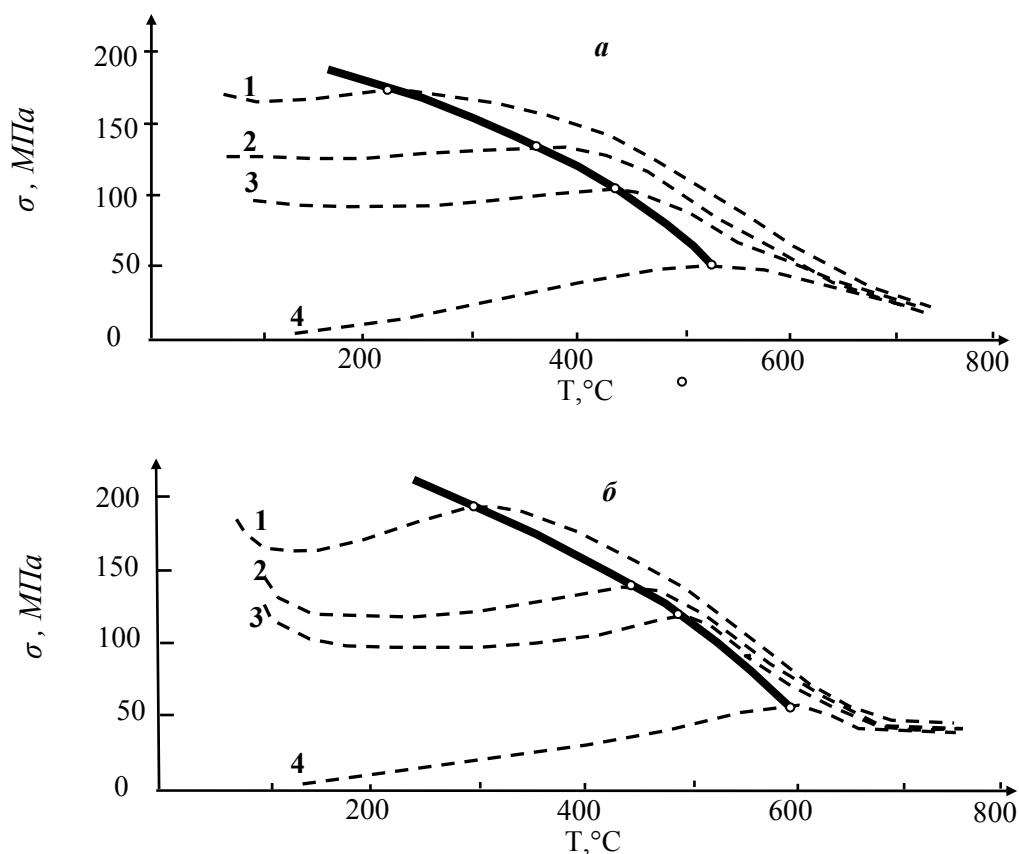


Рис. 4- Кривые неизотермической релаксации напряжения (пунктир) и области работоспособности стеклопластиков в условиях развития пожара на основе: бромсодержащего связующего – *а*, эпоксицированного динафтола – *б*. Вспомогательные кривые при исходной относительной деформации образца (ϵ): 1% - 1; 0,6% - 2; 0,4% - 3; 0% - 4.

Кривые, ограничивающие область работоспособности, имеют выпуклость вверх, что обусловлено наложением ряда участков релаксации отдельных структурных организаций полимерной связи, включая степень релаксации перерожденного (прококсованного) приповерхностного слоя.

Рассмотрев отдельно зависимости длительной прочности и релаксации напряжений в неизотермических условиях, можно перейти к построению комплексной температурно-временной характеристики прочности и твердости композиционного материала.

Для построения геометрической характеристики работоспособности материала, с указанием границ области значений напряжения, температуры и долговечности, в которых твердый пластик не разрушается и не размягчается можно воспользоваться относительно простыми аналогичными соотношениями:

$$\ln \tau = \ln \tau_o + \frac{u_o - \gamma \sigma}{RT}; \quad (1)$$

$$\ln \tau_p = \ln \tau_{p0} + \frac{u_{p0} - \gamma_p \sigma}{RT}; \quad (2)$$

где τ_o , u_o и τ_{p0} , u_{p0} , γ_p – константы материала, соответственно характеризующие процессы разрушения и релаксации.

Если константы соотношений (1) и (2) известны из экспериментальных данных, то каждое из этих уравнений описывает в координатах $\ln \tau$, σ , T некоторую поверхность. Область работоспособности тела будет лежать при значениях этих переменных, расположенных под обеими поверхностями. Однако, применять данные соотношения можно только для материала в интервале температур ограничивающих одним из его структурных (фазовых) состояний. Иными словами, при переходе полимерного материала из стеклообразного в высокоэластическое состояние или при его термоллизе (частичной деструкции, пиролизе) данные соотношения не соблюдаются.

Вместе с этим, в условиях проведения эксперимента, когда имеет место температурно-временная зависимость одного из видов нагрева (параболический, гиперболический), допустимо проводить сопоставление прочности и деформативности конструкционного полимерного материала. В этом случае, если результаты физико-механических испытаний сопоставить с граничными условиями по прочности и деформации, то вполне допустимо построить обобщенную температурно-временную зависимость работоспособности материала. Для этого достаточно провести наложение кривой прочности (рис. 1) и деформативности (рис. 4) рассматриваемых композитов, полученных в условиях нагрева при наружном пожаре.

Как видно из данных, представленных на рис. 5, область работоспособности соответствует площади, которая ограничивается взаимным расположением кривых прочности и деформативности.

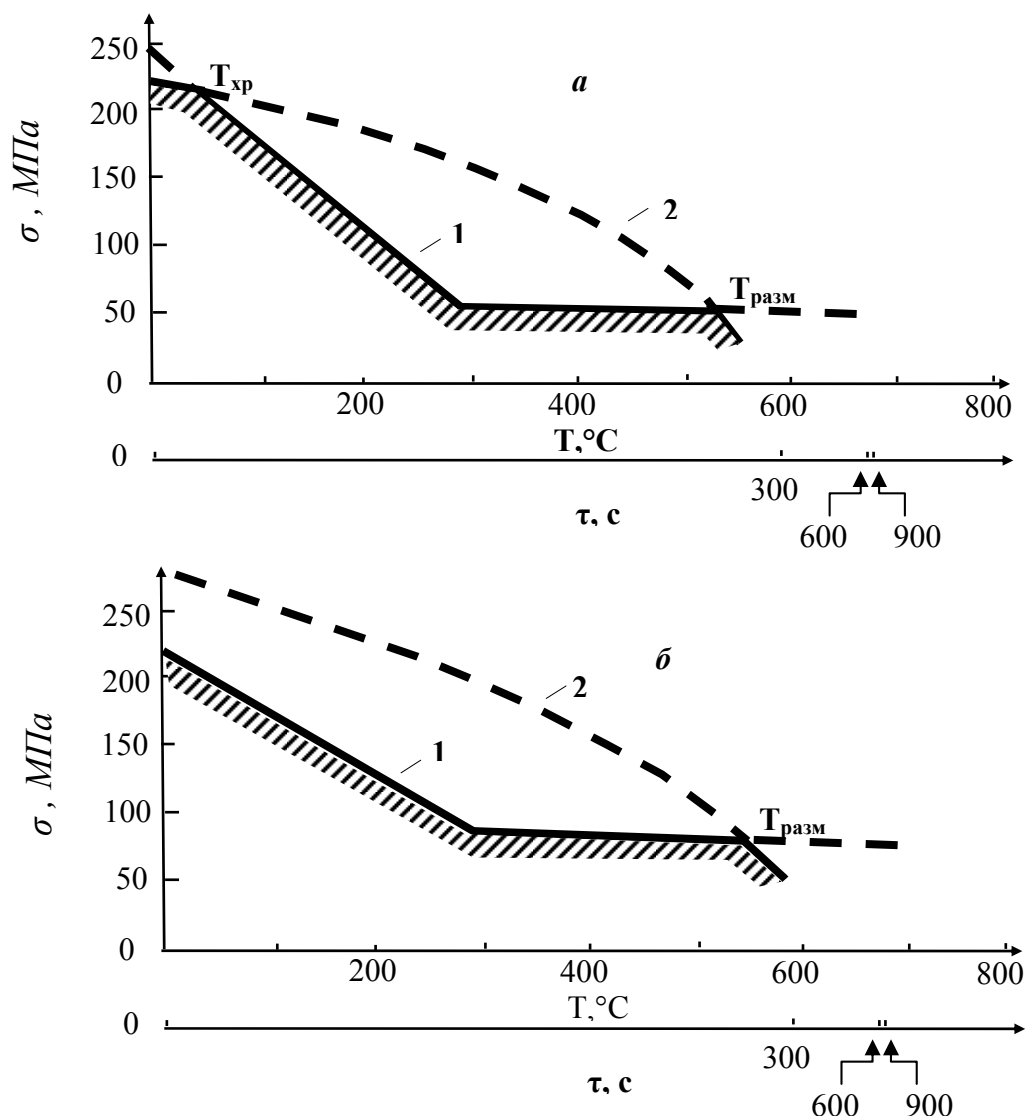


Рис. 5- Обобщенная характеристика прочности и твердости композиционных материалов при начальных постоянных значениях напряжения в условиях развития наружного пожара. Стеклопластик на основе: бромсодержащего связующего – *а*; эпоксидированного динафтола – *б*. Кривая прочности – 1, кривая твердости -2.

Из рисунков *а* и *б* хорошо видно, что в зависимости от напряжения (нагрузки), температуры (времени развития пожара) и параметров материала прежде наступает либо разрушение, либо предельное размягчение. Точка пересечения кривых (см. рис. *а*) представляет собой точку хрупкости, так как она соответствует условиям, при которых наблюдается переход от размягчения материала к хрупкому разрушению. Для композита на основе эпоксидированного динафтола кривая прочности и деформативности изначально не пересекаются, и кривая де-

формативности лежит выше кривой прочности. Поэтому при любых напряжениях и времени воздействия пожара наблюдается хрупкое разрушение. По достижению ~ 550 °С кривые пересекаются, что означает переход от хрупкого разрушения к размягчению материала. Однако при данном напряжении размягчение составляет не более 1% и поэтому более правильно говорить не о потери работоспособности материала, вследствие потери твердости, а о характере разрушения, в виде пластического смятия образца с сохранением его видимой целостности.

Следовательно, на начальной стадии пожара работоспособность представленных композитов, при условии допустимой деформации и соответствующего уровня начальной нагрузки, определяется совокупностью расположения кривых прочности и твердости.

Выводы. 1. Построена обобщенная характеристика работоспособности полимерных композиционных материалов от действия постоянных сжимающих напряжений и нарастания температуры по времени в условиях развития пожара. Установлено, что область механической работоспособности материала определяется совокупностью внутренних частей обеих кривых и координатными линиями.

2. Показано, что для композита на основе эпоксицирированного динафтола область работоспособности в условиях наружного пожара описывается только одной кривой прочности, то есть разрушение всегда опережает его размягчение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бартенев Г.М. Прочность и механизм разрушения полимеров / Георгий Михайлович Бартенев. - М. : Химия, 1984. - 280 с.

2. Димитренко Ю.И. Механика композиционных материалов при высоких температурах / Юрий Иванович Димитриенко. - М. : Машиностроение, 1997. - 367 с.

3. Грачева Л.И. Термическое деформирование и работоспособность материалов тепловой защиты / Людмила Ивановна Грачева. - К. : Наукова думка, 2006. - 294 с.

4. Билым П.А. Изменение прочности и деформирование конструкционных стеклопластиков при нагреве в условиях развития стандартного пожара / П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. - Харьков: УГЗУ, 2009. - Вып. 26. - С. 18 - 24.

5. Билым П.А. Закономерности разупрочнения конструкционных стеклопластиков в условиях нарастания температуры в режиме стандартного пожара / П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. - Харьков: УГЗУ, 2009. - Вып. 25. - С. 24 - 29.

6. Аскадский А.А. Деформация полимеров / Андрей Александрович Аскадский . – М.: Химия, 1973. – 448 с.

7. Патент 37602 Україна, МПК C08J 5/00. Склопластик / Билым П.А., Афанасенко К.А., Михайлюк А.П., Олейник В.В.; Університет цивільного захисту України. -№ 200803048/08; замовл. 11.03.08; опубл. 10.12.08, Бюл.№ 23.

8. Аскадский А.А. Физико-химия полиарилатов / Андрей Александрович Аскадский . – М.: Химия, 1968.- 214с.

9. Билым П.А. Особенности высокотемпературного структурирования полимерных связующих стеклопластика на начальной стадии развития пожара / П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков: УГЗУ, 2009. – Вып. 26. – С. 25 - 31.

П.А. Білим, О.П. Михайлюк, В.В. Олійник, О.В. Альбощій

Про застосування узагальненої температурно-тимчасової характеристики міцності і деформативності полімерних матеріалів до умов розвитку пожежі

Для умов розвитку пожежі запропонована узагальнена характеристика міцності і твердості полімерних композитів, представлена двома експериментальними кривими – міцності і релаксації напруги. Сукупність цих кривих визначає область працездатності матеріалу.

Ключові слова: працездатність композиту, релаксація напруги, руйнування і розм'якшення матеріалу.

P.A. Bilym, A.P. Mikhailuk, V.V. Oleynik, A.V. Alboshiy

About application of the generalized temperature-jury attribute of endurance capability and deformativnosti of polymeric goods to terms of development of fire

For the terms of development of fire the generalized attribute of endurance capability and hardness of polymeric compos is offered, presented two experimental curves – to the endurance capability and relaxs of tensions. Collection of these curves is delineated by the band of operational capability of material.

Keywords: operational capability of compos, relaxs of tensions, break and softening influence of material.

*С.Н. Бондаренко, канд. техн. наук, доцент, НУГЗУ,
В.В. Калабанов, инженер-электронщик, НУГЗУ*

УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ

(представлено д-ром техн. наук Абрамовым Ю.А.)

Разработана установка для испытания тепловых пожарных извещателей с автоматическим определением времени и температуры срабатывания извещателя.

Ключевые слова: система пожарной сигнализации, тепловой извещатель, микроконтроллер.

Постановка проблемы. При монтаже и обслуживании систем пожарной автоматики (СПА), в частности тепловых пожарных извещателей (ТПИ), возникает необходимость проведения периодической проверки их работоспособности. Эксплуатируемые в настоящее время безадресные системы сигнализации не имеют возможности проводить индивидуальную проверку извещателей. Организации, которые занимаются монтажом и обслуживанием СПА, используют установки для оперативных испытаний извещателей.

Существующие установки для оперативных испытаний ТПИ имеют ряд недостатков:

- большую погрешность при имитации роста температур с разной скоростью, это обусловлено высокой инерционностью нагревательного и чувствительного элемента и релейным управлением нагревательным элементом;
- температура срабатывания извещателя, определяется визуально по показаниям термометра;
- время срабатывания извещателя фиксируется вручную, с помощью секундомера.

Анализ последних исследований. Порядок проведения испытаний и параметры, которым должен соответствовать ТПИ, изложены в [1]. На сегодняшний день для проведения испытаний пожарных извещателей применяется установка Иском-2Л, которая имеет ряд недостатков: значительный выброс максимума при установке начальной температуры (более 50%), длительный переходный процесс (более 80 с) (рис. 1), зависимости, которые характеризуют изменение температуры в испытательной камере от времени, носят нелинейный характер (рис. 2). Рассмотренная в работе [2] лабораторная установка, предназначена для проведения температурных испытаний огне-

защитных покрытий для материалов конструкций и моделирует температурные режимы, характерные для развитой стадии пожара.

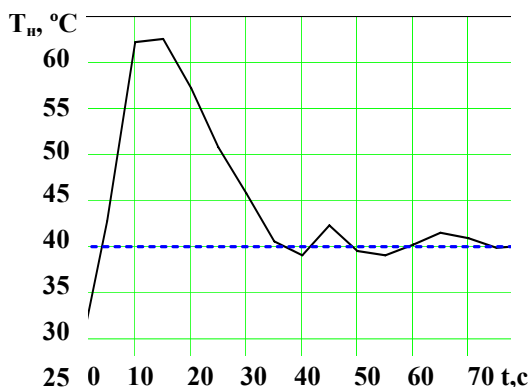


Рис.1 – Переходный процесс при установке начальной температуры в камере

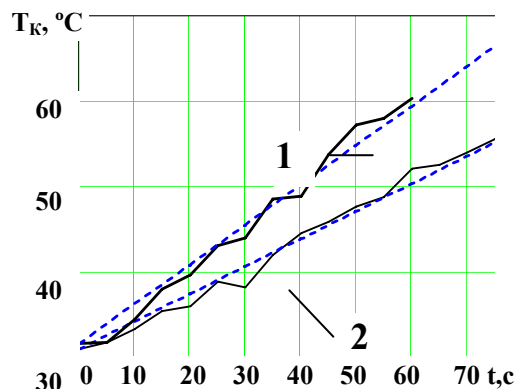


Рис. 2 – Зависимость температуры в испытательной камере от времени при скорости роста температуры: 1 – $30^{\circ}\text{C}\cdot\text{мин}^{-1}$; 2 – $20^{\circ}\text{C}\cdot\text{мин}^{-1}$

Постановка задачи и ее решение. При определении статической температуры срабатывания ТПИ согласно [1], скорость изменения температуры должна составлять не более $0,2^{\circ}\text{C}\cdot\text{мин}^{-1}$. При определении времени срабатывания извещателя при различной скорости роста температуры погрешность не должна превышать 2°C .

Целью работы является создание установки для испытания точечных ТПИ, которая обеспечивает измерение температуры с точностью не ниже $0,1^{\circ}\text{C}$, возможность регулировать скорость изменения температуры в пределах указанных в стандарте [1]. Установка должна автоматически определять факт срабатывания извещателя и фиксировать значения температуры и времени срабатывания пожарного извещателя.

Для реализации поставленных задач предложена установка, схема которой представлена на рис.3.

Датчик температуры выполнен на 12-ти разрядном микропроцессоре DS18B20, который измеряет температуру от -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$ с дискретностью $0,065^{\circ}\text{C}$ и погрешностью $0,5\%$.

Блок управления выполнен на программируемом AVR микроконтроллере (МК) семейства ATmega. Он предназначен для считывания информации с датчика температуры, приема управляющих сигналов от кнопок, управления силовым блоком управления нагревательным элементом, вывода значений при установке начальных значений, температуры и времени на восьми разрядный светодиодный семисегментный индикатор.

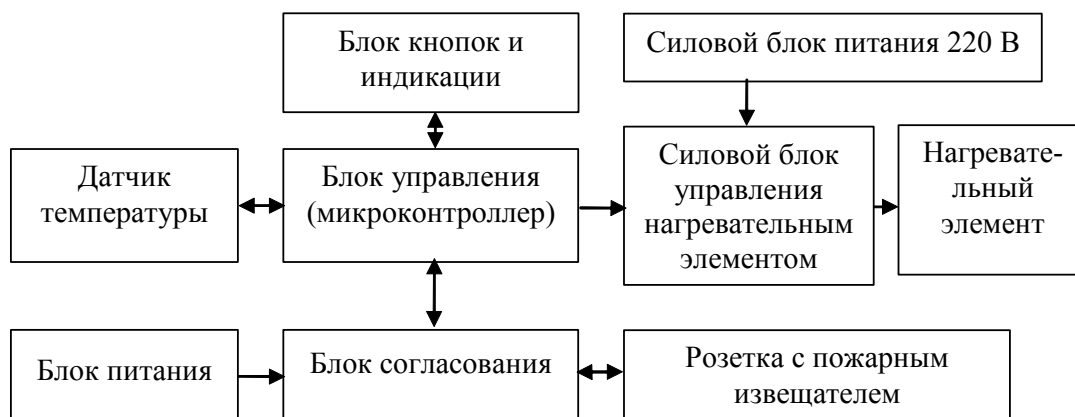


Рис.3. – Структурная схема установки для испытания тепловых пожарных извещателей

Блок питания электронных компонентов реализован на микросхеме КР142ЕН5А, которая предназначена для выдачи стабилизированного напряжения для питания МК АТmega8 и микропроцессора DS18B20.

Информация об измеренной температуре с датчика поступает на один из портов микроконтроллера АТmega8 по последовательной шине 1wige. Заложенная в память МК программа, выводит результаты измерений на индикатор с частотой 1 Гц. При наличии разницы между измеренной датчиком и заданной температурой микроконтроллер реализует программу коррекции температуры.

Для реализации функции роста температуры в испытательной камере со скоростями от $0,2^{\circ}\text{C}\cdot\text{мин}^{-1}$ до $30^{\circ}\text{C}\cdot\text{мин}^{-1}$ используется встроенный в МК таймер реального времени, управление которым реализуется путем выполнения блока специальных программ хранимых в памяти МК.

Силовой блок управления нагревательным элементом выполнен на оптосимисторе КМОС3053, который срезает часть синусоиды сетевого питающего напряжения 220 В в зависимости от необходимой температуры, с одновременной коррекцией нелинейности.

Для нагрева и коррекции температуры в камере в установке используются лампы накаливания мощностью 100 и 25 Вт, которые обладают меньшей инерционностью по сравнению с твердотельной нагревательной спиралью.

Установка осуществляет автоматическое измерение времени и температуры срабатывания извещателя. Для управления установкой достаточно двух кнопок: для задания нужного значения начальной температуры и скорости ее нарастания.

Установка для испытания тепловых пожарных извещателей имеет следующие характеристики:

- точность задания и измерения температуры $0,1^{\circ}\text{C} \pm 0,065^{\circ}\text{C}$;
- точность измерения времени срабатывания не менее 1с;
- диапазон изменения начальной температуры от 0 до 100°C с дискретностью $0,1^{\circ}\text{C}$;
- скорость роста температуры от $0,1$ до $30^{\circ}\text{C}\cdot\text{мин}^{-1}$ с дискретностью $0,1^{\circ}\text{C}\cdot\text{мин}^{-1}$.

Выводы. Предложена установка для испытания тепловых пожарных извещателей, которая позволяет автоматически определять время и температуру срабатывания извещателя. Погрешность в определении технических характеристик извещателя составляет не более чем $0,1^{\circ}\text{C}$ при определении температуры срабатывания и 1 с при определении времени срабатывания.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Системи пожежної сигналізації. Частина 5. Сповіщувачі пожежні, теплові, точкові (EN 54–5:2000, IDT) : ДСТУ EN 54–5:2003. — [Чинний від 2004-07-01]. — К.: Держспоживстандарт України, 2004. — 35 с. — (Національний стандарт України).

2. Андронов В.А. Лабораторна установка для визначення вогнезахисних властивостей реактивних вогнезахисних покриттів для матеріалів конструкцій / В.А. Андронов, Е.А. Рибка // Проблеми пожежної безпеки. – 2009. – вып. 26. – С. 3–11.

С.М. Бондаренко, В.В. Калабанов

Установка для випробування теплових пожежних сповіщувачів

Розроблена установка для випробування теплових пожежних сповіщувачів з автоматичним визначенням часу та температури спрацьовування сповіщувача.

Ключові слова: система автоматичної пожежної сигналізації, тепловий сповіщувач, мікроконтролер.

S.M. Bondarenko, V.V. Kalabanov

Installation for test heat fire detector

A test of heat detectors is developed with automatic determination of time and response temperature of detector.

Keywords: automatic fire detection system, heat detector, microcontroller.

*Н.П. Борисенко, инженер,
Севастопольский национальный технический университет*

РАЗРАБОТКА ПЕРИФЕРИЙНОГО МОДУЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ С АВТОНОМНЫМ РАДИОКАНАЛОМ УПРАВЛЕНИЯ

(представлено д-ром техн. наук Абрамовым Ю.А.)

Разработаны принципиальная электросхема и принцип работы периферийного модуля автоматической системы пожарной сигнализации с автономным радиоканалом управления. Определены пути повышения помехоустойчивости радиоканала. Разработан метод размещения периферийных модулей на объектах, обеспечивающий их электромагнитную совместимость.

Ключевые слова: пожарная безопасность, сигнализация, периферийный модуль, трансивер, микроконтроллер, частота, помехи, фильтр.

Постановка проблемы. В настоящее время на охраняемых объектах используются автоматические системы пожарной сигнализации (СПС) с управлением по неавтономному радиоканалу, в которых радиосигналы о пожаре и исправности шлейфов сигнализации на охраняемом объекте передаются на центральный пульт подразделения пожарной охраны через сетевые ретрансляторы действующей сотовой связи, и комбинированные СПС с объектовой микросотовой связью, в которых аналогичные радиосигналы передаются через внутриобъектовые сетевые радиорасширители от автономных пожарных радиоизвещателей. Имеющиеся в месте нахождения охраняемого объекта общедоступные системы сотовой связи также используются для передачи сообщений о пожаре на мобильные телефоны руководства охраняемого объекта. На сетевых ретрансляторах мобильной связи отсутствует система аварийного электропитания. Действующими системами сигнализации возникший пожар был бы выявлен, а оповещение о нём не могло быть осуществлено. При обесточивании районов местонахождения объектов с повышенной опасностью имеющиеся автоматические системы пожарной сигнализации с неавтономным радиоканалом, использующие мобильную связь, не обеспечивают оповещения о пожаре. Руководство объектов и персонал подразделений пожарной охраны не извещаются о неисправностях в сетях мобильной связи, не имеют возможности контролировать исправность этого оборудования и осуществлять его ремонт. Автономные пожарные радиоизвещатели неавтономных объектовых радиоканалов управления имеют малую мощность сигнала, небольшую дальность связи, а использование в объектовых

микросотовых СПС двух каналов связи – от радиоизвещателя к радиорасширителю и от него на центральный пульт подразделения пожарной охраны – ведут к невысокой технической надёжности и низкой помехоустойчивости этих систем с высокой вероятностью искажения радиосигналов управления из – за воздействия непреднамеренных, межсимвольных и межканальных помех, переполнению используемого диапазона частот, сложностям в обеспечении электромагнитной совместимости (ЭМС) таких систем. Такое положение неприемлемо, особенно для объектов с повышенной опасностью.

Анализ последних исследований и публикаций. В доступных источниках с 2008г. по настоящее время имеется множество публикаций о работе и совершенствовании действующих автоматических систем пожарной сигнализации различных типов. Публикаций об исследованиях и разработке автоматических систем пожарной сигнализации с автономным радиоканалом управления (АСПСР) не выявлено. Необходима разработка более надёжной системы обеспечения пожарной безопасности.

Постановка задачи и её решение. Информационная оптимизация систем осуществляется различными способами. Для этого необходимо найти такие параметры информационной системы, которые для дискретных сообщений заданного вида обеспечивают наилучшее качество её работы при заданных ограничениях. Критерии качества и ограничения различны в зависимости от задач, решаемых различными системами. В результате ранее проведённых исследований разработана информационная система обеспечения пожарной безопасности (ИСОПБ), которая в общем включает автоматическую систему пожарной сигнализации с автономным радиоканалом управления (с двухсторонней связью), комплект пожарных извещателей любого типа (кроме автономных радиоизвещателей) в шлейфах сигнализации (ШС), и специальное программное обеспечение. Осуществлена информационная оптимизация ИСОПБ на основе разработанного метода пространственной частотной оптимизации. На основе анализа задач, решаемых АСПСР, получена обобщённая структурная схема такой системы.

Большинство современных систем пожарной сигнализации контролирует состояние безадресных или адресных датчиков (извещателей), подключаемых с помощью двухпроводных или четырёхпроводных ШС. Безадресные СПС регистрируют только номер сработавшего ШС, адресные СПС регистрируют место возгорания по номеру сработавшего извещателя.

И те, и другие системы обладают существенным недостатком. Целостность таких шлейфов может быть легко нарушена, поэтому постоянно приходится контролировать не только состояние самого датчика, но и работоспособность шлейфа – отсутствие его обрыва или короткого замыкания. При нарушении работоспособности шлейфа обычно вырабатывается предупреждающий сигнал, на осно-

вании которого проводится поиск места неисправности и восстановление работоспособности системы. На время ремонта шлейфа контроль пожарных извещателей не проводится, кроме того, само нарушение целостности шлейфа могло возникнуть в результате пожара. При этом, в лучшем случае, при наличии автоматической системы локального пожаротушения (АСЛП), возгорание с некоторой вероятностью может быть ликвидировано, но информация о пожаре получена не будет. Для устранения указанных недостатков предлагается информацию к центральному пульту от удалённых датчиков передавать по автономному радиоканалу.

Исходя из этих условий, обобщенная структурная схема автоматической системы пожарной сигнализации с автономным радиоканалом управления будет содержать один центральный прибор (модуль) ЦП и несколько периферийных модулей ПМ, обменивающихся информацией по радиоканалу.

Целью данного исследования является разработка периферийного модуля АСПСР. Для модели АСПСР, включающей до 255 периферийных модулей, до 10 – 14 пожарных извещателей в каждом шлейфе сигнализации, аналогичным применяемым в проводных СПС, выбраны: скорость передачи информации 9600 бит/с, девиация частоты 60 кГц, полоса пропускания приемника 135 кГц, шаг перестройки частоты – 5 кГц, рабочий диапазон частот - 433,486...434,354 МГц. Схемотехнические решения, использованные в приёмопередатчике, обеспечивают достаточно высокую помехоустойчивость ПМ. Например, применение частотной манипуляции в приёмопередатчике более эффективно, чем применение фазовой манипуляции, особенно при больших значениях отношения сигнал/шум.

Исходя из задач и обобщенной структурной схемы АСПСР, периферийный модуль должен выполнять следующие функции:

- осуществлять контроль состояния пожарных извещателей;
- генерировать управляющий сигнал на включение АСЛП;
- генерировать управляющий сигнал на включение пожарных оповещателей;
- осуществлять обмен информацией с центральным модулем по радиоканалу;
- при пропадании напряжения питания в сети переменного тока 220 В автоматически переходить на автономное питание;
- контролировать напряжение автономной батареи питания и передавать центральному модулю информационный сигнал о разряде батареи автономного питания.

Исходя из выполняемых функций, периферийный модуль должен иметь в своем составе следующие функциональные узлы:

- микроконтроллер (МК) с оперативным и постоянными (программируемым и перепрограммируемым) запоминающими устройствами;
- приёмопередатчик (ПП) для обмена информацией с централь-

ным модулем;

ключи (УК), для управления исполнительными устройствами;
один или несколько интерфейсов шлейфа (ИШ) для подключения одного или нескольких пожарных извещателей к каждому шлейфу по двух- или четырехпроводной схеме;

пожарные извещатели (ПИ);

блок питания от сети (БП);

источник автономного электропитания (АБ).

Приёмопередатчик должен осуществлять двусторонний обмен цифровыми данными с центральным прибором по радиоканалу и с микроконтроллером периферийного модуля через один из стандартных интерфейсов. При этом нужно обеспечить дальность связи в пределах одного здания или группы зданий на расстояние до 3000м. Выходная мощность передатчика не должна превышать 10 мВт, чувствительность приемника должна обеспечивать указанную дальность работы при использовании простых малогабаритных антенн. Современные системы пожарной сигнализации в работают в диапазонах частот 40,66...40,70 МГц, 433,486...434,354 МГц и 868...870 МГц. На территории Украины разрешена работа только в двух первых диапазонах частот. Для повышения энергетики линии радиосвязи нужно использовать антенны с высоким коэффициентом усиления. В простейшем случае это может быть штыревая антенна с длиной, равной четверти длины волны. В диапазоне 40,66...40,70 МГц длина штыря должна быть примерно 1,8 м. Очевидно, что применение в периферийном модуле антенны такого размера нецелесообразно. В диапазоне частот 433,486...434,354 МГц длина штыря должна быть примерно 0,17 м. Такой размер антенны не является слишком большим. Следовательно, более целесообразным является использование для работы системы диапазона частот 433,486...434,354 МГц.

Работа нескольких систем на одной фиксированной частоте требует решения задач арбитража, существенно усложняет алгоритм работы, но, самое главное – существенно увеличивает время опроса датчиков системы, что снижает быстродействие. Для систем пожарной сигнализации такая ситуация неприемлема. Дополнительное требование к приёмопередатчику – высокая стабильность несущей частоты. И еще одно важное требование – низкая стоимость. Поставленным требованиям вполне соответствует интегральная микросхема TRC102 производства фирмы RF Monolithics (TRC102, 400-1000 MHz Transceiver). TRC102 [1] – многоканальный трансивер с нулевой промежуточной частотой и очень низким энергопотреблением, и невысокой стоимостью, обеспечивает достаточную помехоустойчивость ПМ за счёт имеющихся технических характеристик. Охватывая частотный диапазон от 400МГц до 1000МГц, трансивер требует минимум внешних компонентов, что обеспечивается высокой степенью интеграции всех необходимых узлов в одном кристалле. Один недорогой кварцевый резонатор на 10 МГц и управляющий микроконтроллер уже могут

образовывать полностью законченную систему передачи данных. Благодаря наличию режима экономии энергии удаётся значительно снизить потребление и продлить срок службы батарей. Эта микросхема имеет следующие основные характеристики:

диапазоны рабочих частот:

1) 430,24...439,75 МГц;

2) 860,48...879,51 МГц;

3) 900,72...929,27 МГц;

шаг перестройки по частоте для заданного диапазона – 5 кГц;

вид модуляции – частотная манипуляция (FSK) с девиацией частоты от 15 кГц до 240 кГц;

выходная мощность – до 5 дБм;

скорость передачи данных – до 256 кб/с;

напряжение питания – 2,2...3,8 В (целесообразно выбрать стандартное значение 3,3 В);

потребляемый ток в режимах передачи / приема / покоя – 22 мА / 12 мА / 0,6 мА ;

чувствительность – до –110 дБм;

полоса пропускания приемника – 67 кГц ...400 кГц;

наличие встроенных систем ФАПЧ для передатчика и приёмника;

совместимость по уровням с микросхемами ТТЛ и КМОП;

программируемый уровень выходной мощности от максимального, до ослабленного на – 21 дБ;

программируемая чувствительность входного малошумящего усилителя от максимального, до ослабленного на – 20 дБ;

наличие встроенной схемы контроля уровня напряжения питания;

наличие встроенного таймера с программируемым интервалом включения от 0 до 6338 суток с шагом 1 мс;

наличие интерфейса для связи с внешним микроконтроллером – SPI;

шестнадцатывыводный корпус для поверхностного монтажа TSSOP.

Микросхема содержит 17 шестнадцатиразрядных регистров, управляющих ее режимами работы или содержащих информацию о текущем состоянии. Единственный параметр, значение которого можно задать сразу, это диапазон частот. Согласно проведённому ранее анализу, трансивер должен работать в первом диапазоне частот – 430,24...439,75 МГц. Остальные параметры не могут быть определены однозначно. Рабочая частота должна лежать в пределах от 433,05 МГц до 434,79 МГц, то есть второй диапазон частот трансивера используется не полностью. А точное её значение может задаваться из различных соображений:

1) Центральные приборы различных АСПСР могут работать на одной общей частоте, и для устранения взаимных помех в этом случае можно применять традиционные методы устранения коллизий в

беспроводных сетях передачи информации.

2) Центральные приборы различных АСПСР могут работать каждый на своей частоте. В этом случае необходимо централизованное планирование сетки частот соседних систем.

Для устранения ложных срабатываний системы от удаленных датчиков, входящих в состав АСПСР, расположенных на объектах, расположенных по соседству, необходимо предусмотреть возможность работы радиоканала системы на различных несущих частотах. В простейшем случае достаточно трех различных частот F_1 , F_2 , F_3 . Однако количество этих частот ограничено, во-первых, шагом перестройки частоты – 5 кГц, а во-вторых, шириной спектра передаваемого сигнала, которая зависит от скорости передачи данных и девиации частоты. Скорость передачи информации напрямую влияет на ширину спектра передаваемого сигнала. Косвенным образом скорость передачи влияет на очень многие параметры системы – полосу пропускания приемника, чувствительность приемника и дальность связи и количество периферийных модулей. При этом, чем ниже скорость передачи информации, тем больше дальность действия системы, больше времени требуется для передачи информации от периферийного модуля к центральному и обратно, и больше времени требуется для опроса всех периферийных модулей. Если время опроса ограничено, то уменьшение скорости передачи влечет за собой ограничение количества периферийных модулей. Исследования, проведенные специалистами фирмы Silicon Labs (Antenna Selection Guide for ISM Band FSK/OOK Transmitter/Receiver Chipset), показали, что при правильном выборе антенн, при использовании выбранных трансиверов, можно получить дальность связи на открытом пространстве до 3640 м, при скорости передачи информации 57470 бит/с, и до 5830 м, при скорости передачи информации 9600 бит/с. Вероятность ошибки в экспериментах составляла 10^{-3} , девиация частоты была 60 кГц для скорости передачи 9600 бит/с, и 90 кГц для скорости передачи 57470 бит/с, полоса пропускания приемника составляла 135 кГц. Следовательно, для обеспечения дальности связи в помещении порядка 3000м., скорость передачи не должна превышать 9600 бит/с. При обмене информацией между центральным и периферийными блоками нужно передавать, во-первых, один байт синхронизации; во-вторых, номер периферийного модуля; и в-третьих, несколько битов, определяющих состояние датчиков периферийного модуля - («всё нормально», «неисправность шлейфа», «срабатывание датчика», «разряд батареи»), или бит запроса состояния периферийного модуля. Если ограничить количество периферийных модулей числом 255, то общее количество информации, передаваемой центральным блоком периферийному, и периферийным блоком центральному, составит 6 байт. При скорости передачи 9600 бит/с на один цикл обмена информацией потребуется 5 мс, а для опроса всех 255 периферийных модулей потребуется 1,275 с. Поскольку в третьем байте информацию несут только два бита (четыре разных состояния), то можно оставшиеся шесть битов также использовать для передачи номера периферийного блока. В

этом случае возможна адресация 16384 периферийных модулей, при том же количестве передаваемой информации 6 байт. Но общее время опроса при этом увеличится до 81,92 с, то есть меньше 2 минут. Это время в некоторых случаях может оказаться слишком большим, но и количество периферийных модулей в этом случае очень большое. Исходя из приведенных расчётов, выбираем скорость передачи информации 9600 бит/с, девиацию частоты 60 кГц, полосу пропускания приемника 135 кГц. Максимальная дальность обеспечивалась при использовании дифференциальных антенн типа «обращенное F» (Antenna Development Guide for the ISM Band FSK/OOK Transmitter/Receiver Chipset). Остальные параметры настройки трансивера оставлялись теми, что приняты по умолчанию при начальной инициализации микросхемы. Для расчета шестнадцатеричных значений управляющих кодов, которые необходимо записать в трансивер, использовалась специальная программа RFM RF Design Assistant [2].

Для управления трансивером достаточно простейшего микроконтроллера. Производитель рекомендует применять микроконтроллеры фирмы Silicon Labs C8051F330 (C8051F330/1 8k ISP FLASH MCU Family) [3]. Этот контроллер основан на ядре MCS-51, но дополнительно имеет 768 байт оперативной памяти, 8 кбайт электрически перепрограммируемой памяти, шестнадцатиканальный десятиразрядный аналого-цифровой преобразователь, десятиразрядный цифро-аналоговый преобразователь, работает при напряжении питания 3,3 В и при тактовой частоте 10 МГц потребляет от источника питания ток 3,4 мА. Микроконтроллер выпускается в двадцативыводном корпусе для поверхностного монтажа QFN. Ограничение числа выводов по сравнению с обычным контроллером MCS-51 привело к тому, что микроконтроллер C8051F330 имеет только 17 линий ввода-вывода (два вывода заняты под питание, один – вывод сброса). Эти линии могут независимо друг от друга настраиваться на ввод или на вывод, а 16 из них могут подключаться к АЦП. Для полного использования всех возможностей трансивера он должен подключаться к микроконтроллеру с помощью 10 линий связи. Одна линия ввода-вывода нужна для включения исполнительного механизма АСЛП. Одна линия ввода-вывода нужна для включения светового и (или) звукового оповещателя. И еще к одной линии подключается светодиод, который в нормальном режиме работы горит непрерывно, при переходе на работу от независимого источника питания мигает с малой частотой, а при срабатывании датчика или при неисправности шлейфа, к которому подключен датчик, светодиод мигает с высокой частотой. Остается четыре линии ввода-вывода. Для работы с пассивными извещателями, расположенными в непосредственной близости от периферийного модуля, было бы достаточно контролировать только состояние контактов извещателей. В этом случае линии ввода-вывода могут быть цифровыми, и нет необходимости использования дополнительного источника питания для извещателей. Подключение датчиков может проводиться

двухпроводным шлейфом. Если извещатели активные, то уже необходим дополнительный источник питания, который должен обеспечивать напряжение 12...24 В при токе нагрузки не менее 20...50 мА (типовой ток, протекающий через один сработавший датчик; ток одного шлейфа в дежурном режиме не более 5 мА). Подключение датчиков может проводиться шлейфом, а линии ввода-вывода также могут быть цифровыми. Если размер контролируемого помещения большой, то к каждому шлейфу нужно подключать несколько датчиков. Датчики могут быть как активными, так и пассивными. В этом случае длина шлейфов может быть достаточно большой, шлейфы могут быть как двухпроводными, так и четырехпроводными, и их состояние нужно контролировать. Для этого линии ввода-вывода должны быть аналоговыми, чтобы контролировать четыре состояния: обрыв шлейфа, замыкание шлейфа, замкнутые контакты извещателя, разомкнутые контакты извещателя. Для обеспечения максимальной универсальности периферийного модуля четыре оставшиеся линии ввода-вывода должны быть подключены к внутреннему АЦП и контролировать ток через шлейф.

Принципиальная схема основной платы периферийного модуля показана на рисунке 1.

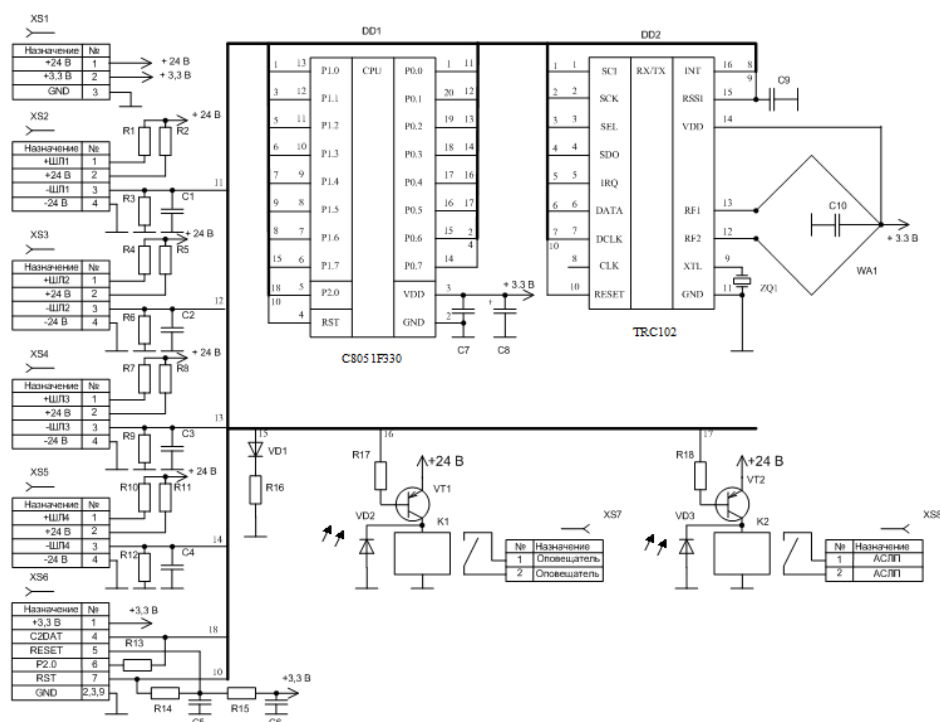


Рис. 1 - Принципиальная схема основной платы периферийного модуля

На схеме основной платы к разъёмам XS2...XS5 подключаются двухпроводные или четырёхпроводные шлейфы для присоединения извещателей. Резисторы R1, R2 ограничивают ток в линиях шлейфа при его коротком замыкании. С резистора R3 снимается напряжение, пропорциональное току через шлейф. Это напряжение далее подается на вход АЦП, встроенного в микроконтроллер. Конденсатор C1 служит для фильтрации высокочастотных наводок на линии шлейфа. Разъём

XS6 предназначен для подключения программатора. К разъёмам XS7...XS8 подключены контакты реле K1 и K2 для включения светозвукового оповещателя и системы автономного пожаротушения. Через разъём XS1 на основную плату подаются питающие напряжения от платы источника питания. В шлейфах сигнализации ПМ могут применяться средства охранной сигнализации.

Источник питания должен обеспечивать следующие напряжения: 3,3 В при токе до 40 мА (до 23 мА потребляет трансивер, до 6 мА потребляет микроконтроллер и 10 мА потребляет светодиод); и 24 В при токе до 200 мА (срабатывание извещателей всех четырех шлейфов). Общая потребляемая мощность при срабатывании четырех извещателей не превышает 5 Вт, а в дежурном режиме – 0,6 Вт. Кроме того, необходимо обеспечить работоспособность периферийного модуля от автономного источника питания в дежурном режиме – не менее 8 часов, а при срабатывании извещателей – не менее 20 минут. Традиционные решения предусматривают в такой ситуации использование достаточно высоковольтного аккумулятора, питание от источника с большим напряжением и понижение его величины до меньшего напряжения с помощью линейных стабилизаторов. При таком подходе габариты и вес аккумуляторной батареи очень большие, а КПД источника питания очень мал, что либо сокращает время автономной работы, либо требует увеличения емкости аккумуляторов и еще большего увеличения их габаритов. Кроме того, увеличиваются габариты и вес зарядного устройства для такого аккумулятора. В данной разработке принято решение о питании периферийного модуля от современных литий-ионных аккумуляторов. Эти аккумуляторы имеют наилучшее отношение вес/емкость (100 Вт ч/кг), у них отсутствует эффект памяти, очень малый саморазряд (менее 10% в месяц). Единственный существенный недостаток состоит в том, что в процессе заряда такого аккумулятора нужно очень тщательно соблюдать режим заряда, чтобы аккумулятор не вышел из строя. Проще всего это осуществить с помощью специализированных микросхем. Напряжение от одного аккумулятора равно 3,6 В. Однако в процессе заряда оно может достигать 4,2 В, поэтому это напряжение не может быть использовано для питания трансивера и микроконтроллера напрямую и нуждается в дополнительной стабилизации. Для повышения КПД источника питания решено использовать импульсные схемы стабилизаторов напряжения с помощью линейных стабилизаторов. Один из них должен обеспечивать на нагрузке напряжение 3,3 В а второй – 24 В при изменении напряжения источника питания от 2,2 В (полностью разряженный аккумулятор) до 5 В (питание от сетевого адаптера). Такие стабилизаторы обеспечивают КПД не хуже 80%. В этом случае емкость аккумулятора должна быть около 7 Ач. Выбираем литий-ионный аккумулятор фирмы Tadiran типа TL5950 с емкостью 8,5 Ач, длиной 50 мм и диаметром 26 мм (MODEL TL-5920 TECHNICAL DATA). Для управления зарядом применим микросхему фирмы MAXIM MAX1758

(MAX1758 Stand-Alone, Switch-Mode Li+ Battery Charger with Internal 28V Switch.) Кроме цепей, осуществляющих контроль и управление процессом заряда, эта микросхема содержит автоматический переключатель, подключающий к нагрузке аккумулятор при исчезновении напряжения питания от сетевого адаптера, в качестве которого можно использовать любой сетевой адаптер обеспечивающий напряжение от 6 В до 12 В при токе до 3 А. Для стабилизации напряжения 3,3 В применим микросхему комбинированного повышающе – понижающего стабилизатора MAX8625 (MAX8625A High-Efficiency, Seamless Transition, Step-Up/Down DC-DC Converter). Эта микросхема обеспечивает напряжение на нагрузке 3,3 В при токе до 0,8 А при изменении напряжения питания от 2,7 В до 5,5 В. Для стабилизации напряжения 24 В применим микросхему комбинированного повышающего стабилизатора MAX629 (MAX629 28V, Low-Power, High-Voltage, Boost or Inverting DC-DC Converter). Эта микросхема обеспечивает напряжение на нагрузке 24 В при токе до 0,5 А при изменении напряжения питания от 2,7В до 5,5В.

Принципиальная схема блока питания периферийного модуля показана на рисунке 2. Все микросхемы используются в типовом включении.

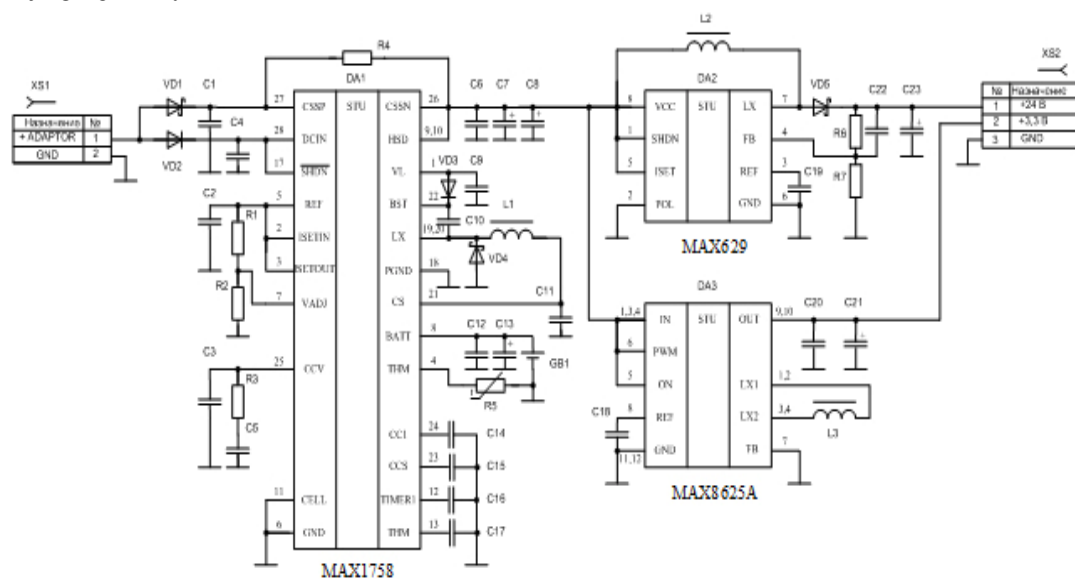


Рис. 2 - Принципиальная схема блока питания периферийного модуля

Через разъем XS1 на источник питания подается напряжение от внешнего сетевого адаптера. Микросхема DA1 обеспечивает заряд аккумулятора GB1, а также автоматическое переключение на питание от аккумулятора или сетевого адаптера. Подключение вывода ISETOUT к выводу REF обеспечивает максимально допустимый зарядный ток 1,5 А. При таком токе аккумулятор заряжается из полностью разряженного состояния за 5,5 часов, но меньше нагревается и меньше вероятность его повреждения при заряде. Резистор R4 является датчиком тока через нагрузку. Поскольку максимальная потребляемая мощность не превышает 5 Вт, то при минимально допустимом напряжении от аккумулятора 2,7 В ток, потребляемый периферийным мо-

дулем будет 1,9 А. Исходя из этого ток срабатывания системы защиты принят 2 А. Поскольку для срабатывания системы защиты на резисторе R4 должно быть напряжение 0,1 В, то сопротивление резистора R4 должно быть 0,05 Ом. На вывод VADJ подается напряжение U_{VADJ} , определяющее, при каком напряжении U_{BAT} на аккумуляторе будет прекращен цикл заряда. Это напряжение определяется по формуле

$$U_{VADJ} = (9,5U_{BAT}/N) - 9U_{REF}, \quad (1)$$

где N – количество аккумуляторов в батарее (в нашем случае $N = 1$); $U_{REF} = 4,2 \text{ В} = U_{BAT}$. Тогда $U_{VADJ} = 0,5U_{REF}$. По техническим условиям суммарное сопротивление резисторов делителя R1, R2 не должно превышать 100 кОм. Принимаем сопротивление этих резисторов равным 47 кОм. В качестве резистора R5 фирма MAXIM рекомендует использовать терморезистор фирмы Cornerstone Sensors типа T101D103–CA, который имеет при температуре + 25° С сопротивление 10 кОм. Минимально допустимое значение суммарной емкости конденсаторов C7 и C8, определяется по формуле

$$C_{OUTMIN} = \frac{U_{REF} \left(1 + \frac{U_{BAT}}{U_{INMIN}} \right)}{U_{BAT} \cdot f_{OSC} \cdot R_{CS}}, \quad (2)$$

где $U_{INMIN} = 6 \text{ В}$ – минимальное напряжение внешнего источника питания (сетевого адаптера); $f_{OSC} = 300 \text{ кГц}$ – частота внутреннего ШИМ генератора; $R_{CS} = R4 = 0,05 \text{ Ом}$ – сопротивление резистора датчика тока. С учетом этого минимальная емкость равна 113 мкФ. Эквивалентное последовательное сопротивление этого конденсатора не должно превышать сопротивление резистора датчика тока. Для обеспечения этого условия в качестве выходного конденсатора применим два параллельно включенных танталовых электролитических конденсатора емкостью по 68 мкФ каждый. Значения остальных элементов принципиальной схемы источника питания соответствуют рекомендациям фирмы - изготовителя.

Различные радиоэлектронные средства (РЭС) при работе на одной территории могут создавать помехи друг другу. Для обеспечения ЭМС АСПСР и других РЭС, уменьшения искажений сигналов управления, обеспечения высокой помехоустойчивости систем, к иным РЭС могут применяться практически все известные методы ЭМС РЭС. Однако вследствие произвольного расположения охраняемых объектов между близко расположенными АСПСР могут происходить ложные срабатывания, когда могут совпадать, например, номера периферийных модулей и пожарных извещателей, и поэтому передаваться одинаковые сигналы управления. Для исключения ложных срабатываний, повышения помехозащищенности АСПСР, необ-

ходимо использовать ранее разработанный метод пространственной частотной оптимизации. Данный метод включает работу используемых АСПСР на одной из любых трёх выбранных производителем систем разных рабочих частот F_1 , F_2 , F_3 каждой АСПСР при серийном производстве в разрешённом диапазоне 433,486 (433,5) – 434,354 МГц, с учётом и исходя из размеров зон обслуживания АСПСР, в объединении с пространственным размещением ЦП систем в центре их зон обслуживания в вершинах треугольника частот (узлах треугольной сетки частот), как показано на рисунке 3, с чередованием и смещением точек размещения ЦП АСПСР по указанной схеме, осуществляемом государственными органами регулирования частот. ПМ размещаются на объекте в поле зоны обслуживания.

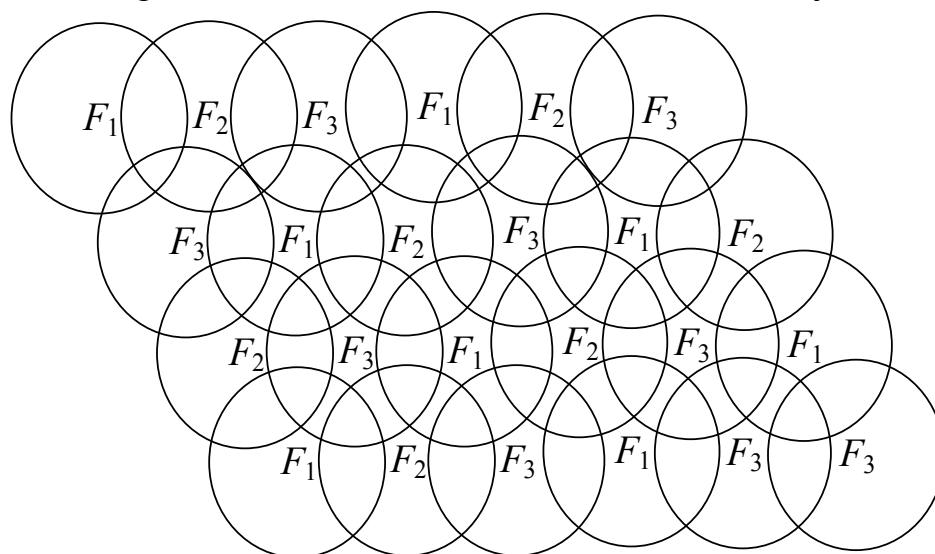


Рис. 3 – Размещение зон обслуживания соседних АСПСР

С вышеуказанным шагом перестройки частоты 5 кГц в разрешённом диапазоне может быть выбрано множество значений рабочей частоты таких систем для их серийного производства. В то же время представляется более целесообразным использование заводами – изготовителями одной общей серии (группы F_1 , F_2 , F_3) рабочих частот АСПСР. Это облегчит пространственное планирование государственными органами регулирования частот при размещении АСПСР в местах нахождения охраняемых объектов. Данный метод применяется при приоритете АСПСР относительно иных РЭС, известный метод частотно - территориального разнеса (ЧТР) между АСПСР не может применяться: вследствие произвольного размещения охраняемых объектов такие системы не могут быть разнесены на установленные табличные величины дальности друг от друга. Радиус зоны обслуживания АСПСР соответствует дальности связи (порядка 3000м.)

Выводы. Таким образом, выбранный вариант построения позволяет эффективно реализовать ПМ и ЦП системы. Разработке подлежит только специфическое программное обеспечение АСПСР. В целом разработанная дискретная асинхронная автоматическая система по-

жарной сигнализации с автономным радиоканалом управления (с ЦП с двухсторонней связью и аналогичной разработкой периферийного модуля) полностью удовлетворяет поставленным перед ней требованиям. По своим основным функциональным возможностям находится на уровне мировых аналогов, а по количеству каналов возможной передачи информации существенно их превосходит. В результате проведенного исследования с учётом работы [4] определены основные элементы и принцип работы ПМ, осуществлена информационная оптимизация системы, определены пути повышения помехозащищённости. Задачами дальнейшего исследования являются: совершенствование методики оценки надёжности систем и сравнительная оценка надёжности эксплуатируемых проводных систем автоматической пожарной сигнализации и разработанной модели АСПСР без получения специального программного обеспечения ИСОПБ, лабораторные испытания экспериментальной модели АСПСР.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.rfm.com/products/data/trc102.pdf>.
2. http://www.rfm.com/products/data/RFICDA_Setup.exe.
3. <https://www.silabs.com/Support%20Documents>
4. TechnicalDocs/C8051F33x.pdf.
5. Скляр, Бернанд. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2 – е, испр.: Пер. с англ./Б. Скляр. – М.: Издательский дом “ Вильямс ”, 2003. – 1104с.

М.П. Борисенко

Розробка периферійного модуля автоматичної системи пожежної сигналізації з автономним радіоканалом управління.

Розроблені принципова електрична схема та принцип роботи периферійного модуля автоматичної системи пожежної сигналізації з автономним радіоканалом управління. Визначено шляхи підвищення завадостійкості радіоканалу. Розроблений метод розміщення периферійних модулів на об'єктах, що забезпечує їх електромагнітну сумісність.

Ключові слова: пожежна безпека, сигналізація, периферійний модуль, мікроконтролер, частота, перешкоди, фільтр.

N.P. Borisenko

Development of the peripheral module automatic fire alarm system with an independent radiochannel management

Developed a fundamental principle of the wiring and peripheral module automatic fire alarm system with autonomous radio channel management. Identify ways to improve noise immunity radio. Developed a method for placing the peripherals on the objects, providing their elektromagnetic compatibility.

Key words: fire safety, alarm system, peripheral, transceiver, microcontroller, the frequency, interference, filter.

*В.Г. Борисенко, канд. физ.-мат. наук, доц., НУГЗУ,
Ю.Ф. Деркач, канд. физ.-мат. наук, доц., НУГЗУ,
К.Р. Умеренкова, канд. техн. наук, доц., НУГЗУ*

РИСК ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

(представлено д-ром техн. наук, проф. Кривцовой В.И.)

Рассмотрена возможность получения экологически чистого энергоносителя – водорода из угля (в местах добычи). Указаны меры пожаровзрывобезопасного транспортирования водорода по трубопроводам к районам его использования.

Ключевые слова: уголь, водород, водородная энергетика, трубопроводный транспорт, пожаровзрывобезопасность.

Постановка проблемы. Углубляющийся в течение двух последних десятилетий дефицит органических топлив в сочетании с глобальными экологическими проблемами обусловили огромный интерес к водородной энергетике, в основе которой лежит эффективное производство и применение водорода в качестве экологически чистого энергоносителя.

Роль водорода в техническом прогрессе трудно переоценить. Особенно это наглядно видно на примере последних научно-технических достижений в энергетике, завоевании космоса и материаловедении [1].

Достаточно эффективным способом получения водорода для энергетике является газификация твердых топлив с последующей очисткой промежуточного продукта – синтез-газа [2].

Уголь является основным энергетическим ресурсом Украины, запасы которого не менее 300 млрд. тонн и его добыча может продлиться несколько столетий. Украины располагает также значительными ресурсами бурых углей. Только разведанные запасы составляют ~ 3,5 млрд. тонн [3]. Преимуществом использования их является то, что они находятся в большинстве областей Украины. При использовании бурого и каменного угля наиболее эффективна комплексная переработка этих топлив для производства синтетических жидких продуктов, синтез-газа, генерации электроэнергии.

Поэтому наиболее рационально создавать углеперерабатывающие энергохимические комплексы в местах добычи угля, включающие обогащение угля, получение жидких продуктов, газификацию полукокса и других остатков, извлечение водорода, парогазовую тепловую электростанцию, установки по переработке отходов.

При этом необходимо решать важнейшую проблему безопасной и дешевой доставки водорода в энергодефицитные районы стра-

ны, где он будет использоваться.

Одним из наиболее экономичных методов транспортировки газов является трубопроводный транспорт.

Анализ исследований и публикаций. Опыт использования трубопроводного транспорта водорода уже имеется. Расчеты и экспериментальные испытания [4] существующих систем магистрального транспорта показали техническую возможность их использования для транспортировки и распределения газообразного водорода и его смесей с другими газами при наличии более мощных компрессорных установок, чем используемые для перекачки природного газа.

Смесь водорода с окисью углерода (водяной газ) широко использовалась в Европе и передавалась по трубам с середины прошлого столетия. В Германии на предприятиях “Хемише Верке Хюльс АГ” в Руре с 1938 года транспортируется газообразный водород по подземному трубопроводу в количестве более 10^5 т (в пересчете на условное топливо) в год с чистотой 95% под давлением до 4 МПа общей длиной более 200 км при диаметрах труб от 150 до 300 мм. Различные водородопроводы эксплуатируются в ЮАР, Англии, США.

В США на стендах НАСА для испытаний водородных систем различного назначения, для хранения и распределения водорода применяются сосуды высокого давления и трубопроводы из высокопрочной легированной стали длиной несколько километров, по которым транспортируется водород при давлении до 105 МПа. Относительно короткие трубопроводы для транспорта водорода и смесей водорода с другими газами (длиной в несколько километров) эксплуатируются и во многих других странах [2].

Т.о., актуальные проблемы водородной энергетики могли бы успешно решаться в каждом угольном регионе, а водород транспортировался бы в энергодефицитные районы страны трубопроводами.

Постановка задачи и ее решение. Трубопроводный транспорт газообразного водорода при давлениях до 7–10 МПа может осуществляться с помощью тех же технических средств, что и транспорт природного газа. Естественно, что оптимальное давление, диаметр трубопровода, шаг компрессии, оборудование (компрессоры и др.) для водорода будут иными, чем для природного газа, в некоторых случаях может потребоваться и применение иных материалов. Существующие системы трубопроводного транспорта природного газа также могут быть использованы для транспортировки водорода при относительно невысоком давлении, однако при этом параметры системы не будут оптимальными. При более высоких давлениях, в особенности при транспорте особо чистого водорода, иногда может наблюдаться водородное охрупчивание обычно применяемых материалов, и необходимо применение специальных легированных сталей. Наличие в водороде примесей других газов – кислорода, углеводородов, CO_2 , CO , NO_2 , SO_2 – обычно приводит к ингибированию взаимодействия водород –

металл и защищает материал от охрупчивания [5].

Оценки, исходящие из физико-химических свойств газообразного водорода (плотности, вязкости, теплоты сгорания) показали, что оптимальное давление для его трубопроводного транспорта составляет 14 МПа. Однако в связи с отмеченными выше особенностями взаимодействия водорода с материалом трубопровода представляется более рациональным создание систем крупномасштабного трубопроводного транспорта водорода под давлением не выше 7–7,5 МПа.

Водород не токсичен и не является загрязняющим веществом, то есть экологически безопасен, а основная опасность при обращении с водородом – склонность его к возгоранию и взрыву. Поэтому большое значение приобретает проблема создания системы водородной безопасности. Для транспортировки водорода лучше использовать специально сконструированное оборудование. Поскольку водород является довольно пожаро- и взрывоопасным газом с широкими концентрационными пределами воспламенения и взрываемости, необходимо уделять большое внимание размещению на местности технологического оборудования. Основной задачей при размещении систем является ограничение взаимовлияния оборудования при образовании и воспламенении горючих смесей.

Обычные утечки газа при его распределении вызываются в основном неплотностями в соединениях труб и их незащищенностью. Необходимо также повышенное внимание к герметичности трубопроводов. Возможно применение водорода в смеси с природным газом. Если добавки водорода не превышают одной трети, то существенной переделки распределительной сети не потребуется. Разбавление водорода другими газами является одним из реальных путей снижения его взрывоопасности в системе распределения.

В случае разрыва участка трубопровода, по которому транспортируется водород (1–600 кг/с), выброшенный в окружающую атмосферу водород может детонировать в смеси с воздухом. Вследствие этого на случай аварийного разрыва трубопровода в системе должна быть предусмотрена аппаратура для отсечки подачи водорода с возможно меньшим временем срабатывания.

Помимо взрыва при выбросе водорода опасная ситуация может возникнуть из-за пожара. Инициатором может быть электрическая искра, излучение и другие внешние воздействия. Для того чтобы исключить непосредственное воздействие пламени на окружающие объекты, они должны быть удалены от взрывопожароопасных объектов [6,7].

При размещении оборудования необходимо выдерживать определенные расстояния между отдельными его узлами. При расположении оборудования на местности следует учитывать и основное направление ветра. Несмотря на то, что благодаря низкой излучающей способности водородного пламени близко расположенное оборудование не будет подвергаться серьезной опасности, при неблаго-

приятном ветре пламя может быть отнесено на некоторое расстояние. Поэтому места возможного выброса больших количеств газа должны располагаться на достаточном расстоянии от другого оборудования.

На стадии проектирования пожаровзрывобезопасного технологического и транспортного оборудования для водорода важную роль играет расчет диаметра трубопроводов, объемов для хранения и распределения, гидродинамических характеристик, запорной арматуры, определение оптимального давления. Для корректного выполнения этих расчетов необходима информация о теплофизических свойствах газообразного водорода и его смесей с другими газами.

Расчеты изобарной теплоемкости водорода и водородо-воздушных смесей выполнены с использованием методики определения термодинамических свойств индивидуальных веществ и многокомпонентных смесей в газообразном, жидком и парожидкостном равновесии в широких диапазонах температур и давлений. Методика разработана в ИПМаш НАН Украины и апробирована на решении задач аналогичного типа, что отражено в [8,9]. Она основана на оригинальной статистико-механической схеме – модифицированной термодинамической теории возмущений.

На рис. 1, 2 изображены температурные зависимости изобарной теплоемкости чистого водорода и водородо-воздушной смеси состава 40% H_2 + 60% воздуха (состав воздуха: H_2 =40 мол.%, O_2 =12,6 мол.%, N_2 =47,4мол.%) по трем изобарам 1 – $p=0,1$ МПа; 2 – $p=5$ МПа; 3 – $p=10$ МПа вплоть до температур начала диссоциации H_2 (1700 К). Приведенные результаты расчетов получены с помощью указанной методики.

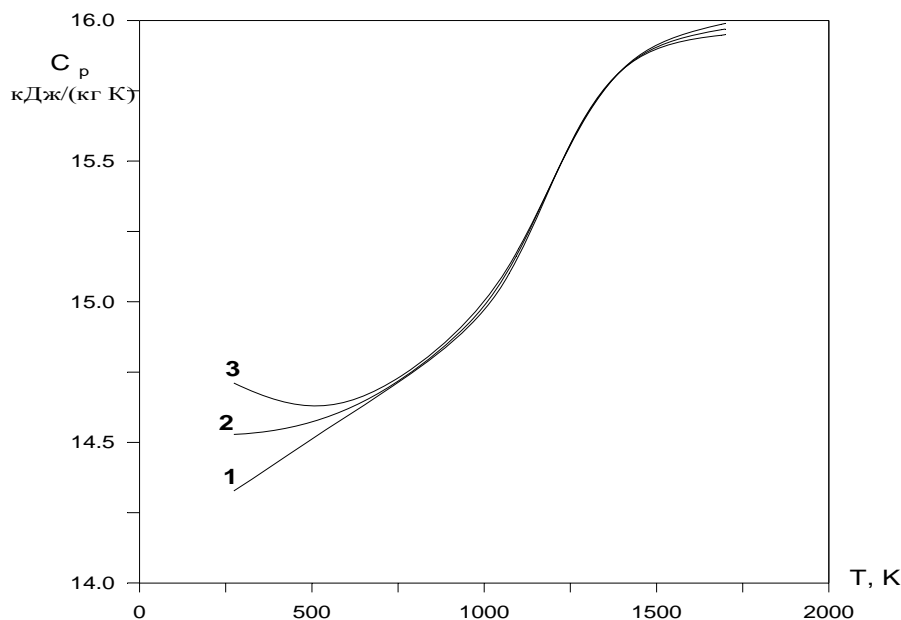


Рис. 1 – Изобарная теплоемкость водорода в зависимости от температуры и давления

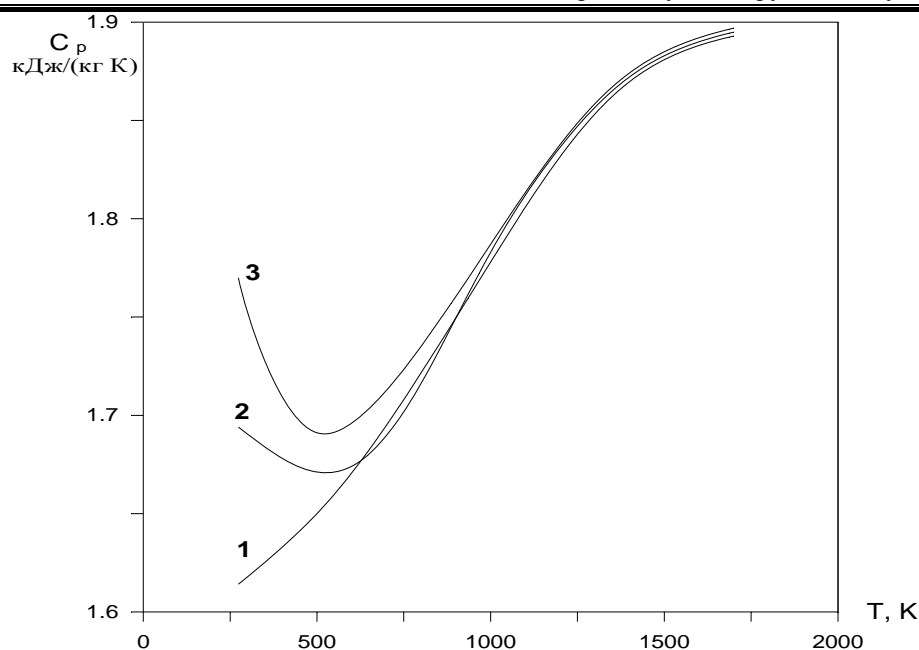


Рис. 2 – Изобарная теплоемкость водородо-воздушной смеси в зависимости от температуры и давления

Выводы. Перспективным направлением развития энергетики в ближайшем будущем является производство и использование универсального энергоносителя – водорода. Отечественными источниками сырья для производства водорода являются значительные ресурсы каменного и бурого углей, запасы которых имеют региональный характер. При переработке углей в районах добычи получаемый водород можно транспортировать к местам потребления трубопроводным транспортом.

Методы обеспечения безопасности работ с водородом направлены на предупреждение образования пожаровзрывоопасных смесей, исключение воспламенения образовавшейся горючей смеси и обеспечение локализации и подавления воспламенившейся смеси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шаповалов В.И. Роль водорода в современных и будущих технологиях. // HYDROGEN MATERIALS SCIENCE AND CHEMISTRY OF CARBON NANOMATERIALS ICHMS'2009. XI International Conference. Yalta – Crimea – UKRAINE, August 25-31. – 2009. – С. 924-927.

2. Степанов А.В. Экологически чистое производство водорода из угля / А.В. Степанов, Е.В. Полункин, Г.Г. Матусевич // HYDROGEN MATERIALS SCIENCE AND CHEMISTRY OF CARBON NANOMATERIALS ICHMS'2009. XI International

Conference. Yalta – Crimea – UKRAINE. August 25-31. – 2009. – С. 1066-1069.

3. Мухачев А.П. Экологические и технические аспекты водородной энергетики // HYDROGEN MATERIALS SCIENCE AND CHEMISTRY OF CARBON NANOMATERIALS ICHMS'2007. X International Conference. Sudak – Crimea – UKRAINE. September 22-28. – 2007. – С. 978-981.

4. Смольский Б.М. / Б.М. Смольский, Н.М. Пашина. Водород: основные свойства, производство и хранение. – Минск : Ин-т тепло- и массообмена им. А.В.Лыкова АН БССР, 1981. (Препринт №11).

5. Нечаев Ю.С. Актуальные проблемы старения, водородного охрупчивания и стресс-коррозионного поражения сталей и эффективные пути их решения. // Альтернативная энергетика и экология. – 2007. – № 11 (55). – С.68-77.

6. Коробцов С.В. Безопасность водородной энергетики / С.В. Коробцов, В.Н. Фатеев, Р.О. Самсонов, С.И. Козлов // Транспорт на альтернативном топливе. – 2008. – № 5 (5). – С.47-52.

7. Алексеев О.К. Системы хранения водорода / О.К. Алексеев, В.Н. Фатеев, Р.О. Самсонов, С.И. Козлов // Транспорт на альтернативном топливе. – 2009. – № 5 (11). – С.54-57.

8. Маринин В.С., Умеренкова К.Р. Определение термодинамических характеристик газовых и газоконденсатных смесей /В.С. Маринин, К.Р. Умеренкова // Проблемы чрезвычайных ситуаций.– Харьков: УГЗУ, 2007. – Выпуск 5. – С. 132-139.

9. Маринин В.С. Экологичные двигатели – путь повышения техногенной безопасности окружающей среды /В.С. Маринин, К.Р. Умеренкова // Проблемы чрезвычайных ситуаций.– Харьков: УГЗУ, 2008. – Выпуск 8. – С. 130-135.

В.Г. Борисенко, Ю.Ф. Деркач., К.Р. Умеренкова

Ризик виникнення пожежевибухонебезпечних ситуацій на об'єктах водневої енергетики

Розглянуто можливість одержання екологічно чистого енергоносія – водню з вугілля (у місцях видобутку). Зазначено міри пожежевибухонебезпечного транспортування водню по трубопроводах до районів його використання.

Ключові слова: вугілля, водень, воднева енергетика, трубопровідний транспорт, пожежевибухонебезпечність.

V.G. Borisenko, Yu.F. Derkach., K.R. Umerenkova

Hazard of occurrence fire-explosion danger of situations on objects of hydrogen energetic

The opportunity of reception of the non-polluting energy carrier - hydrogen from coal (in places of extraction) surveyed. Measures of fire-explosion danger transportation of hydrogen on pipelines to regions of its use are specified.

Key words: coal, hydrogen, hydrogen energetic, pipeline transport, fire-explosion danger.

П.Ю. Бородич, канд. техн. наук, ст. преподаватель, НУГЗУ,
О.Е. Безуглов, нач. кафедры, НУГЗУ

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЯ ЛЕГОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ДЛЯ РАБОТ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ТЯЖЕСТИ

(представлено д-ром техн. наук Куценко Л.Н.)

Проведен расчет показателя легочной вентиляции для работы различной тяжести. Показано, что его значения даже при выполнении характерных упражнений на практических занятиях в защитных аппаратах превышают показатели, предлагаемые в нормативно-технической литературе.

Ключевые слова: легочная вентиляция, защитные аппараты, работа различной степени тяжести.

Постановка проблемы. Наиболее распространенной и важной характеристикой процесса дыхания человека, которую используют в большинстве ситуаций, связанных с расчетом времени работы в изолирующих аппаратах, а также обоснованием требований по созданию и эксплуатации средств индивидуальной защиты органов дыхания, является [1] легочная вентиляция ω_d .

Она определяется количеством воздуха Q , который необходим для дыхания на протяжении времени t

$$\omega_d = \frac{Q}{t} \quad (1)$$

В научно-технической [2] и нормативной литературе [3] приведены значения легочной вентиляции, соответствующие выполнению работ различной степени тяжести. Исходя из этих данных, было рассчитано время защитного действия изолирующих аппаратов. Однако в реальных условиях (на практических занятиях, на тактико-специальных учениях, на пожарах) время работы в аппаратах на сжатом воздухе, которые наиболее распространены в подразделениях МЧС, значительно ниже. В связи с этим предлагается провести исследования показателя легочной вентиляции на практических занятиях.

Анализ последних исследований и публикаций. В [4,5] проводится оценка легочной вентиляции по результатам пожарно-тактических учений на станциях Харьковского метрополитена. Однако данные учения проводятся максимально приближено к реальным условиям ликвидации чрезвычайных ситуаций, т.е. личный состав следит за правильностью выполнения всех операций и не думает о правильности дыхания.

В [6] приводятся некоторые значения показателей легочной вентиляции, однако эти значения рассчитаны теоретически, не привязаны к конкретным видам работы.

Исходя из этого, сформулированы следующие цели:

- провести расчет показателя легочной вентиляции при различных видах работы;
- сравнить полученные значения с нормативными.

Постановка задачи и ее решение. Исследования показателя легочной вентиляции проводились на практических занятиях «Подготовка газодымозащитника» с курсантами 5 курса. При постановке задачи курсантов проинструктировали о необходимости обратить внимание на поддержание равномерного дыхания.

При проведении исследований были выбраны следующие упражнения. Для выполнения первого вида работы исследуемые, включенные в аппараты, находятся в полном покое – сидят. Выполняя легкую работу, курсанты передвигаются шагом по горизонтальной поверхности. Во время выполнения работ средней степени тяжести выполняется подъем по ступеням. При тяжелой работе – бег по горизонтальной поверхности. Выполняя очень тяжелую работу, исследуемые переносят «пострадавшего» вверх по лестничным маршам.

В каждом случае измерялось начальное давление ($P_{нач}$, МПа) и давление по окончанию выполнения работы ($P_{кон}$, МПа), а также фиксировалось время выполнения упражнения (t , мин). Время выполнения каждого вида работы – 10 минут.

Показатели легочной вентиляции для соответствующей степени тяжести работы рассчитываются в соответствии с (1), используя закон Бойля-Мариотта:

$$\omega_n = \frac{(P_{нач} - P_{кон}) \cdot V_б}{P_{атм} \cdot t}, \quad (2)$$

где $P_{атм} \approx 0,1$ МПа – атмосферное давление; $V_б = 8$ л – объем баллона защитного аппарата.

Используя (3) было рассчитано среднее значение показателя легочной вентиляции для каждого вида работы.

$$\bar{\omega}_{n(1...5)} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \omega_{in(1...5)} \quad (3)$$

где n – количество курсантов, которые участвовали в исследовании – 30 человек.

Результаты проведенных исследований представлены в таблице 1 и на рисунке 1. Было определено минимальное, среднее и максимальное значение легочной вентиляции для каждого вида работы.

Таблица 1

Значения легочной вентиляции при выполнении разного вида работ

№ п/п	Вид работы	$\omega_{л\min}$, л/мин	$\bar{\omega}_л$, л/мин	$\omega_{л\max}$, л/мин	$\omega_{л\text{ норма- тивное}}$
1	Покой	9	15	18	12
2	Легкая	18	25	30	20
3	Средней тяжести	28	45	50	30
4	Тяжелая	57	70	75	60
5	Очень тяжелая	80	100	110	84

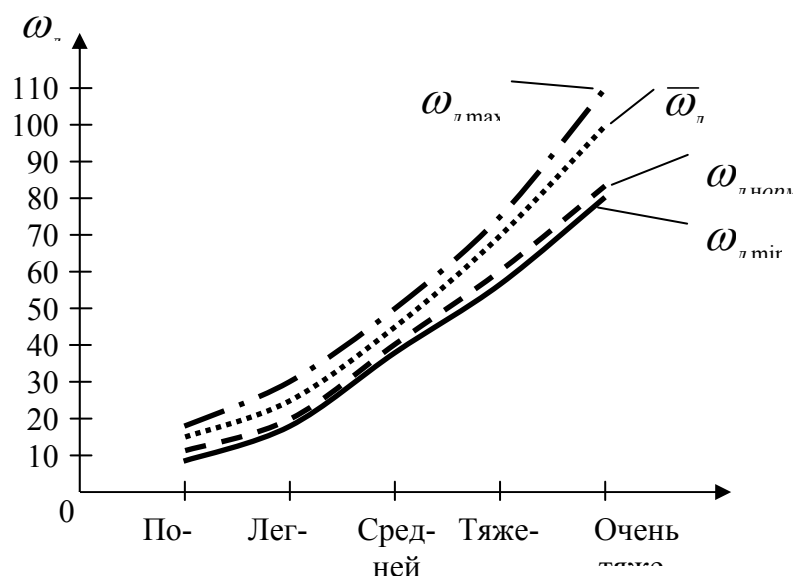


Рис. 1 – Анализ показателя легочной вентиляции для разных видов работы

Анализ результатов расчета показателя легочной вентиляции показывает, что для всех видов работы полученное среднее значение в 1,5 раза выше, чем предлагаемое в Системе стандартов безопасности труда. Однако около 7% курсантов выполняли работу со значением легочной вентиляции ниже нормативного, а до 10% выполнили в соответствии с нормами. Это были курсанты, которые физически развиты и занимаются спортом. Т.е. можно сделать выводы, что система стандартов безопасности труда ориентируется на физически развитых и тренированных газодымозащитников. Учитывая это, необходимо во-первых уделить внимание при отборе газодымозащитников, во-вторых – на практических занятиях в изолирующих аппаратах тренировать личный состав равномерному и спокойному дыханию, в третьих постовому на посту безопасности при расчетах времени работы в защитных аппаратах учитывать реальные значения показателя легочной вентиляции.

Выводы: - проведенный расчет показателя легочной вентиляции для разных видов работы показал, что большинство значений превышают рекомендованные в нормативной литературе;

- значения показателя легочной вентиляции меньше или равные приведенным в нормативно-технической литературе характерны

для курсантов с тренированным дыханием;

- *перспективным направлением дальнейших исследований* является разработка тренировочных упражнений для развития «правильного» дыхания.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Стрілець В.М. Засоби індивідуального захисту органів дихання: навч. посіб. [для студ. виш. навч. закл.] / Стрілець Віктор Маркович – Харків, АПБУ, 2001. – 117 с.

2. Бородич П.Ю. Закономерности деятельности в системе «спасатель – экстремальная среда» на станциях метрополитена: дис. канд. техн наук: 05.01.04 / Бородич Павел Юрьевич. – Х., 2009. – 223 с.

3. Настанова з ГДЗС ПО МВС України - Офіц. вид. - К.: М-во внутрішніх справ України, 1994. - 64 с.

4. Ковальов П.А. Розробка пропозицій щодо вдосконалення аварійно-рятувальних робіт при надзвичайних ситуаціях в метрополітені / П.А.Ковальов, П.Ю. Бородич, В.В.Стрілець // Право і безпека: Науковий журнал – 2002. – Вип.1. – С. 156-161.

5. Бородич П.Ю. Особенности изменения легочной вентиляции в ходе выполнения работ по тушению пожаров на станциях метрополитена / П.Ю.Бородич // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. - Харьков: АПБУ, 2003. - Вып.13. – С.60 –80.

6. Изолирующие дыхательные аппараты и основы их проектирования: учебное пособие / [С.В.Гудков, С.И.Дворецкий, С.Б.Путин, В.П.Таров]. – М.: Машиностроение, 2008. – 188 с.

П.Ю. Бородич, О.Є. Безулов

Оцінка показника легеневої вентиляції для робіт різного ступеня важкості.

Проведено розрахунок показника легеневої вентиляції для робіт різного ступеня важкості. Показано, що його значення вже при виконанні характерних вправ на практичних заняттях в захисних апаратах більші ніж показники, які запропоновані в нормативно-технічній літературі.

Ключові слова: легенева вентиляція, захисні апарати, робота різного ступеня важкості.

P.YU Borodich., O.E Bezuglov.

Measurement of lung ventilation for works of varying degrees of severity

The calculation of pulmonary ventilation rate for the work of varying degrees of severity. Shown that its value is in the performance of specific exercises for practical lessons in protective devices larger than the figures proposed in the regulatory and technical literature.

Keywords: pulmonary ventilation, protective devices, the work of varying degrees of severity.

*В.А. Дуреев, канд. техн. наук, ст. преподаватель, НУГЗУ,
А.Н. Литвяк, канд. техн. наук, доцент, НУГЗУ*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ
НА ПОТРЕБНУЮ МОЩНОСТЬ ПОДВОДИМОГО
ПОТОКА ЖИДКОГО ОГНЕТУШАЩЕГО ВЕЩЕСТВА**
(представлено д-ром техн. наук Алексеевым О.П.)

Рассмотрено влияния геометрических характеристик оросителей и трубопроводов установок водяного пожаротушения на гидравлические параметры распределительной сети.

Ключевые слова: ороситель, распределительная сеть, диаметр, напор, расход, мощность потока.

Постановка проблемы. Проведение проектных разработок систем автоматического водяного пожаротушения ставит задачу выбора необходимого противопожарного оборудования. Наименование и номенклатура трубопроводов, насосов, запас огнетушащего вещества (ОВ) напрямую зависят от потребных расчетных параметров системы. Но даже при использовании в качестве исходных данных топологии трубопроводов распределительной сети (РС), варьируя только геометрические параметры труб и оросителей, задача определения расчетных параметров является многофакторной.

Таким образом, существует проблема выбора геометрических характеристик трубопроводов и оросителей для оптимизации гидравлических параметров распределительной сети.

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время для оценки гидравлических параметров РС используется методика [1]. В [2,3] выполнены гидравлические расчеты для рядков РС сложных топологий. Анализ [2, 3] показал, что результаты расчетов могут значительно отличаться из-за принятой изначально топологии распределительной сети. Наибольшее влияние оказывают диаметры трубопроводов участков РС, их протяженность и соединения. В [4] выполнены расчеты для тупиковых рядков РС постоянного переменного диаметра. Анализ результатов показал, что последовательное увеличение диаметров трубопроводов позволяет снизить гидравлических потери, и в то же время значительно понижает расход и мощность подводимого потока ОВ. Исследования совокупного влияния геометрических характеристик трубопроводов и оросителей на гидравлические параметры распределительной сети, не выполнялись.

Постановка задачи и ее решение. Для оценки совокупного влияния геометрических характеристик трубопроводов и оросителей на их гидравлические параметры, рассмотрены тупиковые рядки постоянного и переменного диаметров [4].

В первом случае, на тупиковом рядке РС, подключенном к питающему трубопроводу, расположены 6 оросителей, расстояния между оросителям 3 (м), между крайним оросителем и точкой ввода – 1,5 (м). Во втором случае, 6 оросителей расположены на тупиковом телескопическом рядке РС, подключенном к питающему трубопроводу, расстояния приняты те же. По методике [1] были определены: расход Q_0 , напор H_0 и мощность M_0 подводимого потока ОВ в точке ввода для разных значений диаметров $d_{ОР}$ оросителей и $d_{ТР}$ трубопроводов. Результаты расчетов, в условиях допустимых напоров [1], представлены в таб. 1.

Таблица 1

$d_{ТР}$	Тип СВ	Q_0 , л/с	H_0 , м	M_0 , кВт
0,032	СВ-12	11,521	55,738	6,293
	СВ-15	15,302	71,036	10,653
	СВ-20	28,234	174,116	48,177
0,040	СВ-12	10,115	29,105	2,885
	СВ-15	12,078	27,653	3,273
	СВ-20	18,407	44,094	7,954
0,050	СВ-12	9,088	15,057	1,341
	СВ-15	9,718	9,307	0,887
	СВ-20	11,742	7,872	0,906
Телескопич.	СВ-12	13,34	29,226	3,537
	СВ-15	16,108	21,547	3,401
	СВ-20	24,984	18,164	4,447

На рис. 1 ÷ 4 представлены результаты сплайн-аппроксимации полученных результатов расчета с использованием отрезков полиномов третьего порядка.

Анализ графиков показывает, что для веток РС равного диаметра, расход, напор и мощность подводимого потока ОВ в точке ввода в большей мере зависят от диаметра применяемого оросителя. В тоже время отмечено, что для оросителей наибольшего типоразмера характерно максимальное уменьшение этих параметров при увеличении диаметра труб РС.

Кроме того, для труб равного диаметра, расход ОВ в точке ввода ветки РС $d_{ТР} = 0,032$ (м) с 3 ÷ 6 оросителями СВ-15 отличается менее 1% от расхода на вводе ветки РС $d_{ТР} = 0,050$ (м) с 3 ÷ 6 оросителями СВ-20. Расход ОВ в точке ввода ветки РС $d_{ТР} = 0,050$ (м) с 3 ÷

5 оросителями СВ-12 отличается менее 1% от расхода на вводе ветки РС $d_{TP} = 0,050$ (м) с 3 ÷ 5 оросителями СВ-15 и менее 1,4% для 6 СВ-12 относительно 6 СВ-15. При этом во всех случаях, для СВ-12, за счет большего напора, мощность подводимого потока выше. Эти значения позволяет более гибко использовать геометрические характеристики РС при проектировании.

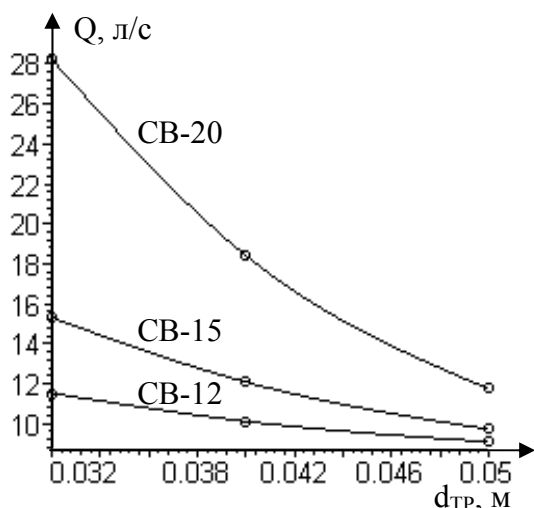


Рис. 1 – График зависимости расхода жидкого ОВ в точке ввода от диаметра трубопровода рядка РС

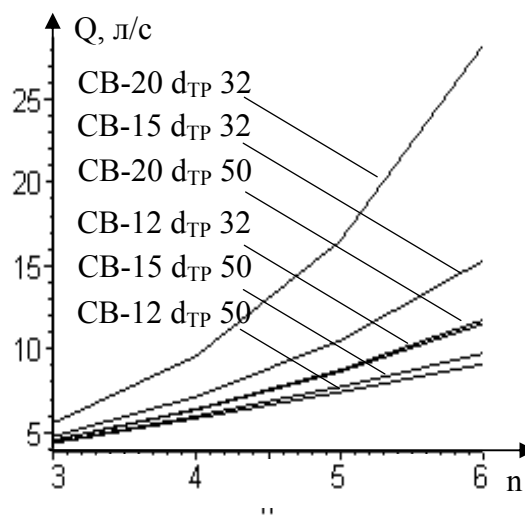


Рис. 2 – График зависимости расхода жидкого ОВ, от числа оросителей на рядке РС

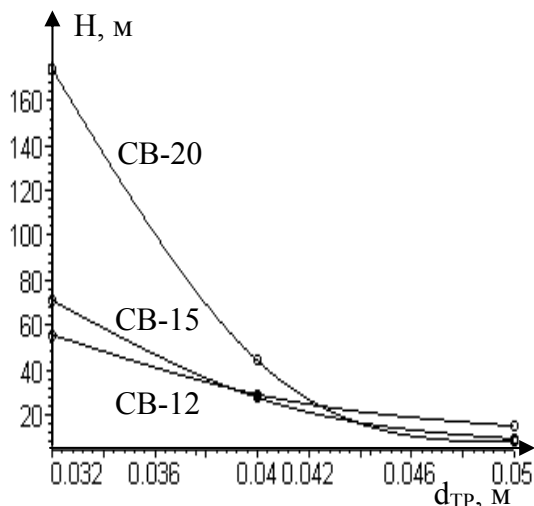


Рис. 3 – График зависимости напора в точке ввода от диаметра трубопровода рядка РС

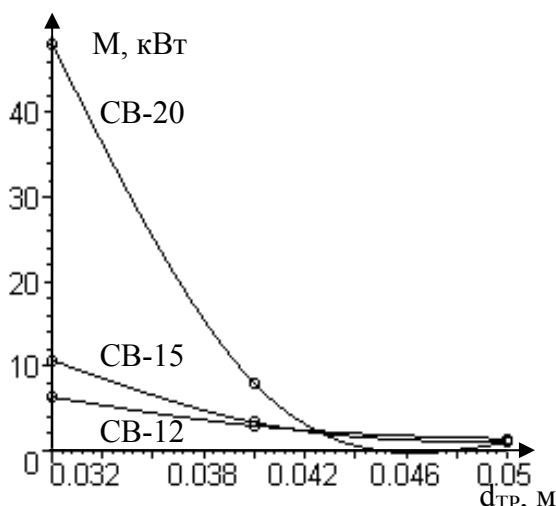


Рис. 4 – График зависимости потребляемой мощности ОВ в точке ввода от диаметра трубопровода РС

Выводы. Рассмотрен подход для выработки критериев оптимизации геометрических параметров РС при проектировании установок водяного пожаротушения. Получены зависимости потребного расхо-

да, напора и удельной мощности подведенного потока жидкого ОВ от геометрических характеристик оросителей и трубопроводов РС.

ЛИТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.5–13–98* Пожарная автоматика зданий и сооружений. – К.: Госстрой Украины. 2006. – 82 с.
2. Мурин М. Н. Определение параметров распределительной сети установок водяного пожаротушения при их несимметричной топологии // Проблемы пожарной безопасности. Сборник научных трудов, выпуск 24. Харьков: УГЗУ. 2008.- С. 135 – 138.
3. Литвяк А. Н. Гидравлический расчет рядка кольцевой распределительной сети с заданными краевыми условиями методом источников и стоков / А. Н. Литвяк, В. А. Дуреев // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ. 2008. – № 24. – С. 96 – 99.
4. Мурин М. Н. Влияние геометрических параметров трубопроводов на потребную мощность подводимого потока жидкого огнетушащего вещества / М. Н. Мурин, А. Н. Литвяк, В. А. Дуреев // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ. – 2009. – № 26. – С. 65 – 68.

В.О. Дуреев, О.М. Литвяк

Дослідження впливу геометричних параметрів елементів розподільної мережі на потрібну потужність потоку рідкої вогнегасної речовини

Розглянуто впливи геометричних характеристик зрошувачів і трубопроводів установок водяного пожежегасіння на гідравлічні параметри розподільної мережі.

Ключові слова: зрошувач, розподільна мережа, діаметр, напір, витрата, потужність потоку.

V.A. Dureev, A.N. Lityjak

Research of influence of geometrical parameters of elements of distributive network on the required power of the tricked into stream liquid fire to extinguish matters

Influences of geometrical descriptions of sprinklers and pipelines of settings of the aquatic extinguishing of fire are considered on the aquatic parameters of distributive network.

Keywords: sprinkler, distributive network, diameter, pressure, expense, power of stream.

А.В. Елизаров, канд. техн. наук, доцент, НУГЗУ

ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РАЗВИТИЯ ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИИ

(представлено д-ром техн. наук Алексеевым О.П.)

В статье рассмотрены наиболее важные вопросы численной реализации математической модели процесса развития пожара, образования и распространения дыма в помещении.

Ключевые слова: высота поверхности раздела зон, “холодная” и «горячая» зона, факторный план, момент возгорания, скорость пиролиза, эффективная площадь горения, удельная теплота сгорания

Постановка проблемы. Рассматриваются основные количественные характеристики процесса развития пожара, которые впоследствии следует учитывать при разработке физических и математических моделей системы “ПОЖАР- ДЫМ”, пригодных для быстрого получения результатов в повседневной практике работников МЧС. При этом особое внимание уделяется роли экспериментальных исследований в изучении развития пожара в помещениях, что обусловлено сложностью процесса, для которого практически невозможно построить адекватную физическую и математическую модель.

На основе выполненного анализа существующих методов борьбы с дымом, особенностей численного и экспериментального моделирования процесса развития пожара, образования и распространения дыма в помещении, ставится задача определения концентраций макрочастиц и опасных для жизни компонентов газовой фазы. При формулировке задачи учитывались, в первую очередь, практические потребности работников МЧС в точной и своевременной информации о влиянии дыма на состояние людей.

Анализ последних достижений и публикаций. Описание математической модели процесса развития пожара, образования и распространения дыма показаны в [1-4], но они не учитывают химического состава горючего вещества.

Постановка задачи и ее решение. Численная реализация математической модели процесса развития пожара, образования и распространения дыма в помещении выполнена на языке MICROSOFT FORTRAN 5.0. Файл входных данных содержит:

- начальное значение давления (по умолчанию задается атмосферное давление); начальное значение температуры в помещении ($^{\circ}\text{C}$); шаг расчета по времени Δt ;

- количество объектов N. В первой версии программы все объекты рассматриваются, как локальные;

- данные об i-м объекте, $i=1, \dots, N$: момент возгорания t_i (с); масса m (кг); скорость пиролиза v_f (кг/с); эффективная площадь горения S_e , удельная теплота сгорания (Дж/кг); CO/CO_2 ; φ_S , φ_{HCl} , φ_{HCN} , φ_{H_2O} .

Полученные значения $Y_i(t)$ аппроксимируются квадратичными полиномами с помощью МНК. Точки t_k выберем, как и в случае проведения испытаний в теплодымокамере:

$$t_k=(k-1)\Delta t; \Delta t=5 \text{ мин.}$$

Файл результатов расчета RES.dat содержит таблицу вида табл. 1.

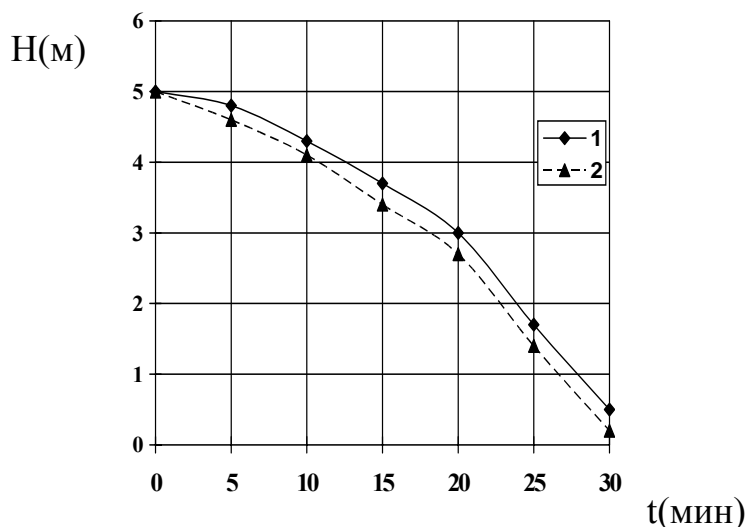
Таблица 1

Формат представления результатов расчета

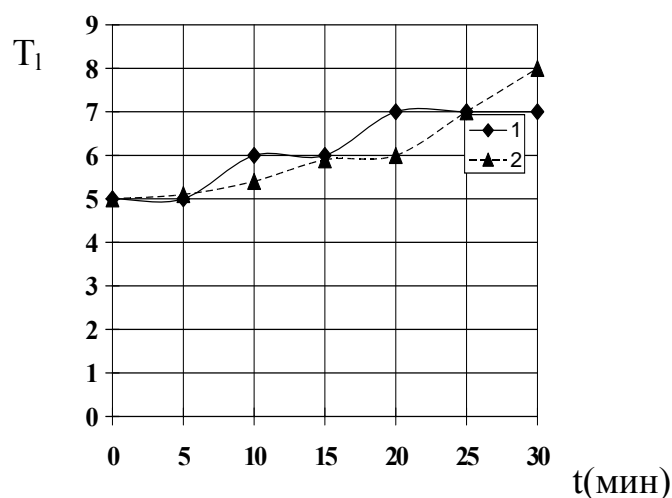
Момент t (мин.)	CO кг/м ³		CO ₂ кг/м ³		S кг/м ³		HCl кг/м ³		HCN кг/м ³		H ₂ O кг/м ³		T(°C)		H(м)
	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	L	U	U	L	

Верификацию алгоритма выполним с помощью сравнения данных испытаний с результатами численного эксперимента. Зависимости некоторых характеристик пожара от времени в графической форме приведены на Рис.3.2 для одного из испытаний - горения бензина АИ-93; $m=5$ кг., $S_e=2.34$ м².

а) Высота поверхности раздела зон



б) Температура в “холодной” зоне, °C (1- эксперимент, 2- расчет).



в) Температура в “горячей” зоне, °С (1- эксперимент, 2- расчет).

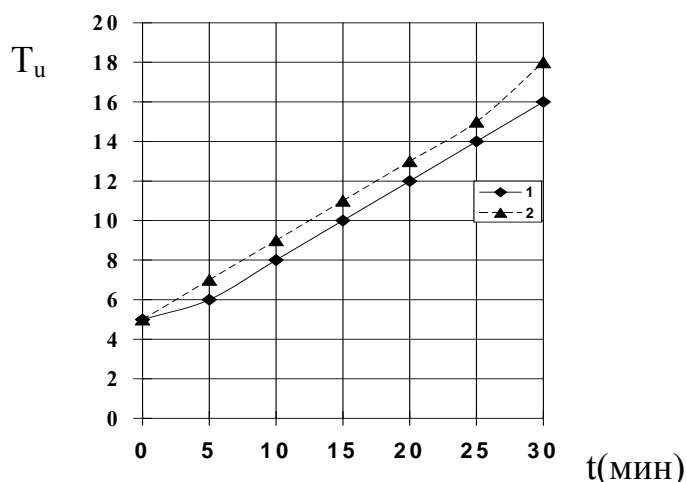


Рис. 1 - Некоторые примеры сравнения результатов расчета и эксперимента

Введем в рассмотрение величины:

$$Z_{ik} = \max_{t \in [0; T]} \left\{ \frac{|y_{ik}(t) - \tilde{y}_{il}(t)|}{\min(y_{ik}(t); \tilde{y}_{il}(t))} \right\}, \quad i=1, \dots, L. \quad (1)$$

В числителе выражения (1) стоит модуль разницы между рассчитанным значением $y_i(t)$ и экспериментальным результатом, в знаменателе – минимум рассчитанного и полученного при испытаниях значения функций. По построению Z_{ik} представляет собой максимум разницы между двумя функциями, выраженный в долях единицы. Иными словами, выражение $Z_{ik}=a$ эквивалентно выражению значения $y_i(t)$, полученные в результате испытаний, отличаются от рассчитанных не более, чем на $a \cdot 100\%$. Критерий Z_{ik} используем для количественной оценки адекватности алгоритма. Результаты сравнения

данных испытаний и расчетов приведены в табл.2.

Таблица 2
Сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными
(горение бензина АИ-93 внутри емкости)

К	X ₁	X ₂	Z _k (T)		Z _k (CO)		Z _k (CO ₂)		Z _k (H)
			U	L	U	L	U	L	
1	1	1	0.05	0.071	0.025	0.093	0.044	0.09	0.12
2	1	-1	0.09	0.083	0.031	0.055	0.038	0.071	0.15
3	-1	1	0.021	0.066	0.042	0.068	0.076	0.037	0.18
4	-1	-1	0.048	0.054	0.030	0.045	0.091	0.039	0.11
5	1	0	0.058	0.064	0.05	0.061	0.031	0.047	0.12
6	0	1	0.066	0.041	0.071	0.055	0.077	0.033	0.14
7	-1	0	0.041	0.091	0.022	0.045	0.021	0.043	0.11
8	0	-1	0.053	0.041	0.071	0.018	0.036	0.055	0.12

Примечание: точки 1,2,3,4 соответствуют полному факторному плану, 5,6,7,8- «звездные» точки. В качестве функции отклика выбиралось среднее арифметическое из всех значений, полученных в результате ν испытаний, выполненных в каждой точке факторного пространства.

Таблица 3
Сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными
(горение пролива бензина АИ-93)

К	X ₁	Z _k (T)		Z _k (CO)		Z _k (CO ₂)		Z _k (H)
		U	L	U	L	U	L	
1	-1	0.043	0.033	0.068	0.041	0.016	0.017	0.15
2	-0.5	0.056	0.065	0.045	0.059	0.056	0.063	0.12
3	0	0.077	0.060	0.087	0.069	0.019	0.046	0.09
4	0.5	0.021	0.069	0.066	0.018	0.069	0.053	0.08
5	1	0.065	0.054	0.045	0.049	0.051	0.091	0.14

Таблица 4
Сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными
(горение кресел из дерева)

К	X ₁	X ₂	Z _k (T)		Z _k (CO)		Z _k (CO ₂)		Z _k (H)
			U	L	U	L	U	L	
1	1	1	0.11	0.19	0.17	0.14	0.09	0.18	0.16
2	1	-1	0.16	0.13	0.17	0.11	0.13	0.14	0.1
3	-1	1	0.09	0.15	0.10	0.12	0.12	0.19	0.18
4	-1	-1	0.08	0.14	0.13	0.08	0.15	0.2	0.14

Выводы. Анализ данных таблиц 1- 4 позволяет сделать вывод о том, что алгоритм расчета дает достаточно точную информацию о процессе (по крайней мере, для тех характеристик, которые измерялись при испытаниях). В большинстве случаев погрешность не превышает 10-15%.

Несколько большее расхождение получено для высоты поверх-

ности раздела зон, что связано, возможно, с ошибкой измерений при визуальном определении высоты поверхности.

Проведенные экспериментальные исследования позволяют адекватно рассчитать основные характеристики развития пожара, образования и распространения дыма в изолированном помещении фиксированных размеров (теплодымокамере).

ЛИТЕРАТУРА

1. Елизаров А.В. Схема анализа развития пожара, образования и распространения дыма на промышленных объектах г. Харькова// Проблемы пожарной безопасности: Сб. научн. тр. Вып. 5.- Харьков: ХИПБ, 1999.- С. 91-93.

2. Елизаров А.В. Приближенный способ учета химического состава горючего вещества при расчете распространения частиц дыма и вредных продуктов горения в помещении во время пожара// Проблемы пожарной безопасности: Сб. научн. тр. Вып. 2.- Харьков: ХИПБ, 1997.- С. 36-39.

3. Особенности численной реализации алгоритма расчета развития пожара в помещении: материалы IV научно-практической конференции “Пожежна безпека - 99”, г. Черкассы, 1999. Сб. научн. тр. Ч.1. – С.190-192.

4. Удяньський М.М. Визначення часу заповнення димом безпечної зони приміщення з обмеженням повітрообміном при пожежі. / Удяньський М.М., Кутявін А.Г. // Проблемы пожарной безопасности: Сб. научн. тр. Вып. 29 - Харьков: НУГЗУ, 2011. - С. 161-165.

О.В. Єлізаров

Чисельна реалізація математичної моделі процесу розвитку пожежі у приміщенні

В статті розглянуті найбільш важливі питання чисельної реалізації математичної моделі процесу розвитку пожежі, утворення та розповсюдження диму у приміщенні

Ключові слова: висота поверхні розподілу зон, “холодна” и «гаряча» зона, факторний план, момент возгоряния, швидкість піролізу, ефективна площа горіння, питома теплота сгоряння

A.V. Elizarov

The numerical realization of the mathematical model of the process of the development of fire

In the accomodation in the article are examined most important questions the numerical realization of the mathematical model of the process of the development of fire, formation and propagation of smoke in the accommodation

The keywords: the height of the interface of zones, “cold” and “hot” zone, factor plan, the moment of fire, the speed of pyrolysis, effective burning area, specific heat of combustion

А.Я. Калиновский, канд. техн. наук, доцент, НУГЗУ

МОДЕЛЬ НАХОЖДЕНИЕ ПЕРИМЕТРОВ И ПЛОЩАДЕЙ ЛАНДШАФТНЫХ ПОЖАРОВ С УЧЕТОМ ФЛУКТУАЦИЙ ИХ ПАРАМЕТРОВ

(представлено д-ром техн. наук Басмановым А.Е.)

Показано, что величина периметра для простейшего пожара в форме эллипса возрастает линейно со временем. Наличие неоднородного и анизотропного распределения поля влажности приводит к заметному отличию от линейного закон возрастания. Получена аналитическая модель маршрута перемещения пожарного подразделения при локализации простого ландшафтного пожара, которая позволяет рассчитывать некоторые оптимальные параметры тактических решений по ликвидации пожара.

Ключевые слова: ландшафтные пожары, низовые лесные пожары, неоднородность распределения ЛГМ по влажности, локализация простого ландшафтного пожара.

Постановка проблемы. Одним из основных вопросов противопожарной охраны лесов является прогнозирование динамики распространения контура пожара по определенной территории, то есть нахождения зависимости формы и размеров контура от времени t . Знание параметров контура ландшафтного пожара позволяет сделать правильный выбор методов тушения пожара [1, 2]. Известно [1-4], что контур пожара может иметь самую разнообразную форму, поскольку скорость распространения пожара зависит от большого числа различных факторов.

Анализ последних исследований и публикаций. Согласно предложенной модели [4], контур пожара в произвольный момент времени t описывается непрерывной и однозначной функцией $R(V_w, \psi, \varphi, t)$ от переменной φ . Знание такой функции позволяет вычислить площадь пожара $S(V_w, \psi, t)$ и периметр кромки выгорания $P(V_w, \psi, t)$. В частности для годографа [4] в случае простого пожара и точечного очага загорания получаем

$$S(V_w, t) = \pi V_0^2 (1 + \alpha^2) t^2 = \pi (v_0 + kV_w)^2 \left(1 + \frac{V_w^2}{V_w^2 + c^2}\right) t^2, \quad (1)$$

а использование (3) приводит к выражению

$$S(V_w, t) = \frac{1}{2} \pi (A + E + BV_w^2)(C + DV_w) t^2. \quad (2)$$

Постановка задачи и ее решение. Контур выгорания при простом пожаре и при временах $t > T$ приобретает практически форму эллипса. Поэтому выражения (1) и (2) можно использовать для приближенного вычисления площадей. При этом ошибка вычислений уменьшается с увеличением времени и для меньших значений S_0 эта ошибка будет меньше. В частности, расчет площади при $t=60$ мин и $V_w=2$ м/с по точной и приближенным формулам (1) и (2) для $S_0=684$ м² дает ошибки не превышающие 12% и 8% соответственно, а для $S_0=162$ м² – 4% и 2%.

Для периметра контура пожара в тех же предположениях, что и для площадей, получаем выражения

$$P(V_w, t) = \frac{3}{2} \pi (v_0 + kV_w) \left(1 + \frac{2}{3} \frac{V_w^2}{V_w^2 + c^2}\right) t, \quad (3)$$

$$P(V_w, t) = \frac{1}{2} \pi (A + C + E + DV_w + BV_w^2) t, \quad (4)$$

а оценки для ошибок при вычислении периметра по точной формуле и приближенным (3), (4) формулам получаются приблизительно такими же, как в случае расчета площадей.

Результаты расчетов периметров P и площадей S представлены на Рис. 1. Начальный очаг загорания имеет форму окружности с радиусом $R=3$ м, а кривые 3 соответствуют контурам пожара при однородной влажности, которые в этом случае имеют вид эллипсов.

Из рис. 1 и результатов других наших расчетов можно сделать такие выводы. Величина периметра P для простейшего пожара в форме эллипса со временем t возрастает линейно. Наличие неоднородного и анизотропного распределения поля влажности приводит к заметному отлнчию от линейного закон возрастания.

При этом в обоих случаях происходит существенное искажение форм контуров. Площади пожара со временем возрастают по квадратичному закону. Величина площади в случае возрастания влажности увеличивается медленнее (кривая 1) по сравнению с однородным случаем (кривая 3) и быстрее (кривая 2) – в случае уменьшения влажности. В момент времени $t=60$ мин площадь контура 1 будет больше на 5%, а площадь контура 2 – меньше на 19% по сравнению с площадью контура простого пожара. Однако, благодаря тому, что в обоих случаях происходит заметное искажение формы контуров, длины периметров при

этом возрастают быстрее, чем в случае распространения пожара в однородной по влажности среде (см. кривые 1, 2 на рис. 1). В частности, для приведенных на рис. 1 контуров через время $t=60$ мин их длина при наличии увеличивающейся (уменьшающейся) влажности в 1,6 раза (в 2 раза) больше, чем в случае однородного распределения влажности.

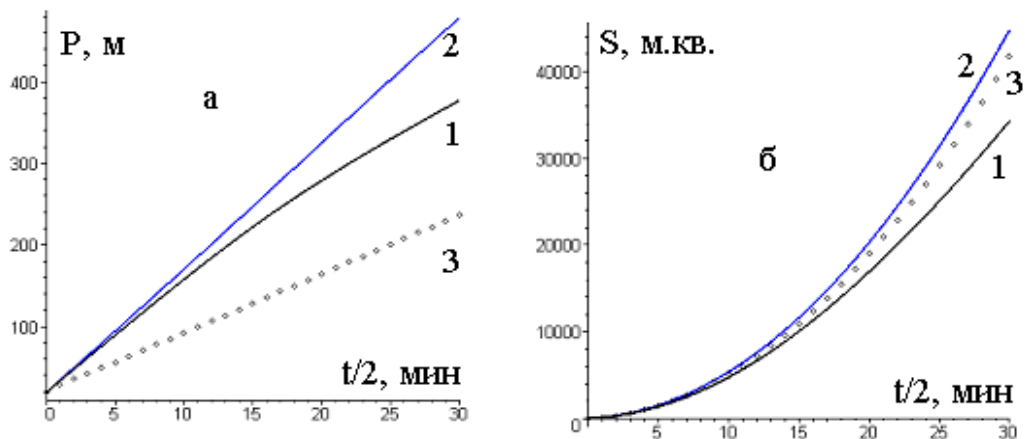


Рис. 1 – Графики зависимостей периметра и площади пожара от времени, которые соответствуют контурам с учетом неоднородности распределения влажности ЛГМ: а – $P(t)$, б – $S(t)$. Кривые 1 соответствуют возрастанию влажности, кривые 2 – убыванию, кривые 3 – расчет с однородной влажностью.

Рассмотрена модель локализации простого лесного пожара в предположении, что тушение пожара осуществляется силами одного подразделения, движение которого на протяжении всего времени тушения осуществляется вдоль расширяющегося со временем контура пожара с постоянной скоростью V_T . Если отправная точка начала тушения пожара определяется углом φ_1 , а тушение начинается в момент времени t_1 , то траектория движения сил пожаротушения будет описываться уравнением

$$U(\varphi, \varphi_1, t_1) = r(\varphi_1) + V(\varphi_1) \exp G(\varphi, \varphi_1), \quad (5)$$

$$G(\varphi, \varphi_1) = \int_{\varphi_1}^{\varphi} d\varphi \frac{V_T^2 - V^2 - V_\varphi^2}{VV_\varphi - \sqrt{V_T^2 V_\varphi^2 - (V_T^2 - V^2)^2}}.$$

При допущении о локализации пожара в случае полного обхода ($\varphi = \varphi_1 + 2\pi$) контура пожара, на основании выражения (5) получены примеры маршрутов перемещения сил и средств пожаротушения (Рис.2).

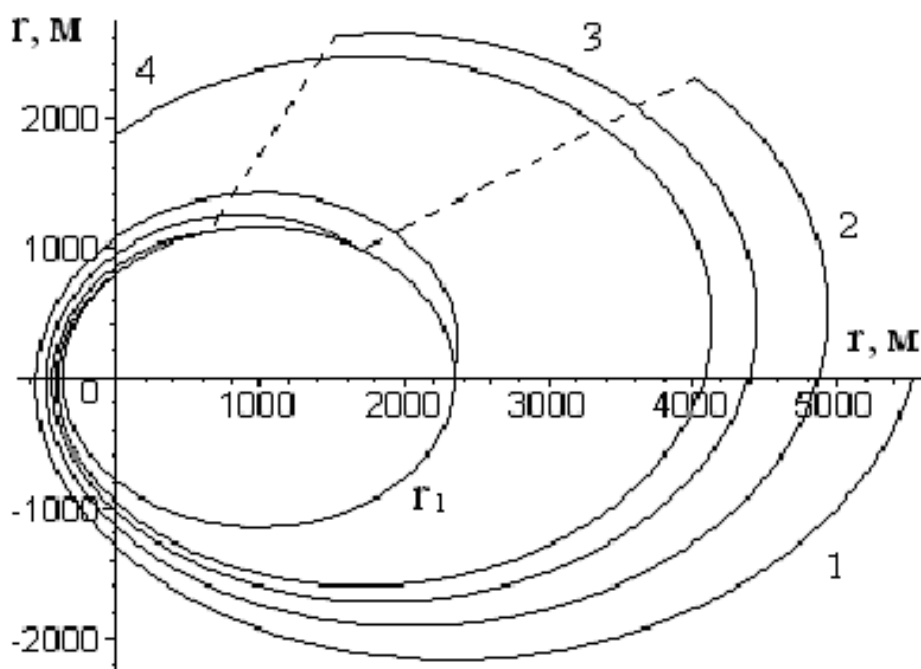


Рис. 2 – Траектория движения при начальном местоположении сил пожаротушения: 1- $\varphi_1 = 0$; 2- $\varphi_1 = \pi/6$; 3- $\varphi_1 = \pi/3$; 4 - $\varphi_1 = \pi/2$

Таким образом получена аналитическая модель маршрута перемещения пожарного подразделения при локализации простого ландшафтного пожара. Данная модель позволяет рассчитывать некоторые оптимальные параметры тактических решений по ликвидации пожара. Кроме того рассмотренный выше подход может быть обобщен на случай тушения лесного пожара несколькими подразделениями, которые начинают тушение в разных точках контура в разные или одинаковые моменты времени.

Для дополнительной проверки адекватности предложенной модели был проведен сравнительный анализ результатов наших расчетов контура пожара с модельными расчетами Кулешева А.А. Отметим, что приведенный в работе Кулешева А.А. контур выгорания получен в результате численного решения системы дифференциальных уравнений, относящихся к локальным моделям распространения контура (ЛМРК) и являющихся упрощенным вариантом модели Гришина А.М.

На Рис. 3 представлены контуры выгорания при низовом лесном пожаре при скорости ветра $V_w=2$ м/с, направление которого противоположно оси ОХ. Начальный очаг загорания имеет вид круга с центром в т. С(200,120) и радиусом 10 м. Кривая 1 представляет контур пожара на момент времени $T=70$ мин, рассчитанный при стандартных значениях параметров $v_0=0,0067$ м/с, $k=0,0075$ и $c=3,5$ м/с, без всяких попыток их подгонки. Кривая 2 результат расчетов, кото-

рые представлены в работе Кулешова А.А.

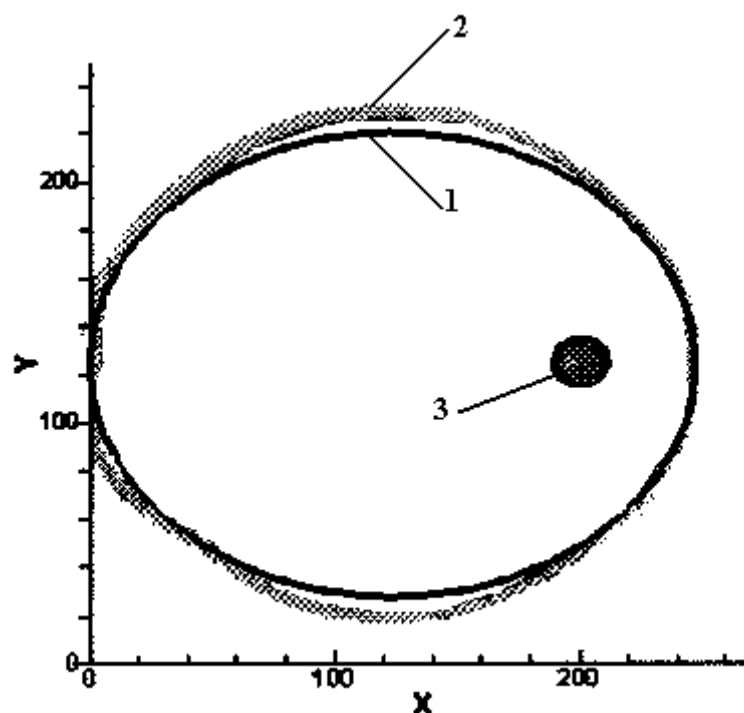


Рис. 3.—Контуры выгорания низового лесного пожара. Расстояния по осям в метрах. Кривые 1 — контур рассчитанный при помощи формулы (2), 2 — контур, приведенный в работе Кулешова А.А., 3 — очаг пожара.

Получено хорошее согласие результатов расчетов по модели Кулешова А.А. и с использованием предложенного годографа [4], особенно для фронтальной и тыловой кромок пожара. Различие для фланговых кромок пожара не превышает 9%. При этом время расчета кривой 1 не превышает 1 мин, что является существенным преимуществом предложенной нами модели для оперативного прогнозирования развития ландшафтных пожаров.

Выводы. Показано, что величина периметра P для простейшего пожара в форме эллипса возрастает линейно со временем t . Наличие неоднородного и анизотропного распределения поля влажности приводит к заметному отличию от линейного закон возрастания. Показано, что площади пожара со временем возрастают по квадратичному закону. Величина площади в случае возрастания влажности увеличивается медленнее по сравнению с однородным случаем и быстрее — в случае уменьшения влажности. Показано, что учет неоднородного и анизотропного распределения влажности приводит к существенному увеличению периметра пожара.

Получена аналитическая модель маршрута перемещения пожарного подразделения при локализации простого ландшафтного

пожара, которая позволяет рассчитывать некоторые оптимальные параметры тактических решений по ликвидации пожара.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доррер Г.А. Математические модели динамики лесных пожаров / Георгий Алексеевич Доррер. – М.: Лесная пром-сть, 1979. – 160 с.
2. Обнаружение очагов лесных пожаров и прогноз динамики их распространения / [Абрамов Ю. А., Комяк В. А., Комяк В. М., Рева Г. В. Росоха В. Е.]. – Харьков: АГЗ Украины, 2004. – 145с.
3. Валендик Э.Н. Борьба с крупными лесными пожарами. / Э.Н. Валендик // Новосибирск: Наука, 1990 – 193с.
4. Сознік О.П. Геометрична модель швидкості поширення ландшафтних пожеж і деякі її наслідки / О.П. Сознік, А.Я. Калиновський // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці – Таврійська державна агротехнічна академія - Вип. 4, т. 24. – Мелітополь: ТДТА, 2004. – с. 94-98.

А.Я. Калиновський

Модель знаходження периметр і площу ландшафтних пожеж з урахуванням флуктуації їх параметрів

Показано, що величина периметру для найпростішої пожежі у формі еліпса зростає лінійно з часом. Наявність неоднорідного і анізотропного розподілу поля вологості призводить до помітної відмінності від лінійного закону зростання. Отримано аналітичну модель маршруту переміщення пожежного підрозділу при локалізації простого ландшафтною пожежі, яка дозволяє розраховувати деякі оптимальні параметри тактичних рішень по ліквідації пожежі.

Ключові слова: ландшафтні пожежі, низові лісові пожежі, неоднорідність розподілу ЛПМ по вологості, локалізація простого ландшафтного пожежі.

A.Y. Kalinovskiy

Model finding perimeter and area of landscape fires, taking into account the fluctuations of their parameters

It is shown that the value for the perimeter of the fire in the simplest form of the ellipse increases linearly with time. The presence of anisotropic and inhomogeneous field distribution of moisture leads to noticeable differences from the linear law of growth. The analytical model route moving fire department in the localization of a simple landscape fires, which allows to calculate some optimal tactical decisions for fire suppression.

Keywords: landscape fires, grassroots forest fires, heterogeneous distribution of FCM on humidity, localization of a simple landscape fire.

*А.А. Киреев, канд. хим. наук, доцент, НУГЗУ,
К.В. Жерноклёв, канд. хим. наук, доцент, НУГЗУ*

ИССЛЕДОВАНИЕ ОГNETУШАЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИХ СОСТАВОВ НА МОДЕЛЬНЫХ ОЧАГАХ ПОЖАРОВ КЛАССА А ИЗ ДВП И ДСП

(представлено д-ром техн. наук Абрамовым Ю.А.)

Экспериментально исследовано огнетушащее действие гелеобразующих систем $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ и $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$, раствора $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ и воды на модельных очагах пожаров класса А из древесно-волоконистых и древесно-стружечных плит. Проведено сравнение полученных результатов с результатами для тушения модельных очагов из древесины.

Ключевые слова: огнетушащее действие, гелеобразующие системы, модельные очаги пожаров класса А, древесно-волоконистые и древесно-стружечные плиты.

Постановка проблемы. Одним из важнейших количественных показателей эффективности огнетушащего вещества (ОВ) является его показатель огнетушащей способности [1-2]. При тушении твёрдых горючих материалов этот показатель определяется массой огнетушащего вещества, приходящегося на единицу площади модельного очага пожара достаточной для уверенного тушения в нём в условиях стандартного эксперимента.

При тушении реальных пожаров огнетушащая эффективность веществ оказывается существенно меньше соответствующих теоретических значений. Так, для жидкофазных огнетушащих веществ, основным из которых является вода, огнетушащая эффективность на порядок меньше теоретических значений. Это обусловлено рядом факторов – потерями огнетушащего вещества за счёт стекания с вертикальных и наклонных поверхностей и эффектом образования между каплями воды и нагретой поверхностью паровой плёнки (эффекта Лейденфроста) [3]. Особенно велики потери при тушении гидрофобных веществ. К таким веществам относятся большинство пластмасс и материалов, в которых используются полимерные связующие. К последнему типу материалов относятся древесноволокнистые (ДВП) и древесностружечные плиты (ДСП).

Анализ последних исследований и публикаций. Для предотвращения потерь огнетушащих жидкофазных веществ были предложены огнетушащие и огнезащитные гелеобразующие средства (ГОС)

[4-5]. Они состоят из двух отдельно хранимых и отдельно–одновременно подаваемых составов. Один из составов представляет собой раствор гелеобразующего компонента – силиката щелочного металла. Второй состав – раствор веществ взаимодействующих с силикатом с образованием устойчивого нетекучего геля. Гель образует слой, который прочно закрепляется на вертикальных и наклонных поверхностях.

Как известно, основными механизмами прекращения горения являются: охлаждение зоны горения или горящего вещества, разбавление веществ, участвующих в процессе горения, изоляция горючих веществ от зоны горения, ингибирование химической реакции окисления. Гелеобразующие составы в той или иной степени обладают всеми механизмами прекращения горения. Так как основную часть таких составов представляет вода, то им присуще высокое охлаждающее действие. При испарении ГОС образуются пары воды, которые обеспечивают разбавляющее действие. После испарения воды из слоя геля образуется слой ксерогеля, который проявляет изолирующее действие. В состав гелеобразующей композиции возможно введение ингибиторов горения, что позволяет увеличить огнетушащее действие таких составов.

Ранее было установлено, что ГОС проявляют высокие огнетушащие свойства при тушении древесины. В настоящее время широко используются древесноволокнистые и древесностружечные плиты. Эти материалы широко используются в строительстве и при производстве мебели. В жилом секторе, административных зданиях и на предприятиях торговли они часто составляют основную часть пожарной нагрузки. Количественные экспериментальные данные по исследованию тушения ДВП и ДСП в литературе практически отсутствуют. Одновременно можно отметить, что влияние ГОС как средств оперативной защиты этих материалов отличается от соответствующего влияния на древесину [6]. Поэтому изучение их тушения является актуальной задачей.

Постановка задачи и её решение. Целью работы является экспериментальное определение показателя огнетушащей способности ГОС на модельных очагах пожаров из ДВП и ДСП.

В настоящее время нет общепринятых модельных очагов пожара для ДВП и ДСП. Поэтому в качестве лабораторного модельного очага пожара класса А был взят такой же штабель как и для древесины [7]. Он представлял собой штабель из 32 брусков размером $20 \times 20 \times 150$ мм, уложенных в 8 слоёв по 4 бруска в каждом. Расстояние между брусками в ряду 20 мм. Общая площадь брусков, составляющих модельный очаг, составляет $0,41 \text{ м}^2$. Открытая поверхность горения модельного очага (за вычитанием площадей перекрытия брусков)

составляет $0,32 \text{ м}^2$. Потобный модельный очаг пожара класса А широко используется при лабораторных определениях показателя огнетушащей способности различных огнетушащих средств [8-10].

Процедура разжигания модельного очага состояла в следующем. На весы устанавливалась теплоизолирующая подставка и определялась её масса. Затем на подставке собирался штабель из брусков древесины и проводилось взвешивание штабеля с подставкой. По разнице масс рассчитывалась масса штабеля. После чего под штабель вводился поддон диаметром 12 см, в котором поверх слоя воды наливалось 30 мл бензина А-76. Бензин поджигался. После его полного выгорания (~3 мин) поддон убирался с подставки. Время свободного горения штабеля выбиралось так, чтобы убыль массы штабеля за счёт горения составляла нормативное значение – 45 % [199]. Общее время разгорания модельного очага составляло ~5 мин.

Для исследования огнетушащей способности были выбраны следующие ГОС: $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(25\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(12\%)$ и $\text{CaCl}_2(42\%) + \text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$. Кроме того, было осуществлено тушение одним компонентом ГОС – раствором $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(25\%)$ и водой.

Тушение осуществлялось с помощью распылителей ОП-301. Расход ОВ регулировался изменением давления. Оптимальный расход огнетушащего вещества выбирался экспериментально при тушении водой из двух распылителей одновременно. Для воды он составил 600 г/мин. Для гелеобразующих составов был выбран такой же расход. Условия тушения выдерживались согласно ДСТУ 3675-98. Масса огнетушащего вещества ушедшего на тушение определялась путем взвешивания распылителей до начала тушения и после него. На рис. 1 (а, б, в, г) представлены последовательные результаты опытов по тушению модельного лабораторного очага пожара класса А. Численные значения показателя огнетушащей способности приведены в таблице 1.

Как видно из приведенных результатов наилучшую огнетушащую способность при тушении модельных очагов из ДВП и ДСП показали ГОС $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7 \text{ SiO}_2$ и однорастворная система $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$. Сравнение результатов тушения модельных очагов из ДСП и ДВП с соответствующими данными для очагов из древесины позволяет констатировать, что расходы ОВ на первые два вида очагов несколько меньше чем на очаги из древесины (280 г/м^2). Это связано с меньшей интенсивностью горения модельных очагов из ДВП и ДСП по сравнению с горением очагов из древесины. Общим в тушении рассмотренных видов модельных очагов является преимущество систем содержащих дигидрофосфат аммония.

Одновременно можно отметить, что результаты тушения всеми видами огнетушащих веществ очагов из ДСП и ДВП между собой

мало отличаются.



а



б



в



г

Рис.1 – а – горение модельного очага из ДВП; б – модельный очаг из ДВП, потушенный ГОС $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7 \text{SiO}_2$; в – горение модельного очага из ДВП; г – модельный очаг из ДСП, потушенный ГОС $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7 \text{SiO}_2$.

В ходе экспериментов была проведена оценка потерь огнетушащих веществ за счёт стекания с твёрдых поверхностей горючих материалов. Такие потери во всех случаях были незначительны, за исключением случая использования воды. Для неё такие потери составляли ~30%. В ходе опытов также было установлено, что при использовании всех систем, содержащих дигидрофосфат аммония, не наблюдалось повторное воспламенение. При тушении недостаточным количеством ГОС $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7 \text{SiO}_2$ повторное воспламенение наблюдалось, однако интенсивность горения была малой. При

тушении же недостаточным количеством воды (подавлении только пламенного горения) повторное воспламенение сопровождалось быстрым нарастанием интенсивности горения.

Таблица 1.
Расход ОБ на тушение модельных очагов из ДВП и ДСП.

Материал модельного очага	Показатель огнетушащей эффективности, г/м ²			
	H ₂ O+ПАВ	NH ₄ H ₂ PO ₄ + Na ₂ O·2,7SiO ₂ + ПАВ	CaCl ₂ (35%)+ Na ₂ O·2,7 SiO ₂ (28%)+ ПАВ	NH ₄ H ₂ PO ₄
ДВП	1020	260	800	250
ДСП	1050	270	820	270

Выводы. В целом можно заключить следующее:

- наилучшую огнетушащую способность при тушении модельных очагов из ДВП и ДСП показали ГОС NH₄H₂PO₄ + Na₂O·2,7 SiO₂ и однорастворная система NH₄H₂PO₄;
- огнетушащая способность всех исследованных огнетушащих веществ при тушении очагов пожара из ДСП и ДВП выше, чем при тушении очагов из древесины;
- результаты тушения всеми видами огнетушащих веществ очагов из ДСП и ДВП между собой мало отличаются.

ЛИТЕРАТУРА

1. ДСТУ 2272. Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять. – К.: Держпожівстандарт України, 2006. – 37 с.
2. Вогнегасні речовини: Посібник. / [А.В Антонов., В.О. Боровиков, В.П. Орел,] – К.: Пожінформтехніка, 2004. – 176 с.
3. Тарахно О.В. Фізико–хімічні основи використання води в пожежній справі / О.В. Тарахно, А.Я. Шаршанов. – Харків: АЦЗУ, 2004. – 252 с.
4. Пат. 60882 Україна, МПК⁷ А62С1/00. Спосіб гасіння пожежі та склад для його здійснення / Борисов П.Ф., Росоха В.О., Абрамов Ю.О., Кіреєв О.О., Бабенко О.В. Заявник и володар патенту Академія Пожежної Безпеки України.-№ 2003032600; заявл. 25.03.2003; опубл. 15.10.2003, бюл. № 10.
5. Патент 2264242 Российская федерация. МПК⁷ А62С, 5/033.Способ тушения пожара и состав для его осуществления Борисов П.Ф., Росоха В.Е., Абрамом Ю.А., Киреев А.А. Заявитель и патентообладатель Академия пожарной безопасности Украины №2003237256/12; заявл. 23.12.2003; опубл. 20.11.2005, Бюл. №32.
6. Дослідження вогнезахисної дії гелевих плівок на матеріалах,

розповсюджених у житловому секторі / [Савченко О.В., Кіреєв О.О., Альбоций В.М. [и др.] // Проблемы пожарной безопасности. – 2006. – Вып. 19. – С. 127 – 131.

7. Киреев А.А. Исследование огнетушащего действия гелеобразующих огнетушащих составов / А.А. Киреев, С.Н. Бондаренко // Проблемы пожарной безопасности. – 2008. – Вып. 24. – С.44-49.

8. Шкоруп А.И. Особенности тушения очагов пожаров классов А и В в лабораторных условиях / Шкоруп А.И., Степаненко С.Г. Волошаенко А.И. // Средства порошкового пожаротушения: [сб. научн. трудов ВНИИПО]. – 1992. – С. 119-125.

9. Жартовский В. Дослідження процесів пожежегасіння комбінаціями деяких вогнегасних речовин / Жартовский В, Цапенко А, Стеценко В. // Пожежна безпека. – 2003. – № 7 (46). – С. 28-29.

10. Кустов М.В. Повышение огнетушащей эффективности истинных растворов с помощью добавок электролитов / М.В. Кустов, В.Д. Калугин // Проблемы пожарной безопасности. – 2008. – Вып. 24. – С. 38-43.

О.О. Кіреєв, К.В. Жернокльов

Дослідження вогнегасної дії гелеутворюючих складів на модельних вогнищах пожеж класу А з ДСП та ДВП.

Експериментально досліджена вогнегасяча дія гелеутворюючих вогнегасних систем $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(25\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(12\%)$ і $\text{CaCl}_2(42\%) + \text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$., розчину $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(25\%)+$ і води на модельних вогнищах пожеж класу А з ДСП та ДВП. Найкращі результати отримані під час використання систем, що містить розчин $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$.

Ключові слова: вогнегасяча дія, гелеутворюючі системи, модельні вогнища пожежі класу А, ДСП, ДВП.

A.A. Kireev, K.V. Zhernokljov

Investigation the fire extinguishment properties of gelforming composition on model seat of fire by class A with chipboard and fibreboard.

The fire extinguishment properties of gelforming composition $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(25\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(12\%)$ and $\text{CaCl}_2(42\%) + \text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$, solution of $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(25\%)+$ and water on model seat of fire by class A with chipboard and fibreboard The best result were demonstrated one component of gelforming composition – with solution of $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$.

Key terms: extinguishment properties, gelforming composition, model seat of fire by class A, chipboard and fibreboard.

*А.А. Киреев, канд. хим. наук, доцент, НУГЗУ,
А.Н. Коленов, старший преподаватель, НУГЗУ*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕНООБРАЗОВАНИЯ И КИНЕТИКИ РАЗРУШЕНИЯ ПЕН ПРИ ПОДСЛОЙНОМ СЛИВЕ

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

Исследовано пенообразование и кинетика разрушения пен, полученных при подслоном сливе пенообразующих систем. Установлено влияние применяемого пенообразователя на скорость разрушения пены. Исследования проведены для пенообразующей системы $Al_2(SO_4)_3 + (NH_4)_2CO_3$ в присутствии пенообразователей ТЭАС, ПО-6 ОСТ, Морпен, Tridol 6-10 С АFFF.

Ключевые слова: стойкость пены, пенообразующие системы, пенообразователи

Постановка проблемы. Существует ряд проблем при использовании пенных средств пожаротушения. Существенными недостатками существующих водопенных огнетушащих средств являются затруднение их подачи на большие расстояния и существенное разрушение, при прохождении ими зоны горения. В этом случае пены частично уносятся конвективными потоками, частично разрушаются под действием высоких температур и интенсивного теплового излучения. Для устранения негативного влияния этих факторов на пены используют метод подслоного тушения [1].

Для осуществления подслоного тушения резервуары с горючими жидкостями оборудуют стационарными установками пенного пожаротушения. Это значительно усложняет конструкцию резервуара и препятствует широкому внедрению метода подслоного тушения.

Анализ последних достижений и публикаций. Ранее был предложен метод тушения пен с использованием пенообразующих систем (ПОС) [2-4]. Он заключается в отдельно-одновременной подаче на поверхность горящего вещества, в распыленном виде, двух компонентов. Компоненты подобраны так, что при их смешении выделяется углекислый газ. При наличии в составе растворов пенообразователя, на поверхности жидкости образуется слой пены.

Как показали предварительные исследования, при подаче жидких компонентов ПОС в виде компактных струй, жидкие компоненты тонут и процесс пенообразования происходит на дне сосуда. При этом пена всплывает на поверхность горючей жидкости. При таком способе подачи существенно изменяются характеристики пенообразования и кинетика процесса разрушения пен. Такой метод подачи называется подслоным сливом. Характеристики процессов происходящих при подслоном сливе до настоящего времени не были изучены.

Постановка задачи и ее решение. Задачей работы является ис-

следование процесса образования и разрушения пен, полученных при помощи подслоного слива пенообразующих систем. Исследование проводилось с составом $(Al_2(SO_4)_3 + (NH_4)_2CO_3)$, который показал хорошие результаты при поверхностном сливе. Данная система будет характерна тем, что в ходе химической реакции выделяется газ – CO_2 , который не поддерживает горение. Для получения пен используются пенообразователи: ТЭАС, ПО-6 ОСТ, Морпен, Tridol 6-10 C AFFF.

Исследование проводилось в соответствии с методиками изложенными в [5]. В работе использовались насыщенные растворы солей. При помощи мерных цилиндров отбиралось по 5 мл обоих компонентов ПОС. В мерный цилиндр, емкостью 250 мл, заливалось 50 мл бензина. Отобранные компоненты подавались раздельно-одновременно при помощи пипеток. Растворы достигали дна цилиндра, где взаимодействовали между собой. В результате образовывалась пена, которая всплывала на поверхность бензина. При этом фиксировался объем пены через установленные интервалы. На основании этого рассчитывалась кратность пены по уравнению:

$$K = \frac{V_{\text{пены}}}{V_1 + V_2}$$

где: $V_{\text{пены}}$ – объем полученной пены; V_1 – объем раствора ПОС № 1; V_2 – объем раствора ПОС № 2.

Показания фиксировались до момента разрушения объема пены на 90 %.

В ходе проведенного эксперимента установлено, что при использовании системы $Al_2(SO_4)_3 + (NH_4)_2CO_3$, с добавлением пенообразователя Морпен (рис. 1), наблюдается интенсивное пенообразование в течении 120 сек, с выделением мелких пузырьков газа. Кратность равна 14. В течении 60 секунд кратность пены опускается до 13 и постепенно разрушается. Разрушение пены происходит за счет разрушения мелких пузырьков пены, с образованием больших (200 сек) и их дальнейшего разрушения.

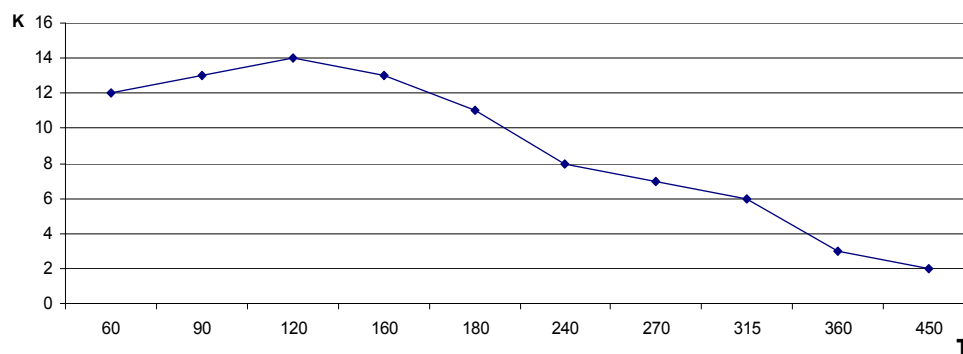


Рис. 1 – Зависимость кратности пены от времени (при использовании пенообразователя Морпен)

Для ПОС $Al_2(SO_4)_3 + (NH_4)_2CO_3$ + пенообразователь ТЭАС (рис. 2), максимальная кратность пены равна 13, достигается через 60 сек, после сливания компонентов. После чего пена начинает быстро разрушаться с образованием осадка в виде хлопьев пены, которые оседают на дно цилиндра. По окончании наблюдения (разрушение 90% объема образовавшейся пены), слой осадка на дне мерного цилиндра равен 10 мл.

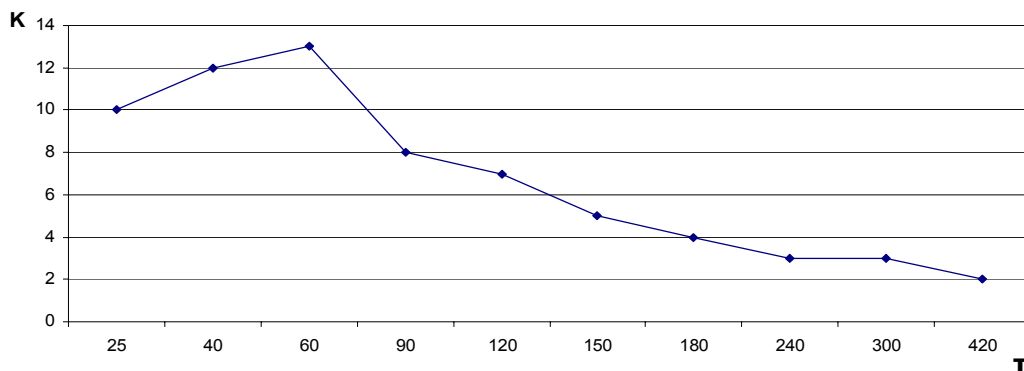


Рис. 2 – Зависимость кратности пены от времени (при использовании пенообразователе ТЭАС)

Для системы $Al_2(SO_4)_3 + (NH_4)_2CO_3$, с добавлением пенообразователя ПО-6 ОСТ (рис. 3), происходит интенсивное пенообразование в течении 40 сек. Образуются большие пузырьки пены, которые приводят к скачкообразному росту [4], а так же ее быстрому разрушению, с образованием осадка. По окончании наблюдения, слой осадка на дне мерного цилиндра равен 10 мл.

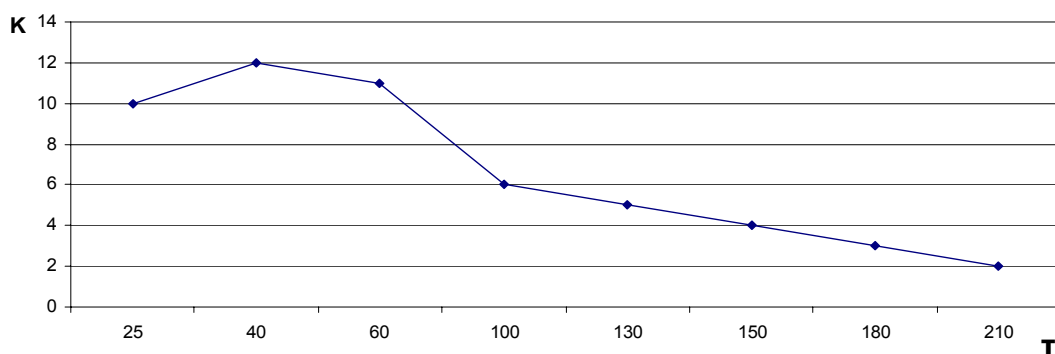


Рис. 3 – Зависимость кратности пены от времени (при использовании пенообразователе ПО-6 ОСТ)

При использовании системы $Al_2(SO_4)_3 + (NH_4)_2CO_3$ + пенообразователь Tridol 6-10 С АFFF (рис. 4), происходит интенсивное пенообразование в течении 60 сек, при которых достигается максимальная кратность пены равная – 8. Для процесса пенообразования характерно выделение крупных пузырьков газа, за счет чего происходит быстрое разрушение пены до кратности равной 6, в течении 90 сек.

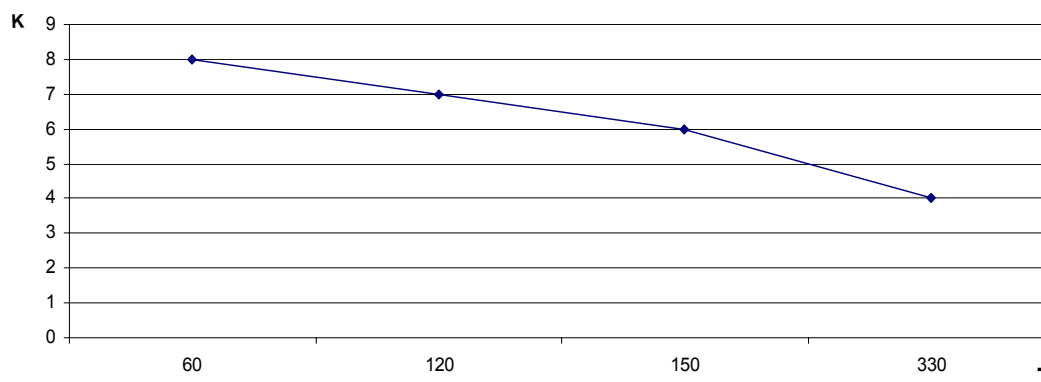


Рис. 4 – кратности пены от времени (при использовании пенообразователя Tridol 6-10 C AFFF)

В ходе проведения эксперимента было установлено, что результаты параллельных опытов могут отличаться на (20-25) % [3]. Сравнительные характеристики образования пены при разных способах слива показали, что при соотношении объемов пенообразующей системы и горючего вещества, как 1:5, кратность пены в начале пенообразования практически не отличается, по истечению 3-х минут (рис. 5) наблюдается более интенсивное разрушение пены, поданной подслонно.

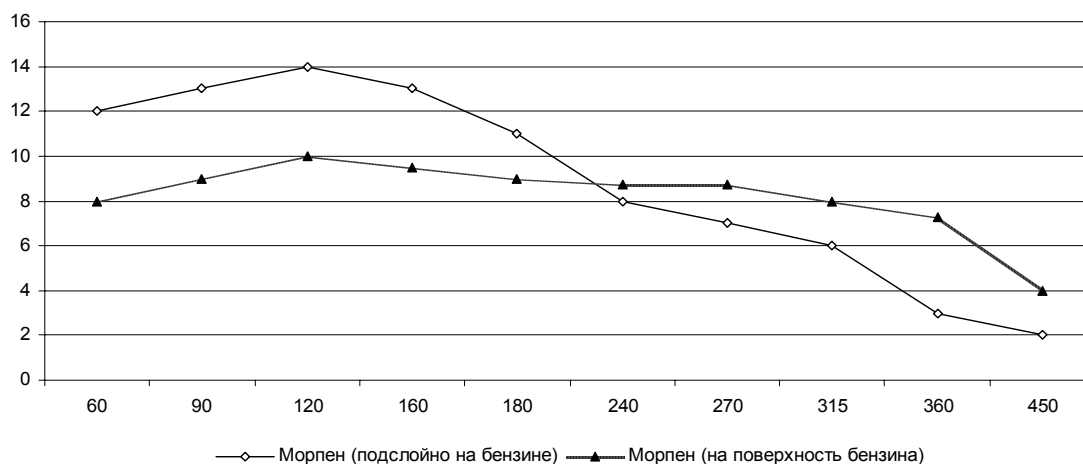


Рис. 5 – Зависимость кратности пены от времени для пенообразующей системы $Al_2(SO_4)_3 + (NH_4)_2CO_3$, с добавлением пенообразователя Морпен, при подаче подслонно и на поверхность бензина

Разрушение образовавшегося объема на 90%, для этой системы наступает через 3–7 минут. Это обусловлено образованием рыхлых осадков $Al(OH)_3$, которые опускаются в нижнюю часть цилиндра, и удерживают вокруг себя некоторую часть пены.

С учётом предыдущих работ, проведение анализа результатов по различным ПОС позволяет сделать ряд выводов.

Выводы. При подслонном сливе компонентов ПОС происходит

интенсивное пенообразование. В дальнейшем происходит постепенное разрушение пены. Наибольшую кратность и стойкость пены позволяют получить пенообразователи Морпен и ТЭАС. Зависимость объема пены от времени для пенообразующей системы $Al_2(SO_4)_3 + (NH_4)_2CO_3$, в присутствии пенообразователя Морпен, при подаче подслоино и на поверхность бензина, при соотношении объема пенообразующей системы и горючего вещества, не более как 1:5, практически не отличается кратностью пены в начале пенообразования, по истечению 3-й минуты наблюдается более интенсивное разрушение пены, поданной подслоино.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шараварников А.С. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. / Шараварников А.С., Молчанов В.П., Воевода С.С., Шараварников С.А. – М.: Калан, 2002.– 448 с.
2. Киреев А.А. Пути повышения эффективности пенного пожаротушения / Киреев А.А., Колонов А.Н. // Проблемы пожарной безопасности.– 2008.– вып.24.– С.50-53.
3. Киреев А.А. Исследование пенообразования в пенообразующих системах. / Киреев А.А., Колонов А.Н. // Проблемы пожарной безопасности.– 2009.– вып.25.– С.59-64.
4. Киреев А.А. Исследование кинетики разрушения пен. / Киреев А.А., Колонов А.Н. // Проблемы пожарной безопасности.– 2011.– вып.29.– С.66-69.
5. Айвазов Б.В. Практикум по химии поверхностных явлений и адсорбции / Б.В. Айвазов.– М.: Высш. школа, 1973.– 208 с.

О.О. Киреев, О.М. Колонов

Дослідження піноутворення та кінетики руйнування пін при підшаровому зливі.

Досліджено піноутворення та кінетику руйнування пін, отриманих шляхом підшарового зливу піноутворюючих систем. Встановлено вплив застосовуємого піноутворювача на швидкість руйнування піни. Дослідження проведені для піноутворюючої системи $Al_2(SO_4)_3 + (NH_4)_2CO_3$ з додаванням піноутворювачів ТЭАС, ПО-6 ОСТ, Морпен, Tridol 6-10 C AFFF.

Ключові слова: стійкість пін, піноутворюючі системи, піноутворювачі.

A.A. Kireev, A.N. Kolenov

Study the kinetics of foam and foam at the destruction of subsurface discharge.

Investigated the foaming and kinetics of the destruction of foams produced by subsurface discharge of foam systems. The effect of applying the ICDO-foaming agent to speed the destruction of the foam. Investigations were carried out for foaming systems $Al_2(SO_4)_3 + (NH_4)_2CO_3$ using as blowing agent ТЭАС, ПО-6 ОСТ, Морпен, Tridol 6-10 C AFFF.

Key terms: foamforming system, foamer, stability of foams.

УДК 614.841:536.46

*О.В. Кириченко, к. т. н., доцент, АПБ ім. Героїв Чорнобиля,
В.Д. Акіншин, д. ф.-м. н., професор, АПБ ім. Героїв Чорнобиля,
В.А. Ващенко, д. т. н., професор, зав. кафедри, ЧДТУ,
В.В. Цибулін, викладач, ЧДТУ*

ТЕРМОДИНАМІЧНІ МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОЖЕЖО-НЕБЕЗПЕЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИСОКОМЕТАЛІЗОВАНИХ ПІРОТЕХНІЧНИХ НІТРАТНО-МЕТАЛІЧНИХ СУМІШЕЙ В УМОВАХ ЗОВНІШНІХ ТЕРМОВПЛИВІВ

Удосконалено метод термодинамічного розрахунку температури та складу продуктів згорання високометалізованих нітратно-металічних сумішей, які визначають їх пожежонебезпечні властивості в умовах спалахування та руйнування металічних корпусів виробів. Представлено результати термодинамічних розрахунків температури продуктів згорання сумішей металічних пальних з нітратом натрію та добавками органічних речовин, а також вмісту в них високотемпературного конденсату для коефіцієнта надлишку окислювача $\alpha = 0,1...4,0$, величини добавки органічної речовини $\varepsilon = 0...20\%$ та зовнішніх тисків $P = 10^5...10^7$ Па.

Ключові слова: високометалізовані нітратно-металічні суміші, термодинамічні розрахунки

Постановка проблеми. Метою даної роботи є розвиток методів термодинамічного розрахунку температури продуктів згорання високометалізованих піротехнічних нітратно-металічних сумішей та вмісту в них високотемпературного конденсату, які визначають їх пожежонебезпечні властивості в умовах зовнішніх термовпливів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У теперішній час піротехнічні вироби на основі нітратно-металічних сумішей (НМС), що являють собою ущільнені суміші з порошків металічних пальних (алюмінію, магнію, титана, цирконію та ін.) та окислювачів (нітратів лужних та лужноземельних металів: NaNO_3 , KNO_3 , $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ та ін.) з добавками органічних речовин (парафіну, стеарину, нафталіну, антрацену та ін.), широко використовуються у різних галузях народного господарства та військової техніки (суміші для феєрверків, освітлювальні, сигнальні та трасуючі засоби, піротехнічні ГЧ-випромінювачі, елементи ракетно-космічної техніки тощо) [1 – 9]. При вимушеному спрацьовуванні вказаних виробів в умовах різних зовнішніх термовпливів (наприклад, в умовах пожежі у складських приміщеннях, де вони зберігаються або при транспортуванні в умовах інтенсивного конвективного нагріву, а також при запусках в умовах пострілу та польоту коли вироби піддаються короткочасним ударним тепловим впливам зовнішнього надзвукового потоку повітря) відбувається руйнування їх металічних корпусів, що супроводжується проявом

різних чинників пожежі (полум'я, або високотемпературний струмінь продуктів згорання, дисперговані розжарені частини зарядів сумішей, іскри тощо), які можуть призводити до руйнування навколишніх об'єктів, людських жертв та завдання значних матеріальних збитків (рис. 1). Статистичні дані по Україні за 2005...2010 р.р. свідчать про те, що сталося 723 пожежі та вибухи від передчасного спрацьовування піротехнічних виробів, якими спричинено руйнування різних об'єктів, знищення матеріальних цінностей (прямі збитки склали 5,8 млн. грн., бічні збитки – 10,7 млн. грн.), загинуло 13 чол., травмовано – 58. Наведені приклади вказують на те, що не вирішено ряд питань забезпечення пожежовибухобезпеки на об'єктах з наявністю піротехнічних виробів. Головна причина такого стану полягає в тому, що нормативна база вимог пожежної безпеки неповною мірою забезпечує контроль якості таких виробів під час їх зберігання, транспортування та при пострілах з пускових установок, недостатньо уваги приділяється теоретичному та експериментальному дослідженню основних характеристик процесів спалахування та подальшого розвитку горіння піротехнічних сумішей при різних зовнішніх термовпливах, які визначають пожежонебезпечні властивості в цих умовах (наприклад, температуру продуктів згорання сумішей та вміст у них високотемпературного конденсату (конденсованих продуктів згорання), швидкості розповсюдження фронту полум'я по зразках сумішей, граничних вибухонебезпечних режимів горіння сумішей в залежності від різних чинників тощо). В даній роботі представлено результати досліджень тільки температури продуктів згорання та вмісту в них високотемпературного конденсату для розглядуваного класу піротехнічних сумішей.

Високі температури горіння різних металізованих конденсованих систем та хімічна активність продуктів згорання утруднюють безпосереднє вимірювання вказаних вище характеристик. Тому для прогнозування можливих діапазонів зміни температури та складу продуктів згорання різних систем з вмістом у них металічних паливних (наприклад, твердих металізованих ракетних палив тощо) широко використовувалися методи термодинамічних розрахунків [3, 4, 6 – 9, 13 – 16]. Однак безпосереднє застосування вказаних розрахункових методів до розглядуваних НМС натрапляє на певні складнощі, які в першу чергу, пов'язані з тим, що піротехнічні суміші відрізняються від твердих палив високим вмістом металічного пального (до 60...70 %), що призводить до суттєвої фазової нерівноважності продуктів згорання. При цьому результати розрахунків або не відповідають дійсності або є вельми приблизними (відносна похибка може досягати 30...40 %). Тому в даній роботі для підвищення точності прогнозування розглядуваних пожежонебезпечних властивостей НМС існуючі методи термодинамічних розрахунків були удосконалені шляхом врахування фазової нерівноважності продуктів згорання.

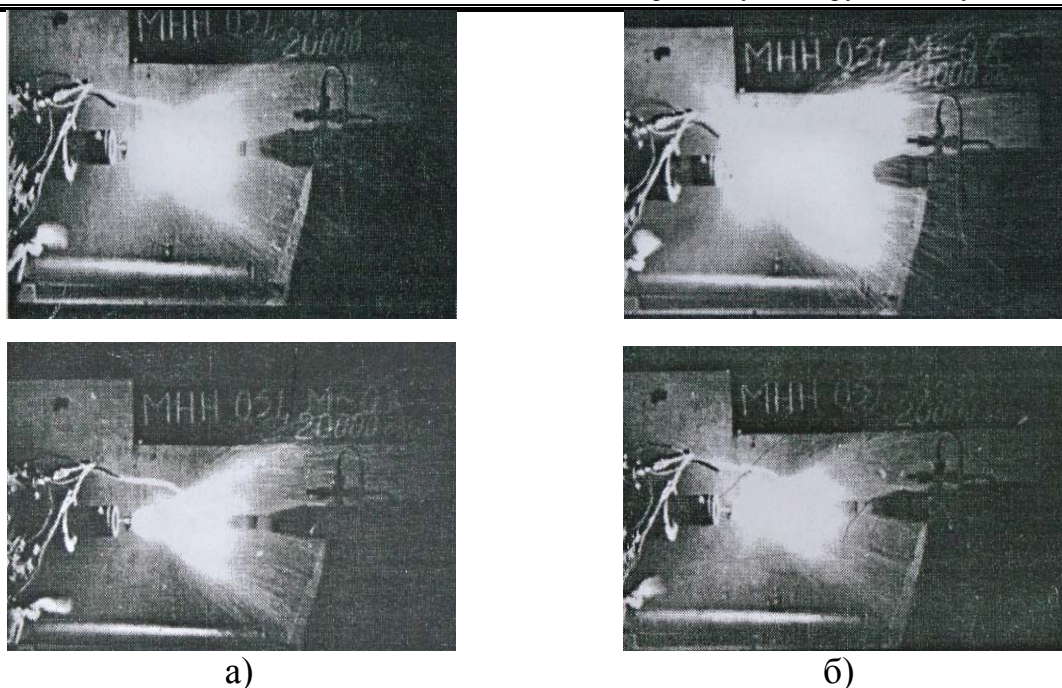


Рис. 1 – Кінокадри зйомки різних випадків вимушеного спрацьовування піротехнічних виробів на основі розглядуваних НМС при зовнішніх теплових впливах (зйомка здійснювалася за допомогою кінокамери “Конвас-автомат” зі швидкістю 30 кадр/с): а) – НМС з надлишком металічного пального (коефіцієнт надлишку окислювача $\alpha < 1$); б) – НМС з надлишком окислювача (коефіцієнт надлишку окислювача $\alpha > 1$).

Постановка завдання та його вирішення. Нижче спочатку розглядаються термодинамічні методи розрахунків без врахування фазової нерівноважності продуктів згорання сумішей, далі ці методи уточнюються шляхом врахування фазової нерівноважності, а потім проводяться розрахунки температури та складу продуктів згорання НМС, які вибірково зіставляються з результатами їх вимірювання за допомогою спеціально розроблених термопар для вимірювання температури горіння та датчиків для відбору з полум'я конденсованих продуктів.

1. Методи термодинамічного розрахунку без врахування фазової нерівноважності. Продукти згорання НМС в загальному випадку являють собою багатокомпонентну гетерогенну суміш газів та конденсованих (рідких або твердих) речовин. Гази в продуктах згорання частково дисоційовані та іонізовані. Для визначення складу гетерогенної суміші необхідно знати механізм та кінетику усіх реакцій, що протікають. Однак, при достатньо високих температурах, коли швидкості прямої та зворотної реакції великі та однакові, суміш практично знаходиться в хімічній рівновазі, її склад може бути визначений з термодинамічного розрахунку.

Термодинамічний розрахунок температури і складу продуктів згорання виконується при наступних допущеннях: всі гази ідеальні і їх термодинамічні функції не залежать від тиску; між газоподібними і конденсованими компонентами існує фазова рівновага; конденсовані продукти не утворюють між собою розчинів і сплавів; об'єм кон-

денсованих речовин в продуктах згорання знехтувано малий.

Вихідний склад суміші звичайно задається у вигляді умовної формули

$$E_{b_1}^{(1)} E_{b_2}^{(2)} E_{b_3}^{(3)} \dots E_{b_m}^{(m)}, \quad (1)$$

де $E^{(i)}$ – символ i -го хімічного елемента; b_i – кількість атомів i -го хімічного елемента в умовній формулі суміші.

В загальному випадку система рівнянь, що визначає рівноважну температуру і склад продуктів згорання повинна включати рівняння матеріального балансу, рівняння електронейтральності, рівняння закону діючих мас, рівняння закону Дальтона і рівняння закону збереження енергії. Запишемо ці рівняння для гетерогенної суміші продуктів згорання, склад якої шукаємо в мольних частках X_j :

$X_j = \frac{M_j}{M}$, де M_j – число молів компонента j в продуктах згорання;

M – загальне число молів продуктів згорання.

Рівняння матеріального балансу:

$$M \sum_i (X_i + X_{ik}) + M \sum_j a_{ij} (X_j + X_{jk}) - b_i = 0, \quad (2)$$

де a_{ij} – кількість атомів i -го хімічного елемента в одному молі речовини j ; X_i , X_{ik} – мольна частка незалежного (тут – атомарного) компоненту i в газовій та конденсованій фазі продуктів згорання відповідно; X_j , X_{jk} – мольна частка компонента j в газовій та конденсованій фазі продуктів згорання відповідно.

Рівняння електронейтральності:

$$\sum_i a_{ei} X_i + \sum_j a_{ej} X_j = 0, \quad (3)$$

де a_{ei} , a_{ej} – кратності іонізації.

Рівняння закону діючих мас:

для газоподібних компонентів

$$X_j = \frac{A \sum_j a_{ij} - 1}{K_j(T) \cdot \prod_i X_i^{a_{ij}}}; \quad (4)$$

для газоподібних компонентів, що мають конденсовану фазу

$$X_i = A^{-1} \cdot P_i^{\text{насич}}(T), \quad (5)$$

$$X_j = A^{-1} \cdot P_j^{\text{насич}}(T), \quad (6)$$

де $A = \frac{P}{1 - \sum_i X_{ik} - \sum_j X_{jk}}$; P – загальний тиск; $K_j(T)$ – константа рів-

новаги реакції утворення компонентів j з атомарних компонентів i , що є функцією температури T .

Рівняння закону Дальтона:

$$\sum_i (X_i + X_{ик}) + \sum_j (X_j + X_{jk}) - 1 = 0. \quad (7)$$

Рівняння закону збереження енергії:

$$\sum_i [X_i I_i(T) + X_{ик} I_{ик}(T)] + \sum_j [X_j I_j(T) + X_{jk} I_{jk}(T)] - I_T = 0, \quad (8)$$

де I_T – повний тепловміст вихідної суміші при нормальній температурі; $I_i(T)$, $I_{ик}(T)$, $I_j(T)$, $I_{jk}(T)$ – повний тепловміст відповідного компонента в продуктах згорання при рівноважній температурі горіння.

Величини, що входять у рівняння (4) – (7) $K(T)$, $P^{\text{насих}}(T)$, $I(T)$ та $S(T)$ характеризують термодинамічні властивості речовин – продуктів згорання. В існуючій довідковій літературі [10 – 12] ці величини представлені залежно від температури в табличному вигляді. Проте при розрахунках на ЕОМ зручніше користуватися не табульованими значеннями термодинамічних функцій, а апроксимуючими формулами. У відомих довідниках [10] такі формули наведені, проте, вони вельми громіздкі (складаються з 11...15 членів) і незручні для чисельних розрахунків.

Спеціально проведені дослідження [4, 9] показали, що таблиці термодинамічних функцій можуть бути успішно апроксимовані більш “короткими” поліномами вигляду

$$\Phi^*(T) = f_1 + f_2 \cdot \ln x + f_3 \cdot x^{-2} + f_4 \cdot x^{-1} + f_5 \cdot x + f_6 \cdot x^2 + f_7 \cdot x^3, \quad (9)$$

де $x = T \cdot 10^{-4}$.

Поліном цього вигляду виявився зручним і для апроксимації термодинамічних функцій конденсованих речовин, теплоємність яких звичайно задається виразом вигляду $C_p = a + b \cdot T + c \cdot T^2$ [10].

Переходячи від C_p до Φ^* , отримаємо той же самий вираз (9), в якому $f_6 = f_7 = 0$. Таким чином, досягається спільність обчислення термодинамічних функцій при розрахунках на ЕОМ.

Через Φ^* , як відомо, можуть бути виражені всі, необхідні для розв’язання системи рівнянь (2) – (8), термодинамічні функції [10]:

$$R \cdot \ln K(T) = \Delta \Phi^* - \frac{\Delta H}{T}, \quad (10)$$

$$R \cdot \ln P^{\text{насих}}(T) = \Delta \Phi^* - \frac{\Delta H^0}{T}, \quad (11)$$

$$I(T) = \Delta H_{298} - (H_{298}^0 - H_0^0) + \frac{\partial \Phi^*}{\partial T} T^2, \quad (12)$$

$$S(T) = \Phi^* + \frac{\partial \Phi^*}{\partial T} T. \quad (13)$$

Тут же відзначимо, що поліноми вигляду (9) виявилися зручними і для апроксимації інтегралів зіткнень $\Omega^{(1,3)*}$ [10], необхідних для розрахунку теплофізичних властивостей продуктів згорання:

$$\left(\Omega^{(1,3)*}\right)^{-1} = f_1 + f_2 \cdot x^{-2} + f_3 \cdot x^{-1} + f_4 \cdot x + f_5 \cdot x^2 + f_6 \cdot x^2, \quad (14)$$

де $x = \ln T^* + a$.

Таким чином, для розрахунку температури та складу продуктів згорання суміші без врахування їх фазової нерівноважності маємо систему нелінійних алгебраїчних рівнянь (2) – (8), в якій використовуються вирази (9) – (14).

2. Методи термодинамічного розрахунку з врахуванням фазової нерівноважності. Як вже відмічалось, термодинамічний розрахунок достатньо строго визначає склад продуктів високотемпературної реакції, наприклад, при умові що кінетика процесу не має суттєвого впливу. Однак в гетерогенних сумішах з великим вмістом металу, навіть в умовах високих температур, кінетичними процесами, які зв'язані з конденсованими продуктами, вже не можна знехтувати. При цьому при горінні сумішей найбільш повільними кінетичними процесами є випаровування та горіння крапель та частинок металу. Характерна особливість нерівноважної гетерогенної системи – різний рівень температур у різних компонентів. Температура краплі, що випаровується, залежить від тиску і температури навколишнього середовища і завжди нижче за цю температуру. Температура частинки металу, що горить, також відрізняється від температури навколишнього середовища. Температури газоподібних компонентів, у тому числі парів металу, дрібнодисперсних окисних і сажових частинок (діаметром декілька мікронів і менше) можна вважати однаковими. При заданому ступеню випаровування і окислення металу це відповідає “квазістаціонарному” складу продуктів згорання в системі газ – дрібнодисперсні конденсовані частинки. Саме ця обставина і дозволяє проводити термодинамічний розрахунок гетерогенних систем з врахуванням фазової нерівноважності.

Розглянемо як приклад перезбагачену горючими компонентами систему, в склад якої входить метал, вуглець, водень і кисень. Вміст елементів в 1 кг початкової суміші у грам-атомах (г-ат) позначимо відповідно (Me), (C), (H) і (O). Очевидно, що метал в кількості [(Me) – (O)] г-ат залишиться неокисленим і випаровуватиметься. Визначимо ступінь випаровування металу φ співвідношенням

$$\varphi = 1 - \frac{(Me^*)}{[(Me) - (O)]}, \quad (15)$$

де (Me^*) – кількість металу, що не випарувався, в 1 кг початкової суміші. Отже, для заданого ступеня випаровування магнію φ можна,

скориставшись співвідношенням (15), встановити в початковому складі кількість металу, що випарувався:

$$(Me^*) = (1 - \varphi) \cdot [(Me) - (O)]. \quad (16)$$

Вказану кількість металу розглядаємо як додатковий п'ятий елемент Me^* , відмінність якого від “звичайного” елемента Me полягає в тому, що він штучно “позбавлений” можливості випаровуватися, для чого приписуємо йому максимально можливе значення теплоти сублимації. Звідси випливає, що при такій умові в продуктах згорання практично не буде парів Me^* . Інший Me в кількості $[(Me) - (O) - (Me^*)]$ г-ат при будь-якому значенні $\varphi \leq \varphi_{max}$ присутній в продуктах згорання тільки в пароподібному вигляді. Далі по аналогії із ступенем випаровування визначимо повноту окислення металу ψ виразом

$$\psi = 1 - \frac{(Me^{**})}{(O)}, \quad (17)$$

де (Me^{**}) – кількість металу, що не окислився, в г-ат у 1 кг початкової суміші. З виразу (17) випливає, що:

$$(Me^{**}) = (1 - \psi) \cdot (O). \quad (18)$$

Щоб “ізолювати” отриману кількість металу (Me^{**}) розглядаємо метал Me^{**} як новий, шостий елемент, що має такі ж властивості, як і метал Me^* . На утворення оксиду магнію, таким чином, залишається лише $[(O) - (Me^{**})]$ г-ат металу. “Виводячи” з реакційноздатних продуктів (Me^{**}) г-ат металу, ми одночасно “звільняємо” $[(O) - (Me^{**})]$ г-ат кисню, який якщо не прийняти відповідних “заходів”, прореагує з пароподібним металом Me . Щоб цього не відбулося, (O^*) г-ат кисню необхідно також “виділити” в окремий елемент, властивості якого повністю співпадають з властивостями кисню O . Кисень O^* утворює ті ж самі з'єднання, що і кисень O , тобто CO^* , CO_2^* , O^*H , H_2O^* , HSO^* і ін., за винятком оксиду металу MeO^* . При цьому, після розрахунку рівноважного складу необхідно додати мольні частки CO та CO^* , CO_2 та CO_2^* , H_2O та H_2O^* і т. д..

Отже, для розрахунку складу продуктів згорання з врахуванням ступеня випаровування φ і повноти окислення металу ψ , початкову суміш, в 1 кг якій міститься (Me) , (C) , (H) і (O) г-ат відповідних елементів, умовно замінюємо сумішшю, в 1 кг якої міститься (Me) г-ат металу, (Me^*) г-ат металу, (Me^{**}) г-ат металу, (C) г-ат вуглецю, (H) г-ат водню, (O) г-ат кисню, (O^*) г-ат кисню. В продуктах згорання цієї умовної суміші необхідно враховувати наступні компонен-

ти: Me_k , Me , MeO_k , MeO , MeH , $MeOH$, $Me(OH)_2$; Me_k^* , Me^* ; Me_k^{**} , Me^{**} ; C_k , C , CH , CH_2 , CH_3 , CH_4 і т. д.; CO , CO_2 ; CO^* , CO_2^* ; H , H_2 , OH , H_2O , O_2 , O ; O^*H , H_2O^* , O^* , O_2^* ; HCO , H_2CO ; HCO^* , H_2CO^* .

Рівняння збереження енергії в даному випадку є рівністю повних тепловмістів початкової суміші і продуктів згорання. Повний тепловміст продуктів згорання знаходимо, враховуючи, що температура T^* для Me_k^* , та температура T^{**} для Me_k^{**} не рівні температурі T , а є її функціями, а також визначаються тиском і властивостями навколишнього середовища:

$$I_{пр.зг} = I_{рівн}(T) + I_{Me_k^*}(T^*) + I_{Me_k^{**}}(T^{**}). \quad (19)$$

Тут $I_{рівн}(T)$ – повний тепловміст “квazирівноважної” частини продуктів згорання при температурі T ; $I_{Me_k^*}(T^*)$ – повний тепловміст металу, що випаровується, при температурі T^* , визначуваної згідно теорії випаровування крапель металу; $I_{Me_k^{**}}(T^{**})$ – повний тепловміст вигоряючого металу при температурі T^{**} , визначуваної згідно теорії горіння крапель металу з рівняння, аналогічного (16).

Методика термодинамічного розрахунку з врахуванням фазової нерівноважності в основі своїй містить ті ж рівняння (2) – (8), що і при рівноважному розрахунку, лише замість рівняння (8) використовується рівняння (19).

3. Результати розрахунків по вдосконаленій методиці, співставлення з отриманими експериментальними даними. З математичної точки зору вихідна система рівнянь (2) – (8), (19) для розрахунку температури та складу продуктів згорання розглядуваних сумішей являє собою систему нелінійних алгебраїчних рівнянь. Кількість рівнянь в системі визначається кількістю атомарних i та молекулярних j компонентів, що складають продукти згорання, та може досягати декількох десятків та більше. Для підвищення ефективності розрахунків на ПЕОМ класу ІВМ використовувалися спеціально розроблений пакет прикладних програм “МЕТ” з методів чисельного розв’язання лінійних та нелінійних рівнянь та їх систем, який виконаний у вигляді завантажувального модуля. Пакет програм працює як під операційною системою DOS, так й під ОС сімейства Windows. Вхід у пакет здійснюється запуском файлу MET.exe. Вихід з пакету здійснюється натисненням клавіші F10 (у деяких випадках при натисненні клавіші ESC або ВИХІД). У нижньому рядку екрану виводиться призначення клавіш, за допомогою яких можна в діалоговому режимі керувати пакетом. Усі чисельні методи пакету реалізовані на достатньо простій та зручній для розрахунків алгоритмічній мові Turbo Basic та апробовані на великій кількості тестових при-

ладів (5...10 прикладів для кожного метода). При цьому часи розрахунків по тестовим прикладах, як показали широкі чисельні експерименти, знаходилися у межах від декількох секунд до декількох хвилин. В розрахунках враховувалася можливість утворення газоподібних та конденсованих продуктів згорання, для яких до теперішнього часу відомі термодинамічні та кінетичні константи їх утворення (230 газоподібних та 40 конденсованих продуктів згорання).

Результати розрахунків температури продуктів згорання розглядуваних сумішей (T_r , K) та відносного вмісту в них високотемпературного конденсату (g_k) представлені на рис. 2 – 5.

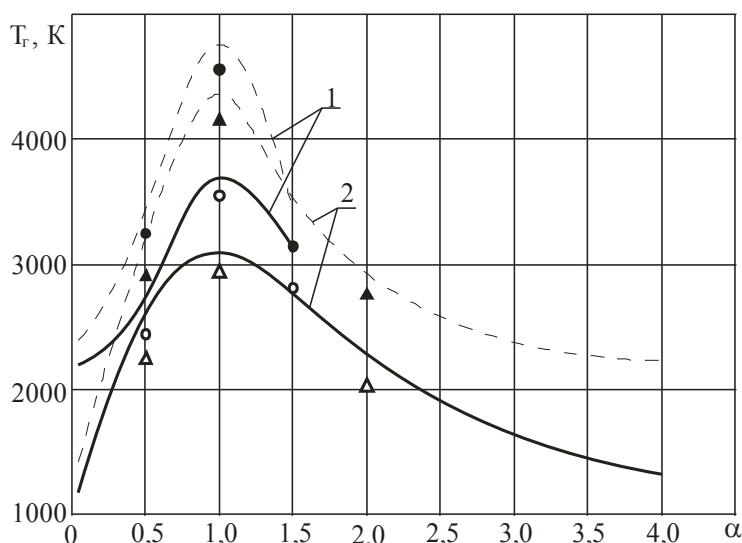


Рис. 2 – Залежність температури продуктів згорання сумішей алюмінію з нітратом натрію (1) та магнію з нітратом натрію (2) від коефіцієнта надлишку окислювача: ———— $P = 10^5$ Па; - - - - $P = 10^7$ Па; \circ , \bullet – експериментальні дані для суміші Al + NaNO₃ і тисків 10^5 Па та 10^7 Па відповідно; Δ , \blacktriangle – експериментальні дані для суміші Mg + NaNO₃ і тисків 10^5 Па та 10^7 Па відповідно.

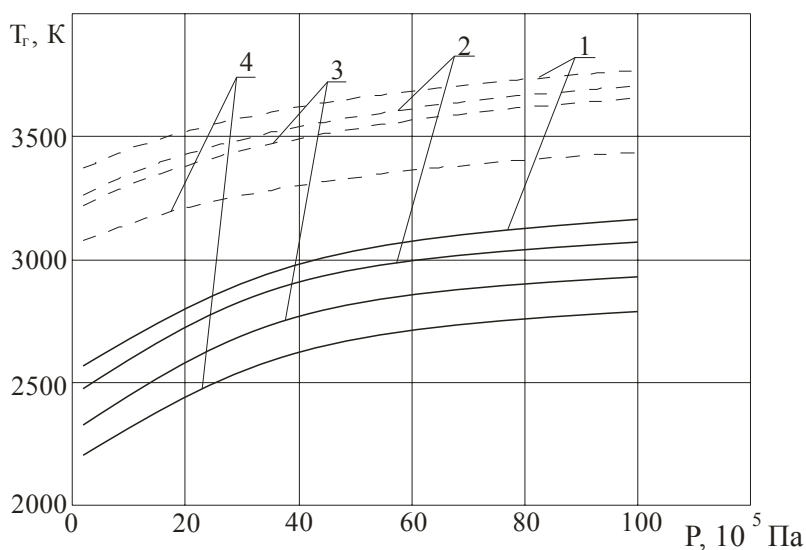


Рис. 3 – Вплив добавок антрацену (1), нафталіну (2), стеарину (3) та парафіну (4) на залежність температури продуктів згорання суміші цирконію з нітратом натрію від зовнішнього тиску ($\alpha = 1,0$): ———— $\varepsilon = 20$ %; - - - - $\varepsilon = 5$ %.

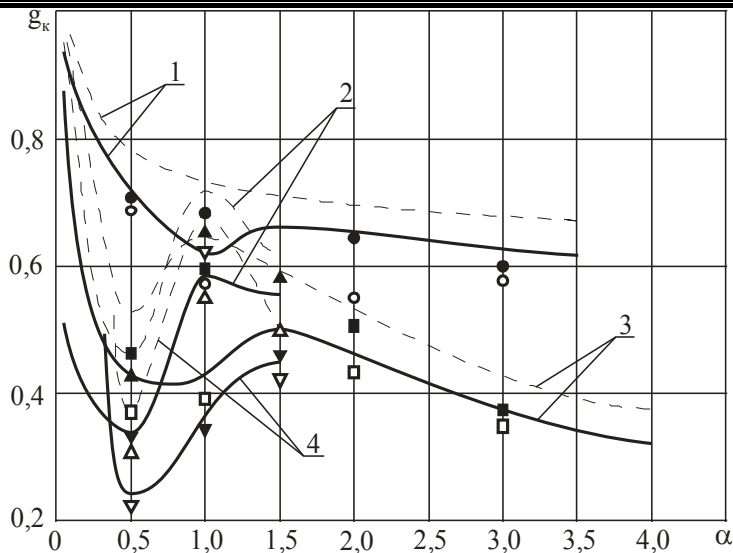


Рис. 4 – Вплив зовнішнього тиску на залежність відносного вмісту високотемпературного конденсату в продуктах згорання сумішей нітрату натрію з цирконієм (1), алюмінієм (2), магнієм (3) та титаном (4) від коефіцієнта надлишку окислювача: — — — — $P = 10^5$ Па; - - - - $P = 10^7$ Па; \circ , \bullet – експериментальні дані для суміші Zr + NaNO₃ і тисків 10^5 Па та 10^7 Па відповідно; Δ , \blacktriangle – експериментальні дані для суміші Al + NaNO₃ і тисків 10^5 Па та 10^7 Па відповідно; \square , \blacksquare – експериментальні дані для суміші Mg + NaNO₃ і тисків 10^5 Па та 10^7 Па відповідно; ∇ , \blacktriangledown – експериментальні дані для суміші Ti + NaNO₃ і тисків 10^5 Па та 10^7 Па відповідно.

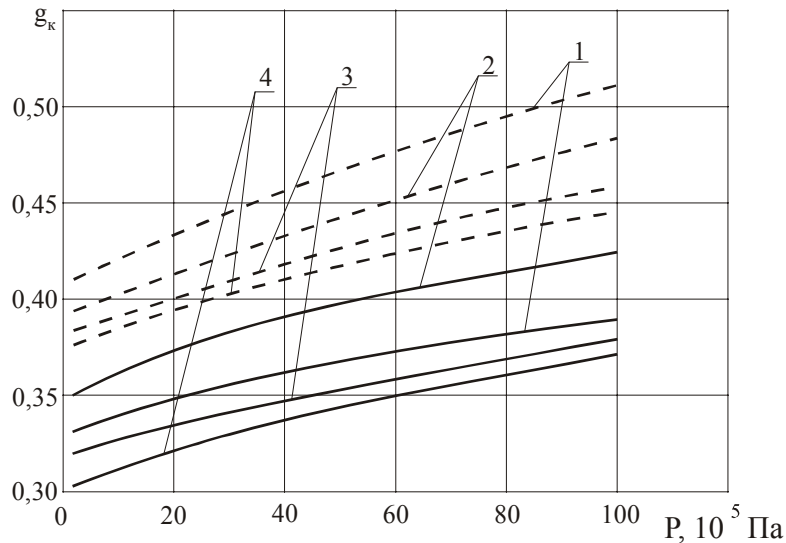


Рис. 5. – Вплив добавок стеарину (1), парафіну (2), антрацену (3) та нафталіну (4) на залежність відносного вмісту високотемпературного конденсату в продуктах згорання суміші титану з нітратом натрію ($\alpha = 1,0$): — — — — $\epsilon = 20\%$; - - - - $\epsilon = 5\%$.

При цьому розглядаються наступні загальні закономірності впливу коефіцієнта надлишку окислювача в суміші (α), вмісту добавки органічної речовини (ϵ) та зовнішнього тиску (P , Па) на вказані

термодинамічні параметри для розглядуваних НМС.

Температура продуктів згорання. З результатів розрахунків випливає, що для усіх сумішей залежність $T_r(\alpha)$ має максимум $T_{r\max}$, який знаходиться поблизу $\alpha = 1,0$. Збільшення зовнішнього тиску від $P = 10^5$ Па до $P = 10^7$ Па призводить тільки до зростання температури горіння; при цьому положення максимуму на кривій $T_r(\alpha)$ не змінюється. Вплив добавки органічної речовини незалежно від її природи призводить до зменшення величини T_r .

Відносний вміст високотемпературного конденсату. З даних розрахунків видно, що залежності $g_k(\alpha)$ для кожної суміші мають складний характер з мінімумами та максимумами. При цьому збільшення зовнішнього тиску в діапазоні $10^5 \dots 10^7$ Па, на відміну від залежності $T_r(\alpha)$, призводить не тільки до зростання величини g_k (наприклад, змінюються положення мінімумів та максимумів на кривих $g_k(\alpha)$). Зростання величини добавки органічної речовини у суміші призводить до зменшення величини g_k для усього досліджуваного діапазону зміни зовнішнього тиску.

Адекватність результатів проведених термодинамічних розрахунків отриманим експериментальним даним (використовувалися вольфрам-ренієві термопари зі спеціально розробленими екранами від налипання конденсованих продуктів, що диспергують з поверхні горіння сумішей, а також спеціально розроблені датчики для відбору високотемпературного конденсату з зони полум'я [17]) перевірялася на найбільш широко використовуваних у піротехніці двохкомпонентних сумішах металічних палив з нітратовмісними окислювачами. Їх зіставлення показало, що відмінність між ними не перевищує 8...10% замість 30...40% для методик, що не враховують фазову нерівноважність продуктів згорання.

Далі у наступній роботі будуть проведені термодинамічні розрахунки температури та складу продуктів згорання для усього класу розглядуваних піротехнічних сумішей, які будуть апроксимовані простими регресійними залежностями для отримання керованої бази даних по вказаним термодинамічним параметрам, що характеризують пожежонебезпечні властивості НМС при їх запалюванні в умовах зовнішніх термовпливів.

Висновки. Уточнено метод термодинамічного розрахунку температури та складу продуктів згорання високометалізованих піротехнічних сумішей шляхом врахування фазової нерівноважності продуктів згорання у полум'ях сумішей (відносна похибка не перевищує 8...10% замість 30...40% для існуючих методів). В результаті проведених розрахунків температури та складу продуктів згорання сумішей з порошків алюмінію, магнію, титана та цирконію з нітратом натрію та добавками парафіну, стеарину, нафталіну та антрацену встановлено: температура продуктів згорання сумішей має максимальне значення для стехіомет-

ричного співвідношення компонентів; збільшення зовнішнього тиску призводить до зростання температури горіння, а ведення у склад суміші органічних речовин – до зменшення її значень; залежність вмісту високотемпературного конденсату в продуктах згорання сумішей від співвідношення компонентів має складний характер з декількома мінімумами та максимумами, при цьому зміна зовнішнього тиску суттєво впливає на характер вказаної залежності, а збільшення вмісту органічної добавки призводить тільки до зменшення вмісту конденсату.

ЛІТЕРАТУРА

1. Брауэр К.О. Пиротехнические устройства для космических аппаратов // Вопросы ракетной техники, 1969. – вып. 10. – с. 47 – 61.
2. Вспомогательные системы ракетно-космической техники / Пер. с англ, под ред. И.В. Тишунина. – М.: Мир, 1970. – 400 с.
3. Шидловский А. А. Основы пиротехники. – М.: Машиностроение, 1973. – 320 с.
4. Силин Н.А., Ващенко В.А., Кашпоров Л.Я. Горение металлизированных гетерогенных конденсированных систем. – М.: Машиностроение, 1982. – 232 с.
5. Ващенко В.А. Высокотемпературные технологические процессы взаимодействия концентрированных источников энергии с материалами. Монография. – М.: Деп. в ВИНТИ 07.08.96, № 62 – хп 96. – 408 с.
6. Ващенко В. А. Процессы горения металлизированных конденсированных систем при различных внешних условиях // Вісник Черкаського державного технологічного університету, 2000. – № 2. – с. 183 – 188.
7. Орлов Б.В., Мазинг Г.Ю., Рейдель А.Л. Основы проектирования ракетно-прямоточных двигателей для беспилотных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1967. – 287 с.
8. Шапиро Я.М., Мазинг Г.Ю., Прудников Н.Е. Теория ракетного двигателя на твердом топливе. – М.: Воениздат, 1966. – 320 с.
9. Ващенко В.А., Кириченко О.В., Лега Ю.Г., Заика П.И., Яценко И.В., Цыбулин В.В. Процессы горения металлизированных конденсированных систем. – К.: Наукова думка, 2008 – 745 с.
10. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. – М.: Изд. АН СССР, 1962.
11. Кунаков Г.А., Чулков А.З. Характеристики продуктов сгорания металлосодержащих топлив / В кн.: Ракетные топлива (по материалам зарубежной печати). Под ред. Л. М. Паушкина, А. З. Чулкова, 1975. – с. 74 – 96.
12. Мальцев В.М., Мальцев М.И., Кашпоров Л.Д. Основные характеристики горения. – М.: Химия, 1977. – 320 с.

13. Карпенюк В.И., Найбороденко Ю.С., Кашпоров Л.Я., Гладун В. Д. О максимальных температурах, достижимых при взаимодействии металлов с газами // Физика горения и взрыва, 1986. – №1. – с. 26 – 29.

14. Ващенко В.А. Прогнозирование оптимальных значений температуры и состава продуктов в волне горения, скорости ее распространения по многокомпонентным металлизированным системам. – М.: Деп. в ВИНТИ 18.02.94, № 24 – хп 94.

15. Кириченко О.В., Цыбулин В.В., Ващенко В.А., Заика П.И., Витько М. М. Методы термодинамического прогнозирования пожароопасных свойств металлизированных конденсированных систем // Вісник Черкаського державного технологічного університету, 2006. – № 1. – с. 146 – 152.

16. Ващенко В.А., Витько М.М., Кириченко О.В., Цибулін В.В. Температура і склад продуктів горіння системи алюміній + нітрат натрію // Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції “Пожежна та техногенна безпека”. – Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2005. – с. 222 – 223.

О.В. Кириченко, В.Д. Акиншин, В.А. Ващенко, В.В. Цыбулин

Термодинамические методы расчета температуры и состава продуктов сгорания высокометаллизированных пиротехнических смесей

Усовершенствован метод термодинамического расчета температуры и состава продуктов сгорания высокометаллизированных нитратно-металлических смесей, определяющих их пожароопасные свойства в условиях возгорания и разрушения металлических корпусов изделий. Представлены результаты термодинамических расчетов температуры продуктов сгорания смесей металлических горючих с нитратом натрия и добавками органических веществ, а также содержания в них высокотемпературного конденсата для коэффициента избытка окислителя $\alpha = 0,1...4,0$, величины добавки органического вещества $\varepsilon = 0...20\%$ и внешних давлений $P = 10^5...10^7$ Па.

Ключевые слова: высокометаллизированные нитратно-металлические смеси, термодинамические расчеты

O.V. Kirichenko, V.D. Akinshin, V.A. Vaschenko, V.V. Tsybulin

Thermodynamic methods of computation of temperature and composition of products of combustion of high-metallized pyrotechnic mixtures

The method of thermodynamics computation of temperature and composition of products of combustion of the high-metallized nitrate-metallic mixtures, determining them fire-dangerous properties in the conditions of self-ignition and destruction of metallic corps of wares, is improved. The results of thermodynamics computations of temperature of products of combustion of mixtures of metallic fuels with nitrate of sodium and additions of organic matters, and also maintenances in them of high temperature condensed matters for the coefficient of surplus of oxidant $\alpha = 0,1...4,0$, sizes of addition of organic matter $\varepsilon = 0...20\%$ and external pressures $P = 10^5...10^7$ Pa are presented.

Keywords: high-metallized nitrate-metallic mixtures, thermodynamics computations

*Ю.П. Ключка, к.т.н., ст. научн. сотр., докторант, НУГЗУ,
В.И. Кривцова, д.т.н, профессор, НУГЗУ*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОГИДРИДНОЙ СИСТЕМЫ

Получена аналитическая зависимость коэффициента температуропроводности от пористости интерметаллида, его температуры и уровня насыщения водородом. Показано возможность использования усредненного значения температуропроводности.

Ключевые слова. Водород, гидрид, интерметаллид, теплоемкость, температуропроводность, температура, пористость.

Постановка проблемы. Наряду с криогенным и газообразным способом хранения водорода в автомобиле используется и хранение в форме гидридов интерметаллидов [1, 2]. В качестве интерметаллида может использоваться LaNi_5H_x , MnNi_5H_x , MgH_x и т.д.[2].

Одной из проблем этих систем является их пожаровзрывоопасность, обусловленная свойствами водорода, интерметаллида и самой системы хранения. Поэтому, определение скорости прогрева гидрида и, соответственно, повышения давления, является актуальной проблемой.

Анализ последних достижений и публикаций. Существует ряд работ посвященных изучению свойств гидридов интерметаллидов [3-8], а именно:

- сорбирующей способности в зависимости от состава и дисперсности;
- изучению теплоемкости, теплопроводности в зависимости от состава и пористости;
- скорости выделения и поглощения водорода в зависимости от температуры и давления;
- возможности использования гидридов интерметаллидов в системах хранения водорода на различных видах транспорта.

На сегодняшний день наиболее изученным и используемым является гидрид LaNi_5H_x . Его особым отличием является способность выделять и поглощать водород при сравнительно низких температурах и давлениях [1-3].

В работе [8] были определены условия равновесного состояния системы с гидридом интерметаллида LaNi_5H_x .

Однако неизвестным является динамика изменения температуры и давления водорода, а соответственно и свойств гидрида в случае воздействия на систему внешнего источника тепла.

Постановка задачи и ее решение. Целью данной работы является определение теплофизических характеристик гидрида интерметаллида в условиях воздействия повышенной температуры.

В работе [6] на основе экспериментальных данных было получено выражение для определения теплоемкости LaNi_5H_x в зависимости от температуры и количества поглощенного водорода

$$c = c_{\text{имс}} + 6,68 \cdot 10^3 \cdot \chi, \quad (1)$$

где $c_{\text{имс}} = 3,56 \cdot T^{0,8}$; χ – массосодержание водорода.

Кроме того в работе [6] была получена зависимость теплопроводности гидрида от его температуры и пористости

$$\lambda_{\text{имс}} = \lambda_{\text{H}_2}(T) + 1,17(1 - \Pi)^2. \quad (2)$$

С учетом того, что

$$\lambda_{\text{H}_2}(T) = 0,098 \cdot (3,68 \cdot 10^{-3} \cdot T + 1), \quad (3)$$

выражение (2) можно представить в виде

$$\lambda_{\text{имс}} = 0,098 \cdot (3,68 \cdot 10^{-3} \cdot T_{\text{имс}} + 1) + 1,17 \left(1 - \frac{\Pi}{100}\right)^2. \quad (4)$$

На рис. 1, в соответствии с выражением (4), представлена зависимость теплопроводности гидрида от его температуры и пористости

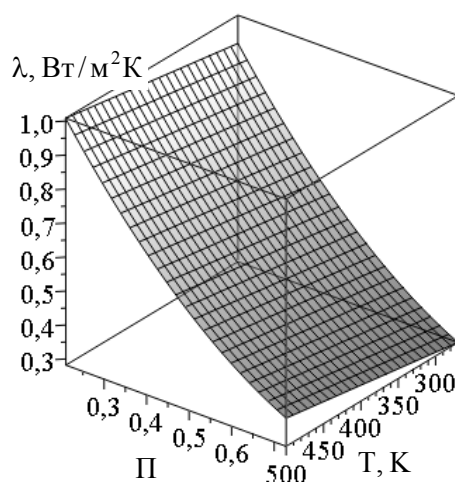


Рис. 2 Зависимость теплопроводности гидрида интерметаллида LaNi_5H_x от его температуры и пористости

Из рисунка следует, что теплопроводность гидрида интерметаллида практически инвариантна к значению температуры (при увеличении температуры в 2 раза, значение теплопроводности изменяется не более чем на 10%).

Выражение для температуропроводности гидрида можно представить в виде

$$\alpha_{\Gamma} = \frac{\lambda_{\Gamma}}{c_{\Gamma} \cdot \rho_{\Gamma}}, \quad (5)$$

где λ_{Γ} – теплопроводность гидрида; c_{Γ} – теплоемкость гидрида; ρ_{Γ} – плотность гидрида;

$$\rho_{\Gamma} = \left(1 - \frac{\Pi}{100\%}\right) \cdot \rho_{\text{имс}}. \quad (6)$$

где Π – пористость гидрида; $\rho_{\text{имс}}$ – плотность интерметаллида.

Тогда, с учетом (1), (4) и (6), выражение (5) примет следующий вид

$$\alpha = \frac{0,098 \cdot (3,68 \cdot 10^{-3} \cdot T_{\text{имс}} + 1) + 1,17 \left(1 - \frac{\Pi}{100}\right)^2}{(3,56 \cdot T_{\text{имс}}^{0,8} + 6,68 \cdot 10^3 \cdot \chi) \cdot \left(1 - \frac{\Pi}{100}\right) \cdot \rho_{\text{имс}}}. \quad (7)$$

В соответствии с (7) на рис. 2 представлена зависимость температуропроводности от температуры, водородсодержания и пористости гидрида.

Из рисунка следует, что с увеличением температуры и уменьшением массосодержания водорода в гидриде, его температуропроводность увеличивается. При высоких значениях пористости ($\Pi=60-75\%$) и низких ($\Pi=25-40\%$) температуропроводность увеличивается по сравнению со значением температуропроводности при $\Pi=50\%$.

Учитывая цилиндрическую конструкцию гидридных систем хранения водорода [1-3], уравнение теплопроводности для гидрида в баллоне можно записать в следующем виде

$$\frac{\partial}{\partial \tau} T(r, \tau) = \alpha \cdot \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} T(r, \tau) + \frac{\frac{\partial}{\partial r} T(r, \tau)}{r} \right), \quad (8)$$

где α – коэффициент температуропроводности; $T(r, \tau)$ – значение температуры на расстоянии r от центра баллона в момент времени t .

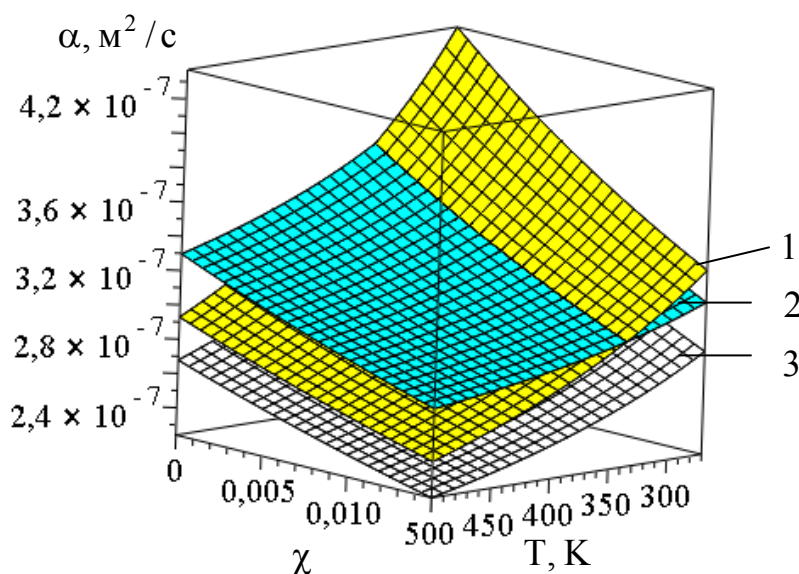


Рис. 2 – Зависимость температуропроводности гидрида интерметаллида LaNi_5H_x от его температуры и массосодержания водорода при различных значениях пористости: 1 – $\text{P}=25\%$; 2 – $\text{P}=75\%$; 3 – $\text{P}=50\%$

Граничные условия первого рода на внешней и третьего рода на внутренней стенках можно записать в виде

$$T_1 = T_{\text{ws}}; \quad (9)$$

$$\lambda_r \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial r} \Big|_{r=0} = 0, \quad (10)$$

где T_{ws} – температура внешней среды; T_1 – температура стенки; r – радиус.

На рис. 3 показано распределение температуры в слое гидрида в зависимости от температуры и времени при различных значениях пористости (температуропроводности).

Из рисунка следует, что изменение температуропроводности в диапазоне $(2,4 \div 4,2) \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ практически не оказывает влияния на распределение температуры в слое гидрида (по истечении 15 минут разница в результатах составляет не более 7%, а по истечению 5 минут не более 4%).

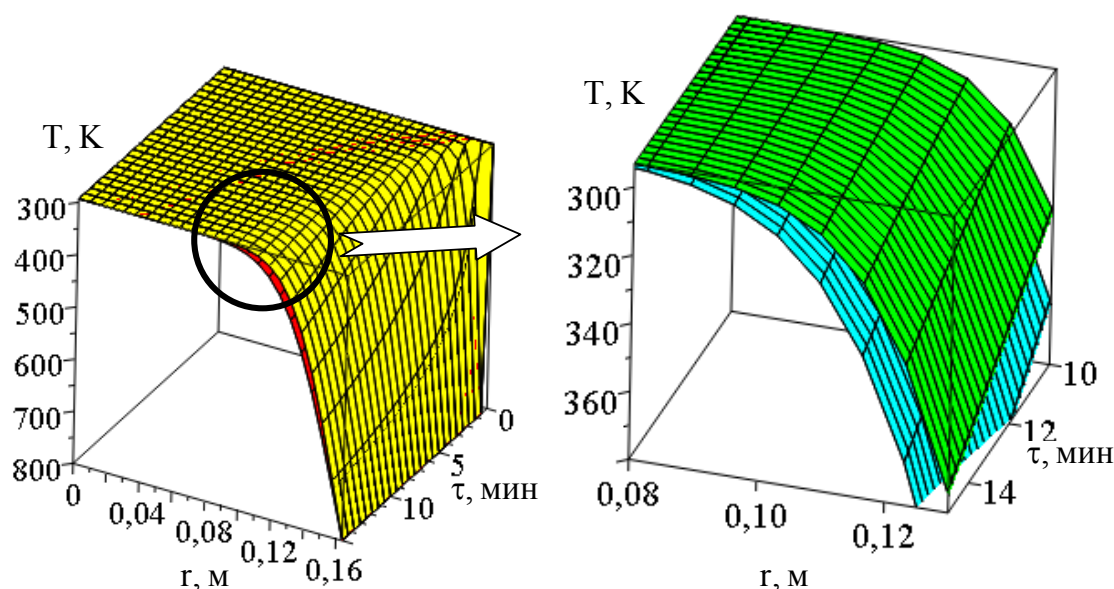


Рис. 3 – Распределение температуры в слое гидрида в зависимости от температуры и времени

Таким образом, при расчетах тепловых полей в гидриде можно пренебречь зависимостью температуропроводности от пористости, температуры, водородосодержания и использовать усредненное значение, равное $(3,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$.

Выводы. В результате проведенной работы получена аналитическая зависимость температуропроводности от пористости интерметаллида, его температуры и уровня насыщения водородом.

Показана возможность использования усредненного значения температуропроводности $(3,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$, инвариантного к значениям пористости, температуры и уровня насыщения водородом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мищенко А.И. Применение водорода для автомобильных двигателей. Киев: Наукова Думка, 1984. – 281 с.
2. Ключка Ю.П. Особенности использования водорода на автомобильном транспорте / В.И. Кривцова, Ю.П. Ключка // Проблемы пожарной безопасности. – 2009. – № 26. – С. 49–61.
3. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортировка, применение: Справочное издание / Д.Ю. Гамбург, В.П. Семенов, Н.Ф. Дубовнин и др.: под ред. Д.Ю. Гамбурга, И.Ф. Дубовнина, - М.:Химия, 1989. – 672 с.

4. Атомно-водородная энергетика и технология. – М. Атомиздат, 1980. – Вып. 3. – 272 с.

5. Б.П. Тарасов, В.В. Бурнашева, М.В. Лотоцкий, В.А. Яртысь Методы хранения водорода и возможности использования металлгидридов // Альтернативная энергетика и экология: Международный научный журнал. – Вып. 12. – Саров, 2005. – С.14 – 37.

6. Кривцова В.И. Теоретические и экспериментальные пути создания систем хранения и подачи водорода на основе твердых веществ для двигательных и энергетических установок летательных аппаратов: Дис... д-ра техн. наук: 05.07.05 / НАН Украины; Институт проблем машиностроения им. А.Н.Подгорного. - Х., 2001. - 420 с.

7. Соловей В.В. Расчётно-теоретическое исследование десорбции водорода в металлгидридах / В.В. Соловей, Н.А. Чёрная // Сб. трудов ИПМаш: Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования. – Харьков. – 2003. – Т. 1 – С. 259-264.

8. Ключка Ю.П. Оценка пожаровзрывоопасности систем хранения и подачи водорода на основе обратимых гидридов интерметаллидов и разработка рекомендаций по ее снижению: Дис... к-та техн. наук: 21.06.02 / Академия гражданской защиты Украины. - Х., 2006. - 134 с.

Ключка Ю.П., Кривцова В.И.

Визначення теплофізичних характеристик металогідридні системи

Отримано аналітичну залежність коефіцієнта температуропровідності від пористості інтерметаліда, його температури і рівня насичення воднем. Показано можливість використання усередненого значення температуропровідності.

Ключові слова. Водень, гідрид, інтерметалідів, теплоємність, температуропровідність, температура, пористість.

Kluchka Yu.P., Krivtsova V.I.

Determination of thermophysical properties of MH Systems

The analytical dependence of the thermal diffusivity of the porosity of the intermetallic compound, the temperature and the saturation level of hydrogen. The possibility of using the average value of thermal diffusivity.

Key words. Hydrogen, hydride, intermetallic compounds, specific heat, thermal conductivity, temperature, and porosity.

В.В. Ковалишин, к.т.н., доц., ЛДУБЖД

МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРУ ВПЛИВУ ВОГНЕГАСНОГО ПОРОШКУ НА ОСЕРЕДОК ПОЖЕЖІ СПІЛЬНО З РЕЦИРКУЛЯЦІЄЮ ПРОДУКТІВ ГОРІННЯ

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

Пожежі в кабельних тунелях на відміну від пожеж у приміщеннях, у вугільних шахтах і на інших об'єктах мають свою специфіку. З метою встановлення ефективності гасіння пожеж у кабельних тунелях різними засобами проведені паралельно експерименти в лабораторних умовах без впливу на осередок пожежі якого-небудь засобу і з впливом на нього різних засобів пожежогасіння. Встановлено, що гасіння осередку горіння порошком, як і при великомасштабних пожежах, повинно проводитися тривалий час до зниження температури до 100 - 200 °С, після чого необхідно перейти на режим рециркуляції пожежних газів або використовувати інші засоби пожежогасіння.

Ключові слова: вогнегасний порошок, рециркуляція продуктів горіння, концентрація кисню

Постановка проблеми. При розгляді процесів гасіння пожеж рециркуляцією використовується метод підрахунку циклів або кратності обміну повітря в зоні пожежі без урахування плинності процесів тепломасообміну [1], а при вивченні гасіння пожежі порошками вважається за головне їх доставка в осередку горіння вогнегасної концентрації [2, 3]. Проте для правильного прогнозу цих процесів необхідно розробити таку математичну модель, яка враховувала б піроліз твердих горючих матеріалів, вступ в хімічні реакції з киснем газоподібних продуктів які розкладаються, їх вплив на температуру з урахуванням надходження повітря збідненого киснем на осередок пожежі і характеру впливу на осередок вогнегасного порошку в замкнутому контурі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Публікації та останні дослідження з використанням вогнегасних порошоків для гасіння об'єктів великої і малої довжини показали [2, 3, 7], що необхідна кількість установок пожежогасіння використовується без врахування розмірів і конфігурації об'єктів, без розрахунку ефективності і терміну дії на вогнище пожежі і його температуру. Зазвичай вважається, що флегматизувальний вплив на осередок пожежі полягає в припиненні ланцюгів хімічних реакцій продуктів горіння з киснем і в утворенні плівки на поверхні горючих матеріалів, що перешкоджає проникненню кисню вглиб твердої речовини [4]. Але, як відомо, в лі-

тературі не розглядається в математичній моделі флегматизувальний вплив вогнегасного порошку на зону горіння та ще з рециркуляцією продуктів згорання в ізолюваному об'ємі.

Постановка задачі та її вирішення. Для встановлення ефективності гасіння пожеж у кабельних тунелях вогнезахисним порошком математичне моделювання впливу на осередок проводилося окремо (спочатку засобами рециркуляції, а потім порошком із застосуванням одночасно і рециркуляції).

Отримана замкнута система рівнянь на основі рівнянь тепломасопереносу [5], що дозволяє отримувати чисельними методами розв'язок задачі виникнення і розповсюдження теплоти в потоці повітря при пожежах з урахуванням динаміки концентрацій кисню

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial \tau} + u \frac{\partial C}{\partial x} &= D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - qC_0 / (H_c \rho_k); \\ \frac{\partial T}{\partial \tau} + u \frac{\partial T}{\partial x} &= a_1 \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\alpha \Pi}{2 \rho c_p S} (T - \theta) + q / (\rho c_p); \\ \frac{\partial \theta}{\partial \tau} &= \frac{a_2}{2 \Delta r^2} (2T_0 - \theta + T); \end{aligned} \quad (1)$$

$$q = \frac{\chi v_0 b H_c}{S C_0} C e^{-k(wt-x)/u},$$

де C – концентрація кисню, об. частки; C_0 – початкова концентрація кисню, об. частки; T – температура повітря, К; T_0 – початкова температура повітря до пожежі, К; θ – температура навколишнього масиву, К; τ – час з моменту виникнення пожежі, с; x – поздовжня, уздовж каналу, координата, м; r – поперечна координата від стінки каналу вглиб навколишнього масиву, м; ρ – щільність повітря, кг/м³; ρ_k – щільність кисню, кг/м³; c_p – питома теплоємність повітря при постійному тиску, Дж/(кг К); u – поздовжня швидкість повітря, м/с; D – коефіцієнт дифузії кисню, м²/с; a_1 – коефіцієнт температуропровідності повітря, м²/с; a_2 – коефіцієнт температуропровідності навколишнього масиву, м²/с; S – площа поперечного перерізу каналу, м²; Π – периметр поперечного перетину каналу, м; b – ширина поверхні піролізу горючого матеріалу, м; q – інтенсивність вигорання продуктів піролізу горючих матеріалів, кВт/м³; χ – коефіцієнт неповноти згорання горючого матеріалу; H_c – теплота згорання летючих речовин, кДж/кг; k – константа швидкості реакції при піролізі, 1/с; w – швидкість руху фронту полум'я, м/с; v_0 – початкова масова швидкість надходження продуктів піролізу в потік повітря, кг/(м² с); α – коефіцієнт теплообміну потоку повітря зі стінками каналу, Вт/(м² К).

Для зручності моделювання система рівнянь (1) приведена до безрозмірного вигляду і представлена в кінцевих різницях

$$\frac{\Delta \bar{C}}{\Delta \bar{\tau}} + \frac{\Delta \bar{C}}{\Delta \bar{x}} = \frac{1}{Pe_d} \frac{\Delta^2 \bar{C}}{\Delta \bar{x}^2} - \bar{q} ABC \bar{C};$$

$$\frac{\Delta \bar{T}}{\Delta \bar{\tau}} + \frac{\Delta \bar{T}}{\Delta \bar{x}} = \frac{1}{Pe_1} \frac{\Delta^2 \bar{T}}{\Delta \bar{x}^2} + St(\bar{T} - \bar{\theta}) + \bar{q} BC \bar{C}; \quad (2)$$

$$\frac{\Delta \bar{\theta}}{\Delta \bar{\tau}} = \frac{1}{Pe_2} (T - \theta);$$

$$\bar{q} = e^{-K(\bar{w}\bar{\tau} - \bar{x})}.$$

Тут введені безрозмірні параметри концентрації кисню і температур:

$$1) \bar{C} = C/C_0; \quad 2) \bar{T} = (T - T_0)/T_0; \quad 3) \bar{\theta} = (\theta - T_0)/T_0. \quad (3)$$

Характерними параметрами для часу і відстані можуть вважатися кратність обміну повітря на певній довжині, яку прийемо рівною максимальній довжині зони горіння $l = x_2 - x_1$ (рис 1).

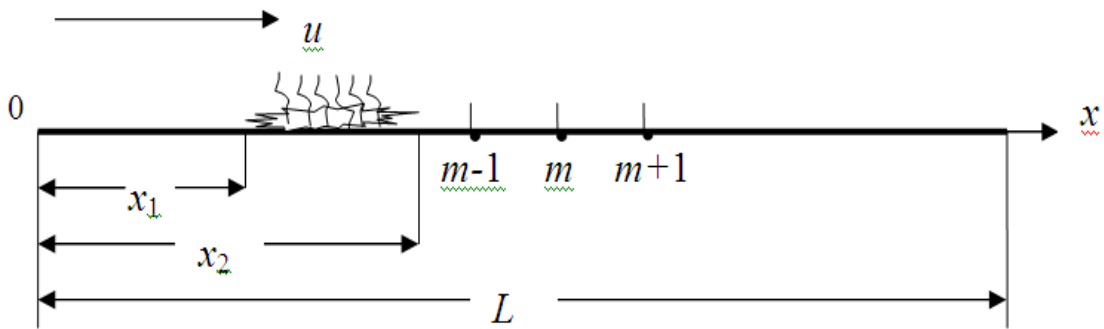


Рис.1. Схема пожежної ділянки із зазначенням зони горіння

Тоді безрозмірні відстані і час будуть рівні

$$1) \bar{x} = x/l; \quad 2) \bar{\tau} = u\tau/l. \quad (4)$$

У систему рівнянь (2) введено такі критерії подібності:

$Pe = ul/D$ – дифузійне число Пекле;

$Pe_1 = ul/a_1$ – температурне число Пекле в потоці повітря;

$Pe_2 = ul/a_2$ – температурне число Пекле в навколишньому масиві;

$St = \frac{\alpha l}{2\rho c_p Q}$ – критерій Стантона теплообміну потоку повітря з

навколишнім масивом;

$K = \frac{kl}{u}$ – критерій швидкості піролізу;

$B = \frac{\chi \nu_0 F H_c}{\rho c_p T_0 Q}$ – критерій теплової енергії пожежі;

$A = \frac{\rho c_p T_0 C_0}{\rho_k H_c}$ – критерій теплоємності повітря.

Тут добуток ширини зони горіння на її довжину, представлено, як площу поверхні, що палає: $F = bl$, яка під дією порошку зменшується.

Крайові умови для системи рівнянь (2) представлені у вигляді

$$\begin{aligned}\bar{C}(\bar{x}, 0) &= \bar{C}(0, \bar{\tau}) = \bar{C}(\infty, \bar{\tau}) = 1; \\ \bar{T}(\bar{x}, 0) &= \bar{T}(0, \bar{\tau}) = \bar{T}(\infty, \bar{\tau}) = 0; \\ \bar{\theta}(\bar{x}, 0) &= \bar{\theta}(0, \bar{\tau}) = \bar{\theta}(\infty, \bar{\tau}) = 0; \\ \bar{q}(\bar{x}_1, 0) &= B; \quad \bar{q}(\bar{x} \neq \bar{x}_1, 0) = 0.\end{aligned}\tag{5}$$

Остання крайова умова вказує на те, що в результаті займання в точці \bar{x}_1 виникає теплове джерело, яке з часом буде переміщатися і згасати згідно четвертому рівнянню системи (2).

Система рівнянь (2) розв'язувалася чисельним методом за комбінованою схемою [6] при $\bar{D} = \bar{a}_1 = 0$. У результаті отримана наступна система рівнянь

$$\begin{aligned}\bar{C}_m^{n+1} &= \frac{[1 - (Cu + \bar{q}_m^n)/2]\bar{C}_m^n + CuZ_m^n}{1 + (Cu + \bar{q}_m^n)/2}, \\ \bar{T}_m^{n+1} &= \frac{[1 - (Cu + St)/2]\bar{T}_m^n + St\bar{\theta}_m^n + B\bar{q}_m^n(\bar{C}_m^n + \bar{C}_m^{n+1})/2}{1 + (Cu + St)/2}, \\ \bar{\theta}_m^{n+1} &= \frac{(1 - \bar{a}_2/2)\bar{\theta}_m^n + \bar{a}_2\bar{T}_m^n}{1 + \bar{a}_2/2}.\end{aligned}\tag{6}$$

Тут параметр \bar{Z}_m^n означає відносну концентрацію кисню перед осередком пожежі. У розімкнутому контурі це концентрація кисню при нормальних умовах $\bar{Z}_m^n = 1$. У замкнутому контурі при рециркуляції параметр \bar{Z}_m^n знаходиться з використанням ще одного рівняння

$$V_1 \frac{dZ}{d\tau} = -(Z - C)Q + (C_0 - C)Q_1,\tag{7}$$

де V_1 – об'єм зони рециркуляції пожежних газів за винятком зони горіння, м^3 ; Q – витрата пожежних газів, $\text{м}^3/\text{с}$; Q_1 – підсмоктування повітря, $\text{м}^3/\text{с}$.

Аналіз рівняння (7) показує, що зміна концентрації кисню в часі в зоні рециркуляції за межами осередку пожежі буде відбуватися за рахунок надходження в цей об'єм концентрації кисню з осередку і концентрації кисню із зовнішнього середовища. Так, за відсутності підсмоктування чистого повітря ($Q_1 = 0$), чого в реальних умовах напевно чи можна здійснити, утворюється повністю замкнений контур, а при підсмоктуванні чистого повітря до осередку пожежі ($Q_1 = Q$) контур повністю розімкнений і до осередку пожежі надходить чисте повітря з концентрацією $Z = C_0$.

Рівняння (7) в кінцевих різницях має вигляд

$$\bar{Z}_m^{n+1} = (1 - Cu_1)\bar{Z}_m^n + (1 - \bar{Q}_1)Cu_1\bar{C}_m^n + Cu_1\bar{Q}_1, \quad (8)$$

де $Cu_1 = Q\Delta\tau/V_1$ – число Куранта перед зоною горіння; $\bar{Q}_1 = Q_1/Q$ – відносна величина підсмоктування повітря.

Отримана система рівнянь (6) і (8) дозволяє моделювати процеси горіння в кабельному каналі, як без рециркуляції пожежних газів, так і при їх рециркуляції.

Будемо вважати, що на процеси горіння флегматизуючим чином впливає концентрація вогнегасного порошку, зменшуючи як інтенсивність, так і площу горіння F .

Пожежі в кабельних тунелях на відміну від пожеж у приміщеннях, у вугільних шахтах і на інших об'єктах мають свою специфіку. Для дослідження таких процесів, а також процесів гасіння пожеж різними засобами сконструйована фізична модель (рис.2), що представляє собою установку або камеру для визначення ефективності горіння кабельної продукції та її ефективності гасіння різними засобами в замкнутому об'ємі.

Довжина камери становить 2 м, а її висота і ширина у просвіті 0,6 м і 0,4 м відповідно. Таким чином, наведений діаметр камери дорівнює

$$d = \frac{4S}{\Pi} = \frac{4 \cdot 0,6 \cdot 0,4}{2(0,6 + 0,4)} = 0,48 \text{ м.}$$

При реальному наведеному діаметрі кабельного тунелю 2 м геометричний масштаб моделювання становить 1:4.

Потужність витяжної вентиляції забезпечує рух повітряного потоку в середині камери від 0,024 до 0,076 м³/с із середньою швидкістю 0,1 - 0,3 м/с. Це відповідає числу Рейнольдса

$$Re = \frac{ud}{\nu} = \frac{(0,1 - 0,3) \cdot 0,48}{1,5 \cdot 10^{-5}} \approx 3000 - 10000.$$

Таким чином, режим руху газів в камері турбулентний, як в реальному об'єкті, тобто більше межі ламінарного руху, рівного 2000.

Кабельна продукція розміщується на лотках на висоті 20, 30 см від нижнього рівня камери. У камеру згоряння завантажують 7,25 кг кабельної продукції, з якої 5 кг це горюча ізоляція, кабелі довжиною 1 м, п'ять частин займають площу 0,3 м². Підпалюють кабельну лінію протягом 4 хв газовим пальником.

Максимальна температура в камері досягає 700-800 °С на 10-12 хв. вільного горіння.

Під час горіння кабельного ізоляційного матеріалу проходить утворення значної кількості продуктів згорання, що викликає зменшення притоку свіжого повітря в камеру. На початку розвитку горіння температура швидко зростає за рахунок достатньої кількості кисню в камері. Із зменшенням припливу повітря температура горіння знижується до 470–500 °С і має хвилеподібний процес горіння до початку затухання.

З метою встановлення ефективності гасіння пожеж у кабельних тунелях різними засобами проведені паралельно експерименти в лабораторних умовах без впливу на осередок пожежі якого-небудь засобу і з впливом на нього різних засобів пожежогасіння.

При гасінні осередку пожежі порошком і рециркуляцією проведений цілий цикл експериментів.

Вільне горіння триває 5-6 хвилин до максимального зростання температури, а це 700 – 750 °С. Гасіння проводиться при досягненні температури 700 °С. Мінімальний приплив повітря в камері для підтримання горіння 5 кг кабельної ізоляції був 0,0235 м³/с.

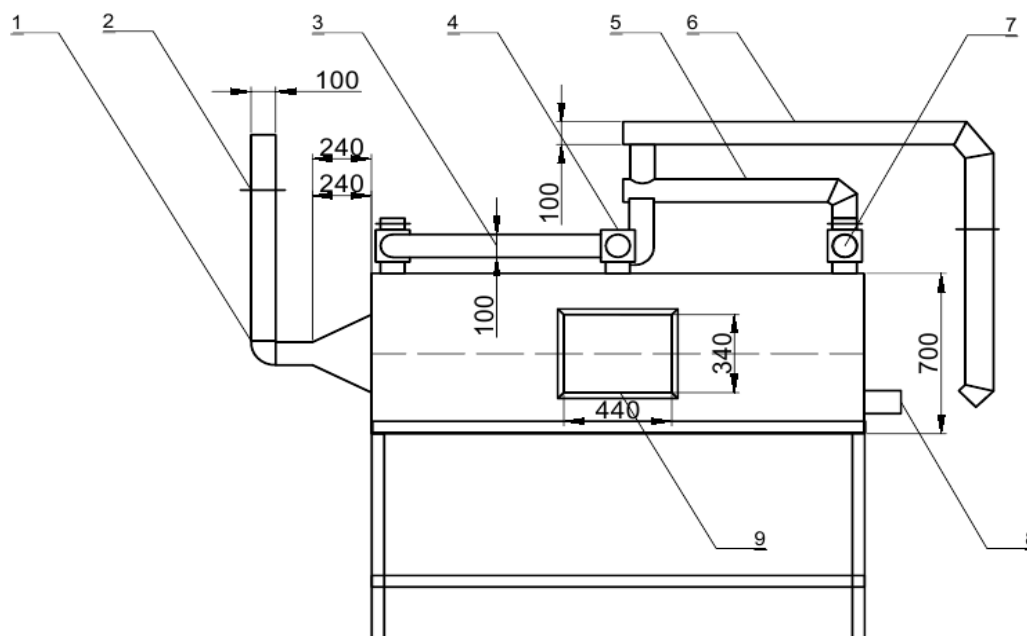


Рис. 2 – Установка визначення горіння кабелю та ефективності гасіння різними вогнегасними речовинами в закритих об'ємах класу «А», «В», «Е»: 1 – трубопровід для видалення в атмосферу, 2 – шубер, 3 – холодильник, 4 – вентилятор з електродвигуном, 5,6 – трубопровід для проведення рециркуляції, 7 – отвір для подачі вогнегасного порошку, 8 – отвір для підсмоктування повітря, 9 – оглядове вікно.

Розрахунки за формулами (6) і (8) в розімкнутому контурі при горінні в кабельному тунелі, і при рециркуляції показали, що їх результати добре узгоджуються з даними експериментів.

На рис. 3 представлені експериментальні та розрахункові дані динаміки температури пожежних газів при їх рециркуляції.

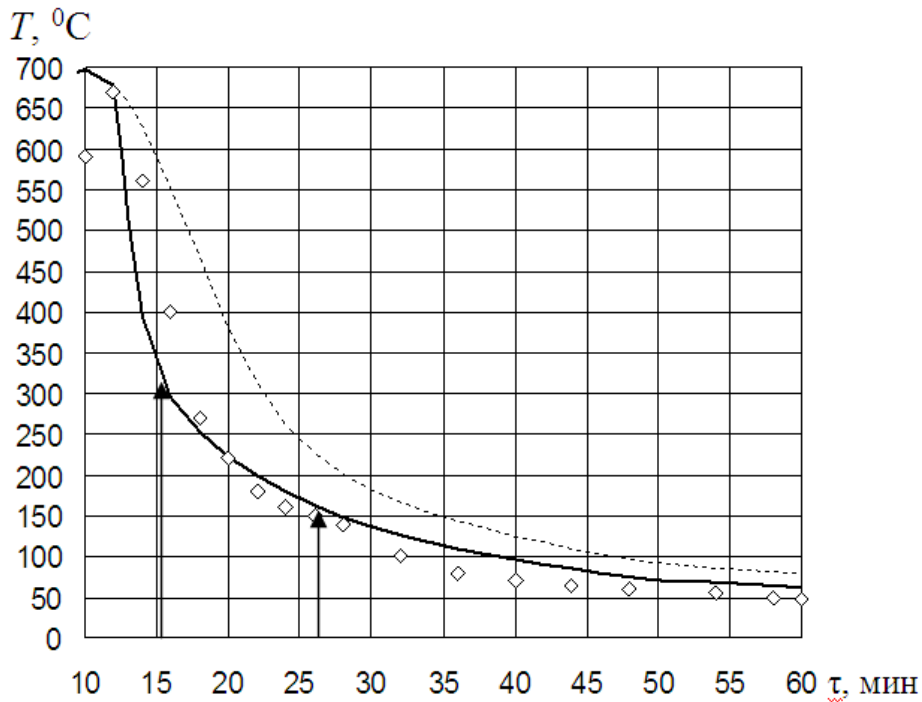


Рис. 3 – Результати порівняння розрахункових і експериментальних даних динаміки максимальної температури пожежних газів при їх рециркуляції в кабельному тунелі (маркери – експериментальні дані, суцільна крива – розрахункові дані при рециркуляції, переривчаста лінія – розрахункові дані без рециркуляції)

Тут стрілками вказані початок і кінець рециркуляції. Очевидно, більш тривала рециркуляція привела б до більшого ефекту.

При розрахунках для найкращої збіжності розрахункових і експериментальних даних прийнято число Куранта в рециркулювальному потоці $Cu_1 = 0,05$ і відносні підсмоктувачі повітря $\bar{Q}_1 = 0,1$. Інші параметри прийняті в діапазоні: $Cu = 0,5$ і $B = 5$.

На рис. 4 наведені розрахункові та експериментальні дані впливу на осередок пожежі вогнегасним порошком і короткочасною рециркуляцією пожежних газів.

Як видно (рис. 4), дані моделювання, достовірно відтворюють і процеси горіння і гасіння пожежі. Однак короткочасна подача порошку всього 0,5 хв і рециркуляція 2 хв, як видно, майже не роблять помітного впливу на гасіння пожежі.

При розрахунках в цьому випадку прийнято також число Куранта в рециркулювальному потоці $Cu_1 = 0,05$ і відносні підсмоктувачі повітря $\bar{Q}_1 = 0,1$. У той же час число Стантона $St = 0,6$ і параметр $B = 10$. Подача порошку привела, як показують розрахункові дані, до зменшення поверхні горіння F на 20%.

На рис. 5 наведені розрахункові та експериментальні дані впливу на осередок пожежі вогнегасним порошком 2 кг протягом 50

с і рециркуляцією пожежних газів протягом 10 хв.

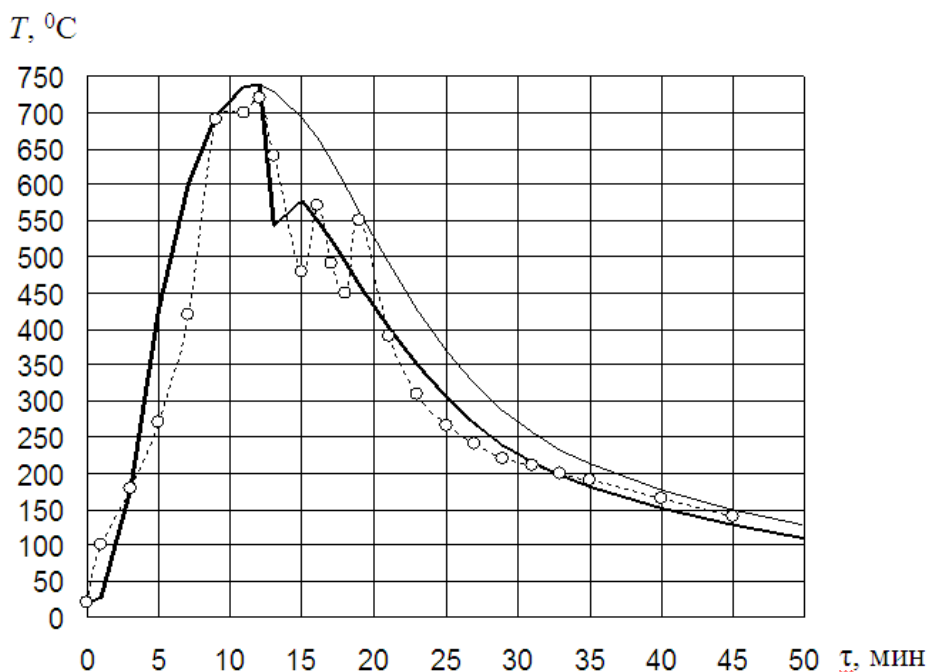


Рис. 4. Результати порівняння розрахункових і експериментальних даних динаміки максимальної температури пожежних газів при їх короткочасній рециркуляції і подачі порошку на протязі 30 с в кабельному тунелі (маркери - експериментальні дані, жирна лінія - розрахункові дані при рециркуляції, тонка - розрахункові дані без рециркуляції і без подачі порошку)

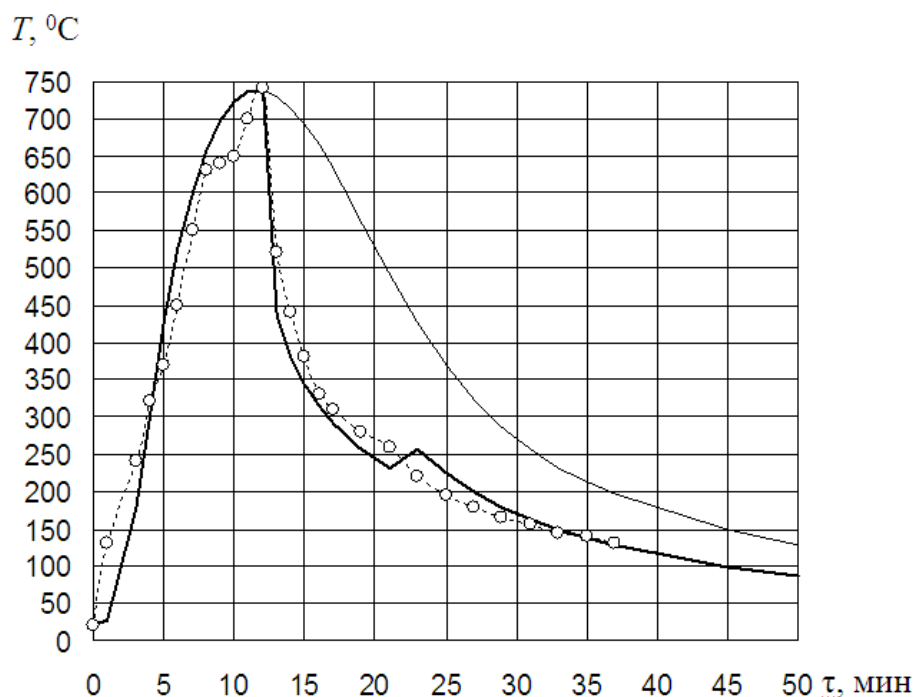


Рис. 5 – Результати порівняння розрахункових і експериментальних даних динаміки максимальної температури пожежних газів при їх тривалій рециркуляції 10 хв та подачі порошку 2 кг протягом 50 с в кабельному тунелі (маркери – експериментальні дані, жирна лінія – розрахункові дані при рециркуляції, тонка – розрахункові дані без рециркуляції і подачі порошку)

Більш тривала подача порошку привела, як показують розрахункові дані, до зменшення поверхні горіння на 30%.

Висновки. Таким чином, експерименти в лабораторних умовах показали, що короткочасне гасіння пожежі порошком не дає позитивних результатів, тому що через деякий час знову виникає полум'яне горіння. Тому необхідно вдаватися до повторної подачі порошку і рециркуляції пожежних газів. Звідси випливає, що гасіння осередку горіння порошком, як і при великомасштабних пожежах, повинно проводитися тривалий час до зниження температури до 100 - 200 °С, після чого необхідно перейти на режим рециркуляції пожежних газів або використовувати інші засоби пожежогасіння.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дмитровский С. Ю. Динамика температуры в кабельных туннелях при рециркуляции продуктов горения / С. Ю. Дмитровский, А. В. Ревякин // Горноспасательное дело: Сб. науч. тр. – Донецк: НИИГД, 2006. – Вып. 43. – С. 90 – 96.

2. Король А. А. Дистанционное тушение подземных пожаров тонкодисперсным порошком / А. А. Король // Пожежна безпека: Зб. наук. праць. – Львів: Сполом, 2001. – С. 213 – 215.

3. Пашковский П. С. Математическая модель переноса тонкодисперсного огнетушащего порошка в проветриваемой горной выработке / П. С. Пашковский, А. А. Король // Науковий вісник.– Київ: УкрНДІПБ МНС України, 2002. – №1 (5). – С. 43 – 48.

4. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров / Д. Драйздейл //– М.: Стройиздат, 1990. – 424 с.

5. Лыков А. В. Тепломассообмен (Справочник) / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1980. – 580 с.

6. Самарский А. А., Гулин А. В. Численные методы. – М.: Наука, 1989. – 432с.

7. Король А.А. Количество огнетушащего порошка для автоматической противопожарной защиты подземных объектов/ А.А.Король, А.В. Осадчий, В.В. Гуржий // Горноспасательное дело: Сб. науч. тр. / НИИГД "Респиратор". – Донецк, 2009. – С. 108 – 112.

В.В. Ковалишин

Моделирование характера влияния огнетушащего порошка на очаг пожара совместно с рециркуляцией продуктов горения.

Пожары в кабельных туннелях в отличие от пожаров в помещениях, в угольных шахтах и на других объектах имеют свою специфику. С целью установления эффективности тушения пожаров в кабельных туннелях различными средствами проведены параллельно эксперименты в лабораторных условиях

без воздействия на очаг пожара какого-либо средства и с влиянием на него различных средств пожаротушения. Установлено, что тушение очага горения пороком, как и при крупномасштабных пожарах, должно проводиться длительно к снижению температуры до 100 - 200 °С, после чего необходимо перейти на режим рециркуляции пожарных газов или использовать другие средства пожаротушения.

Ключевые слова: огнетушащий порошок, рециркуляция продуктов горения, концентрация кислорода

V.V. Kovalyshyn

Modeling the character of extinguishing powders cell fire together with recirculation of combustion products.

The fires in cable tunnels as opposed to fires in areas in coal mines and other objects have their own specificity.

To establish the effectiveness of extinguishing fires in cable tunnels in various ways in parallel experiments conducted in laboratory conditions without affecting the cell fires of any vehicle and with the influence of various means of extinguishing it. Found that fire burning dust cell-com, as in large-scale fires, should be a long time in its provisions to the reduction temperature to 100 - 200 °С, and then to go to the recirculation mode of fire gases or use other means of fire.

Keywords: extinguishing powder, recirculation of combustion products, the concentration of oxygen.

*В.М. Комяк, д-р техн. наук, профессор, НУГЗУ,
Р.В. Романов, соискатель, НУГЗУ*

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ПОЖАРНЫХ ГИДРАНТОВ В ПРАКТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ

В работе рассмотрены методы математического и компьютерного моделирования рационального размещения пожарных гидрантов, позволяющие в зависимости от требований практики выбирать соответствующий алгоритм моделирования, повышая тем самым оперативность принятия решения по оценке противопожарной защиты зданий районов городов

Ключевые слова: математическое и компьютерное моделирование, пожарный гидрант, практические требования

Постановка проблемы. За многие тысячелетия борьбы человечества с пожарами наиболее эффективным и надежным огнетушащим веществом была и остается вода. Источниками противопожарного водоснабжения являются пожарные гидранты (ПГ), установленные на водопроводах города, естественные (реки, озера, ...) и искусственные (колодцы, резервуары, ...) водоисточники.

Следует учитывать, что чрезмерная удаленность ПГ от зданий, сооружений и недостаточное их количество приводят в некоторых случаях к тому, что работа по тушению пожаров значительно усложняется, а иной раз становится невозможной. В таких неблагоприятных условиях пожары могут приводить к большим убыткам. С другой стороны, избыточное количество ПГ приводит к необоснованным тратам на их обслуживание. В связи с этим большое значение приобретают вопросы оптимизации количества и мест размещения пожарных гидрантов в районах городов.

Одним из важных классов задач, направленных на снижение материальных и других видов ресурсов, является класс задач геометрического проектирования. К этому классу относится задача оптимального размещения геометрических объектов, являющаяся математической моделью размещения гидрантов в районе города.

Анализ последних достижений и публикаций. В настоящее время требования к проектированию централизованных постоянных внешних систем водоснабжения населенных пунктов и объектов народного хозяйства изложены в СНиП 2.04.02-84* «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» [1].

Недостатком [1] есть то, что в них указана нормированная дли-

на прокладки рукавных линий (при наличии автонасосов до 200м) от пожарного гидранта до защищаемого здания, но отсутствует методика рационального размещения пожарных гидрантов около любого здания, сооружения или его части.

В статье [2] автор, руководствуясь требованиями, изложенными в [1], предлагает методику размещения ПГ на водопроводных сетях.

В данной методике автор предлагает:

1. Определять радиус действия ПГ, т.е. расстояние, в котором учитывается предельная длина прокладки линии, включающая горизонтальную, вертикальную составляющие и дальность вылета струи из пожарного ствола.

2. Находить наибольшее расстояние между ПГ, которое зависит от радиуса действия гидранта, от количества одновременно действующих гидрантов, от их взаимного расположения.

Недостатком методики является отсутствие подхода к определению рационального количества и оптимальных мест размещения ПГ на водопроводной сети, т.е. отсутствует оптимизация перечисленных параметров.

Постановка задачи и ее решение. В данной статье рассматривается следующая задача. Пусть задана некоторая область в R^2 . В области расположены многоугольники S_i ($i = 1, 2, \dots, n$) (здания) без взаимного пересечения и задана некоторая ломаная H_0, H_1, \dots (сеть водопровода). Рассмотрим область без многоугольников $S_0 \setminus \bigcup_i S_i$, которая является многосвязной.

Рассмотрим объект $S_i \in \{S_i\}$. Проведем сеть L в многосвязной области $S_0 \setminus \bigcup_i S_i$ следующим образом. Пусть вершина сети (местоположение ПГ - (x_j, y_j)) принадлежит ломаной H_0, H_1, \dots . Положение $A_j(x_j, y_j)$ ПГ выбирается на ломаной так, чтобы сеть, выходящая из точки (x_j, y_j) , охватывала объект S_i при условии ограничения на длину образованной петли (рис.1).

Обозначим через $l_i(p)$ длину построенной сети (петли $A_j, A_k, A_{k+1}, A_{k+2}, A_{k+3}, A_j$).

Тогда сформулированное выше ограничение запишется следующим образом

$$l_i(p) \leq 2L_i, \quad (1)$$

где $2L_i$ - максимально допустимая длина петли для объекта S_i , L_i - максимально-допустимое расстояние от объекта S_i до точки на ломаной H_0, H_1, \dots

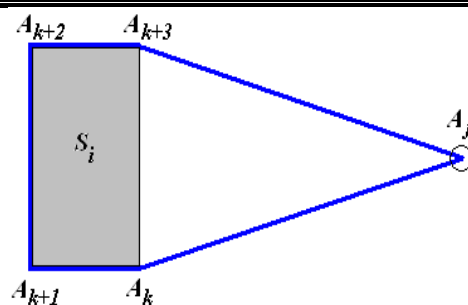


Рис. 1 – Охват петлей $A_j, A_k, A_{k+1}, A_{k+2}, A_{k+3}, A_j$ объекта S_i

Возникает следующая задача. Необходимо найти минимальное количество ПГ и разместить их на ломаной H_0, H_1, \dots так, чтобы сеть, проведенная в многосвязной области и огибающая объекты S_i ($i = 1, 2, \dots, n$), удовлетворяла следующим условиям: длина кратчайшего пути по сети от любой граничной точки многоугольника S_i ($i = 1, 2, \dots, n$) до ближайшего ПГ, расположенного на ломаной, не превышала соответствующего максимально-допустимого расстояния L_i .

Другими словами, необходимо в многосвязной области построить сеть с минимальным количеством вершин, размещенных на некоторой ломаной, с ограничением на длину его ребер. В задаче могут присутствовать ряд дополнительных ограничений.

В работах [3-6] построена математическая модель и метод моделирования размещения рационального количества ПГ на существующей сети водопровода с учетом условия ограничения длины прокладки рукавных линий к зданиям, разнородным с точки зрения их степени огнестойкости, этажности.

Разработано ряд алгоритмов моделирования размещения ПГ [4-6,8].

В работе [4] предложен алгоритм решения, состоящий в построении области допустимых решений, описывающей ограничения задачи, и переборе точек из этой области с целью нахождения наилучшей согласно функции цели. Алгоритм используется при проектировании сети противопожарного водоснабжения района.

Одним из этапов построения области допустимых решений является построение области допустимых размещений ПГ, удовлетворяющих условию (1) для каждого объекта $S_i \in \{S_i\}$.

Механическим способом построения области допустимых размещений ПГ является следующий [4]. Берётся нерастяжимая нить длиной $2L_i$ и охватывается нитью объект S_i ; концы нити закрепляются на карандаше; натягивается нить и вычерчивается вокруг объекта линия, которая является границей области допустимого размещения ПГ для данного объекта. При этом длина линии от координат размещения ПГ

до любой внешней точки объекта S_i не будет превышать длину $2L_i$.

Пример построения области допустимых размещений D (ОДР) для объекта S показан на рис. 2 (ОДР – заштрихована).

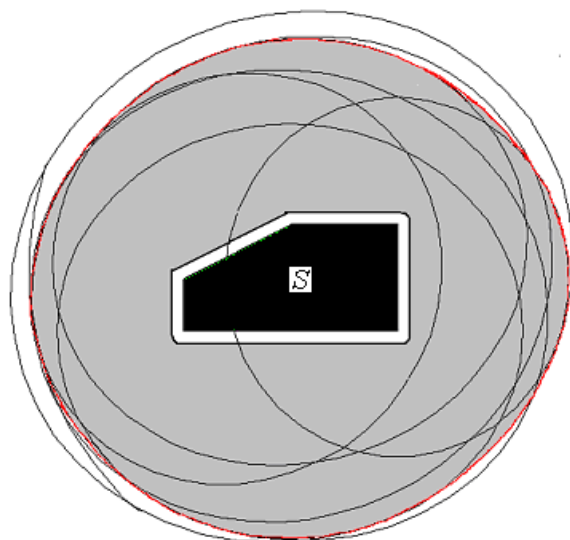


Рис. 2 – Область допустимого размещения для объекта S

Пересечение области допустимых размещений D с ломаной – это область допустимых размещений ПГ на ломаной H_0, H_1, \dots , обозначим ее D_p .

Изложенный выше алгоритм построения области допустимого размещения для объекта (ПГ) может быть индикатором ситуации, защищено ли здание существующей системой водоснабжения. В случае, когда координаты размещения хотя бы одного ПГ принадлежат области D_p , ответ будет положительным.

В работе [8] предложен алгоритм построения неоднородной, с точки зрения степени защиты здания, области допустимых размещений для объекта.

Алгоритм состоит из следующих этапов.

1. Пусть многоугольники $S = \{S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_n\}$ заданы списками вершин $v_{ij}, j = 1, 2, \dots, n_i$ в произвольном направлении обхода. Каждому из зданий S_i соответствует максимально допустимое расстояние L_i до ближайшего гидранта.

2. Каждой внутренней точке здания S_i приписывается целое число $T(v_{S_i})$ - волновая метка (значение $T(v_{S_i}) = -1$).

3. Каждой точке $S(x_k, y_k)$ пространства $CS_i = R^2 \setminus \text{int } S_i$ приписывается целое число $T(s_k)$ - волновая метка (начальное значение $T(s_k) = 0$).

4. Задается некоторое числом δ . Каждая из сторон объекта S_i разбивается на минимально возможное число отрезков, по длине не превышающих δ . Строится множество точек $\{u_j\}$, состоящее из всех

концов полученных таким образом отрезков.

5. Для каждой точки множества $\{u\}$ выполняется волновой алгоритм [7,8], при этом просматриваются инцидентные (смежные) ей точки пространства CS_i . В результате :

если $T(s_k) \geq 0$ и точка смежная по вертикали или горизонтали, то

$$T(s_k) := (m/p; T+5),$$

если $T(s_k) \geq 0$ и точка смежная по диагонали, то

$$T(s_k) := (m/p; T+7),$$

где m – количество «волн» объекта, которые прошли через рассматриваемую точку $S(x_k, y_k)$; p – количество точек множества $\{u\}$, из которых выпускаются «волны»; m/p – коэффициент покрытия объекта S_i точкой пространства $S(x_k, y_k)$ (т.е. сколько точек здания S_i будет защищено при размещении гидранта в точке $S(x_k, y_k)$);

По окончании Шага 5, для каждой точки множества CS_i задается волновая метка, состоящая из двух чисел: коэффициента покрытия и среднего расстояния от данной точки до m точек сторон объекта, через которые прошли волны.

В результате выполнения алгоритма, определяются некоторые области вокруг здания (рис. 3), для каждой точки которых задаются волновые метки. Приоритетом выбора места размещения ПГ в данных областях будет:

- точка, через которую прошло максимальное число волн, т.е. точка, для которой $\frac{m}{p}$ стремится к 1. Множество точек, коэффициент покрытия объекта которых равен 1, образуют область допустимого размещения пожарных гидрантов (ОДРПГ) с полным покрытием граничных точек здания;

-точка с минимальным средним значением до точек покрываемого здания.

Как видно из рисунка 3, большим приоритетом при размещении ПГ вокруг выбранного здания из точек А, В и С владеют точки А и В, т. к. они размещены в ОДРПГ с максимальным покрытием выбранного здания. Из точек А и В бóльшим приоритетом владеет точка А, т.к. среднее значение расстояний от точки А до точек здания, которые она покрывает у нее меньше чем у точки В. Таким образом, из трех вариантов (т. А, В, С) решения задачи, оптимальным решением будет размещение ПГ в т. А.

Изложенный выше алгоритм также может быть индикатором ситуации, защищено ли здание существующей системой водоснабжения. В случае, когда существует точка в области $CS_i = R^2 \setminus \text{int } S_i$, принадлежащая ломаной H_0, H_1, \dots , с коэффициентом покрытия, равным 1, то здание защищено.

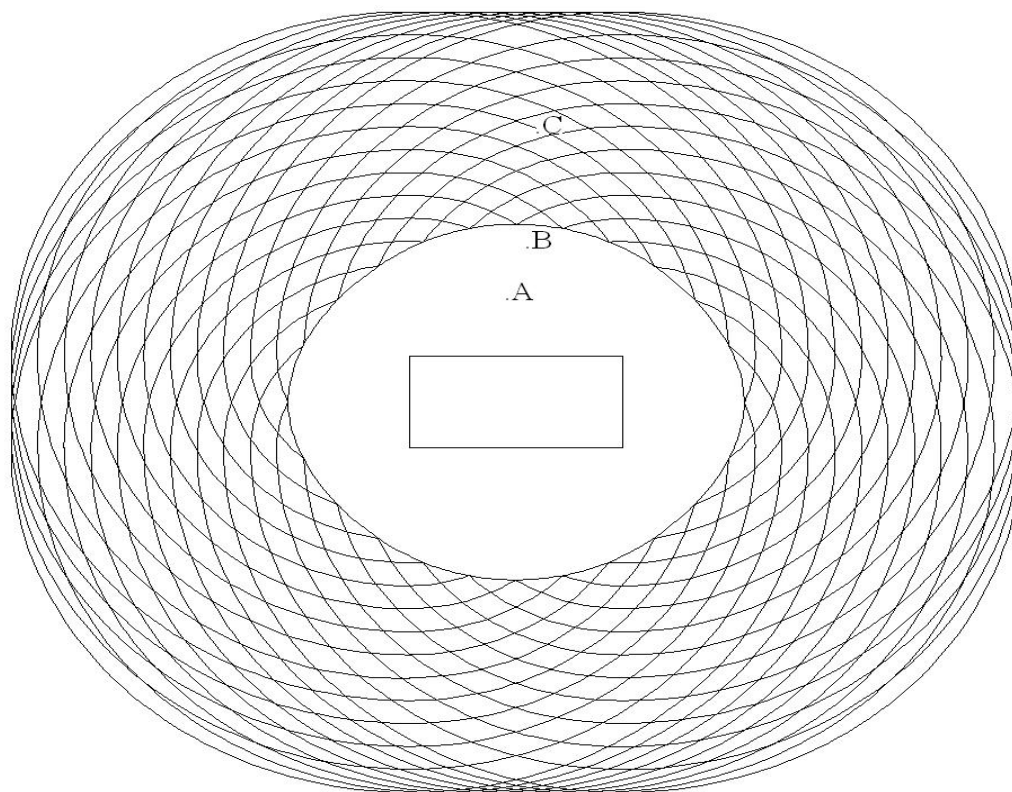


Рис.3 – Область допустимых размещений ПГ для рассматриваемого объекта

Если степень покрытия не единица, то на практике изложенный подход позволит оценить вероятность защиты и выделить непокрытые (недосягаемые существующей сетью водоснабжения) части зданий.

Выводы. Для проектирования противопожарной защиты районов городов с помощью систем водоснабжения разработаны оптимизационные модели размещения пожарных гидрантов и ряд алгоритмов. В зависимости от требований практики разработанные методы математического и компьютерного моделирования позволяют учесть специфику возникающей задачи и выбирать соответствующий алгоритм моделирования рационального размещения, повышая тем самым оперативность принятия решения по оценке противопожарной защиты зданий районов городов.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 2.04.02-84*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. - М.: Стройиздат, 1985.
2. Иванов Е.Н. Размещение пожарных гидрантов на водопроводных сетях / Иванов Е.Н. // Пожарная техника, тактика, и автоматические установки пожаротушения. Сб. научн. тр.- ВИПТШ МВД РФ.- М., -1989.-С.174-182.

3. Комяк В.М. Математическая модель размещения пожарных гидрантов в районах городов / Комяк В.М., Романов Р.В. // Проблемы пожарной безопасности: Сб.научн.тр.-Вып27.-Харьков: НУГЗУ, 2010. -С.97-103

4. Комяк В.М. Алгоритм побудови області припустимого розміщення пожежних гідрантів для одиничних споруд / Комяк В.М., Романов Р.В. // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці / Таврійська державна агротехнічна академія – Вип.4, т.32. – Мелітополь: ТДАТА, 2006. - С. 70 - 73.

5. Комяк В.М. Модель и метод определения допустимых параметров размещения пожарных гидрантов в районе города / Комяк В.М., Романов Р.В., Панкратов А.В.// Геометричне та комп'ютерне моделювання, Харьков: ХДУХТ. – 2009. - Вип. 25. – С. 27-32.

6. Комяк В.М. Метод оптимізації розміщення пожежних гідрантів в районах міста / Комяк В.М., Панкратов А.В., Романов Р.В.// Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці / Таврійський державний агротехнічний університет. – Вип. 4. ,т.44.- Мелітополь: ТДАТУ. – 2009. С. 142-148.

7. Кристофидес Н. Теория графов Алгоритмический подход: Пер. с англ./ Кристофидес Н. – М.: Мир, 1978. – 432 с.

8. Романов Р.В. Метод решения оптимизационной задачи размещения пожарных гидрантов в районах городов / Романов Р.В. Проблемы пожарной безопасности: Сб.научн.тр.-Вып26.-Харьков: НУГЗУ, 2009. -С.104-112.

В.М. Комяк, Р.В. Романов

Моделювання раціонального розміщення пожежних гідрантів у практичній діяльності пожежної охорони.

В роботі розглянуті методи математичного та комп'ютерного моделювання раціонального розміщення пожежних гідрантів, що дозволяють в залежності від вимог практики обирати відповідний алгоритм, який підвищує ефективність прийняття рішень по оцінці протипожежного захисту будинків районів міст.

Ключові слова: математичне та комп'ютерне моделювання, пожежний гідрант, практичні вимоги.

V.M. Komyak, R.V. Romanov

Modeling of rational placement of fire hydrants in practical works of fire service.

It is considered the methods of mathematical and computer modeling of rational placement of fire hydrants, which allows to choose the appropriate algorithm depending on the practical requirements. It will increase the effectiveness of decision making for fire protection of building in the urban area.

Keywords: mathematical and computer modeling, fire hydrant, practical requirements.

*Н.І. Коровникова, канд. хім. наук, доцент, НУЦЗУ,
В.В. Олійник, канд. техн. наук, нач. кафедри, НУЦЗУ,
Ю.Ю. Рипало, студентка, НУЦЗУ*

ВПЛИВ УМОВ МОДИФІКАЦІЇ СИНТЕТИЧНОГО ВОЛОКНА НА ЗНИЖЕННЯ ГОРЮЧОСТІ

(представлено д-ром техн. наук Комяк В.М.)

Досліджено вплив умов модифікації антипіреном зразків волокна нітрон з урахування сорбції. Показано, що модифікація волокна антипіреном за вказаною методикою дозволяє підвищити величину кисневого індексу оброблених метилфосфонамідом зразків нітрону.

Ключові слова: нітрон, метилфосфонамід, горючість синтетичного волокна

Постановка проблеми. Синтетичні волокна мають комплекс цінних властивостей - стійкість до стирання, низьке водопоглинання, високу пружність. Вони широко використовуються для виготовлення тканин та виробів побутового та технічного призначення. Але більшість синтетичних волокон є горючими та в умовах пожежі дуже легко спалахують, швидко розповсюджують полум'я та під час горіння виділяють велику кількість шкідливих токсичних газів та диму [1-3]. Крім того, в більшості країн світу існують закони, що не дозволяють використання горючих матеріалів для обробки приміщень, транспорту, літаків та під час виготовлення спецодягу. Тому проблема зниження горючості волокнистих матеріалів є актуальною. Особливим класом волокон є поліакрилонітрильні волокна, які виробляються у світі приблизно у кількості 2,5 млн тон у рік [4,5]. Та вогнезахист таких волокон достатньо важкий внаслідок хімічної будови поліакрилонітрильного сополімеру, невеликої кількості функціональних груп, гідрофобності. В наслідок цього дослідження щодо способів зниження горючості таких об'єктів є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні дослідження методів зниження горючості поліакрилонітрильних волокон пов'язані з розробкою різних умов поверхневої обробки волокон та матеріалів (модифікації) сповільнювачами горіння (антипіренами), а також вогнесповільнюючих систем [6]. Відомо, що для зниження горіння саме поліакрилонітрильних волокон широко використовують такі антипірени, як пірофакс, діамідометилфосфат та інші фосфорозотвміщуючі сполуки [6]. Але метод обробки такими речовинами залежить від великої кількості факторів: властивостей вихідного матеріалу або волокна, технології його отримання та хімічного складу, умов обробки антипіренами [7].

Постановка завдання та його вирішення. В даній роботі вирішується задача отримання ефективного методу модифікації синтетичного волокна нітрон з метою зниження його горючості, продовжуючи дослідження [7]. В роботі використовували повітряно-сухі зразки промислового волокна нітрон [8]. Вологість волокна при проведенні експерименту складала 2,0-3,5%. Наважка нітрону - 0,5 г, а похибка зважування – 0,01 г. Для одного експерименту використовували не менше 5 зразків волокна, які витримували в лабораторних умовах при температурі 23°C впродовж 24 годин. Для модифікації волокна використовували 20-40 % водні розчини метилфосфонаміду та 0,1-0,3 н розчини фосфорної кислоти. Співвідношення останніх було розраховано за умов необхідної кількості інгібіторів горіння – фосфору та азоту. В процесі модифікації нітрон у сповільнювачами горіння використовували такі стадії, як обробка волокна протягом 30-300 с при концентрації метилфосфонаміду (C_{MFA}) 20-40 мас. %, сушка до постійної маси при температурі $25 \pm 0,5$ °C, термообробка при температурах 120-150°C протягом 300-600 с, промивання водою та сушка зразків. Методику модифікації волокна нітрон наведено в [7].

Відомо, що під час модифікації волокон сповільнювачами горіння важливою характеристикою ефективності процесу є ефективність сорбційної взаємодії антипірену з волокном. Для цього в статичних умовах після термообробки наважок дослідили сорбційну ємність волокна за метилфосфонамідом та розраховали співвідношення сповільнювача горіння, що утримує наважка волокну нітрон після однієї промивки водою (C_1 , % мас.) до концентрації метилфосфонаміду (C_2 , % мас.), що утримала наважка волокна після модифікації.

Експериментальні дані табл. 1 свідчать, що в умовах проведених дослідів найбільшу ефективність утримання антипірену наважкою волокна нітрон представляє система II при температурі термообробки нітрону 130°C та часу обробки 60 та 300 с.

Таблиця 1
Вплив умов модифікації на сорбцію метилфосфонаміду зразками волокна нітрон після термообробки

Склад щодо обробки волокна*	C_{MFA} , мас %	T, °C термообробки нітрон	C_1 / C_2 , $\tau=30$ с	C_1 / C_2 , $\tau=60$ с	C_1 / C_2 , $\tau=300$ с
I	20	120	46	53	48
		130	47	55	52
		140	46	52	52
II	30	120	43	50	56
		130	51	57	58
		140	46	53	53
III	40	120	42	48	48
		130	47	42	53
		140	46	41	48

Примітка. Системи I-III – обробка волокна 0,1, 0,15 та 0,2 н розчином H_3PO_4 відповідно.

На основі отриманих даних можна зробити висновок про ефективні параметри модифікації зразків волокна нітрон, які за нашими результатами становлять: концентрація метилфосфонаміду 30 % мас., час сорбції антипірену волокном – від 60 с, подальшою обробку водним розчином фосфорної кислоти концентрацією 0,15 н та температурою обробки волокна 120-130°C.

В роботі також досліджено кисневий індекс (КІ) наважок нітрону найбільш ефективного результату модифікації згідно методики ГОСТ 12.01.-044-89 [9]. Похибка визначення значень КІ знаходилась в межах $\pm 0,07-0,1$ та в середньому складала 0,1. За результатами цих експериментів КІ вихідних та модифікованих зразків складають 19,7 та 26,7 об % відповідно.

Висновки. 1. Встановлено найбільш ефективні умови модифікації антипіреном зразків нітрону з урахуванням ефективності сорбції волокна.

2. Модифікація волокна антипіреном за вказаною методикою дозволяє підвищити кисневий індекс вихідного та обробленого метилфосфонамідом зразків нітрону з 19,7 до 26,7 об. % відповідно.

ЛІТЕРАТУРА

1. Баратов А.Н. Пожарная опасность текстильных материалов / А.Н. Баратов, Н.И. Константинова, И.С. Молчадский // - М.: Стройиздат, 2006. - 256 с.

2. 1. Перепелкин, К.Е. Химические волокна: развитие производства, методы получения, свойства, перспективы: монография / К.Е. Перепелкин//. – СПб.: РИО СПбГУТД, 2008. – 354 с.

3. Берлин А.А. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести / А.А. Берлин // Соровский Образовательный журнала. - 1996. - №4. - С 16–24.

4. Айзенштейн, Э.М. Мировое производство химических волокон в 2009 году / Э.М. Айзенштейн //Текстильная промышленность. – 2010. – № 4. – С. 39-45.

5. Циперман В. Л. Полиакрилонитрильные волокна (типы, свойства, области применения, производители) / В. Л. Циперман, Л. П. Нестерова // М., 1984.

6. Зубкова Н.С. Методы снижения горючести полимерных волокнистых материалов / Н.С. Зубкова // Полимерные материалы XXI века. - М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2007. - С. 43–75.

7. Коровникова Н.И. Снижение горючести синтетического волокна нитрон / Н.И. Коровникова, В.В. Олейник, А.А. Ковалева // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ.- 2009. - Вып. 26.- С. 44-48.

8. Коровникова Н.И. Протолитические и комплексообразующие свойства волокнистых комплекситов в смесях вода-диоксан: Дис.... канд. хим. наук. Харьков: Харьк. нац. ун-т, 2002.

9. Пластмассы. Метод определения кислородного индекса: ГОСТ 12.1.044-89: [Электронный ресурс] Режим доступа <http://www.fireman.ru>

Н.И. Коровникова, В.В. Олейник, Ю.Ю. Рыпало

Влияние условий модификации синтетического волокна на снижение горючести.

Исследовано влияние условий модификации антипиреном образцов волокна нитрон с учетом сорбции. Показано, что модификация волокна антипиреном по указанной методике позволяет повысить величину кислородного индекса обработанных метилфосфонамидом образцов нитрона.

Ключевые слова: нитрон, метилфосфонамид, горючесть синтетического волокна.

N.I. Korovnikova, V.V. Oliynik, Y.Y. Ripalo

Influence of conditions of modification of synthetic fiber to reduce the flammability.

The influence of environment modification flame retardant fiber samples nitron based sorption. It is shown that the modification of fiber flame retardant on this technique can increase the value of oxygen index of samples processed metilfosfonamidom nitron.

Keywords: nitron, metilfosfonamid, flammability of synthetic fiber.

*В.К. Костенко, д.т.н., професор, ДНТУ,
О.Л. Зав'ялова, к.т.н., с.н.с., ДНТУ,
А.І. Морозов, к.т.н., НУЦЗУ*

ПОПЕРЕДЖЕННЯ САМОНАГРІВАННЯ ВУГІЛЛЯ В ЗОНАХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПОРУШЕНЬ

На основі класифікації способів профілактики самозаймання вугілля розроблено нові способи запобігання самонагріванню вугілля в місцях перетинання геологічних порушень пластів підготовчими гірничими виробками, при цьому вирішено завдання гальмування ефузивних процесів шляхом обмеження доступу кисню до вугілля.

Ключові слова: зона геологічного порушення, осередки самозаймання і самонагрівання вугілля, пожежонебезпечна зона, структурна будова порушеного пласта, ефузивні процеси, способи профілактики ендегенних пожеж, антипіроген.

Постановка проблеми. Підземні пожежі, будучи найбільш небезпечним видом підземних аварій, можуть істотно впливати на нормальний режим роботи шахт і приводити до важких наслідків економічного і соціального характеру. Підземні пожежі викликають серйозні порушення технологічного процесу, що обумовлює значні збитки підприємства у вигляді втрат від скорочення видобутку вугілля, збитку від аварій і витрати на локалізацію і гасіння пожежі. Прецеденти самонагрівання вугілля в певних умовах відбуваються досить часто і представляють значну загрозу безпеки праці гірників. Крім того, при самонагріванні вугілля створюється велика кількість твердих, рідких і газоподібних речовин, котрі забруднюють навколишнє середовище, тому ефективна профілактика самонагрівання вугілля є і соціальним завданням, дозволяючи поліпшити екологічну обстановку.

Осередки самонагрівання і самозаймання вугілля останнім часом все частіше виявляють в місцях перетину підготовчими виробками зон геологічних порушень пластів. Прикладом може служити ОП «Шахта імені О.Ф.Засядька», де тільки у період з 1998 по 2001 роки відбулося 16 випадків самонагрівання вугілля в підготовчих виробках західного крила шахтопласту m_3 . Своєчасна ліквідація осередків самонагрівання дозволила запобігти виникненню ендегенних пожеж. Аналогічні випадки мали місце на шахтах «Ольховатська» ДП «Орджоникідзевугілля», «Прівольнянська», ім. Г.Г.Капустіна ДП «Лісичанськвугілля» та інших, проте в результаті неприйняття заходів з ліквідації осередків самонагрівання запобігти пожеж на цих шахтах не вдалося, що привело до значних збитків.

У таких умовах запобігання самонагрівання вугілля в виробках що перетинають зони геологічних порушень (ЗГП) є актуальним науково-технічним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Встановлено, що будова вугільного пласта в місцях перетинання геологічних порушень підготовчими виробками якісно відрізняється від структури пласта в незайманому масиві наявністю в зоні впливу виробки густої мережі хаотичних тектонічних макротріщин, які оточують мікротріщини з шириною розкриття меншою довжини вільного пробігу молекул газу (10^{-7} - 10^{-10} м) [1, 2]. Особливості структурної побудови пласту визначають протікання ефузивних процесів в порожнинах тріщин, що супроводжуються розділенням газоповітряної суміші на складові гази. Формування пожежонебезпечних зон в місцях перетину геологічних порушень підготовчими виробками обумовлено утворенням у макротріщинах областей з підвищеним вмістом кисню.

Виходячи з особливостей структури порушеного гірського масиву і динаміки газів в тріщинуватому середовищі, була теоретично обґрунтована гіпотеза про ініціюючий вплив геомеханічних і термодинамічних (зокрема ефузивних) процесів при паралельній дії на вугілля хімічних і біогеохімічних чинників, що призводять до самонагрівання і самозаймання вугілля, яка знайшла підтвердження на практиці [1, 2]. На цій основі була розроблена класифікація способів попередження і ліквідації осередків самонагрівання і горіння вугілля [2, 3] в розкритих підготовчими виробками ЗГП (табл. 1). Вона є інструментом, який дозволяє не тільки класифікувати відомі способи профілактичних робіт з недопущення ендегенних пожеж, але модернізувати їх або розробляти нові.

Суть класифікаційного підходу полягає в розгляді сукупності способів і засобів дії на елементи пожежонебезпечної зони, що формується в гірничих виробках, яка складається з роздробленого вугілля, породи, вологи і газоповітряної суміші.

Залежно від об'єкту дії, вибирають спосіб дії, тактику, місце здійснення, засіб і час дії, таким чином, ставиться завдання по розробці нового способу запобігання самонагрівання і самозаймання вугілля в гірничих виробках або модернізації відомого.

Постановка завдання та її розв'язання. У зв'язку з тим, що прискорення самонагрівання вугілля в ЗГП вугільних пластів, що розкриті підготовчими виробками, обумовлене ізотермічним ефузивним розділенням газоповітряних сумішей і появою в мережі макро- і мікротріщин областей з підвищеним вмістом кисню, головне завдання даної роботи - розробка нових способів попередження самозаймання вугілля в гірничих виробках шляхом гальмування ефузивних процесів обмеженням доступу кисню до вугілля. На кафедрі природоохоронної

діяльності ДонНТУ розроблені способи запобігання самонагрівання вугілля в ЗГП пластів, розкритих підготовчими виробками: один передбачає придушення ефузивних процесів за допомогою використання газорозподілюючих мембран [2, 4], другий – зниження хімічної активності вугілля застосуванням антипірогену тривалої дії [2, 5, 6].

Таблиця 1
Класифікація способів профілактики самозаймання вугілля в зонах геологічних порушень, що розкриті підготовчими виробками

Класифікаційна ознака	Предмет профілактичних дій														
	Вугілля			Порода			Повітря			Метан		Вода			
Спосіб дії на об'єкт	Зменшення тріщинної порожнечності	Зменшення дифузного шару	Зміна хімічних властивостей	Обробка антиоксидантами	Розбавлення породових розчинів	Скорочення доступу кисню	Зміна газового складу	Управління витратою і тиском	Зміна шляхів руху	Дегазація гірського масиву	Управління газовіддачею	Управління рухом у порожнинах	Управління фільтрацією	Зміна хімічного складу	Зміна фазового стану
Тактика	Дистанційно						Безпосередня дія								
Місце здійснення	Вугільний пласт		Породи, що вміщують пласт			Кріплення виробки									
Засіб дії	Газ		Рідина			Тверда речовина		Комбінації (піни суспензії, аерозолі)							
Режим дії	Короткостроковий		Періодичний					Довгостроковий							

Вибір способу проводиться з міркувань економічної ефективності. Якщо ширина ЗГП невелика ($a \leq 1$ м) і є магістраль стислого повітря, то доцільна установка газороздільного пристрою (рис. 1).

Спосіб попередження самонагрівання вугілля в підземних виробках реалізується таким чином. При перетині підготовчими виробками ЗГП вугільного пласта 4 зводять кріплення 1, а закріпний простір заповнюють податливим ізолюючим вогнетривким матеріалом 2. Шпури 3 бурять в стінки виробок на глибину до 3 м. У шпур вставляється газороздільний пристрій 5, який під'єднується до магістралі стислого повітря 6.

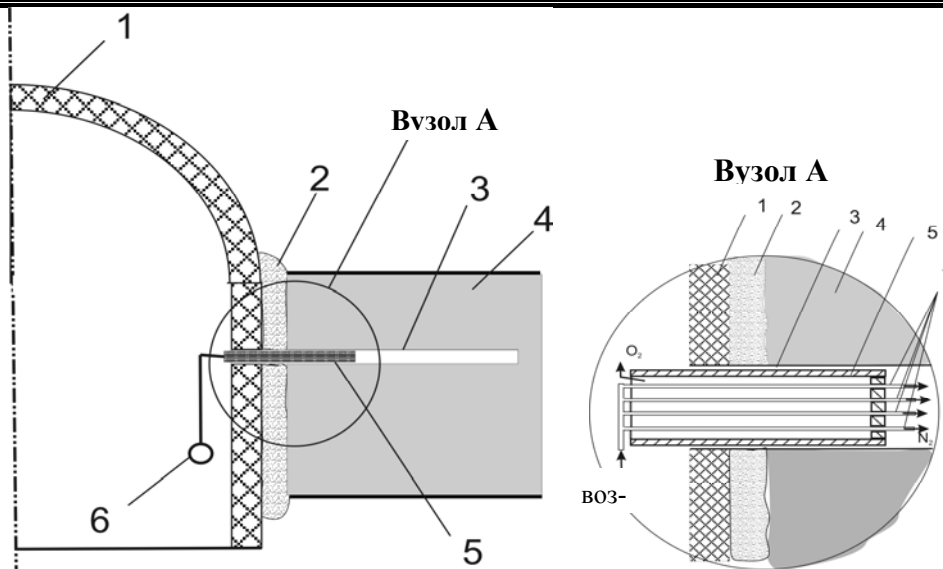


Рис. 1 – Спосіб попередження самонагрівання вугілля в підземних гірничих виробках, де 1 – кріплення виробки; 2 - вогнетривкий податливий ізолюючий матеріал; 3 - шпур; 4 - вугільний пласт; 5 - газороздільний пристрій; 6 - магістраль стислого повітря; 7 - мембранний блок.

Стисле повітря подається з магістралі 6 в газороздільючий пристрій 5. Кисень, який міститься в повітрі, проникає при цьому через стінки волокон, азот проходить по капілярах, виходить з іншого боку мембранного блоку 7 в шпур 3 і далі по тріщинах поступає у вугільний пласт 4. Газороздільючий пристрій забезпечує чистоту азоту 95 % при тиску газу 0,6 МПа. Таким чином, не створюються умови для появи в тріщинуватом вугільному масиві зон з підвищеним вмістом кисню і, як наслідок цього, осередків самонагрівання вугілля.

Подачу повітря здійснюють періодично з інтервалом що не перевищує інкубаційного періоду самозаймання вугілля, визначуваного згідно [6]. Кількість азоту, що подається, розраховується по формулі:

$$V_{азот} = 4K_{mn} \cdot m \cdot u_{\delta} \cdot b_n,$$

де K_{mn} - середній коефіцієнт порожнечності; m - потужність пласта в ЗГП, м; u_{δ} - величина бічного зсуву стінки виробки, м; b_n - ширина ЗГП, м.

Якщо ж $a > 1$ м, то економічно вигідним є застосування антипірогену тривалої дії (рис.2).

По вугільному пласту бурять шпури завдовжки 2,5 м. Довжина шпурів дорівнює найбільшій відстані від стінки вироблення L_{max} . Шпури бурять під кутом $\alpha = 5 \dots 10^\circ$ з ухилом від гирла до забою. Відстань між шпурами по вертикалі і горизонталі вибирають в діапазоні 0,4...0,5 м.

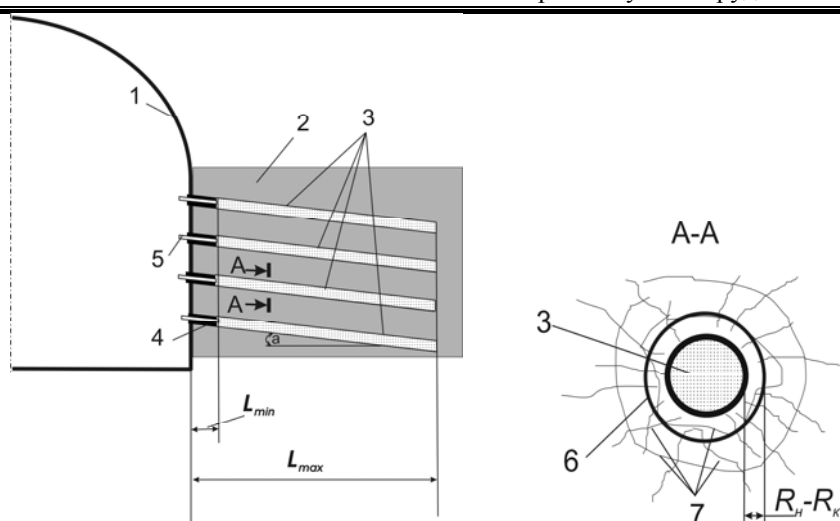


Рис. 2 – Спосіб попередження самонагрівання вугілля в пласті: 1- кріплення виробки; 2- вугільний пласт; 3- заповнені антипірогеном шпури; 4- глиняна пробка; 5- трубки; 6- контур шпуру; 7- тріщини у вугільному пласті; $R_n - R_k$ – різниця між початковим і кінцевим радіусом шпуру

Суміш подрібнених вугілля і чорного металу готують в штреку. Як подрібнене вугілля можна використовувати штиб, який утворюється при бурінні шпурів, а як чорний метал - подрібнену і знежирену стружку стали марки СТ-3, яка є відходом в ремонтно-механічних майстернях. Частинки інгредієнтів повинні мати розмір не більше 10...20 мм. Співвідношення вугілля і металу складає: вугілля - 15%, метал - 85%. Для заповнення одного шпура готують суміш масою 9,5 кг, для чого беруть 1,4 кг подрібненого вугілля і 8,1 кг подрібненої металевої стружки. Також заздалегідь готують розчин хлориду натрію з розрахунку приблизно 1,7 л розчину на один шпур, для цього у воді об'ємом 1,5 л розчиняють 0,5 кг куховарської солі.

Готову композицію засипають в шпур, заповнюючи його на ділянці від забою до 0,5 м від гирла. Решта ділянки шпура від гирла до суміші закривають глиняною пробкою з прокладеною в ній трубкою. Довжина пробки дорівнює мінімальній відстані L_{min} , на якій були зареєстровані джерела самонагрівання вугілля. У заповнений сумішшю шпур по трубці подають розчин натрію хлориду.

В результаті процесу електролізу хлориду натрію утворюється хлор, який, взаємодіючи з вугільною поверхнею, дезактивує активні центри самонагрівання вугілля. Під дією гірського тиску відбуваються деформації шпуру, його початковий периметр істотно зменшується. Радіус шпуру з початкового розміру R_n зменшувався до R_k (див. рис.2). Навколо шпуру з'являються тріщини, при цьому з'являються нові поверхні свіжого вугілля, схильного до самонагрівання.

За рахунок деформацій стінок шпуру відбувається частинки вугілля і металу в антипірогенній суміші, з'являються нові гальванопари, і виділяється хлор, який обмиває свіжі вугільні поверхні, нейтра-

лізуючи активні центри. Процес триває безперервно, що дозволяє уникнути негативного впливу гірського тиску і забезпечити надійну і ефективну профілактику ендогенних пожеж при виникненні нових тріщин у вугіллі під впливом гірського тиску.

Висновки. Таким чином, розроблені способи попередження самонагрівання вугілля в гірничих виробках, що перетинаються ЗГП, передбачають використання дешевих, недефіцитних матеріалів, які не містять небезпечні і шкідливі компоненти. Проміжні продукти реакції утворюються в незначних кількостях, миттєво реагують з вугіллям, не виділяючись в гірничі виробки.

Отримані результати теоретичних досліджень [2] дозволили обґрунтувати наступні технологічні параметри:

- довжина шпуру $l_{ш} = L_{max}$;
- глибина гатки $l_3 = L_{min}$;
- кут нахилу шпурів $\alpha = 5 \dots 10^\circ$. Це необхідно при застосуванні антипірогену тривалої дії для повнішого заповнення шпурів електролітом, причому, якщо буріння останніх під нахилом неможливо, то використовують газорозділюючі пристрої;
- максимальна відстань між шпурами в ЗГП, що має ширину більше, ніж a_k . Слід забезпечувати профілактичну обробку цих порушень, так, щоб в них не залишалось необроблених ділянок, що мають розміри більш a_k . Отже, максимальна відстань між шпурами рекомендується приймати $b_{ш} \leq a_k$, з урахуванням гарантованої обробки всієї ЗГП;
- загальна кількість шпурів $n = a/b_{ш}$.

ЛІТЕРАТУРА

1. Костенко В.К. Особенности самонагревания угля вблизи контура горной выработки в зонах геологических нарушений/ В.К.Костенко, Е.Л.Завьялова// Форум гірників – 2005: матеріали міжнарод. конф., 12-14 жовт. 2005 р. Т.3.–Дніпропетровськ, 2005. – С. 40 – 47.

2. Предупреждение и тушение подземных эндогенных пожаров в труднодоступных местах/ [Костенко В.К., Булгаков Ю.Ф., Подкопаев С.В. и др.]; под ред. В.К. Костенко. – Донецк: Изд-во «Ноулидж» (донецкое отделение), 2010. – 253 с.

3. Костенко В.К. Классификация способов подавления самонагревания угля в пересекаемых подготовительными выработками зонах геологических нарушений пластов / В.К.Костенко, Е.Л.Завьялова// Науковий вісник УкрНДПБ. – 2006. – №2(14). – С. 34 – 39.

4. Пат. на винахід №83925 Україна, МПК E21F 5/00. Спосіб попередження самонагрівання вугілля у підземних гірничих виробках/ В.К.Костенко, О.Л.Зав'ялова; заявник і власник ДонНТУ. – №200602380; заявл. 03.03.2006; опубл. 26.01. 2009, Бюл. №2.

5. Пат. на винахід №83925 Україна, МПК E21F 5/00. Спосіб попередження самонагрівання вугілля у пласті/ В.К.Костенко, О.Л.Зав'ялова, О.Г.Зав'ялова; заявник і власник ДонНТУ. – №200612444; заявл. 27.11.2006; опубл. 26.08. 2008, Бюл. №16.

6. Зав'ялова Е.Л. Технология предотвращения самонагрева угля в зонах геологических нарушений пластов/ Е.Л.Зав'ялова// Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2007. – №2(16).– С. 28–34.

В.К. Костенко, Е.Л. Зав'ялова, А.И. Морозов

Предупреждение самонагревания угля в зонах геологических нарушений

На основе классификации способов профилактики самовозгорания угля разработаны новые способы предупреждения самонагревания угля в местах пересечения геологических нарушений пластов подготовительными горными выработками, при этом решена задача торможения эффузивных процессов путем ограничения доступа кислорода к углю.

Ключевые слова: зона геологического нарушения, очаги самовозгорания и самонагревания угля, пожароопасная зона, структурное строение нарушенного пласта, эффузивные процессы, способы профилактики эндогенных пожаров, антипироген.

V. Kostenko, E. Zavyalova, A. Morozov

Prevention of coal self-heating in areas of geological disturbances

On the basis of classification of methods of prophylaxis of spontaneous combustion of coal the new methods of prevention of self-heating of coal are developed in the places of crossing of geological violations of layers preparatory making, the task of braking of effusions processes is here decided by an access of oxygen restriction to coal.

Keywords: faulted area, spontaneous combustion and coal self-heating sites, fire hazardous zone, faulted seam structure, coal fracturing, effusive process, prevention of self-combustion fires, antipyrogenes.

Л.Н. Красноха, канд. техн. наук, нач. отдела научных работ Госпотребстандарта Украины,

Н.Н. Оберемок, адъюнкт, НУГЗУ,

А.В. Прокопов, д-р физ.-мат. наук, профессор, НУГЗУ

АЛГОРИТМ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СФЕРЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Представлен алгоритм выбора оптимального варианта при планировании и оценке результатов метрологических работ в сфере пожарной безопасности. В основу алгоритма положен метод анализа иерархий, допускающий использование количественных и качественных критериев различной природы и размерности.

Ключевые слова: модель, оптимизация, пожарная безопасность, метод анализа иерархий.

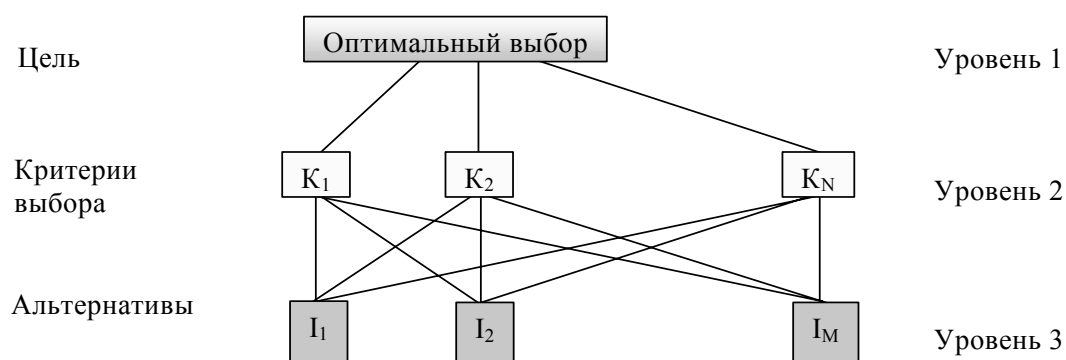
Постановка проблемы. Результативность мероприятий по обеспечению пожарной безопасности в различных сферах деятельности человека зависит от многих факторов, среди которых важное место занимает уровень метрологического обеспечения данных мероприятий. Именно метрология и измерения позволяют получить разнообразную количественную информацию, необходимую для обоснования адекватных управленческих и технических решений по вопросам пожарной безопасности. В связи с этим актуальными являются исследования, направленные на разработку эффективных методов планирования и оценки результатов метрологических работ в сфере пожарной безопасности.

Анализ последних исследований и публикаций. В статье [1] обоснован алгоритм оценки экономической целесообразности инвестиций в метрологическую деятельность, осуществляемую в сфере пожарной безопасности. Следует, однако, отметить, что при планировании и оценке результатов метрологических работ в данной сфере является существенным учет не только экономических, но и многих других факторов, в общем случае имеющих неэкономический характер. Среди таких факторов можно указать степень соответствия оснащения пожарно-спасательных подразделений растущим техническим требованиям, расширение их функциональных возможностей и повышение эффективности работы, повышение уровня безопасности населения, уменьшение вероятности чрезвычайных ситуаций и т.д. Из сказанного следует, что задача оптимального планирования мет-

рологических работ в сфере пожарной безопасности (равно как и задача оценки эффективности результатов этих работ) является многокритериальной. Критерии выбора (оптимизации), в соответствии с вышеизложенным, могут быть качественными либо количественными, имеющими различную числовую природу, что затрудняет решение оптимизационной задачи.

Для решения подобного рода задач в последние годы используется метод анализа иерархий (МАИ), предложенный американским математиком Т.Саати [2]. В статье [3] этот метод был опробован на примере решения общей задачи оценки эффективности деятельности предприятий и организаций МЧС Украины. В настоящей статье этот метод предлагается использовать для решения более узких задач планирования и оценки результатов метрологической деятельности подразделений МЧС в сфере пожарной безопасности.

Структуру рассматриваемой задачи в рамках МАИ можно представить [1] в виде трех иерархических уровней. Первый (верхний) уровень иерархии соответствует цели поставленной задачи – оптимальному выбору (речь идет либо о выборе оптимального плана метрологической деятельности либо о выборе наиболее эффективного результата осуществления избранного плана). На втором уровне размещаются критерии, с помощью которых осуществляется выбор. На третьем (нижнем) уровне – альтернативы, которые необходимо сравнить, чтобы осуществить выбор.



Анализ показывает, что МАИ позволяет спланировать и оценить эффективность метрологической деятельности подразделений МЧС, в сферу ответственности которых входит обеспечение пожарной безопасности, причем в различной исходной постановке (при использовании различных наборов критериев оценки деятельности). Прежде всего, может быть выполнено оптимальное планирование и сравнительный анализ деятельности всех пожарно-спасательных подразделений, подчиняющихся областным управлениям МЧС (один вариант для всех подразделений). С другим набором критериев мо-

жет быть выполнено планирование и сравнительный анализ деятельности соответствующих подразделений вузов или министерства.

Кроме этого, может быть проведен сравнительный анализ динамики результатов работы по каждому подразделению отдельно – для реализации этого варианта итоги работы подразделения в текущем году (периоде) сравниваются с итогами его работы за предыдущий год (период).

Расчетный алгоритм для всех вышеуказанных вариантов может быть одинаковым, но исходные данные для расчетов по каждому из вариантов должны быть отдельными.

Приведем основные соотношения расчетного алгоритма МАИ, адаптированные к рассматриваемой задаче. При попарном сравнении между собой всех критериев выбранного варианта, в том числе, количественных и качественных, результатам сравнения этих критериев придаются численные значения согласно шкале Саати, в которой относительная важность a_{ij} критерия i в сравнении с критерием j может быть выражена натуральным числом от 1 до 9. При этом равная важность характеризуется числом 1, умеренное преимущество одного над другим – 3, существенное преимущество – 5, значительное преимущество – 7, очень сильное преимущество – 9. Промежуточное решение между двумя соседними суждениями – 2, 4, 6, 8. Числа a_{ij} являются элементами матрицы попарных сравнений критериев:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} \dots a_{1N} \\ \dots \dots \dots \\ a_{N1} \dots a_{NN} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где N - количество критериев, a_{ij} - относительная важность критерия i по отношению к критерию j (результат попарного сравнения по шкале Саати). Когда $i = j$, то $a_{ij} = 1$, $a_{ij} = a_{ji}^{-1}$ [1].

Аналогично строятся также матрицы \mathbf{B}_k попарного сравнения альтернатив (подразделений либо вариантов планирования метрологической деятельности) относительно каждого критерия с номером $k = 1, 2, \dots, N$, N - количество критериев:

$$\mathbf{B}_k = \begin{pmatrix} b_{11}^k \dots b_{1M}^k \\ \dots \dots \dots \\ b_{M1}^k \dots b_{MM}^k \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где b_{in}^k - результат попарного сравнения 1-го и n -го подразделения (варианта планирования) в соответствии с k -м критерием ($k=1,2,\dots,N$), M - количество подразделений или вариантов планирования метрологических работ, которые сравниваются.

С использованием матриц (1), (2) оптимальный выбор из сравниваемых вариантов проводится таким образом:

а) определяются нормированные собственные векторы для каждой построенной матрицы попарных сравнений (это векторы, которые определяют локальные приоритеты). Компоненты нормированных собственных векторов локальных приоритетов определяются по формуле:

$$A_i^k = \left(\prod_{j=1}^L X_{ij}^k \right)^{\frac{1}{L}} \left(\sum_{i=1}^L \left(\prod_{j=1}^L X_{ij}^k \right)^{\frac{1}{L}} \right)^{-1}, \quad (3)$$

где $X_{ij}^k = a_{ij}$ для $k=0$; $L=N$; $i, j=1,2,\dots,N$ (для матрицы (1) попарных сравнений критериев); $X_{ij}^k = b_{ij}^k$ для $k=1,2,\dots,N$; $L=M$; $i, j=1,2,\dots,M$ (для матриц (2) попарных сравнений подразделений или вариантов планирования).

Индекс k (натуральное число) используется для обозначения номера критерия, по которому сопоставляются величины с этим индексом. Если же речь идет о сравнении самих критериев, используется $k=0$;

б) проверяется согласованность локальных приоритетов в соответствии с алгоритмом, описанным в [2];

в) определяются глобальные (обобщенные) приоритеты для каждого из M подразделений (вариантов планирования), которые сравниваются, по формуле:

$$G_n = \sum_{i=1}^N A_i^0 A_n^i, \quad n=1,2,\dots,M. \quad (4)$$

где A_i^0, A_n^i - компоненты нормируемых собственных векторов локальных приоритетов, которые определяются по формуле (3);

г) найденные по формуле (4) глобальные приоритеты для каждого из подразделений или вариантов планирования (то есть, для $n=1,2,\dots,M$) ранжируются (размещаются в порядке роста величины G_n). Полученный порядок является ранжированием сравниваемых подразделений (вариантов планирования) с учетом всех избранных для сравнения критериев. Подразделение (или вариант плана), для

которого получено максимальное значение G_n , признается наиболее эффективным.

Перечень критериев оценки эффективности метрологической деятельности подразделений МЧС Украины в сфере пожарной безопасности в общем случае формируется (с учетом рекомендаций Т.Саати [1]) лицом, которое принимает решение, или группой экспертов. Могут быть использованы, в частности, критерии, базирующиеся на информации о деятельности подразделений МЧС Украины, представленной в инструкциях и положениях об этих подразделениях, например: K_1 – показатели оснащенности метрологическим оборудованием; K_2 – показатели метрологической готовности средств измерительной техники и оборудования; K_3 – показатели использования метрологического оборудования; K_4 – степень выполнения плановых показателей по повышению эффективности метрологической деятельности; K_5 – показатели затрат на мероприятия по повышению эффективности метрологической деятельности; K_6 – укомплектованность специалистами-метрологами; K_7 – количество метрологических отказов.

Для построения матриц B_k попарного сравнения рассматриваемых альтернатив может быть использована отчетная информация подразделений, представляемая ими руководству в соответствии с вышеупомянутыми инструкциями и положениями.

Отметим, что компоненты нормированных векторов локальных приоритетов являются, по сути, соответствующими весовыми характеристиками, поскольку соотношения (3) устанавливают аналитическую связь между показателями относительной важности сравниваемых элементов по шкале Саати и их весовыми коэффициентами

$$\frac{\sqrt[i]{1 \cdot a_{12} \dots a_{1i}}}{\sqrt[i]{1 \cdot a_{12} \dots a_{1i}} + \sqrt[i]{a_{21} \cdot 1 \cdot a_{23} \dots a_{2i}} + \dots + \sqrt[i]{a_{i1} \cdot a_{i2} \dots 1}} = A_1$$

$$\frac{\sqrt[i]{a_{21} \cdot 1 \cdot a_{23} \dots a_{2i}}}{\sqrt[i]{1 \cdot a_{12} \dots a_{1i}} + \sqrt[i]{a_{21} \cdot 1 \cdot a_{23} \dots a_{2i}} + \dots + \sqrt[i]{a_{i1} \cdot a_{i2} \dots 1}} = A_2$$

.....

$$\frac{\sqrt[i]{a_{i1} \cdot a_{i2} \dots 1}}{\sqrt[i]{1 \cdot a_{12} \dots a_{1i}} + \sqrt[i]{a_{21} \cdot 1 \cdot a_{23} \dots a_{2i}} + \dots + \sqrt[i]{a_{i1} \cdot a_{i2} \dots 1}} = A_i$$

Такая связь позволяет определять отдельные элементы матриц (1), (2) не только в результате попарных сравнений, но и (в тех случаях, когда какое либо из попарных сравнений осуществить не удастся) путем пересчета с применением весов используемых критериев (которые могут быть установлены с использованием дополнительной информации либо на основе экспертных оценок).

Выводы. Вышеописанный алгоритм может быть использован для оптимального планирования метрологической деятельности в сфере пожарной безопасности, а также для оценки эффективности выполнения запланированных метрологических работ. Данный алгоритм, в основу которого положен метод анализа иерархий Т. Саати, привлекателен тем, что позволяет сделать выводы о достоверности результатов оценки. Это обеспечивается благодаря тому, что в процессе оценки в рамках МАИ определяется так называемое отношение согласованности, величина которого позволяет судить о непротиворечивости исходных данных (отсутствии в них систематических ошибок) и, следовательно, о достоверности получаемых результатов оценки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация систем/ Саати Т., Кернс К. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
2. Прокопов А.В. О применении метода анализа иерархий для оценки эффективности деятельности предприятий и организаций МЧС Украины/ Прокопов А.В., Щербак С.С. // Проблемы надзвичайних ситуацій. Зб.наук.пр. НУЦЗ України.-2010.- Вип. 12. – С. 122-131.
3. Оберемок Н.Н. Алгоритм оценки экономической целесообразности инвестиций в метрологическую деятельность пожарно-спасательных подразделений/ Оберемок Н.Н., Прокопов А.В. // Проблемы надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. НУЦЗ України. – 2010.- Вип 13. – С. 107-112.

Л.М. Красоха, М.М. Оберемок, О.В. Прокопов

Алгоритми багатокритеріальної оптимізації при оцінці ефективності метрологічної діяльності в сфері пожежної безпеки.

Сформульовано алгоритм вибору оптимального варіанту при плануванні та оцінці результатів метрологічних робіт у сфері пожежної безпеки. В основу алгоритму покладено метод аналізу ієрархій Сааті, що допускає використання кількісних і якісних критеріїв різної природи і розмірності.

Ключові слова: модель, оптимізація, пожежна безпека, метод аналізу ієрархій.

L.M. Krasoha, M.M. Oberemok, O.V. Prokopov

Algorithms of multicriterion optimization are at the estimation of efficiency of metrology activity in the sphere of fire safety.

The algorithm of choice of optimal variant at planning and estimation of results of metrology works is set forth in the field of fire safety. The method of analysis of hierarchies of Saati is fixed in basis of algorithm what assumes the use of quantitative and high-quality criteria of different nature and dimension.

Keywords: model, optimization, fire safety, method of analysis of hierarchies.

*О.В. Кулаков, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,
С.В. Рудаков, к.т.н., доцент, НУЦЗУ*

НОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО ШТУЧНОГО ЗАЗЕМЛЮВАЧА СИСТЕМИ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ З ТОЧКИ ЗОРУ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

(представлено д-ром техн. наук Лариным О.М.)

Проаналізовано вимоги до улаштування штучного заземлювача стрижньового та тросового блискавковідводів. Показано, що штучний заземлювач стандартної конструкції при високих питомих опорах ґрунту має високий опір. Збільшення опору заземлювача призводить до погіршення умов розтікання в землі струмів блискавки та появи небезпечних потенціалів на блискавковідводах, що необхідно розглядати як наслідки помилки при проектуванні. Внаслідок цього ймовірність появи джерела запалювання – розряду блискавки – визначається лише ймовірністю влучення блискавки в захищаний об'єкт та буде максимально можливою

Ключові слова: блискавкозахист, блискавковідвід, штучний заземлювач, пожежа

Постановка проблеми. Щороку в Україні відбувається близько 1600 пожеж від грозових розрядів блискавки [1]. Пожежі від блискавки призводять до матеріальних та людських втрат. Тому удосконалення існуючих методів захисту будинків та споруд від розрядів блискавки є актуальним.

Аналіз останніх досягнень та публікацій. Відповідно до вимог [2] запобігання появі в горючому середовищі джерел запалювання повинно досягатися, зокрема, улаштуванням блискавкозахисту для будинків та споруд.

Захист від прямих ударів блискавки (ПУБ) здійснюється шляхом улаштування блискавковідводів [3, 4], складовою частиною яких є заземлювач. Для захисту від ПУБ використовують, як правило, природні заземлювачі. У разі неможливості використання природних заземлювачів для блискавковідводів використовують штучні заземлювачі.

Нормативні документи, що регламентують правила захисту від розрядів блискавки постійно змінюються. Відповідно змінюються й вимоги до улаштування штучних заземлювачів блискавковідводів. До 1987 року величина імпульсного опору штучного заземлювача для кожного окремого або ізольованого блискавковідводу була зафіксована (не повинна перевищувати 10 Ом) [5]. Відповідно конструкція штучного заземлювача розраховувалася виходячи з вимагаємої величини імпульсного опору та питомого опору ґрунту у місці розташування об'єкту.

Нормативним документом [6], введеним 30 липня 1987 року замість [5], пропонувалося застосовувати штучні заземлювачі стандартної конструкції (без їх розрахунку). Під час періодичної перевірки пристроїв блискавкозахисту вимірювався опір струму промислової частоти їх штучних заземлювачів. Заземлювач вважався справним, якщо отримані результати не перевищували більш ніж у 5 разів результати відповідних вимірів під час приймання блискавкозахисту в експлуатацію. Однак, деякі відомчі норми того ж часу введення, наприклад [7], залишили нормування величини опору штучного заземлювача (для об'єктів Міністерства оборони штучний заземлювач повинний мати опір розтіканню струму промислової частоти не більше 10 Ом).

У сучасному нормативному документі [4], введеному в Україні з 01 січня 2009 року, рекомендується застосовувати штучний заземлювач стандартної конструкції, подібної [6] (без розрахунку). Для I і II рівнів блискавкозахисту штучний заземлювач складається з трьох і більше вертикальних електродів довжиною не менше ніж 3 м, об'єднаних горизонтальним електродом і відстанню між ними не менше ніж 3 м. Як матеріал для електродів необхідно застосовувати або сталь перерізом не менше 100 мм² (відповідно до сортаменту круглої сталі мінімальний діаметр 11,5 мм (відповідно, переріз 103,9 мм²) [8]) або мідь перерізом не менше 50 мм².

Того ж часу діючі правила [9] для повітряних ліній електропередачі вимагають для штучного заземлювача захисту від грозових перенапруг опір розтіканню струму промислової частоти не більше 30 Ом.

Європейські норми блискавкозахисту рекомендують використовувати заземлювачі з визначеною величиною опору. Наприклад, стандарт Німеччини DIN V VDE V 0185 (частина 3, пункт 4.4.1) рекомендує величину опору менше 10 Ом.

Для розрахунку конструкції штучного заземлювача застосовуються чисельні методи, наприклад, метод коефіцієнтів використання [10]. Результати розрахунку залежать від типу ґрунту в місці його розташування. Питомий опір ґрунту може коливатися в широких межах (від 40 Ом·м (чорнозем) до 1000 Ом·м та вище (пісок, скеля)).

Постановка задачі та її розв'язання. Визначимо на скільки обґрунтована з точки зору пожежної небезпеки відмова від нормування опору штучного заземлювача блискавкозахисних пристроїв на прикладі штучного заземлювача стрижньового або тросового блискавковідводів.

Розрахуємо опір стандартної конструкції сталевого штучного заземлювача (три вертикальних та горизонтальний електроди виготовлено з круглої сталі діаметром 11,5 мм, вертикальні електроди довжиною 3 м розташовано по контуру на відстані 3 м один від одного, глибина закладення горизонтального електрода 0,5 м від плануваль-

ної відмітки землі) блискавковідводу залежно від типу ґрунту в місці його розташування. Застосовуємо метод коефіцієнтів використання.

Опір розтіканню струму промислової частоти одного вертикального електрода, виготовленого з круглої сталі:

$$R_{В1} = \frac{\rho_{розр}}{2 \cdot \pi \cdot \ell} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot \ell}{d} + \frac{\ell}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot H + \ell}{5 \cdot H - \ell} \right) =$$

$$= \frac{\rho_{розр}}{2 \cdot \pi \cdot 3} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,0115} + \frac{3}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot (0,5 + 1,5) + 3}{5 \cdot (0,5 + 1,5) - 3} \right) \approx 0,37 \cdot \rho_{розр}, [OM],$$

де $\rho_{розр} = \rho_{гр} \cdot \psi$ – розрахунковий питомий опір ґрунту, [Ом·м]; $\rho_{гр}$ – питомий опір ґрунту, [Ом·м]; ψ – коефіцієнту сезонності; ℓ – довжина вертикального електрода, [м]; d – діаметр сталевого кола, з якого виготовлено електрод, [м]; H – відстань від планувальної відмітки землі до середини вертикального електрода, [м].

Коефіцієнт використання вертикальних електродів $\eta_{\hat{A}} = 0,66$. Уточнена величина опору вертикального електрода (з урахуванням його коефіцієнта використання):

$$R_{В} = \frac{R_{В1}}{\eta_{В}} = \frac{0,37 \cdot \rho_{розр}}{0,66} = 0,56 \cdot \rho_{розр}, [OM].$$

Опір розтіканню струму промислової частоти горизонтального електрода з круглої сталі:

$$R_{Г1} = \frac{\rho_{розр}}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \frac{L^2}{d \cdot H_1} =$$

$$= \frac{\rho_{розр}}{2 \cdot \pi \cdot 9} \cdot \ln \frac{9^2}{0,0115 \cdot (0,5 + \frac{0,0115}{2})} = 0,21 \cdot \rho_{розр}, [OM].$$

де L – довжина горизонтального електрода, [м]; H_1 – відстань від планувальної відмітки землі до середини горизонтального електрода, [м].

Коефіцієнт використання горизонтального електрода $\eta_{\hat{A}} = 0,5$. Уточнена величина опору горизонтального електрода (з урахуванням його коефіцієнта використання):

$$R_{Г} = \frac{R_{Г1}}{\eta_{Г}} = \frac{0,21 \cdot \rho_{розр}}{0,5} = 0,42 \cdot \rho_{розр}, [OM].$$

Опір розтіканню струму промислової частоти штучного заземлювача визначається як опір паралельно з'єднаних горизонтального та вертикальних електродів:

$$R = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{3 \cdot R_\Gamma + R_B} = \frac{0,42 \cdot \rho_{\text{розр}} \cdot 0,56 \cdot \rho_{\text{розр}}}{3 \cdot 0,42 \cdot \rho_{\text{розр}} + 0,56 \cdot \rho_{\text{розр}}} = \frac{\rho_{\text{розр}}}{7,74} = \frac{\rho_{\text{гр}} \cdot \Psi}{7,74},$$

[ОМ].

Імпульсний опір $R_{\text{імп}}$ пов'язаний з опором розтіканню струму промислової частоти R формулою: $R_{\text{імп}} = \alpha \cdot R$, де імпульсний коефіцієнт α залежить від питомого опору ґрунту та дорівнює 0,9 для ґрунту з питомим опором до 100 Ом·м, 0,7 – 100 Ом·м, 0,5 – 500 Ом·м, 0,3 – 1000 Ом·м відповідно.

В таблиці 1 приведено розраховані величини імпульсного та розтіканню струму промислової частоти опорів для стандартної конструкції штучного заземлювача стрижневого або тросового блискавковідводів залежно від властивостей ґрунту в місці його розташування.

Таблиця 1

Ґрунт	Середній питомий опір $\rho_{\text{гр}}$, Ом·м	Значення Ψ за середньої вологості ґрунту	R, Ом	$R_{\text{імп}}$, Ом
Пісок	700	1,56	141,1	56,4
Супісок	400	1,52	78,6	39,3
Суглинок	150	1,5	29,1	20,4
Глина	70	1,36	12,3	11,1
Чорнозем	40	1,32	6,8	6,1

Висновок. Для ґрунтів з високими питомими опорами (пісок, супісок, суглинок) як імпульсний так і розтіканню струму промислової частоти опори штучного заземлювача блискавковідводу збільшуються та можуть сягати високих значень (сотні Ом). Збільшення опору заземлювача, як відомо [10], призводить до погіршення умов розтікання в землі струмів блискавки та появи небезпечних потенціалів на блискавковідводах, що необхідно розглядати як наслідки помилки при проектуванні. Відповідно [2] при розрахунку ймовірності появи джерела запалювання ймовірність відсутності несправності, неправильного конструктивного виконання або відмови блискавкозахисту приймають рівною одиниці у випадку наявності помилок при його проектуванні. У цьому випадку ймовірність появи джерела запалювання – розряду блискавки –

визначається лише ймовірністю влучення блискавки в захищений об'єкт та буде максимально можливою.

Застосування штучного заземлювача стандартної конструкції стрижньового або тросового блискавководів можливо тільки для ґрунтів з малими величинами питомого опору – до 100 Ом·м (глина, чорнозем).

ЛІТЕРАТУРА

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.mns.gov.ua/content/national_lecture.html.

2. Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004-91. – [Введеный 1992-07-01]. – Москва: Изд-во стандартов, 1992. – 78 с. – Державний стандарт СРСР.

3. Базелян Э.М. Физика молнии и молниезащиты / Э.М. Базелян, Ю.П. Райзер. – Москва: Физматгиз, 2001. – 320 с. – (Наукове видання).

4. Инженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд (ІЕС 62305:2006 NEC): ДСТУ Б В.2.5-38:2008. – [Чинний від 2009-01-01]. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2008. – 63 с. – (Національний стандарт України).

5. Инструкция по проектированию и устройству молниезащиты зданий и сооружений: СН 305-77. – Москва: Стройиздат, 1978. – 47 с. – (Керівний документ Держбуду СРСР).

6. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений: РД 34.21.122-87. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 56 с. – (Керівний документ Міненерго СРСР).

7. Инструкция по проектированию, устройству и эксплуатации молниезащиты и защиты от статического электричества зданий и сооружений Министерства обороны: ВСН 58-87. – Москва: Минобороны, 1987. – 113 с. – (Керівний документ Міноборони СРСР).

8. Сталь калиброванная круглая. Сортамент: ГОСТ 7417-75. – [Введеный 1976-01-01]. – Москва: Изд-во стандартов, 1975. – 5 с. – (Державний стандарт СРСР).

9. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. – Харків: Індустрія, 2007. – 288 с.

10. Князевский Б.А. Охрана труда в электроустановках – Москва: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.

О.В. Кулаков, С.В. Рудаков

Нормирование требований к искусственному заземлителю системы молниезащиты с точки зрения пожарной опасности.

Проанализированы требования к устройству искусственного заземлителя стержневого и тросового молниеотводов. Показано, что искусственный заземлитель стандартной конструкции при высоких удельных сопротивлениях грунта

имеет высокое сопротивление. Увеличение сопротивления заземлителя приводит к ухудшению условий растекания в земле токов молнии и появлению опасных потенциалов на молниеотводах, что необходимо рассматривать как последствия ошибки при проектировании. Вследствие этого вероятность появления источника зажигания – разряда молнии – определяется только вероятностью попадания молнии в защищаемый объект и будет максимально возможной.

Ключевые слова: молниезащита, молниеотвод, искусственный заземлитель, пожар

O.V. Kulakov, S.V. Rudakov

Standardized of requirements for man-made earthing of system lightning protection for ensuring a fire hazard.

Requirements to man-made earthing of lightning lead are describe. Standard construction of man-made earthing at high resistant of soil will be have high resistant. If resistant of man-made earthing is high, conditions of flow current lightning in earth will be bad, nigh potential will appear on lightning leads, that it is necessary to consider as an error consequence at designing. Thereof the probability of occurrence of a source of ignition – the lightning category – is defined only by probability of hit of a lightning in protected object and will be greatest possible.

Keywords: lightning protection, lightning lead, man-made earthing, fire

М.В. Кустов, канд. техн. наук, ст. преподаватель, НУГЗУ

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ КАПЛЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ АТМОСФЕРНЫМИ ОСАДКАМИ

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

Рассмотрены различные механизмы каплеобразования в атмосфере Земли. Установлена определяющая роль концентрации ионов и ионных кластеров в эффективности каплеобразования. Наиболее эффективным и перспективным методом интенсификации осадков для тушения пожаров на открытой местности определён метод конденсации пара на электрически заряженных аэрозольных частицах.

Ключевые слова: пожары на открытой местности, скорость каплеобразования, аэрозольные частицы, ионы, электростатическое взаимодействие, гидратация, аквакомплекс.

Постановка проблемы. Для тушения крупных пожаров на открытой местности, таких как лесные, степные и торфяные, необходимо затратить значительное количество огнетушащего вещества. Это вызвано обширной площадью пожара, большим энерговыделением в процессе горения, высокой скоростью распространения пожара и сложностью доставки огнетушащего вещества в зону горения. Практическим путём установлено, что для тушения 1 м² лесного пожара необходимо затратить, в зависимости от вида растительности, от 70 до 200 л воды, для тушения степного пожара той же площади – 50 л, а для ликвидации пожара на торфяниках – 160 л/м² [1, 2]. Также по данным Center of Fire Statistics (International Association of Fire and Rescue Services - CИIF) средняя площадь пожаров на открытой местности составляет 400 га, а в отдельных случаях достигает нескольких тысяч гектар. Обеспечить необходимую интенсивность подачи огнетушащего вещества для успешной ликвидации таких пожаров можно только задействовав большое количество сил и средств. Также получить достаточное количество огнетушащего вещества – воды - можно получить из атмосферы Земли, в 1 м³ которой в среднем находится до 30 г воды [3]. В связи с этим одной из проблем, подлежащей разрешению, является установление факторов, повышающих эффективность каплеобразования в атмосфере Земли.

Анализ последних достижений и публикаций. На эффективность тушения пожаров на открытой местности значительное влияние оказывает большое количество метеорологических факторов (температура, ветер, влажность и др.). В работе [4] проведена оценка влияния метеорологических факторов на процессы развития и прекращения горения и установлено доминирующее влияние осадков в зоне пожара. Самопроизвольное выпадение осадков в зоне ликвида-

ции пожара случается в очень редких случаях и зависит от большого числа факторов. Поэтому для успешной ликвидации крупных пожаров на открытой местности необходимо искусственное влияние на процессы осадкообразования. На сегодняшний день известны методы понижения температуры за счёт распыления жидкого углекислого газа (CO_2) и активизация осадков из облаков путём распыления солей йода [5-7]. Эти методы имеют ряд экономических и технических недостатков, основным из которых является ограничение их использования при влажности воздуха ниже 1,5 % [3].

Постановка задачи и её решение. Целью работы является установление факторов, влияющих на интенсивность получения огнегасящего вещества из атмосферных образований и возможности воздействия на них.

Механизмы осадкообразования существенно зависят от метеорологических условий в зоне зарождения [8]. В зависимости от температуры воздуха в облаке, формирование частиц осадков ($r > 100$ мкм) происходит в основном двумя путями:

а) при $t > 0^\circ\text{C}$, когда облако состоит из жидких капелек воды, крупные капли — частицы осадков, образуются в результате конденсации (под конденсацией пара понимается как собственно конденсация пара на капле, так и конденсация на капле вследствие перегонки пара с мелких на крупные (переконденсация)) водяного пара и коагуляции капель;

б) при $t < 0^\circ\text{C}$, когда в облаке кроме капелек появляются частички твердой фазы, вступает в действие весьма эффективный механизм образования крупной частицы — перегонка пара с капель на кристалл, который получил название механизма Бергерона — Финдайзена. Натурные исследования облаков, дающих осадки, показали, что оба пути возможны в естественных условиях. Однако повторяемость теплых облаков ($t > 0^\circ\text{C}$) значительно меньше, чем имеющих переохлажденную часть ($t < 0^\circ\text{C}$), особенно в средних широтах.

Также установлено, что возможны и другие механизмы образования крупных капель, например: таяние градин, образование капель на гигантских солевых ядрах, разбрызгивание капель и т.д. Отметим, что теория осадкообразования достаточно хорошо разработана лишь для частиц сферической формы, выпадающих из конвективных облаков и облаков слоистых форм.

Как отмечено выше, при любых метеорологических параметрах необходимым условием образования воздушно-капельных дисперсий является наличие ядер конденсации, в качестве которых могут выступать ионы, ионные кластеры и частицы других веществ. В природе более 90% ядер конденсации составляют твердые частицы (пыли, продукты горения, частицы биологического происхождения). Вместе с тем, установлено, что наибольшая скорость каплеобразования на-

блюдается именно на ионах и ионных кластерах [7]. Это приводит к выводу, что электрическая составляющая процесса конденсации и коагуляции является доминирующей в процессе осадкообразования.

Для детального изучения процесса каплеобразования на электрически заряженных частицах, необходимо рассматривать каждый механизм отдельно.

В качестве простейшей заряженной частицы рассмотрим ион (катион или анион), следовательно, первичным механизмом является взаимодействие иона с молекулой воды. Этот процесс называется гидратацией, которая обусловлена электростатическим и ван-дер-ваальсовым взаимодействием. Образование катионных аквакомплексов объясняется донорно-акцепторным взаимодействием катиона с молекулами воды, а анионных - за счёт водородной связи [9]. Однако эти взаимодействия характерны только для первичной гидратации (рис. 1), вторичная гидратация, которая обуславливает дальнейший рост аквакомплекса, происходит за счёт водородных связей между молекулами воды.

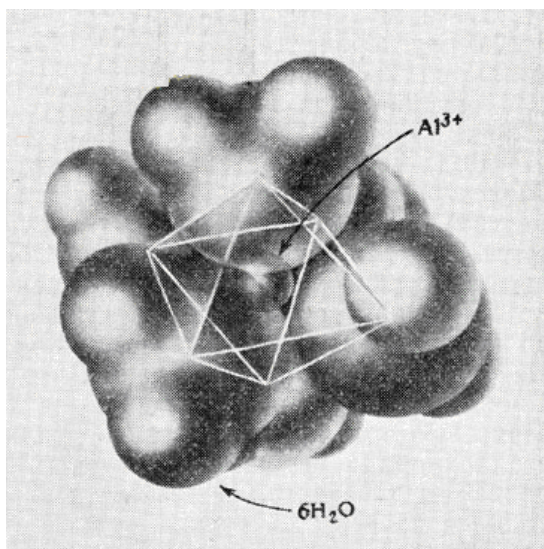


Рис. 1 – Структура первичной гидратации иона $\text{Al}(\text{OH})_2^{3+}$

При анализе рассмотренного выше механизма, в процессе каплеобразования важным вопросом является определение размеров аквакомплекса или кластера. Согласно теории Дебая-Хюккеля основные характеристики, определяющие размеры надмолекулярного образования – кластера, это электрический потенциал и его распределение вокруг иона.

К распределению заряда вокруг иона можно применить уравнение Пуассона, связывающее плотность заряда с потенциалом:

$$\nabla^2 \psi(r) = -4\pi\rho(r) / \varepsilon, \quad (1)$$

где ∇^2 – оператор Лапласа; ψ – потенциал; ρ – плотность заряда в точке r , для которой вычисляется потенциал; ε – диэлектрическая

проницаемость среды.

Плотность заряда ρ в уравнении (1) является разностью между количеством положительных и отрицательных зарядов в единице объема, находящихся на расстоянии r от центрального иона.

Для условий атмосферы Земли, когда концентрация ионов относительно низкая, потенциал становится пренебрежимо малым на расстояниях, меньших расстояния между наиболее близко расположенными ионами. Тогда плотность заряда ρ это не что иное, как плотность поляризационного заряда, образованного поляризацией молекул воды.

Количество поляризованных молекул воды, имеющих потенциал ψ , как в случае катионов, так и в случае анионов определяется уравнением Больцмана:

$$n_{пол} = \bar{n} \cdot \exp\left(-\frac{U}{kT}\right), \quad (2)$$

где \bar{n} – среднее число молекул воды в единице объема атмосферы; U – их энергия, соответствующая потенциалу ψ , T – температура; k – постоянная Больцмана.

Энергия поляризованных молекул воды определяется выражением:

$$U = q_{H_2O} \cdot \psi, \quad (3)$$

где q_{H_2O} – поляризационный заряд молекулы.

Поляризационный заряд молекулы пропорционален заряду иона. Его значение также определяется количеством молекул воды, которые выстраиваются на линии, соединяющей ион и рассматриваемую молекулу, и экранируют поле иона [10].

Таким образом, размер аквакластера существенно зависит как от температуры среды, так и от заряда иона. В работе [11] теоретически показано, что при любых условиях размеры кластера не могут превышать 1,00 мкм. Экспериментальные данные [12] также свидетельствуют о том, что размер сольватных оболочек составляет несколько десятков диаметров молекулы воды. Из оценок присоединенной массы воды, структурированной вокруг каждого иона, следует, что радиус такого надмолекулярного образования составляет около 1 мкм. Из этого следует, что размеры единичного аквакластера недостаточны для выпадения из облаков, однако этот механизм может служить первичным звеном в процессе каплеобразования.

Следующим механизмом, который необходимо рассмотреть, является взаимодействие свободного иона и уже сформированной капли жидкости, а также взаимодействие иона с фрактальной структурой, в качестве которой могут выступать частицы льда и пыли. Этот механизм, в частном случае, может служить продолжением рас-

смотренного выше процесса связи иона с молекулой воды.

Взаимодействие ионов с твёрдой и жидкой поверхностями происходит двумя основными путями. Во-первых, при контакте капли или фрактальной частицы с высокоподвижными ионами, концентрация которых в атмосфере Земли достигает 10^9 м^{-3} , происходит поглощение кинетической энергии иона массивной частицей, в результате чего ионы оседают на её поверхности.

Так как в качестве частиц мы рассматриваем водосодержащие образования, то возможен и второй путь взаимодействия иона с частицей. В процессе испарения или конденсации воды её поверхность и прилегающий слой пара приобретают электрический заряд. Это происходит по причине того, что ионы H^+ и OH^- имеют различную подвижность, в результате чего при испарении поверхность частицы приобретает положительный заряд, а при конденсации – отрицательный [13]. Таким образом, электростатически заряженная поверхность имеет электростатическое взаимодействие с окружающими ионами.

Если поверхность частицы имеет электрический заряд в результате либо присоединения единичного иона, либо скопления на поверхности радикалов OH^- при конденсации, то становится возможным взаимодействие частицы с молекулой воды. Таким образом, на дипольные молекулы воды, находящиеся в воздухе, воздействует неоднородное электрическое поле заряда, находящегося на поверхности аэрозольной частицы, с результирующей силой F , пропорциональной градиенту напряженности dE/dx , заряду диполя q_d и его размеру l :

$$F = q_d \cdot l \cdot dE / dx \quad (4)$$

Дипольные частицы движутся в сторону увеличения напряженности электрического поля, т.е. по градиенту модуля напряженности поля. В работе [14] проведено оценку сил взаимодействия молекул воды с заряженной аэрозольной частицей, и установлено существенное действие неоднородного электрического поля на удалении 1 мкм от поверхности аэрозольной частицы, что приводит к притяжению их к поверхности частицы.

И последним механизмом, подлежащим рассмотрению, является процесс взаимодействия между двумя электрически заряженными аэрозольными частицами в твёрдом или жидком состоянии.

Количественное описание этого взаимодействия имеет значительные сложности, вызванные в первую очередь разной методикой описания заряженных частиц сферической и фрактальной формы, поэтому этот вопрос является материалом дальнейших исследований. В настоящей работе остановимся на качественной оценке процесса.

При униполярной зарядке аэрозольных частиц на них действуют электростатические силы, отталкивающие друг от друга, что су-

щественно снижает скорость каплеобразования, следовательно биполярная зарядка аэрозолей должна приводить к повышению скорости каплеобразования. Однако при детальном рассмотрении локального объема аэрозоля можно отметить, что вследствие хаотического движения частиц вероятность нахождения на расстоянии действия электрических сил двух частиц, как одноименного, так и противоположного заряда, одинакова. Следовательно суммарный эффект повышения скорости слипания частиц разного заряда компенсирован низкой скоростью взаимодействия одноименно заряженных частиц и общая скорость каплеобразования биполярно заряженного аэрозоля будет несущественно отличаться от скорости коагуляции электронейтральных частиц. Экспериментальное подтверждение изложенного выше, для системы жидких капель, представлено в работе [15].

Выводы. В работе установлено доминирующее влияние на процесс осадкообразования наличия электрически заряженных частиц различной природы и рассмотрены механизмы каплеобразования на этих частицах. Первичной стадией зарождения осадков определено оседание биполярных молекул воды на ионах либо ионных кластерах. Дальнейшим этапом является оседание ионов на поверхности образованного аквакомплекса с последующим взаимодействием с молекулами воды. Установлено, что коагуляция заряженных капель не вносит существенного вклада в повышение скорости каплеобразования. Предполагается, что дополнительная ионизация воздуха повысит скорость осадкообразования в зоне тушения пожара и позволит обеспечить необходимое количество атмосферной жидкости в зоне тушения в нужное время.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванников В.П. Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Иванников, П.П. Ключ // М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.
2. Кимстач И.Ф. Пожарная тактика / И.Ф. Кимстач, П.П. Девлишев, Н.М. Евтюшкин // М.: Стройиздат, 1984. – 590 с.
3. Климатология / [Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В. и др.]. - Л.: Гидрометеоздат, 1989. - 568 с.
4. Кустов М.В. Влияние климатических факторов на процессы развития и прекращения крупных пожаров на открытой местности / М.В. Кустов, В.Д. Калугин, В.В. Коврегин // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2011. – Вып. 29. – С. 102-110.
5. Гинзбург А.С. Влияние естественных и антропогенных аэрозолей на глобальный и региональный климат / А.С. Гинзбург, Д.П. Губанова, В.М. Минашкин // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2008. - т. LII, № 5 - С. 112-119.
6. Израэль Ю.А. Метеорология и гидрология / Ю.А. Израэль, 2005. - № 10. - С. 5—9.
7. Ивлев Л.С. Химический состав и структура атмосферных аэ-

розолей / Л.С. Ивлев // Л., Изд. ЛГУ, 1982. - 366 с.

8. Ивлев Л.С. Физика атмосферных аэрозольных систем / Л.С. Ивлев, Ю.А. Довгалюк. — СПб.: НИИХ СПбГУ, 1999. — 194с.

9. Измайлов Н.А. Электрохимия растворов / Н.А. Измайлов // М.: Химия, 1976. - 488с.

10. Рязанов М.И. Электродинамика конденсированного вещества / М.И. Рязанов // М.: Наука, 1984. – 304 с.

11. Бойко В.И. Оценка размеров сольватной оболочки катионных аквакомплексов в растворах солей / В.И. Бойко, М.А. Казарян, И.В. Шаманин, И.В. Ломов // Известия Томского политехнического института. – Томск, 2006. – Т. 309. - № 4. –С. 81–85.

12. Стишков Ю.К. Нарушение гомогенности слабопроводящих жидкостей в сильных электрических полях / Ю.К. Стишков, А.В. Стебляк // Журнал технической физики. – 1997. – Т. 67. - № 10. – С. 105-111.

13. Шавлов А.В. Механизм межфазной электризации при испарении и конденсационном росте льда и воды / А.В. Шавлов // Криосфера Земли. – 2008. - т. XII. - № 2 - С. 52-59.

14. Палей А.А. Исследование процессов конденсации паров на электрически заряженных аэрозольных частицах / А.А. Палей, В.Б. Лапшин, Н.В. Жохова, В.В. Москаленко // Электронный научный журнал «Исследовано в России» - <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2007/027.pdf>.

15. Грин Х. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы / Х. Грин, В. Лейн // Л.: Химия, 1972. – 428 с.

М.В. Кустов

Дослідження механізмів каплеутворення при гасінні пожеж атмосферними опадами.

Розглянуті різноманітні механізми каплеутворення в атмосфері Землі. Встановлена визначаюча роль іонів та іонних кластерів в ефективності каплеутворення. Найбільш ефективним та перспективним методом інтенсифікації опадів для гасіння пожеж на відкритій місцевості визначено метод конденсації пари на електрично заряджених аерозольних частинках.

Ключові слова: пожежі на відкритій місцевості, швидкість каплеутворення, аерозольні частинки, іони, електростатична взаємодія, гідратація, аквакомплекс.

M.V. Kustov

Research of drops formation mechanisms at suppression of fires by the atmospheric precipitation.

Various drops formation mechanisms in atmosphere of the Earth are considered. The defining role of concentration of ions and ionic clusters in efficiency of drops formation is established. The most effective and perspective of an intensification of deposits for suppression of fires on open district defines a method of condensation of steam on the electric aerosol particles.

Keywords: fires on open district, speed of drops formation, aerosol particles, ions, electrostatic interaction, hydration, aquacomplex.

А.А. Лісняк, канд. техн. наук, заступник начальника кафедри НУЦЗУ

РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ТА НЕБЕЗПЕКА ДИМУ ЛІСОВОЇ ПОЖЕЖІ

(представлено д-ром техн. наук Басмановим О.Є.)

Надано теоретичне обґрунтування небезпеки диму лісової пожежі у якості обмеження прозорості повітря (видимості) та токсичності його часток.

Ключові слова: щільність, дим, концентрація, лісова пожежа.

Постановка проблеми. Якщо під час пожежі в закритому просторі (будівлі, приміщенні, тощо) небезпека диму очевидна, то під час гасіння лісових пожеж дуже часто питання захисту органів дихання (враховуючи що горіння відбувається на відкритому просторі) постають не так гостро та оперативні дії пожежно-рятувальні підрозділи виконують без належних засобів захисту. В багатьох нормативних документах, що регламентують організацію гасіння лісових пожеж [1, 3] мова іде про процес управління та взаємодії підрозділів під час виконання оперативних дій і питання небезпеки диму лісової пожежі не розглядаються, або розглядаються в загальних рисах [2]. Відомо, що допустимий час роботи людини в задимленій атмосфері, коли він гасить крайку пожежі, за змістом окису вуглецю становить: 0,6 мг/л – 6 хв., 0,3 мг/л – 10 хв., 0,2 мг/л – 60 хвилин. [4, 5]. Розрахунки показують, що при ліквідації горіння кромки лісової пожежі ($H_{\text{пол.}} \approx 1\text{м}$) концентрація вуглекислого газу на висоті 1,5 м може сягати 0,9 - 1,0 мг/л. Практика гасіння лісових пожеж показує, що бувають випадки смертельного отруєння особового складу в процесі гасіння пожежі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Під час великих лісових пожеж за напрямком вітру виникають великі зони задимлення. В роботі [4], приводяться данні щодо поширення диму від лісових пожеж.

Так, в 1915 році в Сибіру пожежі охопили площу близько 1,6 млн. км². Дим від них поширився майже на весь Сибір, а на палаючій території та навколо неї щільність диму протягом 50 днів була така велика, що на відстані до 20 метрів не було видно навколишні предмети. Все літо 1972 року в Московській області горіли ліси і торфовища. У Москві стояла димна імла, автомобілі пересувалися з палаючими фарами, а сонце навіть опівдні не пробивало зміг.

Великі пожежі були в 1976-77 рр. в Хабаровському краї, горіли ліси і торф'яників. Авіаційна охорона лісів Сибіру і Далекого Сходу «осліпла» від диму. Для гасіння лісових пожеж було залучено кілька тисяч чоловік населення, сотні одиниць різної техніки. Незважаючи на вжиті заходи, згоріли десятки населених пунктів, розташованих в

лісових масивах, багато підприємств лісової та деревообробної промисловості, склади круглого лісу і ін. Задимленість атмосфери досягала 400-500 км у діаметрі.

Лісові пожежі в Російській федерації у серпні 2010 року призвели до щільного задимлення Європейської частини Росії та території сусідніх держав. Великі лісові пожежі з сильними задимленням на великій площі були у Франції, Німеччині, США та інших країнах.

Постановка задачі та її розв'язання. Учасники гасіння пожеж, працюючи на задимленій території можуть отримати отруєння продуктами згоряння. Пожежна та інша техніка, що бере участь в ліквідації пожеж, що працює в зоні задимлення «задиhaється», двигуни втрачають потужність і часто зупиняються. Таким чином доцільним буде розглянути шлях розповсюдження диму в горизонтальному напрямку та визначити такі складові небезпеки диму як: величину дальності видимості в диму різної щільності та концентрацію шкідливих речовин. Знання цих показників дозволить керівнику гасіння пожежі забезпечити якісне та безпечне виконання робіт по гасінню лісової пожежі. Розглянемо процес розповсюдження часток диму в горизонтальному (небезпечному) напрямку. Частинки дисперсної фази (диму) мають розміри (10^{-5} - 10^{-7}) м. Вони піднімаються висхідним конвективним потоком з кромки пожежі, потім випадають з неї і під дією сили вітру пересуваються одночасно опускаючись до Землі під дією сили тяжіння. Вагова концентрація часток в диму (повітрі) близько $7 \cdot 10^{-3}$ кг/м³.

Шлях, що частка проходить в горизонтальному напрямку за час її падіння з висоти $H_{\text{пад}}$, визначається за формулою [4]:

$$L_p = v_c \tau_{\text{пад}} - \frac{1}{C_a \rho_c S_c v_w^2} \ln(1 + C_a \rho_c S_c v_w \tau_{\text{пад}}) \quad (1)$$

де: v_c - швидкість частки, м/с; $\tau_{\text{пад}}$ - час падіння частки з висоти $H_{\text{пад}}$, с; C_a - коефіцієнт аеродинамічного опору частинки; S_c - площа поперечного перетину частинки, м²; ρ_c - щільність частки, кг/м³; v_w - швидкість вітру, м/с.

Суб'єктивне відчуття щільності диму пов'язано з відстанню, на яку бачить людина крізь шар продуктів згоряння. Видимість в диму залежить від багатьох факторів: кольору диму, розмірів його частинок, освітленості об'єкта, психологічного стану людини та ін.

Величину дальності видимості в диму різної щільності можна приблизно визначити за пропонованою формулою [4]:

$$L_{\text{вд}} = \frac{7}{K_m W_{\text{д}}^{y_{\text{д}}} N_c^{0,7}}, \text{ м} \quad (2)$$

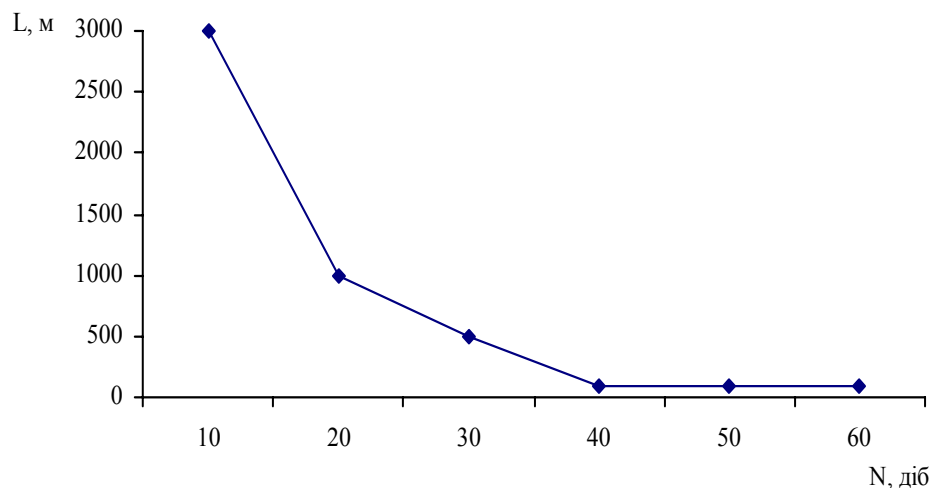
де: K_m - коефіцієнт турбулентного обміну продуктів згоряння з повітрям, рівний $0,02 \text{ м}^{-2} \cdot \text{добу}^{-1}$; N_c - кількість днів з вітром; $W_{\text{д}}^{y_{\text{д}}}$ - кіль-

кість диму на одиницю площі згоряння, яка розраховується за формулою [4]:

$$W_{\text{д}}^{\text{уд}} = \frac{K_{\text{дв}} W_{\text{дс}}}{L_{\text{р}} L_{\text{фр}}}, \text{м}^3 / \text{м}^2 \quad (3)$$

де: $K_{\text{дв}}$ - коефіцієнт, що характеризує підйом диму від землі; $L_{\text{р}}$ - відстань пройдена димом за добу, м; $L_{\text{фр}}$ - ширина фронту горіння, м; $W_{\text{дс}}$ - обсяг диму, що виділяється з кромки пожежі за добу, м^3 .

Середня величина дальності видимості, розрахована за формулою показана на рисунку:



При горінні лісових матеріалів виділяються окис і двоокис вуглецю. Найбільша їх концентрація створюється при «небезпечній» швидкості вітру і нестійкому стані атмосфери при $V_{\text{в}} = 0,5-2$ м /с. Максимальна концентрація отруйних речовин створюється у поверхні землі поблизу крайки пожежі за напрямком вітру. Це відбувається тоді, коли конвекційний потік від крайки пожежі притискається до землі, і з підвітряного боку утворюється максимальна концентрація шкідливих речовин, яку можна визначити за формулою [4]:

$$C_{\text{м}} = \frac{M}{4\pi A} \left[\frac{1}{\sqrt{(Z-H)^2 + r^2}} + \frac{1}{\sqrt{(Z+H)^2 + r^2}} \right], \text{мг/л} \quad (4)$$

де: H - висота полум'я від поверхні землі, м; Z - висота вимірювання концентрації шкідливих речовин від землі, м; r - відстань від джерела шкідливих речовин по горизонталі (кромки пожежі), м; A - коефіцієнт турбулентного обміну; M - кількість шкідливих речовин що виділяються (мг/с), кількість яких визначається за формулою [4]:

$$M = \frac{Q_{\text{нс}} C_{\text{оч}} \alpha V_{\text{в}} b_{\text{н}}}{3,6 Q_{\text{н}}^{\text{р}}} \quad (5)$$

де: $C_{\text{оч}}$ - концентрація окису вуглецю у осередку горіння, мг/л; $b_{\text{н}}$ - ширина крайки пожежі, м; α - коефіцієнт надлишку повітря;

Q_{nc} - тепломісткість продуктів згорання, що виділяються з одиниці площі пожежі за одиницю часу, яка буде [4]:

$$Q_{nc} = C_{pm} V_1 v_m T_{nl} \quad (6)$$

де: v_m - масова швидкість вигорання лісового матеріалу, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; V_1 ; V_6 - відповідно обсяг продуктів згорання та повітря, необхідного для згорання 1 кг деревини; $\text{м}^3/\text{кг}$; Q_n^p - нижча теплота згорання деревини, $\text{кДж}/\text{кг}$; T_{nl} - температура полум'я, $^\circ \text{К}$.

Таким чином, визначення показників за формулами 2 та 4 та порівняння їх з допустимими значеннями дозволить вирішити поставлену задачу.

Висновок. Керівнику гасіння пожежі необхідно забезпечити людей, учасників гасіння, - засобами захисту органів дихання. Частіше проводити зміни людей, що беруть участь у ліквідації горіння на кроці пожежі. Відпочинок особового складу проводити в незадимленій зоні не ближче 50 м від крайки пожежі з навітряного боку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тимчасовий статут дій у надзвичайних ситуаціях. Частина II (Гасіння пожеж. Органи управління, пожежно-рятувальні підрозділи Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту). Додаток до наказу МНС від 07.02.2008 № 96.

2. Правила безпеки праці в органах та підрозділах МНС України. Затверджені наказом МНС України від 07.05.2007р. №312.

3. Інструкція про порядок взаємодії підрозділів відомчої пожежної охорони Держкомлісгоспу України і пожежно-рятувальних підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту МНС України під час гасіння лісових пожеж. Затверджена наказом Держкомлісгоспу та МНС України від 12.03.2007 № 89/132.

4. Терехнев В.В., Артемьев Н.С., Противопожарная защита и тушение пожаров (леса, торфа, лесосклады). Книга 6 М., 2006 - с.

5. Иванников В.П., Ключ П.П. Справочник руководителя тушения пожара.- М.: Стройиздат, 1987.-228 с.

А.А. Лисняк

Распространение и опасность дыма лесного пожара.

Приведено теоретическое обоснование опасности дыма лесного пожара в качестве ограничения прозрачности воздуха (видимости) и токсичности его частиц.

Ключевые слова: плотность, дым, концентрация, лесной пожар.

A.A. Lysnyak

To spread and danger дыма lesnoho conflagration.

Adduced teoretycheskoe feasibility study dangers дыма lesnoho conflagration AS limits of authority air Transparency (visibility) and the toxicity of his time-TIC.

Key words: Density, дым, concentration, Lesnoy conflagration.

А. Н. Литвяк, канд. техн. наук, доцент, НУГЗУ
В. А. Дуреев, канд. техн. наук, ст. преподаватель НУГЗУ

ПАРАМЕТРЫ ВОДЯНЫХ ЗАВЕС ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ

(представлено д-ром техн. наук Алексеевым О.П.)

Рассмотрены параметры водяной завесы для предотвращения распространения продуктов горения.

Ключевые слова: водяная завеса, огнетушащее вещество, удельный расход, глубина завесы, размер капли, распространения продуктов сгорания.

Постановка проблемы. Одним из известных способов предотвращения распространения опасных факторов пожара, является использование в качестве преграды огню противопожарной водяной завесы (ВЗ). Однако в большинстве случаев расчет параметров ВЗ выполняется исходя из обеспечения минимального нормативного удельного расхода огнетушащего вещества (ОВ) и не учитывает требований, предъявляемых к ВЗ, препятствующих распространению продуктов горения. Таким образом, существует проблема определения гидравлических параметров ВЗ, используемых с целью предотвращения распространения продуктов сгорания в смежные помещения.

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время, опыт эксплуатации ВЗ и информация о выполнении ВЗ своих функций на реальных пожарах отсутствуют. Формальные требования и методика расчета установок водяного пожаротушения с ВЗ, представлены в [1]. В [2] приведена методика размещения дренчерных оросителей для создания ВЗ различной ширины. Расчет расхода ОВ для оросителей, применяемых для ВЗ общего назначения, выполнены в [3]. Расчет потребного удельного расхода ОВ для предотвращения распространения продуктов сгорания не проводились. В то же время, расчеты проведенные в [4], не обеспечивают требуемые удельные расходы ОВ, для рассмотренного вида ВЗ. Следовательно, существующие нормативные документы не обеспечивают требования к организации подобных ВЗ и не содержат методик их расчета.

Постановка задачи и ее решение. Одной из задач применения ВЗ является предотвращение распространения пожара и продуктов сгорания в смежные помещения [2]. В этом смысле, под водяной завесой будем понимать вертикальный поток воды без образования отдельных капель (без разрыва сплошности), рис. 1.

Ставится задача определить расход огнетушащего вещества для создания водяной завесы высотой H , шириной L и глубиной B .

Для упрощения будем полагать, что движение воды осуществ-

ляется в поле сил тяготения. Начальная скорость V_0 потока равна нулю. На расстоянии равном высоте H под действием сил поверхностного натяжения происходит разрыв потока и водяная завеса перестает выполнять свою функцию.

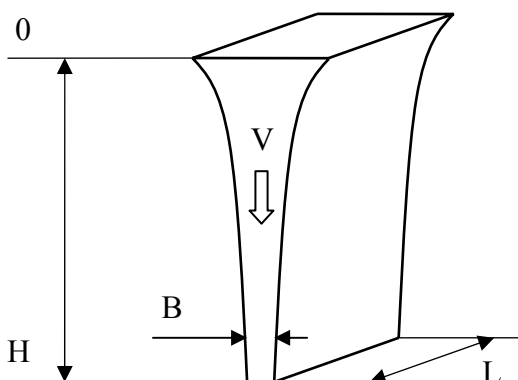


Рис. 1 – Расчетная схема течения ОВ в струе ВЗ

Скорость элементарного объема воды в точке H будет равна:

$$V = \sqrt{V_0^2 + 2gH} = \sqrt{2gH}, \text{ (л}\cdot\text{с}^{-1}) \quad (1)$$

где: g – ускорение свободного падения, ($\text{м}\cdot\text{с}^{-2}$).

Объемный расход ОВ в точке H будет:

$$Q = V \cdot L \cdot B = \sqrt{2gH} \cdot L \cdot B \cdot 10^3, \text{ (л}\cdot\text{с}^{-1}) \quad (2)$$

где: V – скорость потока ОВ, м/с.

Удельный расход ОВ, приходящийся на 1 (м) ширины водяной завесы:

$$Q_L = \frac{\sqrt{2gH} \cdot L \cdot B}{L} = \sqrt{2gH} \cdot B \cdot 10^3, \text{ (л}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{м}^{-1}) \quad (3)$$

Согласно требованиям [1], удельный расход ОВ в ВЗ: $Q_L \geq 1$ ($\text{л}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{м}^{-1}$). Используя (3), определим потребный удельный расход ОВ для создания ВЗ, которая будет препятствовать распространению продуктов сгорания в смежные помещения.

Принимаем, что глубина ВЗ при которой сплошная струя начинает распадаться на отдельные капли, составляет $B = (2 \div 7) \cdot 10^{-3}$ (м), что соответствует типичным размерам дождевых капель [4].

Результаты расчетов удельных расходов ОВ представлены на рис. 2. Анализ результатов показывает, что для обеспечения сплошной струи ВЗ высотой $H = 10$ (м), которая смогла бы препятствовать распространению продуктов сгорания в смежные помещения, минимальный удельный расход ОВ должен составлять: $Q_L = 28 \div 98$ ($\text{л}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{м}^{-1}$), что существенно превышает нормативные требования.

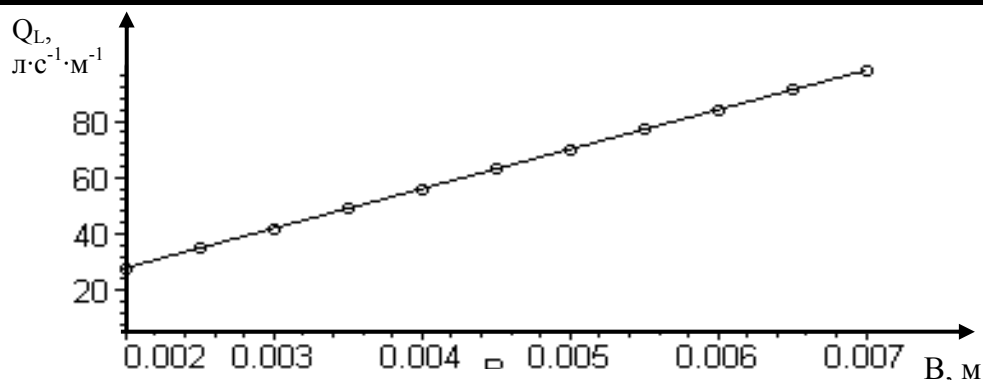


Рис. 2 – Зависимость удельного расхода ОВ от глубины ВЗ

Выводы. Рассмотрен подход для расчетов водяной завесы, препятствующей распространению продуктов сгорания в смежные помещения. Показано, что требования существующих нормативных документов не обеспечивают данный вид назначения водяных завес, и не содержат методик их расчета.

ЛИТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.5–13–98* Пожарная автоматика зданий и сооружений / Госстрой Украины. – Киев: 2006. – 80 с.
2. Антошкин А. А. Об обеспечении требуемого расхода дренажными оросителями водяных завес // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ. 2008. № 25 – С. 6 – 9.
3. Куліковський В.С. Зрошувачі для водяних завіс / В. С. Куліковський, В. І. Крисаєв, В. П. Ігнатенко // Бизнес и безопасность. – 2008. – 2(64). – С. 159 – 161.
4. Мурин М. Н. Влияние геометрических параметров трубопроводов на потребную мощность подводимого потока жидкого огнетушащего вещества / М. Н. Мурин, А. Н. Литвяк, В. А. Дуреев // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ. – 2009. – № 26. – С. 65 – 68.
5. Хромов С. П. Метеорологический словарь / С. П. Хромов, Л. И. Мамонтова // Гидрометеиздат. – Л.: 1974. – 569 с.

О. М. Литвяк, В. О. Дуреев

Параметри водяних завіс для запобігання поширенню продуктів горіння

Розглянуті параметри водяної завіси для запобігання поширенню продуктів горіння.

Ключові слова: водяна завіса, вогнегасна речовина, питома витрата, глибина завіси, розмір краплі, поширення продуктів згорання.

A.N. Litvjak, V.A. Dureev

Parameters of aquatic curtains for prevention of distribution of products of burning

The parameters of aquatic curtain are considered for prevention of distribution of products of burning.

Keywords: aquatic curtain, a matter extinguishing a fire, specific expense, depth of curtain, size of drop, distributions of products of combustion.

Ю.В. Луценко, канд. техн. наук, доцент, нач. кафедри, НУЦЗУ,
Є.А. Яровий, викладач, НУЦЗУ

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ПРИПИНЕННЯ ГОРІННЯ НАФТОПРОДУКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СІТЧАТИХ ЕЛЕМЕНТІВ

(представлено д-ром техн. наук Басмановим О.Є.)

Наведено результати дослідження умов самозагасання полум'я при використанні металевих сіток у якості вогнегасного елемента пасивних засобів пожежогасіння.

Ключові слова : нафтопродукти, самогасання, металева сітка

Постановка проблеми. Технологічні процеси і апарати хімічної та нафтохімічної промисловості характеризуються високою пожежною небезпекою. Аналіз гасіння пожеж на НПЗ показує, що кожна четверта пожежа супроводжується вибухом з наступним горінням. Пожежі швидко набувають великих розмірів і, як правило, не можуть бути ліквідовані першими пожежними підрозділами. Таким чином проблема полягає в тому, щоб запобігти інтенсивному поширенню полум'я на початковій стадії пожежі [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням підвищення ефективності гасіння пожеж у резервуарах та резервуарних парках присвячено велику кількість робіт. Одним з напрямків удосконалення пожежогасіння на об'єктах зберігання нафтопродуктів є створення пасивних засобів гасіння, які унеможливають протікання процесу горіння за рахунок обмеження масообміну, тобто дифузії кисню у реакційну зону. У роботах [2,3] для обмеження потрапляння кисню у реакційну зону пропонується використання пакетів металевих елементів прямокутного перетину, які пропонується занурити на глибину, розраховану виходячи з параметрів та геометричних характеристик каналу.

Постановка задачі та її вирішення. Задачею проведених досліджень було визначення умов самогасання полум'я під сіткою. Для її розв'язання потрібно було вирішити ряд питань, що пов'язані з конструктивними та технологічними факторами. При проведенні експериментів визначалися:

- розмір вічок сітки для кожної з досліджуваних рідин, при якому відбувається стабільне припинення горіння;
- температурний діапазон рідин, при якому відбувалося припинення горіння;
- висоту розміщення сітки над дзеркалом рідини;
- співвідношення площі вільного перерізу сітки та площі поверхні горіння рідини.

При виконанні досліджень зроблено припущення, що найбіль-

ший вплив на час припинення реакції горіння чинять: розмір вічок сітки δ , температура горючої рідини T , висота розміщення сітки над поверхнею горіння h , та співвідношення площі горіння та площі перерізу сітки S_r/S_{II} .

Програмою досліджень було передбачено визначення залежності впливу зазначених факторів на час τ припинення реакції горіння. Зміна часу самозгасання полум'я від вищеперелічених факторів можна представити багатофакторною функціональною залежністю виду:

$$\tau = F(\delta, T, h, S_r/S_{II}) \quad (1)$$

Для апроксимації функціональної багатофакторної залежності приймається поліном другого ступеню. Оптимальний ступінь поліному апроксимуючої математичної моделі обирається виходячи з вимог усунення “шуму” експерименту. Полем експериментів є матриця комбінаційних квадратів, кожен з яких відображає одночасно певні рівні варіювання незалежних змінних.

При складанні матриці комбінаційних квадратів експерименту кількість варіантів кожного з факторів у дослідах приймається рівним п'яти. Для зручності та спрощення розрахунків у поліном другого ступеню вводяться нові змінні:

$$h \rightarrow X1, f \rightarrow X2, S_r/S_{II} \rightarrow X3, T \rightarrow X4 \quad (2)$$

Рівні варіювання факторів в експериментах представлені у вигляді:

$$X1 = \frac{h - h_c}{\Delta h}; X2 = \frac{f - f_c}{\Delta f}; X3 = \frac{S_r/S_{II} - (S_r/S_{II})_c}{\Delta S_r/S_{II}}; X4 = \frac{T - T_c}{\Delta T} \quad (3)$$

де, відповідно, поточні та середні значення меж параметрів: h, h_c - висоти сітки над поверхнею горіння; f, f_c - розміру сіток; T, T_c - температури рідкого пального; $S_r/S_{II}, (S_r/S_{II})_c$ - співвідношення площини поверхні горіння і вільного перерізу сітки; $\Delta h, \Delta f, \Delta S_r/S_{II}, \Delta T$ - інтервали варіювання незалежних змінних.

У кожному з дослідів визначалися час від моменту спалахування горючої рідини до припинення реакції горіння і об'ємна концентрація кисню у напівзамкненому об'ємі модельного осередку пожежі. Результати спостережень оброблені за допомогою ПЕОМ.

У ході експериментів визначалися умови згасання полум'я при горінні рідин в залежності від геометричних параметрів дослідної моделі та стану горючої рідини. На основі аналізу умов уповільнення та припинення дифузійного горіння у якості параметрів, що впливають на гальмування горіння рідини у моделі напівзамкненого об'єму прийнято розмір вічка сітки (співвідношення загальної площі вічок

до площі сітки), відстань від сітки до поверхні дзеркала горючої рідини, температура горючої рідини.

Від вибору того чи іншого значення зазначених параметрів залежить не тільки час самозгасання але й місткість та пропускна спроможність моделі експериментальної установки. Тому при дослідженнях поряд з визначенням умов самозгасання горючих рідин, визначалися конструктивні параметри експериментальної установки.

При проведенні досліджень кожному незалежному параметру надавалося п'ять значень з відповідним кроком рівня діапазону варіювання. В усіх дослідях діапазони та рівні варіювання, за винятком температури рідини, для кожного параметру приймалися однаковими. Температурні діапазони і їх рівні варіювання бралися у відповідності до температури кипіння дослідної рідини. Для встановлення якісного та кількісного зв'язку щодо впливу дослідних параметрів на час самозгасання горючої рідини у чотирьохфакторному експерименті, був взятий поліном другого ступеню, який має вигляд

$$F(X_1, X_2, X_3, X_4) = a_{11} \cdot X_1^2 + a_{22} \cdot X_2^2 + a_{33} \cdot X_3^2 + a_{44} \cdot X_4^2 + a_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + a_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 + a_{14} \cdot X_1 \cdot X_4 + a_{23} \cdot X_2 \cdot X_3 + a_{24} \cdot X_2 \cdot X_4 + a_{34} \cdot X_3 \cdot X_4 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_3 \cdot X_3 + a_4 \cdot X_4 \quad (4)$$

Для оцінки можливості відтворення результатів, у кожному експерименті проводилося не менш трьох повторень дослідів при фіксованих значеннях параметрів. Отримані дані результатів дослідів по кожній горючій рідині оброблялися на персональному комп'ютері. При проведенні обробки даних експерименту оцінювалася розбіжність результатів, одержаних у ході дослідів, з розрахунковими даними, одержаними за допомогою апроксимаційної математичної моделі. При цьому розраховувалися:

- середньоквадратична помилка

$$e = \frac{\sum_i^N (y_i - F(X_{1_i}, X_{2_i}, X_{3_i}, X_{4_i}))^2}{N} \quad (5)$$

- середня абсолютна помилка

$$h = \frac{\sum_i^N |y_i - F(X_{1_i}, X_{2_i}, X_{3_i}, X_{4_i})|}{N} \quad (6)$$

- середня відносна помилка

$$h\% = \frac{\sum_i^N \left| \frac{y_i - F(X_{1_i}, X_{2_i}, X_{3_i}, X_{4_i})}{y_i} \right| \cdot 100}{N} \quad (7)$$

Після обробки одержаних дослідних даних щодо умов самоз-

гасання досліджених горючих рідин на лабораторній установці отримані апроксимуючі математичні залежності для обчислення часу самозгасання.

Для бензину

$$\begin{aligned} \tau = & 7.318X1^2 - 0.361X2^2 - 1.117X3^2 - 0.006X4^2 + 0.349X1X2 + \\ & + 29.222X1X3 - 0.918X1X4 - 0.803X2X3 - 0.04X2X4 - 0.129X3X4 - \\ & - 41.478X1 + 34.23X2 + 40.335X3 + 2.79X4 - 824644 \end{aligned} \quad (8)$$

помилки обчислень відповідно становлять: середньоквадратична $e=0.476$, середня абсолютна $h=0.496$ та середня відносна помилка $h\%=11.694$.

Для гасу

$$\begin{aligned} \tau = & -66.098X1^2 + 0.027X2^2 - 0.106X3^2 + 0.000744X4^2 - \\ & - 1.69X1X2 + 4.571X1X3 - 0.534X1X4 + 0.405X2X3 + \\ & + 0.015X2X4 + 0.018X3X4 + 133.269X1 - 3.558X2 - \\ & - 19.821X3 - 0.723X4 + 104.674 \end{aligned} \quad (9)$$

похибки обчислень становлять: $e = 0.058$, $h = 0.194$, $h\% = 8.198$; графічні.

Для дизельного палива

$$\begin{aligned} \tau = & 968.457X1^2 - 0.707X2^2 + 0.064X3^2 + 0.004X4^2 - \\ & - 0.69X1X2 + 0.764X1X3 + 2.259X1X4 + 0.254X2X3 - \\ & - 0.019X2X4 - 0.211X3X4 - 521.938X1 + 61.762X2 - \\ & - 0.183X3 + 0.266X4 - 1279 \end{aligned} \quad (10)$$

похибки обчислень становлять: $e = 0.187$, $h = 0.337$, $h\% = 12.561$; графічні.

Для нафти

$$\begin{aligned} \tau = & -11.943X1^2 - 0.025X2^2 - 0.193X3^2 + 0.000723X4^2 - \\ & - 0.672X1X2 - 6.811X1X3 + 0.059X1X4 + 0.026X2X3 - \\ & - 0.003X2X4 - 0.003X3X4 + 67.173X1 + 2.295X2 + \\ & + 1.137X3 + 0.037X4 - 54.82 \end{aligned} \quad (11)$$

помилки обчислень становлять: $e = 0.702$, $h = 0.653$, $h\% = 19.377$.

Для мазуту

$$\begin{aligned} \tau = & 729.097X1^2 - 0.381X2^2 + 0.946X3^2 - 0.002X4^2 + \\ & + 6.782X1X2 - 18.239X1X3 + 0.046X1X4 - 0.304X2X3 - \\ & - 0.024X2X4 - 0.112X3X4 - 501.2X1 + 36.049X2 + \\ & + 26.918X3 + 1.793X4 - 886.831 \end{aligned} \quad (12)$$

помилки обчислень становлять: $e = 5.616$, $h = 1.544$, $h\% = 30.499$.

Висновок. Результати досліджень дозволяють визначити чинники, що впливають на протікання процесу горіння рідких вуглеводнів у напівзакритому об'ємі та свідчать, що можливість запалювання і подальшого протікання горіння рідких вуглеводнів в напівзамкненому об'ємі визначаються стехіометрією горючої суміші, а також процесами тепло- та масообміну.

ЛІТЕРАТУРА

1. Требнев В.В. Тактическая подготовка должностных лиц органов управления силами и средствами на пожаре / В.В.Требнев, А.В.Требнев, А.В.Подгрушный, В.А.Грачев // М., МЧС РФ, Академия ГПС, 2004, 288с.

2. Потякин В.И. Устройства для самотушения горящих при проливе гидкостей / В.И.Потякин, В.И.Еремин, И.М.Гребене // Пожарная техника. Расчет проектирования. Сб.науч.трудов.М. ВНИИПО, 1989.

3. Патент на изобретение №225804. Приоритет изобретения от 08.01.2003.

4. Луценко Ю.В. Аналіз умов само загасання полум'я рідких вуглеводнів у напівзамкнених об'ємах / Ю.В.Луценко, А.Я.Шаршанов, О.В.Бабенко // Проблемы пожарной безопасности. Сб.науч.тр. АПБ Украины. Вип.10.- Харьков: Фолио, 2001. – С.109-113.

5. Бабенко О.В. Експериментальна лабораторна установка для визначення вогнегасних властивостей сітчастих конструкцій / Бабенко О.В., Мельниченко А.О. // Проблемы пожарной безопасности. Сб.наук.пр. УЦЗ України. Вип.20.- Харків: Фолио, 2006. – С.12-17.

Луценко Ю.В. , Яровой Е.А.

Исследование условий прекращения горения нефтепродуктов с использованием сетчатых элементов

Приведены результаты исследований самозатухания пламени при использовании металлических сеток в качестве огнезащитного элемента пассивных средств пожаротушения.

Ключевые слова: нефтепродукты, самопотухание, металлическая сетка.

Lutsenko U.V., Yarovoy E.A.

Study of termination of the use of burning nefteprduktov mesh elements

The results of studies self-extinguishing flame when using metal meshes as a flame retardant element Passive fire-fighting equipment.

Keywords: oil, flame retardancy, metal mesh

*Л.В. Ляшок, к.т.н., профессор, НТУ“ХПИ”,
А.В. Васильченко, к.т.н., доцент, НУГЗУ,
И.А. Афонина, Т.В. Орехова, НТУ“ХПИ”,*

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ ДЕТЕКТОР ОПАСНОСТИ ВОЗГОРАНИЯ

(представлено д-ром техн. наук Куценко Л.М.)

Представлены результаты исследования и показана возможность применения электрохимического детектора на основе полианилина с иммобилизированными наночастицами палладия для газового амперометрического сенсора малых концентраций водорода и извещателя опасности возгорания.

Ключевые слова: раннее обнаружение пожара, газовый электрохимический сенсор, водород, палладий, полианилин.

Постановка проблемы. Существующие пожарные извещатели (световые, тепловые, дымовые) способны регистрировать возгорание как свершившийся факт, поскольку работа их датчиков основана на таких физических принципах, как детектирование света, тепловыделения или задымленности. Гораздо более эффективным способом предотвращения пожара может быть регистрация явлений, предшествующих возгоранию. Сделать это можно только установив постоянный контроль над газодинамическим составом воздушной среды помещений. Такой контроль позволит принять адекватные меры по предупреждению пожара и его ликвидации в зародыше.

Достоверный способ предупреждения пожара на ранней стадии, предшествующей возгоранию, – это контроль химического состава воздуха, который резко изменяется из-за термического разложения перегретых или начинающих тлеть горючих материалов.

Известно, что на стадии тления в процессе пиролиза древесины, бумаги, пластмассы и других углеводородных материалов выделяется водород. При этом его концентрация, даже на значительном расстоянии от места возгорания, может достигать 10-100 ppm (фоновое содержание водорода в воздухе около 0,5 ppm). Вследствие высокой скорости диффузии водород очень быстро распространяется даже из закрытых помещений. Таким образом, на основании детектирования низких концентраций водорода можно создать датчик, способный регистрировать угрозу возникновения пожара задолго до стадии открытого огня [1].

Анализ последних достижений и публикаций. Из литературных данных известно, что выпускаемые сегодня промышленные течейскаатели водорода и существующие средства газоанализа экологической направленности (в том числе на электрохимических, термокаталитических и других сенсорах) слишком дороги или громоздки для

использования в качестве пожарных извещателей [2].

Снизить стоимость газовых детекторов удалось с внедрением пожарных извещателей на основе полупроводниковых химических сенсоров. В настоящее время разработаны малогабаритные полупроводниковые сенсоры двух типов металлооксидные (на основе оксида алюминия) и структурные (на основе кремниевых структур МДП и диодов Шотки). Они способны определять концентрацию водорода в воздухе в интервале от 0,001 % до единиц процентов и при этом требуют электрическую мощность 150...500 мВт. Особенностью полупроводниковых химических датчиков является действие с периодичностью 6...10 с, связанное с необходимостью нагрева сенсора до 120...500 °С [1, 2].

Уменьшить габариты и снизить стоимость пожарных извещателей можно также за счет использования электрохимических датчиков, в основу которых положено взаимодействие водорода с благородным металлом – палладием. Известно, что удобным способом приготовления каталитически активного электрода является иммобилизация палладия в проводящую полимерную матрицу. Включение металла в матрицу проводящего полимера создает оптимальные условия, при которых палладий находится в высокодисперсном состоянии, а полимерная матрица обеспечивает хорошую электронную и ионную проводимость. Благодаря высокой пористости через неё легко диффундирует водород. При этом расход благородного металла резко снижается, а в качестве токоотводящих слоев можно использовать подложки из неблагородных металлов, стеклоуглерода и графитизированных материалов [3]. Преимущество такого датчика состоит в линейной зависимости величины измеряемого тока от концентрации водорода и возможности работы при нормальной температуре.

Постановка задачи и ее решение. Задачей данной работы является проверка возможности использования электродной системы на основе электропроводящего органического полимера полианилина (Пан) с иммобилизованными наночастицами палладия для детектирования малых концентраций газообразного водорода.

Исследования электрокаталитических свойств такого электрода в модели датчика показали, что при изменении концентрации H_2 происходит изменение концентрации водорода на поверхности металла-катализатора (Pd) и линейное изменение тока электрохимической реакции в пределах от 0,1 до 30 % H_2 об. Линейная зависимость тока также прослеживается при варьировании количества наночастиц металла-катализатора в электроде (рис. 1).

Работа композитного объемно-пористого Пан+Pd-электрода исследовалась в сравнении с компактным палладиевым электродом (рис. 2) в реакции ионизации водорода после пропускания через систему газовой смеси постоянного состава.

Как видно из рис. 2, ток ионизации на объемно-пористом электроде выше, чем на компактном палладиевом электроде. Это значит, что объемно-пористый электрод активнее, чем компактный палладиевый.

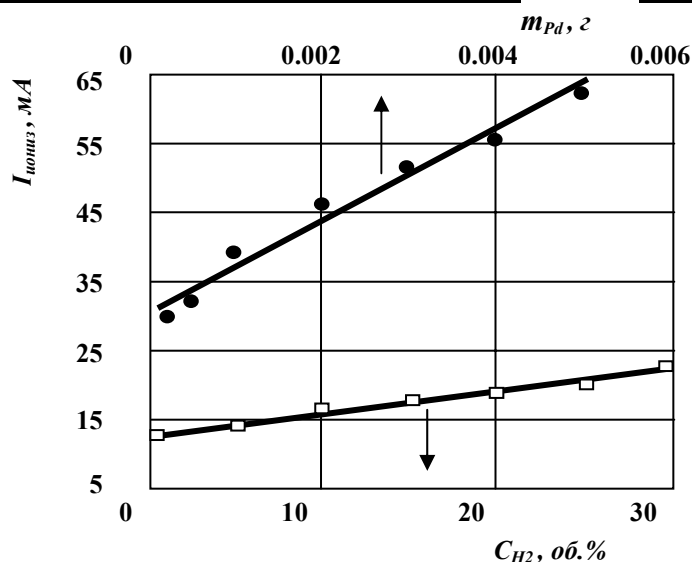


Рис. 1 – Изменение тока ионизации от количества иммобилизованного Pd в полимерную матрицу и концентрации водорода

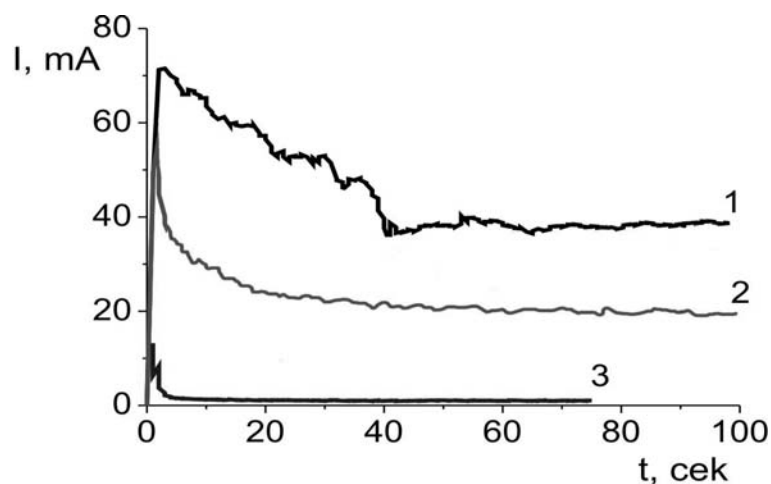


Рис. 2 – Изменение тока ионизации водорода на электродах: 1 – объемно-пористый ПАН+Pd-электрод, 2 – компактный палладиевый электрод; 3 – ток фона

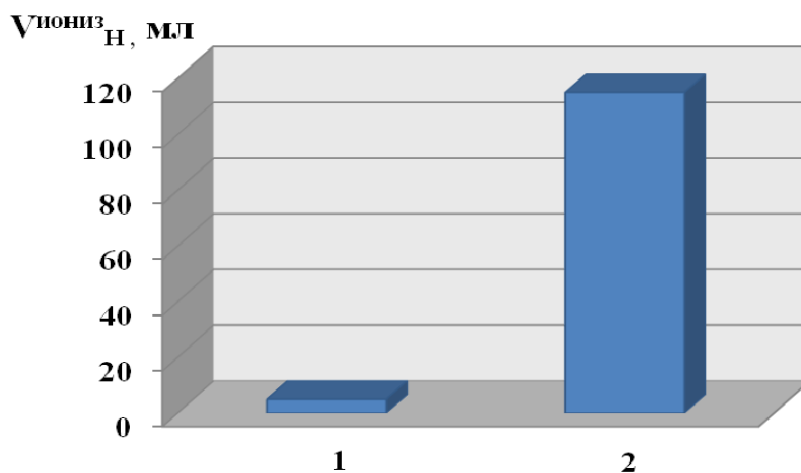


Рис. 3 – Количество водорода, который поглощают электроды: 1 – компактный палладиевый электрод, 2 – объемно-пористый ПАН+Pd-электрод

При этом следует заметить, что в ПАн+Pd-электроде содержалось на порядок меньше металла-катализатора, чем в компактном палладиевом электроде. Полученный эффект объясняется развитой рабочей поверхностью ПАн+Pd-электрода, которую обеспечивает полимерная матрица.

Более эффективную работу объемно-пористого ПАн+Pd-электрода также иллюстрирует диаграмма (рис. 3), в которой объем ионизированного водорода пересчитан на 1 г содержащегося в электродах Pd.

Выводы. Таким образом, в результате экспериментального исследования модели датчика показано, что композитный объемно-пористый ПАн+Pd-электрод обладает максимальной каталитической активностью.

Полученная линейная зависимость измеряемого тока от концентрации водорода указывает на то, что на основе пористого ПАн+Pd-электрода можно создать индикаторный электрод для газового амперометрического сенсора, способного регистрировать наличие малых концентраций водорода при нормальной температуре и быть датчиком извещателя опасности возгорания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антоненко В.И. Раннее обнаружение пожара. Полупроводниковые газовые сенсоры / В.И.Антоненко, А.А.Васильев, И.М.Олихов // <http://daily.sec.ru/dailypblshow.cfm?rid=6&pid=5603>.

2. Гусев А.Л. Датчики водорода и водородсодержащих молекул / А.Л. Гусев, И. В. Золотухин, Ю. Е. Калинин, А. В. Ситников // Водородная энергетика. – 2005. – №5. – С. 23-31.

3. Байрачний Б.І. Імобілізація наночасток Pd в полімерну матрицю / Б.І. Байрачний, Л.В. Ляшок, І.О. Афоніна, Т.В. Орехова, В.О. Черановський // Вісник НТУ “ХПИ”. – 2010. – № 30. – С. 57-61.

Л.В. Ляшок, О.В. Васильченко, І.О. Афоніна, Т.В. Орехова

Електрохімічний детектор небезпеки займання

Представлені результати дослідження і показана можливість застосування електрохімічного детектора на основі поліаніліна з іммобілізованими наночастками паладію для газового амперометричного сенсора малих концентрацій водню та сповіщувача небезпеки займання.

Ключові слова: раннє виявлення пожежі, газовий електрохімічний сенсор, водень, паладій, поліанілін.

L.V. Lyashok, A.V. Vasilchenko, I.O. Afonina, T.V. Orekhova

Electrochemical detector of risk of fire

Research results of electrochemical detector on the basis of polyaniline with immobilized palladium for the gas amperometric touch-control of small concentrations of hydrogen are represented. Possibility of application of this detector for indicator of risk of fire is showed.

Keywords: risk fire detector, gas electrochemical touch-control, hydrogen, palladium, polyaniline.

О.В. Миргород, канд. техн. наук, доцент, НУЦЗУ

ПІДВИЩЕННЯ ВОГНЕТРИВКОСТІ БЕТОНІВ ЗА РАХУНОК ВВЕДЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОГО БАРІЄВОГО ШПІНЕЛЬВМІСНОГО ЦЕМЕНТУ

(представлено д-ром техн. наук Соболев О.М.)

В статті наведено результати отримання та дослідження вогнетривких бетонів на основі барієвого шпінельвмісного цементу. Зроблено висновок про доцільність використання розроблених бетонів у різноманітних галузях промисловості, пов'язаних з підвищеними температурами.

Ключові слова: вогнетривкий бетон, барієвий шпінельвмісний цемент, міцність, високотемпературні випробування, прогорання, пожежна ситуація.

Постановка проблеми. Будівництво – це одна з найбільш матеріалоємних галузей господарства, що потребує великої кількості матеріалів і виробів. При цьому необхідно знати не тільки міцність і деформативність матеріалів при нагріванні, але й їх пожежонебезпечні властивості, особливо вогнестійкість.

Під час пожежі бетонні та залізобетонні конструкції піддаються високотемпературному нагріву різної інтенсивності та тривалості, в результаті чого знижується їх несуча спроможність [1]. Поведінка залізобетону як композиційного матеріалу насамперед визначається поведінкою бетону, оскільки саме в ньому при нагріві протікають складні теплофізичні та механічні процеси [1-2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки отримало широкий розвиток виробництво вогнетривких бетонів, які можуть бути використані для звукоізоляції міжкімнатних перегородок і міжповерхових перекриттів, комплексного утеплення будинків різноманітного призначення (підлоги, стіни, горища), термоізоляції низькотемпературних споруд (холодильників та ін.), термоізоляції високотемпературних поверхонь теплових агрегатів до 1200 °С (димарів, газоходів, печей для відпалу цегли, кераміки, виплавки скла та ін.).

Розвиток нової техніки, пов'язаний з використанням високих температур, потребує нових, більш ефективних вогнетривких матеріалів, у тому числі й вогнетривких цементів [4].

Однак, в наш час мало уваги приділяється питанням пожежної безпеки новітніх матеріалів, а саме їх вогнестійкості. Дуже часто відбувається прогар матеріалу під час високотемпературних випро-

бувань, що може призвести до виникнення пожежної ситуації [1-2].

Найбільш розповсюдженим вогнетривким цементом є високоглиноземистий. Однак цей вид цементів не відповідає вимогам, що висуваються до випробувань на високотемпературних установках. Відомий також вогнетривкий глиноземистий цемент, до складу якого входить до 50 мас. % алюмомагнезійної шпінелі, який також не відповідає високим потребам нової техніки за вогнетривкістю [3-5].

Постановка завдання та його вирішення. У зв'язку з вищевикладеним, метою даної роботи є розробка нових складів бетонів з використанням цементів на основі алюмінатів барію та магнезійної шпінелі, що відрізняються високою міцністю, вогнетривкістю та корозійною стійкістю.

В якості вихідних сировинних матеріалів для отримання шпінельвмісного цементу використовувались вуглекислий барій технічний, глинозем марки Г00 та природний магнезит.

Для синтезу зразків заданого фазового складу проводилося послідовне подрібнення, змішування та випал сировинних сумішей. Ретельне подрібнення і змішування сировинних компонентів проводилось у лабораторному кульовому млині «мокрим способом» (вологість шламу - 50 мас.%). Тонкість помелу контролювалось ситовим аналізом (повний прохід крізь сито № 006). Перед випалом сировинні суміші формувались методом двостороннього пресування при питомому тиску 60-80 МПа. Випал брикетів здійснювався в криптоловій печі при температурі 1550°C з ізотермічною витримкою при максимальній температурі синтезу 3 години. Повнота синтезу сполук контролювалась рентгенографічним методом аналізу.

Фізико - механічні випробування зразків отриманого цементу проводилось з використанням методики малих зразків М.І. Стрелкова, вогнетривкість визначалась за методом падіння конусу матеріалу.

За результатами фізико-механічних випробувань отриманого цементу встановлено, що він має наступні властивості: водоцементне співвідношення 0,16; терміни тужавіння: початок 3 години 25 хвилин; кінець 6 годин 20 хвилин; межа міцності при стиску у віці 1 доби - 14 МПа, 3 доби - 47 МПа, 7 діб – 62 МПа, 28 діб – 68 МПа.

Для визначення придатності розробленого цементу для отримання вогнетривкого бетону було здійснено розрахунок температури плавлення за методикою Епштейна – Хауленда:

$$T = \frac{T_i}{(1 - \ln \frac{x_i}{n_i})}, \quad (1)$$

де T_i – температура в кельвінах; x_i – молярна доля компонента в ком-

позиційному матеріалі; n_i – кількість атомів в композиції.

За результатами розрахунку температура плавлення обраного складу дорівнює 1850 °С. Визначена за методом падіння конусу вогнетривкість визначається температурою 2040 °С. Як видно з представлених результатів отриманий цемент є високоміцним, швидкоотжужаючим, швидкоотверднучим в'язучим повітряного твердіння і може бути використаний для розробки вогнетривкого бетону.

У якості заповнювача для вогнетривких бетонів може бути використаний широкий спектр матеріалів. У даному випадку було обрано електроплавлений корунд із-за матричної спорідненості до складу цементу.

Для отримання бетону зразки готували методом напівсухого пресування із бетонної суміші з вологістю 7 % . Пресовий тиск склав 100 МПа. Співвідношення цемент : заповнювач обране 1 : 3.

Основні фізико-механічні властивості отриманого бетону наступні: пористість – 11,4 %, межа міцності при стиску у віці 1 доби - 9 МПа, 3 доби – 40,2 МПа, 7 діб – 52,4 МПа, 28 діб – 56,5 МПа.

Аналіз отриманих результатів дозволив встановити, що отриманий бетон є високоміцним, щільним матеріалом, придатним для створення монолітних конструкцій.

Оскільки розроблений бетон може бути використаний при високих температурах, то було вивчено вплив температури на механічну міцність зразків бетону (рис. 1).



Рис. 1 – Ступінь розміцнення бетону до 800 °С та понад 1000 °С

Встановлено, що найбільший ступінь розміцнення спостерігається до 800 °С, що відповідає видаленню води із гідратованого цементу. Понад 1000 °С починається спікання матеріалу з отриманням щільної керамічної структури.

Висновки. За результатами проведених досліджень встановлена можливість отримання барієвих шпінельвмісних цементів та бетонів на їх основі, які є на 15 % найбільш високоміцними, щільними, вогнетрив-

кими матеріалами, ніж ті, що застосовуються в наш час. Розроблені матеріали є придатними для використання для звукоізоляції міжкімнатних перегородок і міжповерхових перекриттів, комплексного утеплення будинків різноманітного призначення, термоізоляції низькотемпературних споруд, термоізоляції високотемпературних поверхонь теплових агрегатів, футеровки теплонапружених ділянок сучасних високотемпературних агрегатів, що допоможе знизити на 10 % прогорання під час високотемпературних впливів і, як наслідок, – виникнення пожежної ситуації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Некрасов К.Д. Рекомендации по защите бетонных и железобетонных конструкций от хрупкого разрушения при пожаре. / К.Д. Некрасов, В.В. Жуков, В. Ф. Гуляева – М.: Стройиздат, 2003. – 21 с. – (Труды / Стройиздат, вып. 1).

2. ДБН В.1.1 – 7 – 2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва. – К.: Держбуд України [Затверджені наказом Держбуду України від 03.12. 2002 року № 88 та введені в дію з 01.05.2003 року, на заміну СНиП 2.01.02-85*] – Державні будівельні норми України. – К.: 2003. – 45 с.

3. Мельник М.Т. Огнеупорные цементы / Мельник М.Т., Илюха Н.Г., Шаповалова Н.Н. – К.: Вища школа, 1984. – 121 с.

4. Кузнецова Т.В. Специальные цементы / Кузнецова Т.В. – СПб.: Стройиздат, 1997. – 297 с.

5. Кузнецова Т.В., Глиноземистый цемент / Т.В. Кузнецова, Й. Талабер. – М.: Стройиздат, 1988. – 265 с.

О.В. Миргород

Повышение огнеупорности бетонов за счет введения огнестойкого бариевого шпинельсодержащего цемента

В статье приведены результаты получения и исследования огнеупорных бетонов на основе бариевого шпинельсодержащего цемента. Сделан вывод о целесообразности использования разработанных бетонов в различных областях промышленности, связанных с повышенными температурами.

Ключевые слова: огнеупорный бетон, бариевый шпинельсодержащий цемент, прочность, высокотемпературные испытания, прогорание, пожарная ситуация.

O.V. Mirgorod

Increase of fire resistance of concrete at the expense of introduction fire-resistant on barium spinel-containing cement

The results of production and investigation of refractory concrete based on barium spinel-containing cement. The conclusion about the feasibility of using the developed concrete in high-temperature units.

Key words: refractory concrete, barium spinel-containing cement, strength, high-temperature unit, burn-out facing, a fire situation.

А.О. Михайлюк, канд. техн. наук, ст. наук. співр., НУЦЗУ

МІНІМІЗАЦІЯ ТЕПЛОВОГО ВПЛИВУ ПОЖЕЖІ РЕЗЕРВУАРА У РЕЗЕРВУАРНІЙ ГРУПІ

(представлено д-ром техн. наук Басмановим О.Є.)

Розв'язано задачу зниження теплового впливу пожежі від резервуару, що горить, обумовленого вітровим навантаженням на сусідні резервуари в резервуарній групі шляхом їх розміщення із врахуванням рози вітрів.

Ключові слова: резервуарний парк, коефіцієнт конвекційного теплообміну.

Постановка проблеми. Першочерговим завданням підрозділів МНС, які беруть участь у локалізації та ліквідації надзвичайної ситуації в резервуарному парку, викликаній горінням нафтопродукту в резервуарі, є охолодження резервуару, що горить та сусідніх резервуарів. Особливу небезпеку при гасінні пожеж у резервуарних парках представляють резервуари, що знаходяться поряд з резервуаром, що горить. Підігрів цих резервуарів може призвести до займання парів нафтопродуктів на дихальних лініях на даху або до вибуху парів всередині резервуара [1]. Особливо актуальним це є при обмеженій кількості сил і засобів, що має місце після прибуття перших підрозділів МНС до місця виклику.

Аналіз останніх досягнень та публікацій. На практиці використовується спосіб розміщення резервуарів [2], який полягає в тому, що визначають площу дзеркала рідини в резервуарах і відповідно до цього розміщують резервуари групами. Недоліком зазначеного способу є те, що не враховується вплив вітру на тепловий режим у групі резервуарів при виникненні пожежі.

Постановка задачі та її рішення. Метою роботи є така орієнтація резервуарної групи, що знижує тепловий вплив пожежі, обумовлений вітровим навантаженням на сусідні резервуари.

При довільному розташуванні резервуарів у групі й наявності пожежі (рис. 1) розподіл температури по стінці й покрівлі резервуара описується системою рівнянь:

$$\frac{dT_k}{dt} = \frac{\varepsilon_c c_0}{S_k \delta \rho_c c_c} \left[\varepsilon_\phi H_k^+ \left(\left(\frac{T_\phi}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_k}{100} \right)^4 \right) + \sum_{i=1}^{N_1+N_2} \varepsilon_i H_{ik} \left(\left(\frac{T_i}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_k}{100} \right)^4 \right) + \left(\left(\frac{T_0}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_k}{100} \right)^4 \right) (S_k - H_k^+) \right] + \frac{\alpha_\Gamma (T_\Gamma - T_k)}{\delta \rho_c c_c} + \frac{\alpha_B (T_0 - T_k)}{\delta \rho_c c_c}, \quad k = 1, 2, \dots, N_1, \quad (1)$$

де T_k – температура області k ; S_k – площа області k ; ε_c – ступінь чорноти сталеві поверхні резервуара; δ – товщина стінки; ρ_c , c_c – щільність і теплоємність сталі; T_ϕ , ε_ϕ – температура й ступінь чорноти факела; H_k^+ – площа взаємного опромінення між областю k й факелом; ε_i – ступінь чорноти області i ; H_{ik} – площа взаємного опромінення між областями i й k ; T_0 , T_Γ – температура навколишнього середовища й пароповітряної суміші в газовому просторі резервуара; α_B , α_Γ – коефіцієнти конвекційного теплообміну з навколишнім повітрям і пароповітряною сумішшю відповідно; N_1 , N_2 – кількість областей, на які умовно поділено поверхню резервуара й нафтопродукту, й у межах яких температура приймається однаковою.

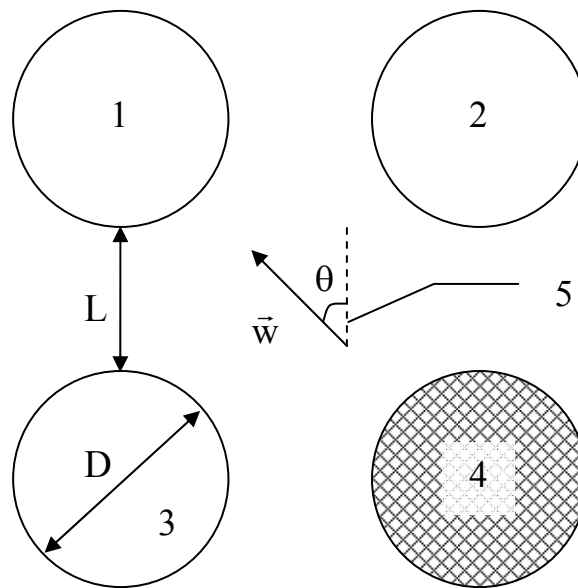


Рис.1 – Вплив вітру на тепловий режим у групі резервуарів при виникненні пожежі, де 1–3 – резервуари, що не горять; 4 – резервуар, що горить; 5 – напрямок вітру

Для пароповітряної суміші:

$$\frac{dT_\Gamma}{dt} = \frac{\alpha_\Gamma}{V_\Gamma \rho_\Gamma c_p} \sum_{k=1}^{N_1+N_2} (T_k - T_\Gamma) S_k, \quad (2)$$

де V_Γ , ρ_Γ , c_p – обсяг, щільність і теплоємність пароповітряної суміші.

Прогрів нафтопродукту в глибину описується рівнянням:

$$\frac{\partial T_k}{\partial t} = \frac{\lambda_H}{c_H \rho_H} \frac{\partial^2 T_k}{\partial x^2}, \quad t > 0, \quad 0 < x < \infty, \quad (3)$$

$$\left. \frac{\partial T_k}{\partial x} \right|_{x=0} = -\frac{1}{\lambda_H S_k} \frac{dQ_k}{dt}, \quad T_k|_{t=0} = T_0, \quad (4)$$

де λ_n , c_n , ρ_n – теплопровідність, теплоємність і щільність нафтопродукту, а величина dQ_k/dt визначається виразом:

$$\frac{dQ_k}{dt} = c_0 \varepsilon_n \varepsilon_c \sum_{i=1}^{N_1} H_{ik} \left(\left(\frac{T_i}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_k}{100} \right)^4 \right) + \alpha_r (T_r - T_k) S_k, \\ k = N_1 + 1, \dots, N_1 + N_2. \quad (5)$$

Сумісний розв'язок системи рівнянь (1)-(5) в графічному вигляді наведено на рис. 2. Із його аналізу випливає, що найгірша ситуація виникає тоді, коли вітер направлений від резервуара, що горить, до резервуара 2 ($\theta = 0^\circ$). Найменш небезпечною ситуацією буде ситуація, коли вітер направлений в бік резервуара 1 ($\theta = 45^\circ$). Аналогічний вигляд буде мати графік розподілу температур і при напрямку вітру в діапазоні $45^\circ < \theta \leq 90^\circ$ – в цьому випадку лінії 1-6 (рис.2) будуть відповідати резервуару 3. Це означає, що при довільному напрямку вітру найбільші значення температур досягаються резервуарами 2, 3, а для резервуара 1 максимальна температура нижча понад в 2 рази і є меншою ніж температура самоспалахування (рис.2). Таким чином, в залежності від напрямку вітру захисту потребують лише резервуари 2 і 3.

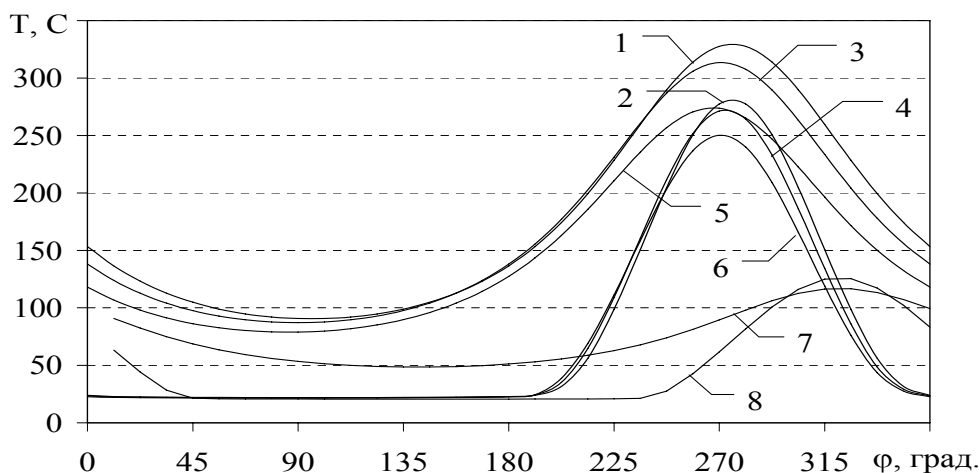


Рис.2 – Розподіл температури вздовж верхньої частини бокової стіни резервуарів і зовнішньої частини покрівлі для різних напрямків вітру через 4 хв. після початку пожежі, де 1, 2 – покрівля і стіна резервуара 2 при напрямку вітру; 3, 4 – покрівля і стіна резервуара 2 при напрямку вітру; 5, 6 – покрівля і стіна резервуара 2 при напрямку вітру; 7, 8 – покрівля і стіна резервуара 1 при напрямку вітру

Таким чином, доцільно розміщувати резервуарну групу таким чином, щоб її діагональ була паралельна до напрямку вітру. Це забезпечує збільшення часу досягнення температури самоспалахування сусідніми резервуарами в 1,5 рази (рис. 3).

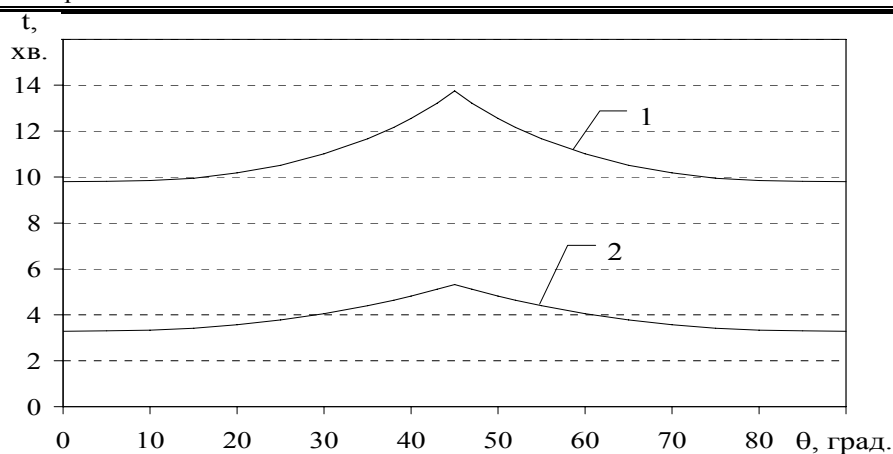


Рис.3 – Час досягнення температури самоспалахування одним з резервуарів, що не горить, для різних резервуарних груп в залежності від напрямку вітру, де 1 – резервуарна група РВС-10000 з бензином; 2 – резервуарна група РВС-20000 з сирою нафтою

Висновки. Запропоновано таке розміщення резервуарної групи, що її діагональ є паралельною до напрямку вітру. Це дозволяє знизити тепловий вплив пожежі, обумовлений вітровим навантаженням, зокрема, в 1,5 рази збільшити час досягнення сусідніми резервуарами температури самоспалахування парів нафтопродукту, що забезпечує додатковий час для включення стаціонарної системи охолодження резервуарів і розгортання пересувної техніки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов В.П. Химические процессы при установившемся диффузионном горении в условиях пожара / В.П. Виноградов // Вестник С.-Петербурга. ин-та гос. противопожар. службы. – 2003. – № 2. – С. 41–47.

2. Гайдуков Н.С. Пожарная безопасность специальных предприятий / Николай Сергеевич Гайдуков. – Київ: Будівельник, 1967. – 190 с.

А.О. Михайлюк

Способ размещения резервуаров в резервуарной группе

Решена задача снижения теплового воздействия пожара от резервуара, который горит, обусловленного ветровым нагрузкам на соседние резервуары в резервуарной группе путем их размещения с учетом розы ветров.

Ключевые слова: резервуарный парк, коэффициент конвекционного теплообмена.

А.О. Mykhaylyuk

Method of placement in tanks tank group

The problem of reducing the thermal effects of fire on the tank, which burns caused by wind loads on the adjacent tanks in the tank group by placing them in view of the rose of winds.

Keywords: tanks, the rate of convective heat transfer.

*В.К. Мунтян, канд. техн. наук, зав. каф. НУГЗУ,
Р.Г. Мелещенко, преп., НУГЗУ*

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОГНЕТУШАЩЕГО ВЕЩЕСТВА ПРИ СБРОСЕ С ПОЖАРНОГО САМОЛЕТА АН-32П

(представлено д-ром техн. наук Комяк В.М.)

Предложен метод объективной оценки эффективности применения пожарного самолета Ан-32П.

Ключевые слова: толщина слоя воды, эффективность использования ОГВ, пожарный самолет Ан-32П.

Постановка проблемы. Одним из основных требований, предъявляемых к любому техническому устройству, является эффективное выполнение соответствующих функциональных требований. Технические устройства, применяемые для ликвидации пожаров, не являются исключением. Особенно остро этот вопрос стоит при использовании пожарной авиации. В частности, большой интерес вызывает вопрос определения той части сброшенного летательным аппаратом огнетушащее вещество (ОГВ), которая непосредственно участвует в тушении пожара.

Анализ последних достижений и публикаций. Изучению траекторий полета ОГВ, сброшенного пожарным самолетом Ан-32П, точности попадания водяного ядра в точку прицеливания, формирования на грунте водяного пятна, а также моделированию этих процессов посвящены работы [1-4]. Этими же вопросами занимались зарубежные ученые М. Plucinski, А. Setter, Е.А. Москвиллин и др.

Однако в указанных исследованиях вопрос об оценке эффективности использования ОГВ при его сбросе летательным аппаратом (в частности Ан-32П) не рассматривался.

Постановка задачи и ее решение. Практика использования пожарной авиации показывает, что далеко не вся масса ОГВ, поднятого в воздух, принимает участие в тушении пожара. Значительная ее часть, распыляясь в воздухе, не достигает горящих объектов. Также при формировании водяного пятна толщина водяного слоя оказывается различной [1]. Кроме того, различная интенсивность процессов горения существенно влияет на необходимую массу ОГВ для тушения пожара. При отсутствии такой массы пожар не гасится, а угнетается, и необходимый результат не достигается. При образовании избытка ОГВ (в расчете на квадратный метр), фактически происходит потеря ОГВ. В предлагаемой статье будет предложен метод вычис-

ления части ОГВ, сброшенной с пожарного самолета Ан-32П, которая непосредственно участвует в тушении пожара.

Назовем эффективной массой ту часть массы ОГВ, которая необходима для тушения пожара с конкретной интенсивностью горения на определенной площади в пределах пятна ОГВ.

Под коэффициентом эффективности использования ОГВ, сброшенного пожарным самолетом будем понимать отношение эффективной массы ОГВ к общей массе ОГВ:

$$K_{эф} = \frac{M_{эф}}{M}.$$

Таким образом, для расчета коэффициента эффективности использования ОГВ, сброшенного с пожарного самолета, достаточно вычислить $M_{эф}$.

В работе [1] получена модель параметров водяного пятна, образовавшегося после сброса воды пожарным самолетом Ан-32П. Указанная модель позволяет получить значения толщины водяного слоя в пределах водяного пятна и вычислить количество воды попавшей на элементарную площадку и участвующей в тушении пожара.

На рис. 1 изображена расчетная поверхность, отражающая изменение толщины водяного слоя (в миллиметрах) в пределах водяного пятна.

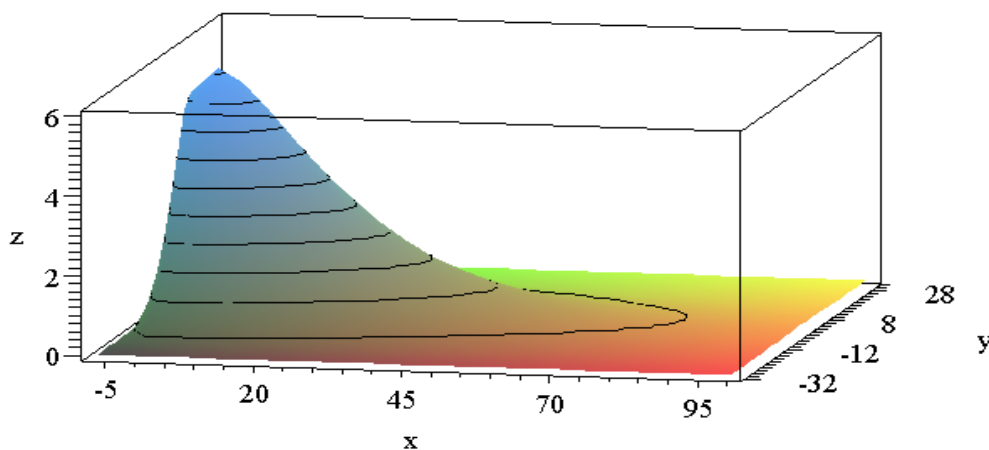


Рис. 1 – Зависимость толщины водяного слоя в миллиметрах (по оси Oz) от параметров x и y .

На рис. 2 изображены линии уровня указанной выше поверхности.

Рисунки 1 и 2 получены при моделировании сброса 8 тонн воды с высоты 40 метров самолетом Ан-32П.

Для определения необходимого количества воды для тушения пожара с определенной интенсивностью горения можно воспользоваться данными приведенными в работе [5].

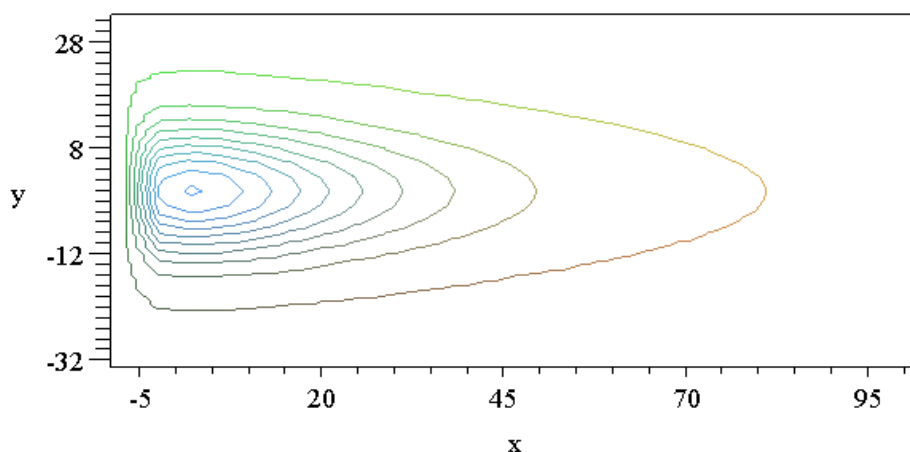


Рис. 2 – Изолинии плотности наземного распределения сброшенной с самолета Ан-32П воды.

Расчет $M_{эф}$ можно осуществить следующим образом. Сначала определяем удельную массу горючего вещества в зоне пожара \hat{m} (кг/м²). По графику на рис. 3 определяем значение интенсивности горения I (МВт/м²) для данного значения удельной массы горючего вещества.

I , МВт/м. кв.

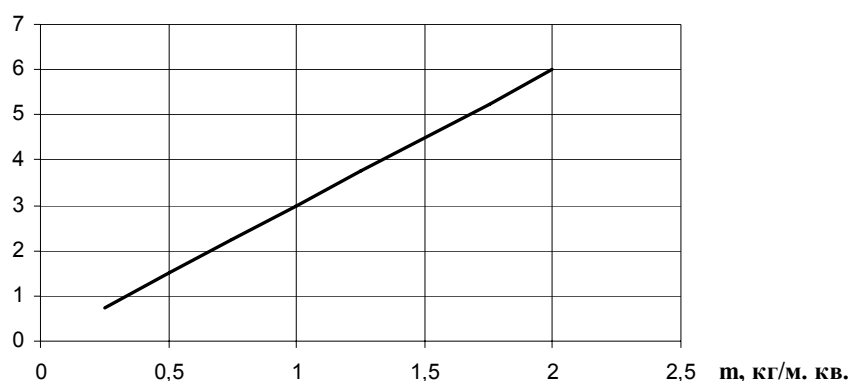


Рис. 3 – График зависимости интенсивности горения I от удельной массы горючего вещества \hat{m} .

Затем по графику рис. 4 определяем необходимую толщину водяного слоя δ (мм) для тушения пожара с данной интенсивностью горения.

С помощью рис. 1 определяем линию уровня, соответствующую необходимой толщине водяного слоя. Практически эту линию можно принять за биэллипс, состоящий из двух половин разных эллипсов с соответствующими полуосями.

По рис. 2 определяем размеры этого биэллипса и вычисляем площадь гарантированного тушения.

Величина $M_{эф}$, находится путем умножения найденной площади на необходимую толщину водяного слоя для тушения пожара с данной интенсивностью горения.

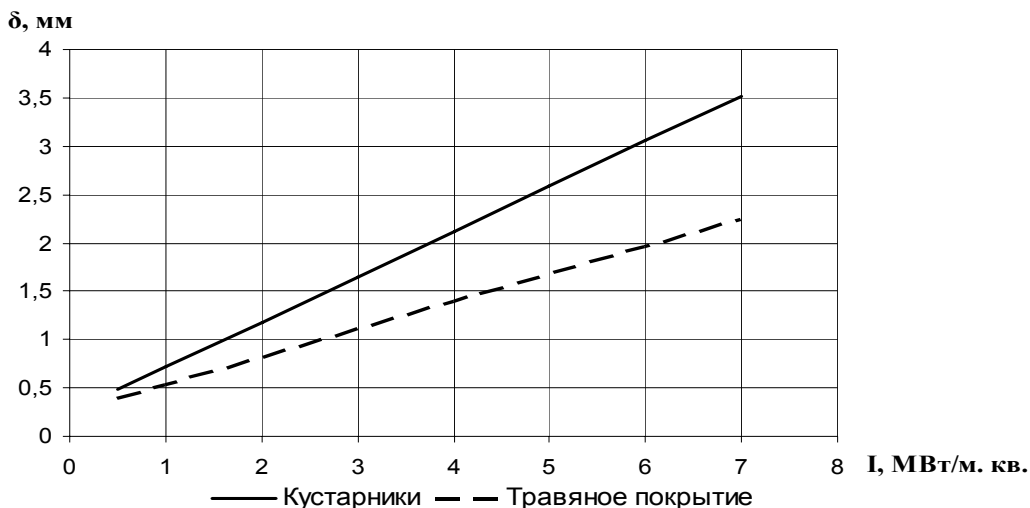


Рис. 4 – График зависимости толщины необходимого слоя воды δ от интенсивности горения I и вида горючего материала.

Таким образом, есть все необходимые данные для расчета $K_{эф}$.

Если площадь горения имеет достаточно большие размеры (больше размеров водяного пятна), то площадь гарантированного тушения определяется линией уровня.

Если площадь горения меньше размеров водяного пятна, то площадь гарантированного тушения определяется самой площадью горения.

Возможен также вариант, когда водяное пятно покрывает площадь горения частично. Тогда площадь гарантированного тушения определяется площадью пожара, ограниченной линией уровня.

Очевидно, что коэффициент эффективного использования ОГВ может изменяться в пределах от 0 (в случае, когда водяное пятно не попало в площадь горения) до некоторого максимального значения, меньшего 1 и зависящего от нескольких параметров.

Приведем пример расчета $K_{эф}$ при некоторых исходных данных. Осуществляется сброс 8 тонн воды пожарным самолетом Ан-32П с высоты 40 м на ландшафтный пожар неограниченной площади (горение сухой травы) с удельной массой горючего материала, например, 1 кг/м^2 . По графику на рис. 3 определяем интенсивность горения ($I=3 \text{ МВт/м}^2$). Зная интенсивность горения и вид горючего материала по графику на рис. 4 определяем необходимую толщину слоя воды для гарантированного тушения - в данном случае 1,2 мм. Данный параметр определяет линию уровня на рис. 1. По рис. 2 получаем размеры биэллипса, площадь которого в нашем случае равна 1054 м^2 . С учетом предъявленных условий, для тушения пожара указанной интенсивности на рассчитанной площади, эффективная масса ОГВ составляет 1265 л воды, при сброшенных 8000 л. Вычисление коэффициента $K_{эф}$ дает следующий результат:

$$K_{эф} = \frac{1265}{8000} = 0,158 \quad (15,8\%).$$

Для выбранных условий полученное значение коэффициента является максимально возможным. Увеличение высоты сброса ОГВ, тушение пожара с более высокой интенсивностью горения, приведет к снижению коэффициента эффективного использования ОГВ.

Выводы. В статье введено понятие коэффициента эффективного использования ОГВ - $K_{эф}$ и предлагается алгоритм его вычисления. Данный подход является универсальным, т.к. он позволяет оценить эффективность использования любого пожарного самолета с любой системой сброса и с любым видом ОГВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кириченко И.К., Мунтян В.К., Мелещенко Р.Г. Моделирование параметров сброса воды с пожарного самолета Ан-32П на основании данных полученных «cup-and-grid» методом // Проблемы пожарной безопасности. – 2010. - № 28 – С. 86-92.

2. Мунтян В.К., Агапова И.С., Мелещенко Р.Г. Формирование водяного пятна при сбросе воды с пожарного самолета Ан-32П // Проблемы пожарной безопасности. – 2009. - № 26 – С. 80, 81.

3. Мунтян В.К., Мелещенко Р.Г. Моделирование траектории полета ядра воды сброшенной с пожарного самолета Ан-32П // Проблемы пожарной безопасности. – 2010. - № 27 – С. 145-150.

4. Мунтян В.К., Мелещенко Р.Г. Влияние параметров полета самолета Ан-32П на точность сброса огнетушащего вещества // Харьков: УГЗУ 2009.

5. M. Plucinski, J. Gould, G. McCarthy, J. Hollis (2007) The effectiveness and efficiency of aerial firefighting in Australia.

В.К. Мунтян, Р.Г. Мелещенко

Оцінка ефективності використання вогнегасячої речовини при скиданні пожежного літака Ан-32П.

Запропонований метод і алгоритм об'єктивної оцінки ефективності використання пожежного літака Ан-32П.

Ключові слова: товщина шару води, ефективність використання вогнегасячої речовини, пожежний літак Ан-32П.

V.K. Muntyan, R.G. Meleschenko

Estimation of efficiency of use fire extinguishing substance at dump from fire plane An-32P.

The method and algorithm of an objective estimation of efficiency of application of fire plane An-32P is offered.

Keywords: thickness of a sheet of water, efficiency of use fire of extinguishing substance, fire aircraft An-32P.

О.А. Петухова, к.т.н., доцент, заст. нач. кафедри, НУЦЗУ

ДОПОВНЕННЯ ДО АЛГОРИТМУ ВИЗНАЧЕННЯ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЖЕЖНИХ КРАН-КОМПЛЕКТІВ

(представлено д-ром техн. наук Ларіним О.М.)

Запропоновані доповнення до алгоритму розрахунку робочих характеристик пожежних кран - комплектів (ПКК), встановлених в висотних житлових та громадських будівлях.

Ключові слова: пожежний кран - комплект, витрати води.

Постановка проблеми. Пожежні кран – комплекти – елементи системи протипожежного захисту, які обов’язкові для встановлення у висотних (висотою понад 73,5 м) житлових та громадських будівлях. Згідно вимог п. 9.108 ДБН В.2.2-24:2009 «Будинки і споруди. Проектування висотних житлових і громадських будинків» у кожній квартирі повинен передбачатись пожежний кран-комплект, приєднаний до мережі господарчо-питного водопроводу будівлі. Згідно п. 9.106 в шафі пожежного крана житлових та громадських висотних будівель необхідно встановлювати пожежний кран-комплект, що приєднується до пожежного стояка. Таким чином, для пожежних кран - комплектів, що приєднуються до господарчо – питного водопроводу та до пожежних стояків гідравлічні умови використання та характеристики обладнання не однакові, що забезпечує різні фактичні витрати води на гасіння пожежі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Визначення характеристик ПКК для житлових будівель можливо за допомогою алгоритму [1]. Для реалізації окремих блоків алгоритму проведені дослідження необхідних та фактичних витрат води для ПКК, що приєднуються до господарчо – питного водопроводу [2]. Але фактичні витрати води з ПКК при різних умовах їх водопостачання не визначені.

Постановка задачі та її розв’язання. Для реалізації алгоритму з визначення характеристик ПКК [1] необхідно провести додаткові дослідження для умов підключення ПКК до різних мереж водопостачання та врахувати результати в структурі означеного алгоритму. Виходячи з вимог ДБН В.2.2-24:2009 ПКК, що приєднуються до господарчо – питного водопроводу та до пожежного стояка повинні мати практично однакові характеристики елементів, які входять до його складу, а саме:

- діаметр насадка розпорошувача – від 4 мм до 12 мм;
- довжина рукава – від 15 м до 30 м.

Відрізняються вимоги до діаметрів рукавів:

- при приєднанні до пожежного стояка – не менш 25 мм;
- при приєднанні до господарчо – питного водопроводу – 19 мм, 25 мм, 33 мм.

Значення мінімальних та максимально можливих напорів в системі протипожежного та господарчо – питного водопостачання відрізняються, тому і значення фактичних витрат води з ПКК при різних умовах їх приєднання будуть різними.

Для визначення фактичних значень витрат води з ПКК при всіх можливих комбінаціях рівнів факторів (тиск в мережі (для двох варіантів підключення ПКК), діаметр насадка ствола, довжина пожежного рукава) було виконано чотири експерименти. При проведенні експериментів використовувалась поліноміальна залежність другого порядку [3], центральний, композиційний, рототабельний уніформ-план. Необхідна кількість дослідів $N=20$, при кількості факторів $k=3$ та кількості дослідів в центрі плану $n_0=6$ [3] для кожного експерименту.

За результатами експериментів були визначені коефіцієнти регресії. З метою перевірки значимості коефіцієнтів, отримані статистичні оцінки дисперсії коефіцієнтів. Перевірка адекватності отриманих моделі виконувалась за критерієм Фішера. Остаточно моделі фактичних витрат води з ПКК при різних умовах їх приєднання до водопровідної мережі та різних діаметрах рукавів (19 мм, 25 мм та 33 мм) прийняли вигляд:

- при підключенні ПКК до пожежного стояка:

$$y_1 = 3,38 + 0,94x_1 - 0,03x_2 - 0,34x_3 - 0,087x_1x_3 - 0,008x_1x_2 + 0,008x_2x_3 - 0,12x_1^2 + 0,027x_2^2 + 0,085x_3^2;$$

де y_1 – фактичні витрати води з ПКК з рукавами діаметром 25 мм, л/с; $x_1 = (7,8 \div 90)$ – тиск в протипожежному водопроводі, м; $x_2 = (4 \div 12)$ – діаметр насадка розпорощувача, мм; $x_3 = (15 \div 30)$ – довжина рукава, м; при підключенні ПКК до господарчо-питного водопроводу:

$$y_2 = 2,36 + 0,75x_1 - 0,017x_2 - 0,24x_3 - 0,07x_1x_3 - 0,005x_1x_2 + 0,004x_2x_3 - 0,12x_1^2 + 0,025x_2^2 + 0,065x_3^2;$$

$$y_3 = 2,69 + 0,86x_1 - 0,025x_2 - 0,27x_3 - 0,078x_1x_3 - 0,0068x_1x_2 + 0,0063x_2x_3 - 0,14x_1^2 + 0,028x_2^2 + 0,073x_3^2;$$

$$y_4 = 3,22 + 1,03x_1 - 0,04x_2 - 0,31x_3 - 0,09x_1x_3 - 0,012x_1x_2 + 0,01x_2x_3 - 0,168x_1^2 + 0,03x_2^2 + 0,086x_3^2;$$

де y_2 – фактичні витрати води з ПКК з рукавами діаметром 19 мм, л/с; y_3 – фактичні витрати води з ПКК з рукавами діаметром 25 мм, л/с; y_4 – фактичні витрати води з ПКК з рукавами діаметром 33 мм, л/с; $x_1 = (2 \div 60)$ – тиск в господарчо – питному водопроводі, м; $x_2 = (4 \div 12)$ – діаметр насадка розпоршувача, мм; $x_3 = (15 \div 30)$ – довжина рукава, м.

Враховуючі одержані моделі визначення фактичних витрат води з ПКК пропонується доповнення до алгоритму вибору характеристик ПКК [1], в залежності від конструктивних та гідравлічних умов його використання (рис. 1).

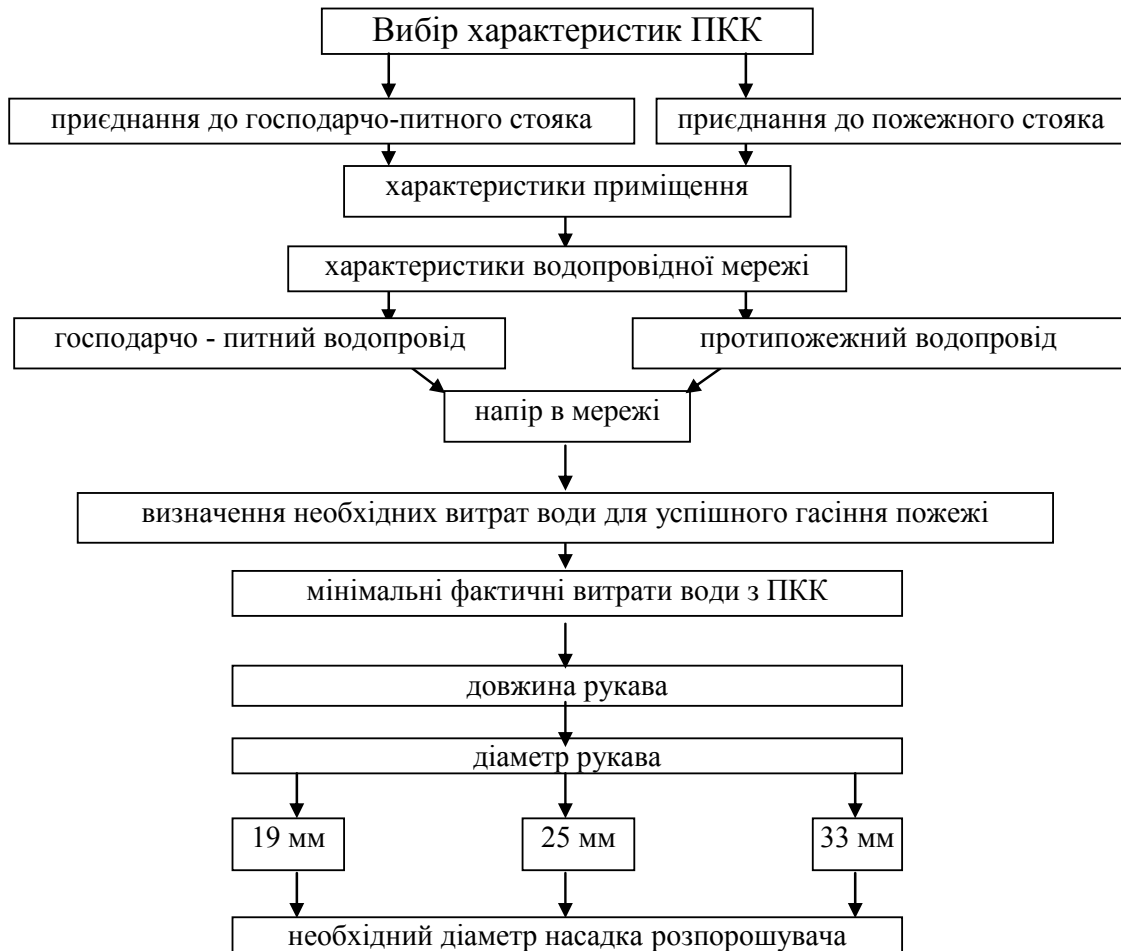


Рис. 1 – Доповнення до алгоритму вибору характеристик складових пожежного кран – комплекту в залежності від умов його приєднання

Одержані за результатами експериментів моделі дозволяють реалізувати блок алгоритму «мінімальні фактичні витрати води з ПКК».

Висновки. Для визначення характеристик ПКК для конкретної висотної житлової або громадської будівлі запропоновано доповнення до алгоритму вибору характеристик ПКК. Реалізуючи роботу блоків запропонованого алгоритму можливо для заданої будівлі (враховуючи її конструктивні особливості та характеристики пожежного навантаження), яка забезпечується водою з водопровідної мережі з відомими гідравлічними параметрами, визначити характеристики обладнання ПКК (діаметр та довжину рукава, діаметр насадка розпошувача).

ЛІТЕРАТУРА

1. Петухова О.А. Розробка пропозицій щодо вибору обладнання кранів квартирного пожежогашіння у житлових будівлях підвищеної поверховості / О.А. Петухова, С.А. Горносталь // Проблемы пожарной безопасности. – 2008. - № 24. - С. 120 – 124.

2. Петухова О.А. Визначення фактичної кількості води при використанні квартирних пожежних кран-комплектів / О.А. Петухова, С.А. Горносталь // Проблемы пожарной безопасности. – 2008. - № 23. - С. 136 - 141.

3. Винарский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. – К.: Техника, 1975. - 168 с.

Е.А. Петухова

Дополнения к алгоритму определения рабочих характеристик пожарных кран-комплектов.

Предложены дополнения к алгоритму определения рабочих характеристик пожарных кран - комплектов (ПКК), установленных в высотных жилых и общественных зданиях.

Ключевые слова: пожарный кран - комплект, расходы воды.

O.A. Petuhova

Additions to algorithm of definition of performance data of fire cranes - complete sets.

Additions to algorithm of definition of performance data of fire cranes - complete sets (FCC), the established in high-rise inhabited and public buildings are offered.

Keywords: fire cranes - complete sets, the water expense.

*Б.Б. Поспелов, докт. техн. наук, проф., ведущ. научн. сотр., НУГЗУ,
А.Е. Басманов, докт. техн. наук, проф., главн. научн. сотр., НУГЗУ,
А.А. Михайлюк, канд. техн. наук, старший научн. сотр., НУГЗУ,
Я.С. Кулик, курсант, НУГЗУ*

ОПТИМАЛЬНЫЙ ВЫБОР КОЛИЧЕСТВА ДАТЧИКОВ ПЕРВИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ ЗАЩИТЫ РЕЗЕРВУАРА С НЕФТЕПРОДУКТОМ

По критерию максимума разности между вероятностями срабатывания и ложного срабатывания определено оптимальное количество пожарных извещателей в системе из одинаковых извещателей, при получении сигнала с которых следует запускать систему автоматического тушения пожара.

Ключевые слова: резервуарный парк, датчик первичной информации, вероятность срабатывания.

Постановка проблемы. Пожарам в резервуарных парках присущи затяжной характер и опасность распространения на соседние резервуары. Подразделениям МЧС для прибытия, развертывания и подачи первых стволов на охлаждение требуется около 15 минут. Анализ пожаров [3] показывает, что отсутствие охлаждения в течение этого времени приводит к деформации стенки резервуара и образованию изолированных зон горения, подача пены в которые затруднена. Это является одной из причин того, что около четверти всех пожаров в резервуарах заканчиваются полным выгоранием нефтепродуктов. Поэтому важной задачей являются своевременное обнаружение пожара и подача воды на его локализацию.

Анализ последних исследований и публикаций. Автоматические системы обнаружения и тушения пожара в резервуарных парках практически не используются из-за их ненадежности и ложных срабатываний [2]. В работе [1] предложен структурный подход к повышению надежности пожарного извещателя, заключающийся в объединении нескольких пожарных извещателей в комплексный пожарный извещатель с помощью мажоритарного устройства. Однако возможность ложных срабатываний там не рассматривается.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является выбор такого количества k_0 пожарных извещателей в системе из n одинаковых извещателей, при получении сигнала с которых следует запускать систему автоматического тушения пожара.

Будем предполагать, что каждый пожарный извещатель характеризуется двумя параметрами: вероятностью срабатывания – p_1 , т.е. вероятностью получения сигнала о пожаре при его наличии, и ложного срабатывания – p_2 , т.е. вероятностью получения сигнала о пожаре при его отсутствии, $p_1 > p_2$.

Тогда вероятность срабатывания не менее k пожарных извещателей из n при возникновении пожара

$$P_1(k) = \sum_{i=k}^n \frac{n!}{i!(n-i)!} p_1^i (1-p_1)^{n-i}, \quad (1)$$

вероятность ложного срабатывания не менее k пожарных извещателей

$$P_2(k) = \sum_{i=k}^n \frac{n!}{i!(n-i)!} p_2^i (1-p_2)^{n-i}. \quad (2)$$

Стремление повысить вероятность срабатывания и уменьшить вероятность ложного срабатывания приводит к двухкритериальной задаче

$$P_1(k) \rightarrow \max_k, \quad P_2(k) \rightarrow \min_k. \quad (3)$$

От двухкритериальной задачи (3) перейдем к однокритериальной

$$\begin{aligned} F(k) &= P_1(k) - P_2(k) = \\ &= \sum_{i=k}^n \frac{n!}{i!(n-i)!} \left[p_1^i (1-p_1)^{n-i} - p_2^i (1-p_2)^{n-i} \right] \rightarrow \max_k. \end{aligned} \quad (4)$$

В этом случае приближение $F(k)$ к 1 будет означать, что вероятность срабатывания близка к 1, а вероятность ложного срабатывания – к 0.

Рассмотрим выражение

$$f(x) = p_1^x (1-p_1)^{n-x} - p_2^x (1-p_2)^{n-x}, \quad 0 \leq x \leq 1, \quad (5)$$

входящее в каждое из слагаемых целевой функции (4). При $p_1 > p_2$ это выражение представляет собой монотонно возрастающую функцию на отрезке $x \in [0, n]$, где $f(0) < 0$, $f(n) > 0$. Тогда максимум целе-

вой функции (4) будет достигаться при таком значении k_0 , при котором все слагаемые будут положительны. Следовательно, следует выбирать ближайшее сверху целое число к корню уравнения

$$p_1^x (1 - p_1)^{n-x} - p_2^x (1 - p_2)^{n-x} = 0. \quad (6)$$

Решая его, получим

$$x_0 = n \frac{\ln \frac{1 - p_2}{1 - p_1}}{\ln \left(\frac{p_1 (1 - p_2)}{p_2 (1 - p_1)} \right)}. \quad (7)$$

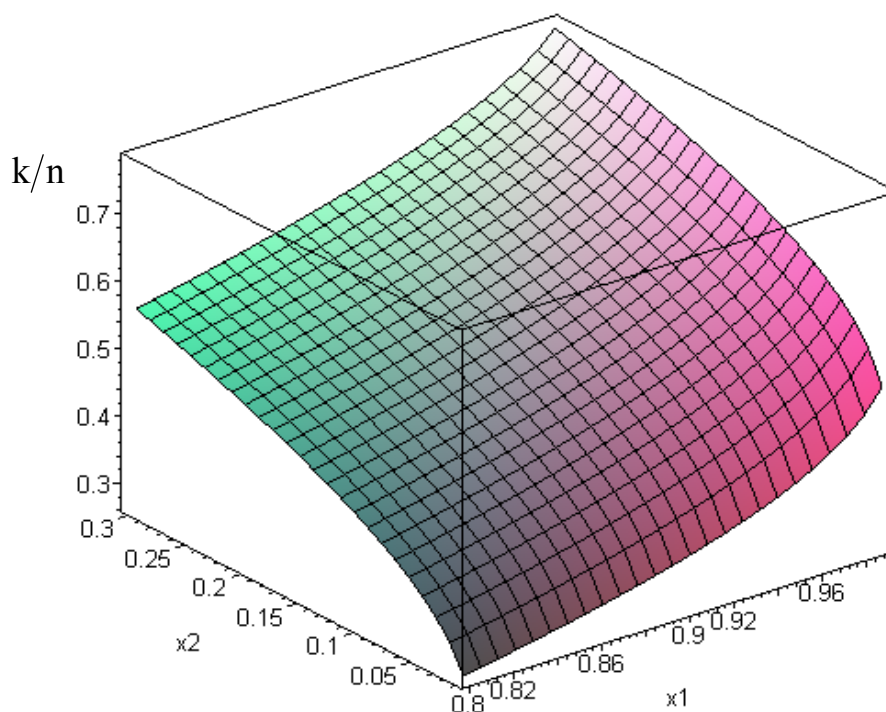


Рис. 1 - зависимость оптимального отношения k_0/n от вероятностей срабатывания p_1 и ложного срабатывания p_2 извне p_1 для

Тогда максимум целевой функции (4) будет достигаться при минимально возможном целом k_0 , удовлетворяющем условию

$$k_0 \geq n \frac{\ln \frac{1 - p_2}{1 - p_1}}{\ln \left(\frac{p_1 (1 - p_2)}{p_2 (1 - p_1)} \right)}. \quad (8)$$

На рис. 1 приведена зависимость отношения k_0/n от вероятностей срабатывания p_1 и ложного срабатывания p_2 .

Анализ зависимости на рис. 1 показывает, что увеличение вероятности срабатывания p_1 , также как и увеличение вероятности ложного срабатывания, приводит к росту оптимального количества извещателей k_0 .

Выводы. Решена задача оптимального выбора количества k_0 пожарных извещателей в системе из n одинаковых извещателей, при получении сигнала с которых следует запускать систему автоматического тушения пожара. В качестве критерия оптимальности используется максимум разности между вероятностями срабатывания и ложного срабатывания комплексного пожарного извещателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А. Повышение эффективности обнаружения пожара по температуре / Ю.А. Абрамов, В.М. Гвоздь, Е.А. Тищенко. – Харьков: НУГЗУ, 2011. – 129 с.
2. Бабенко Ю.В. Протипожежний захист складів нафти і нафтопродуктів. Оглядова інформація / Ю.В. Бабенко, В.Г. Дудченко А.М. Басаєв та ін. – К.: УкрНДІПБ, 2002.– 142 с.
3. Волков О.М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами / О.М. Волков. – М.: Недра, 1984. – 151 с.

Б.Б. Поспелов, О.Є. Басманов, А.О. Михайлюк, Я.С. Кулик

Оптимальний вибір кількості датчиків первинної інформації в системі захисту резервуара з нафтопродуктом

За критерієм максимуму різниці між ймовірностями спрацювання та хибного спрацювання визначено оптимальну кількість пожежних сповіщувачів в системі із однакових сповіщувачів, при отриманні сигналу з яких необхідно запускати систему автоматичного гасіння пожежі.

Ключові слова: резервуарний парк, датчик первинної інформації, ймовірність спрацювання.

B.B. Pospelov, A.E. Basmanov, A.O. Mykhailiuk, Y.S. Kulik

OPTIMIZATION THE NUMBER OF PRIMARY INFORMATION DETECTORS IN OIL TANK FIRE-PROTECTION SYSTEM

According to the criterion of maximum difference between the probabilities of alarms and false alarms determined the optimal number of fire detectors in the system of identical detectors, on receiving a signal from which automatic fire extinguishing have to launch.

Keywords: fuel tank store, primary information detector, forward combustion, alarm probability.

А.С. Пушкаренко, к.т.н., доцент, НУГЗУ

ПОВЫШЕНИЕ ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

(представлено д-ром техн. наук Соболев А.Н.)

В статье рассмотрен вопрос повышения предела огнестойкости железобетонных конструкций за счет обеспечения высокой прочности бетона при повышении активности воды затворения современными технологиями.

Ключевые слова: бетон, прочность на изгиб, испытания, высокие температуры.

Постановка проблемы. В условиях пожара железобетонные и бетонные конструкции испытывают тепловые воздействия различной длительности и интенсивности. В результате высокотемпературного нагрева несущая способность их снижается.

Поведение железобетона как композиционного материала определяется, прежде всего, поведением бетона. При нагреве в бетоне протекают сложные теплофизические и механические процессы.

Одним из важнейших факторов, влияющих на термостойкость бетона, является его влажность, зависящая от пористости и проницаемости бетона, а также степень его гидратации. [1, 2, 5]

В процессе твердения бетона и формирования его прочности важную роль играет водоцементное отношение и активность воды.

Новым инновационным направлением в строительстве является применение нанотехнологий для изготовления бетонов с улучшенными физико-механическими свойствами, обеспечивающим повышение прочности в широком диапазоне температур. К нанотехнологиям относятся технологические процессы со структурными элементами, средний размер которых не превышает 100 нм (10^{-7} м).

Существенное отличие свойств наночастиц от микрочастиц связано с тем, что в наночастицах значительное число атомов находится на их поверхности, их доля растет с уменьшением размера частиц. Это повышает химическую активность поверхностных атомов. В результате на поверхности появляются активные центры, участвующие в адсорбции, процессах растворения, гидролиза, гидратации и др., при взаимодействии воды с минералами цементного клинкера. Заметные изменения поверхностных свойств проявляются тогда, когда средний размер кластеров, частиц (элементов) менее 10 нм.

Анализ последних достижений и публикаций. Можно выде-

лить несколько основных направлений в исследованиях перспективных нанотехнологий в строительной отрасли [1,2,3].

- высокодисперсное измельчение исходных материалов (вяжущие, наполнители и др.) и наноармирование;
- активирование (структурирование) воды затворения, растворов;
- изготовление покрытий с уникальными свойствами (самоочистка поверхности, преобразование солнечной энергии в электрическую, тепловую и др. [3,4]).

Суть нанотехнологии активирования (структурирования) воды заключается в возможности повышения эффективности производства бетонов за счет изменения структуры и соответствующих свойств воды, а именно её способности к сложнейшему структурированию в виде особых кластеров, т.е. межмолекулярных ассоциативов воды.

Важное свойство молекул структурированной воды – их способность образовывать координационные и водородные связи. На величине энергии водородных связей сказывается поляризующее действие поверхностного иона, с которым молекула воды связана координационной связью. Образуется контакт срастания за счет появления координационных и водородных связей.

Энергия водородных связей изменяется в значительных пределах от 1-2 ккал/моль и по подсчетам только энергия водородных связей может обеспечить прочность цементного камня на уровне 50 МПа.

Постановка задачи и её решение. Практические исследования методов получения структурированной воды показывают целесообразность использования фрактально-матричного структуризатора (ФМС). Структуризатор представляет собой широкополосную дифракционную систему (пространственно-волновой фильтр Фурье), являющуюся структуризатором физических полей, включая собственное электромагнитное поле воды.

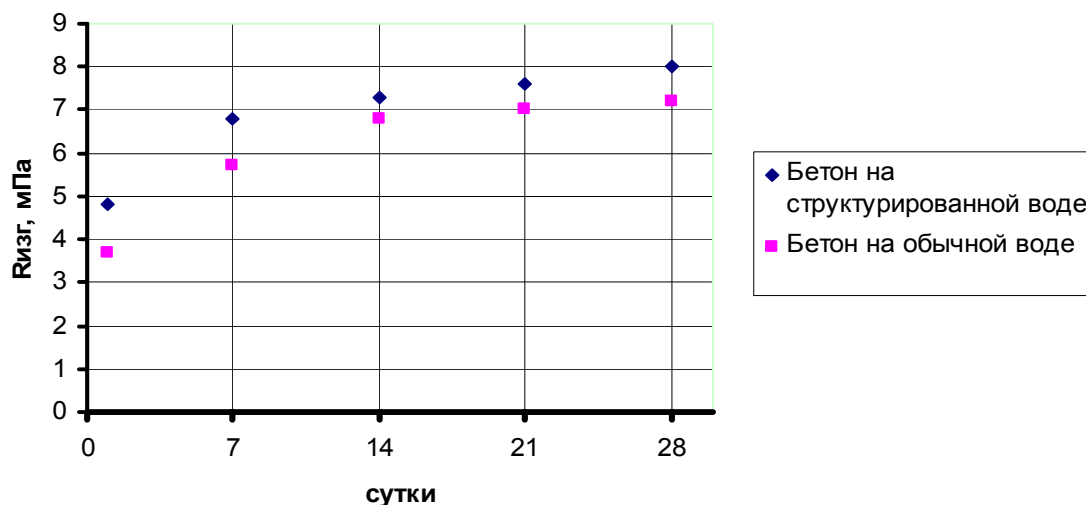


Рис. 1 – Прочность бетона при изгибе.

При определении эффективности структурированной воды применялись следующие материалы для мелкозернистого бетона:

- портландцемент с минеральными добавками марки 400 (В/Ц)_{нг} = 26%;

- песок кварцевый с $M_k = 2,1$; плотность песка $\rho_{п}^H = 1,46 \text{ г/см}^3$.

Эффективность структурированной воды оценивается по изменению плотности и прочности бетона основного состава (на структурированной воде) по сравнению с бетоном контрольного состава (на обычной воде).

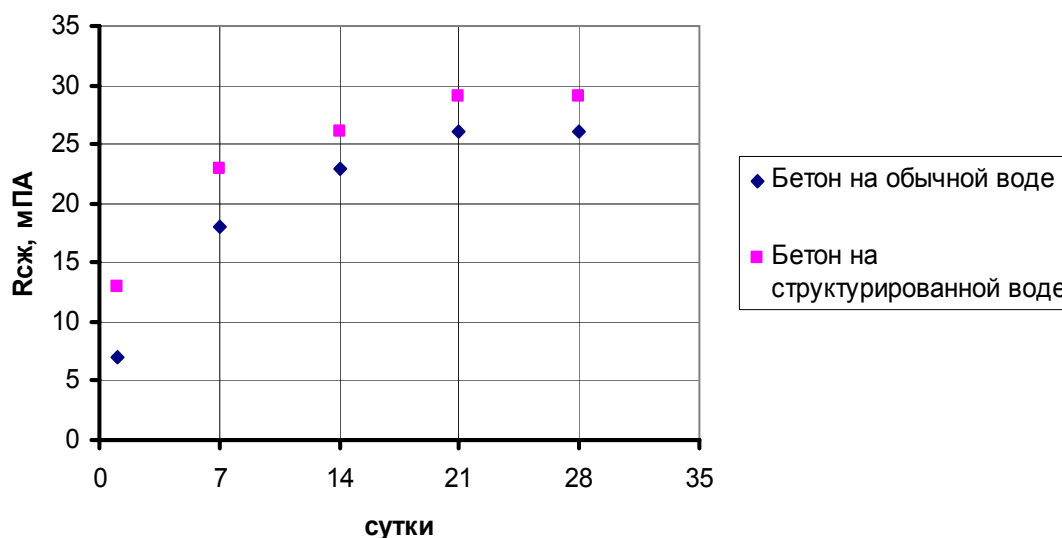


Рис. 2 – Прочность бетона при сжатии.

Из бетонных смесей контрольного и основного составов с одинаковым расходом материалов и В/Ц изготавливали образцы для определения плотности, прочности на изгиб и сжатие в возрасте 1, 4, 17 и 28 суток нормального твердения. Результаты испытаний приведены на рис. 1 и рис. 2.

Выводы. Из результатов исследований следует, что бетоны на структурированной воде имеют повышенную прочность по сравнению с бетонами на обычной воде во все сроки твердения. Прочность бетона при изгибе возрастает на 10-15%, прочность на сжатие – на 14-25%, что указывает на эффективность использования структурированной воды в технологии бетона. Повышение прочности бетонов на структурированной воде обеспечит повышение прочности железобетонных конструкций при высоких температурах, т.е. их огнестойкости. Это ведет к возможности снижения расхода цемента, энергозатрат, стоимости строительства и сокращению потерь от пожаров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Некрасов К.Д. Рекомендации по защите бетонных и железобетонных конструкций от хрупкого разрушения при пожаре. / К.Д. Некрасов, В.В. Жуков, В. Ф. Гуляева – М.: Стройиздат, 2003. – 21 с. – (Труды / Стройиздат, вып. 1).
2. Жуков В.В. Основы стойкости бетона при действии высоких температур./ Диссерт. д-ра техн.наук. – М., 1981
3. Родионов Р.Б. Инновационные нанотехнологии для строительной отрасли.// Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, 2006. - №10. С.57-59.
4. Кудрявцев А.П., Комохов П.Г. Нанотехнология строительного материаловедения. К.: Вища школа, 1984. – 143 с.
5. Гридчин А.М., Лесовик В.С., Баженов Ю.М., Загороднюк Л.У., Пушкаренко А.С. Строительные материалы для эксплуатации в экстремальных условиях. – БГТУ, 2008. С.23-31

А.С. Пушкаренко

Підвищення межі вогнестійкості залізобетонних конструкцій

В статті розглянуто підвищення ліміту опору залізобетонних конструкцій з високою міцністю бетону з зростання активності води новітніх технологій

Ключові слова: бетон, міцність на изгіб, випробування, високі температури.

A. S. Pushkarenko

Raising the limits of the fire resistance of reinforced concrete structures.

In the article raising the limit of resistance of reinforced concrete with high strength concrete with increased activity of the water of the newest technology

Keywords: concrete strength on izgib, test, high temperature

*А.С. Рогозін, канд. техн. наук, доцент, НУЦЗУ,
В.С. Хоменко, старший викладач, НУЦЗУ*

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ ЗАСОБІВ ПОЖЕЖОГАСІННЯ НА АРСЕНАЛАХ ТА БАЗАХ ЗБЕРІГАННЯ БОЄПРИПАСІВ

(представлено д-хім. наук Прохачем Е.Є)

Розроблено оптимізаційну модель розміщення засобів різних типів за критерієм часу ліквідації пожеж на території арсеналів та баз зберігання боєприпасів.

Ключові слова: модель, оптимізація, сили, засоби, ліквідація, час.

Постановка проблеми. За даними Міністерства оборони, в Україні налічується 136 одиниць складів і арсеналів, на яких зберігається 1,3 млн. т боєприпасів. Щорічно цей арсенал поповнюється на 10...15 тис. т. Така ситуація склалася у зв'язку з тим, що на початку 90-х років до цих арсеналів було перевезено близько 9 тисяч умовних вагонів боєприпасів та ракет з груп військ СРСР, були перевезені і боєприпаси та ракети з тих військових частин, що розформувались протягом 1992 -2008 рр. На протязі останніх десяти років пожежі на арсеналах та складах зберігання боєприпасів привели до цілого ряду резонансних надзвичайних ситуацій збитки від яких склали понад 3 млрд. гривень. Відповідно розробка підходів щодо підвищення рівня пожежної безпеки цих об'єктів є актуальною науковою задачею.

Аналіз останніх досягнень та публікацій. В [1–3] розглянуті питання використання методів математичного програмування для оптимізації розподілення сил та засобів. В [4] викладені підходи щодо підвищення рівня пожежної безпеки арсеналів та баз зберігання боєприпасів. Питання оптимізації розміщення засобів різних типів на території арсеналів з врахуванням особливостей місць зберігання боєприпасів не розглядались.

Постановка задачі та її вирішення. Результати аналізу виникнення та ліквідації наслідків надзвичайних подій на арсеналах та складах зберігання боєприпасів за останні 10 років дозволяють визначити, що одним з напрямків підвищення рівня пожежної безпеки таких об'єктів є зменшення часу реагування сил та засобів. Найбільш ефективним (за економічними критеріями) напрямком щодо зменшення часу реагування на виникнення пожеж є перерозподіл на території об'єктів наявних сил та засобів у відповідності до загроз та можливих наслідків виникнення пожеж.

Рішення задачі оптимізації розподілення сил та засобів будемо здійс-

нювати у загальному виді використовуючи методи математичного програмування.

В якості змінних моделі оберемо координати розміщення i -х видів технічних засобів $(x_{01}, y_{01}, \dots, x_{0n}, y_{0n})$. Побудову моделі будемо здійснювати враховуючи що на ліквідацію надзвичайної події залучаються всі наявні типи технічних засобів.

В якості критерію ефективності приймемо відносний час ліквідації надзвичайної події.

Особливості місць зберігання боєприпасів за можливим об'ємом робіт при ліквідації надзвичайних подій врахуємо наступним чином:

$$W_j = \frac{\sqrt{S_j^2 + V_j^2}}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sqrt{S_j^2 + V_j^2}}, \quad (1)$$

де S_j, V_j – відносні площа та об'єм місць зберігання боєприпасів відповідно.

Особливості місць зберігання боєприпасів за станом пожежної безпеки врахуємо визначивши відносний коефіцієнт небезпеки P_j ($P_j \in \overline{0,1}$) використовуючи матрицю парних порівнянь наступного виду

$$\omega = \begin{pmatrix} 1 & \omega_{12} & \omega_{13} & \omega_{14} & \dots & \omega_{1n} \\ \frac{1}{\omega_{12}} & 1 & \omega_{23} & \omega_{24} & \dots & \omega_{2n} \\ \omega_{13} & \frac{1}{\omega_{23}} & 1 & \omega_{34} & \dots & \omega_{3n} \\ \frac{1}{\omega_{13}} & \frac{1}{\omega_{23}} & \frac{1}{\omega_{34}} & 1 & \dots & \omega_{4n} \\ \omega_{14} & \omega_{24} & \omega_{34} & 1 & \dots & \omega_{4n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{\omega_{1n}} & \frac{1}{\omega_{2n}} & \frac{1}{\omega_{3n}} & \frac{1}{\omega_{4n}} & \dots & 1 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де ω_{dk} – оцінки порівняння рівня безпеки i -го місця зберігання з j -м.

Та використовуючи наступне співвідношення:

$$P_j = \frac{\sum_{k=1}^n \omega_{jk}}{\sum_{d=1}^n \sum_{k=1}^n \omega_{dk}} \quad (4)$$

Виконання об'єму робіт щодо ліквідації пожежі і-тими засобами визначимо наступним чином:

$$W_j = \sum_{i=1}^n (t - \Delta t_i) B_i, \quad (5)$$

де t – час ліквідації пожежі на j -ом місці зберігання боєприпасів;

$\Delta t_i = \frac{\sqrt{(x_j - x_{0i})^2 + (y_j - y_{0i})^2}}{k \cdot v_i}$ – час слідування i -го засобу до місця

зберігання боєприпасів з координатами $(x_j; y_j)$; k – коефіцієнт нелінійності шляху; v_i – швидкість руху i -го засобу; B_i – відносна інтенсивність ліквідації надзвичайної події i -тим технічним засобом.

Відповідно до (5) час ліквідації пожежі визначимо як:

$$t = \frac{W_j + \sum_{i=1}^n \frac{\sqrt{(x_j - x_{0i})^2 + (y_j - y_{0i})^2}}{k \cdot v_i} \cdot B_i}{\sum_{i=1}^n B_i} \quad (6)$$

Враховуючи (1) - (6) цільову функцію оптимального розміщення засобів на території арсеналів та баз зберігання боєприпасів запишемо наступним чином:

$$f(x_{0i}, y_{0i}) = \sum_{j=1}^n P_j \left(\frac{W_j + \sum_{i=1}^n \frac{\sqrt{(x_j - x_{0i})^2 + (y_j - y_{0i})^2}}{k \cdot v_i} \cdot B_i}{\sum_{i=1}^n B_i} \right) \rightarrow \min, \quad (7)$$

Оптимізаційне завдання необхідно доповнити відповідними обмеженнями:

$$\begin{aligned} x &\leq z; \\ y &\leq g. \end{aligned} \tag{8}$$

Які враховують геометричні розміри арсеналу, та обмеженнями на ділянки місцевості де можливо розташувати і-ті засоби

$$x = f(y); \quad \text{або} \quad y = f(x). \tag{9}$$

Висновки. Запропонований підхід щодо оптимізації розміщення засобів різних типів на арсеналах та базах зберігання боєприпасів дозволяє науково обґрунтовано реалізовувати функцію регулювання стосовно управління наявними силами та засобами та сприятиме зниженню часу ліквідації пожеж, тим самим підвищуючи ефективність використання наявних сил та засобів.

ЛИТЕРАТУРА

1. Таха Х.А. Введение в исследование операций/ Х.А. Таха. . – М.: Вильямс, 2005. – 912 с..
2. Вентцель Е.С. Исследование операций / Вентцель Е.С. – М.: Советское радио, 2001. – 208 с.
3. Чуев Ю.В. Исследование операций в военном деле/ Ю.В. Чуев.– М.: Воениздат, 1970. – 256 с.
4. Рекомендації щодо зниження небезпеки впливу лісових пожеж на арсенали, бази і склади боєприпасів, що розташовані в лісових масивах. – К.: УндіПБ, 2009. – 58 с.

А.С. Рогозин, В.С. Хоменко

Оптимизация размещения средств пожаротушения на арсеналах и базах хранения боеприпасов.

Розроблено оптимізаційну модель розміщення засобів різних типів по критерію часу ліквідації пожеж на території арсеналів і баз хранения боєприпасів.

Ключевые слова: модель, оптимизация, силы, средства, ликвидация, время.

A.S. Rogozin, V.S. Homenko

Optimizing placement means fire on the arsenals and ammunition storage bases.

Developed by optimizing the allocation of funds model of different types of criterion-time fire suppression in the arsenals and ammunition storage base.

Keywords: model, optimization, power tools, eliminating the time.

*С.В. Росоха, докт. техн. наук, начальник факультета, НУГЗУ,
И.Н. Грицына, канд. техн. наук, доцент, ст. преподаватель, НУГЗУ,
С.А. Виноградов, преподаватель, НУГЗУ*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ КАПЕЛЬНОГО ПОТОКА ОГNETУШАЩЕЙ ЖИДКОСТИ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ГАЗОВОГО ФАКЕЛА

(представлено д-ром техн. наук Лариным О.М.)

Приведены результаты экспериментальных исследований по определению минимальной скорости капельного потока жидкости, необходимой для тушения модельного газового факела, а также зоны прицеливания высокоскоростной струей, попадание в которую обеспечит тушение газового факела.

Ключевые слова: импульсный водомет, скорость струи, зона прицеливания.

Постановка проблемы. На сегодняшний день известны несколько подходов к определению скорости подачи огнетушащего вещества, при которой происходит срыв диффузионного газового пламени [1-3]. Однако эти исследования не получили экспериментального подтверждения для факелов, скорость движения газа в которых превышает 20 м/с. Целью работы является экспериментальное определение минимальной скорости подачи огнетушащей жидкости, при которой происходит срыв газового факела и точки прицеливания импульсной струей огнетушащей жидкости.

Анализ последних исследований и публикаций. Исследования скорости, при которой происходит срыв газового факела проводил Карпов В.Л. в своих работах [1, 2]. Ему удалось получить аналитические зависимости скорости срыва газового факела в неподвижной атмосфере и в поперечном воздушном потоке в зависимости от начальной скорости истечения газа. В работе [3] скорость поперечного потока, при которой происходит срыв пламени, определена как величина, связанная с диаметром скважины и не зависящая от скорости истечения газа.

Постановка задачи и ее решение. Целью экспериментального исследования является определить минимальную скорость струи огнетушащей жидкости, при которой еще возможен срыв и тушение газового факела, а также точку прицеливания и максимальный угол подачи огнетушащего вещества к факелу газового фонтана.

Схема проведения экспериментальных исследований представлена на рис. 1. Выстрел производился из импульсного водомета 1 по газовому факелу 3. Параметры газового факел: диаметр горелки $d_m=20$ мм, расход газа $Q_0=5,4$ л/с, скорость истечения газа $V=30,6$ м/с, высота

факела $H_{\phi} \approx 2,5$ м.

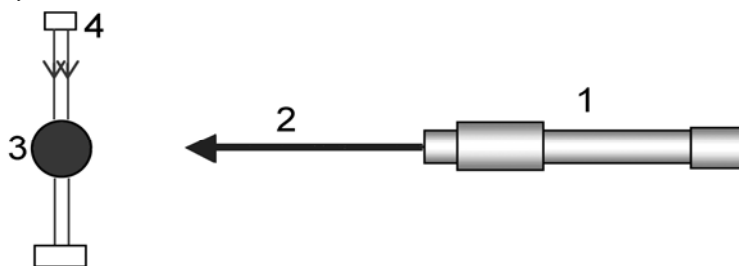


Рис. 1 – Схема проведения эксперимента: 1 – пороховой импульсный водомет, 2 – импульсная струя, 3 – газовый факел, 4 – измеритель скорости.

Параметры импульсного водомета (рис. 2): диаметр сопла $d_c=15$ мм, масса пороха $m_p=5 \div 20$ г, масса воды в водомете $m_w=450$ г. Расстояние от водомета до факела варьировалась от 5 до 15 м.



Рис. 2. – Пороховой импульсный водомет

Скорость струи у факела измерялась с помощью многоканальной лазерной системы бесконтактного измерения скорости, которая позволяет измерять скорость в интервале 50 – 3000 м/с (рис. 3).

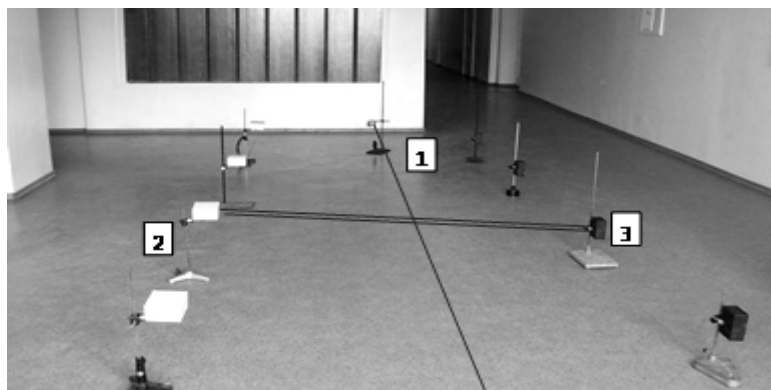


Рис. 3. – Многоканальная лазерная система бесконтактного измерения скорости: 1 – лазерный прицел, 2 - блок лазеров модуля измерителя скорости, 3 – блок регистрации и индикации модуля измерителя скорости

Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 1.

Таким образом, скорость срыва модельного газового факела лежит в пределах 80-90 м/с, что подтверждает теоретические предположения, сделанные в [3].

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований

№	Масса пороха, г	Расстояние от ИВ до факела, м	Скорость у факела, м/с	Результат: + - факел потушен - - факел не потушен
1	5	5	227	+
2	5	10	87	+
3	5	15	-	-
4	5	12	63	-
5	10	5	338	+
6	10	10	105	+
7	10	15	-	-
8	10	12	82	+
9	15	5	428	+
10	15	10	125	+
11	15	15	78	-
12	15	12	108	+

Для определения зоны прицеливания изменялся угол наклона импульсного водомета α_n относительно нулевой точки начала истечения газа (рис. 4). Установлено, что при данных условиях (расстояние до факела 10 м) тушение возможно при угле наклона $0,5^\circ \leq \alpha_n \leq 3^\circ$.

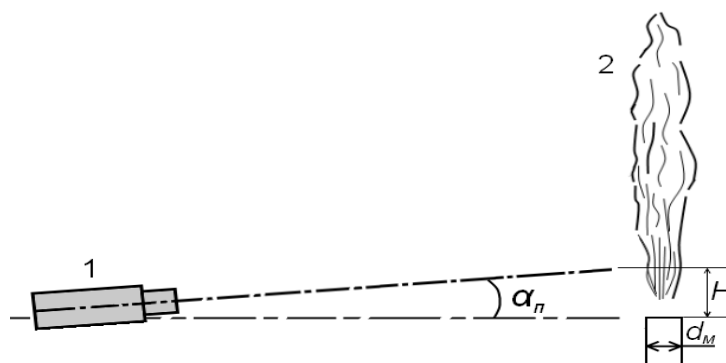


Рис. 4 – Схема проведения исследования влияния угла подачи струи импульсного водомета на эффективность тушения: 1 – импульсный водомет, 2 – газовый факел

При подаче огнетушащей жидкости ниже указанной зоны, большая часть жидкости не участвует в процессе тушения (рис. 5, а).



а)



б)

Рис. 5 – Подача огнетушащей жидкости при тушении газового факела

ла: а - ниже зоны прицеливания; б – выше зоны прицеливания

Если огнетушащая струя подается выше указанной зоны, то остается непотушенной зона на выходе из горелки и горение возобновляется снова (рис. 5, б).

Таким образом, зона прицеливания импульсным водометом $H=(5\div 35)d_m$.

Выводы. Определено, что минимально необходимая скорость капельного потока огнетушащей жидкости, при которой происходит срыв модельного факела, лежит в пределах 80-90 м/с, а для успешного тушения факела с расходом газа $Q_0=5,4$ л/с и скоростью истечения $V=30,6$ м/с необходимо выбирать точку прицеливания от 5 до 35 калибров горелки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпов В.Л. Пожаробезопасность регламентных и аварийных выбросов горючих газов. Часть 1. Предельные условия устойчивого горения и тушения диффузионных факелов в неподвижной атмосфере / В.Л. Карпов // Пожаровзрывобезопасность. – 1998. - №3. – С. 37-43.

2. Карпов В.Л. Пожаробезопасность регламентных и аварийных выбросов горючих газов. Часть 2. Предельные условия устойчивого горения и тушения диффузионных факелов в подвижной атмосфере / В.Л. Карпов // Пожаровзрывобезопасность. – 1998. - №4. – С. 46-52.

3. Пат. 27155 України, МПК⁶ А 62 С 3/06, 31/02, 31/03, Е 21 В 35/00. Спосіб гасіння пожежі газового та нафтового фонтана та пристрій для його здійснення / Нода О.О., Свириденко М.Ф. та ін.; заявник та патентовласник Нода Олександр Олександрович. - № 96124654; заявл. 13.12.1996; опубл. 28.02.2000, Бюл. №1.

С.В. Росоха, І.М. Грицина, С.А. Виноградов

Експериментальне визначення швидкості крапельного потоку вогнегасної рідини, необхідної для гасіння газового факелу

Наведені результати експериментальних досліджень по визначенню мінімальної швидкості крапельного потоку вогнегасної рідини, необхідної для гасіння газового факелу, а також зони прицілювання високошвидкісним струменем, потрапляння в яку забезпечить гасіння газового факелу.

Ключові слова: імпульсний водомет, швидкість струменя, зона прицілювання.

S.V. Rosoha, I.N. Hritsyna, S.A. Vinogradov

Experimental determination of drip extinguishing fluid flow necessary for extinguishing gas torch

The results of experimental studies on the minimum flow rate drip extinguishing fluid needed to extinguish the gas torch, and areas aiming high speed jets, which provide ingress extinguishing gas torch.

Keywords: water cannon, jet speed, aiming area.

*О.В. Савченко, канд. техн. наук, ст. наук. співр., заст. нач. каф., НУЦЗУ,
О.О. Островерх, канд. пед. наук, доцент, нач. каф., НУЦЗУ,
Т.М. Ковалевська, ст. виклад., НУЦЗУ,
С.В. Волков, ст. виклад., НУЦЗУ*

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСУ ЗАЙМАННЯ ЗРАЗКІВ ДСП,
ОБРОБЛЕНИХ ГЕЛЕУТВОРЮЮЧОЮ СИСТЕМОЮ
 $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95 \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$**

(представлено д-ром хім. наук Калугіним В.Д.)

В роботі експериментально визначено залежність часу займання зразків ДСП від концентраційного складу гелеутворюючої системи (ГУС) $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ при дії на зразок теплового потоку. Встановлено, що час займання зразків ДСП оброблених ГУС у 2-3 і більше разів перевищує час займання зразків оброблених водою чи розчином ПАР.

Ключові слова: гелеутворююча система, поверхнева густина теплового потоку, час займання.

Постановка проблеми. Пожежі у житловому секторі є найбільш поширеними у більшості країн світу. Не є виключенням й Україна. За останні роки від 70 до 85% пожеж відбувалось саме у житлових будівлях, на них припадає 95-98% загиблих. Щороку збитки від цих пожеж складають сотні мільйонів гривень. Найбільш поширеною вогнегасною речовиною (ВР) в Україні залишається вода. До недоліків води, як ВР, відносяться великий поверхневий натяг та незначна в'язкість. Наслідком використання води при гасінні є додаткові збитки від заливу розташованих нижче поверхів.

При ліквідації пожеж оперативно-рятувальними підрозділами крім гасіння виконується ще низка робіт, до складу яких входить і захист конструкцій та матеріалів від теплового випромінювання. Це питання особливо актуальне у випадках недостатньої кількості сил та засобів коли головною задачею наявних аварійно-рятувальних підрозділів є стримування розвитку пожежі до прибуття додаткових сил.

При розвиненій пожежі на матеріали, до яких ще не дійшов вогонь, діє потужне теплове випромінювання, внаслідок чого їх займання відбувається ще до того, як до них дійшло полум'я. До того ж, для їх займання достатньо менш потужного джерела запалювання, ніж при нормальних умовах.

В літературних джерелах наведена інформація, що деревина загоряється через 75 с при дії неї теплового потоку з густиною $18,7 \text{ кВт/м}^2$ та через 25 с при густині $25,91 \text{ кВт/м}^2$ [1]. В роботі [2] було

запропоновано використовувати ГУС для ліквідації пожеж у житловому секторі. Специфіка об'єктів житлового фонду полягає у великій кількості горючих матеріалів та великій кількості потенційних джерел запалення. Слід відмітити, що деревина та вироби на її основі складають більшу частину горючих матеріалів у сучасних будівлях [3]. Експериментальними дослідженнями впливу різних ГУС на матеріали, які поширені у житловому секторі встановлено, що гелеві плівки легко видаляються механічним способом через 48 годин, не пошкоджуючи поверхню матеріалів [4]. Актуальним питанням є отримання інформації стосовно ефективності ГУС до протидії займанню горючих матеріалів на основі деревини при їх попередньому нагріві.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Раніше було проведено ряд досліджень вогнезахисних властивостей ГУС на матеріалах поширених у житловому секторі. Враховуючи властивість ГУС втримуватись на вертикальних та похилих поверхнях, в роботі [5] на установці ОТМ були проведені дослідження часу займання зразків целюлозовмісних матеріалів оброблених ГУС $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$. Результати засвідчили – час займання зразків оброблених ГУС у 7-10 разів перевищує час займання зразків оброблених водою методом занурення. Слід зазначити, що при дослідженнях на установці ОТМ фіксується час за який температура газів у вогневій камері досягне значення 200°C . Внаслідок особливості конструкції установки зафіксувати безпосереднє займання зразка неможливо. Також слід зазначити, що зразок вводиться у камеру маючи температуру навколишнього середовища, тому ці дослідження не дозволяють з'ясувати вплив попереднього нагріву зразка на час його займання.

В роботі [6] на установці для визначення займистості текстильних матеріалів було визначено час вогнезахисної дії ГУС на матеріалах лавсан та вовна. Було встановлено, що використання ГУС дозволяє збільшити час прогару зразків більше ніж у 33 рази для вовни та у 115 разів для лавсану, у порівнянні з водою. Як і для установки ОТМ дослідження проведені у такий спосіб не дозволяють з'ясувати вплив попереднього нагріву зразка на час його займання.

Проведений аналіз засвідчив, що питання ефективності ГУС для захисту приміщень, яким загрожує полум'я вивчено не в повному обсязі.

Постановка задачі та її розв'язання. Метою роботи є встановлення ефективності ГУС до протидії займанню твердого горючого матеріалу при попередній дії на зразок теплового потоку.

Основою досліджень було обрано метод випробувань за ДСТУ Б В.1.1-2-97 (ГОСТ 30402-96) "Матеріали будівельні. Метод випробування на займистість", який встановлює метод випробування будівельних матеріалів на займистість та класифікацію їх за групами займистості. Використовувалась установка для випробування на займистість (рис.1).

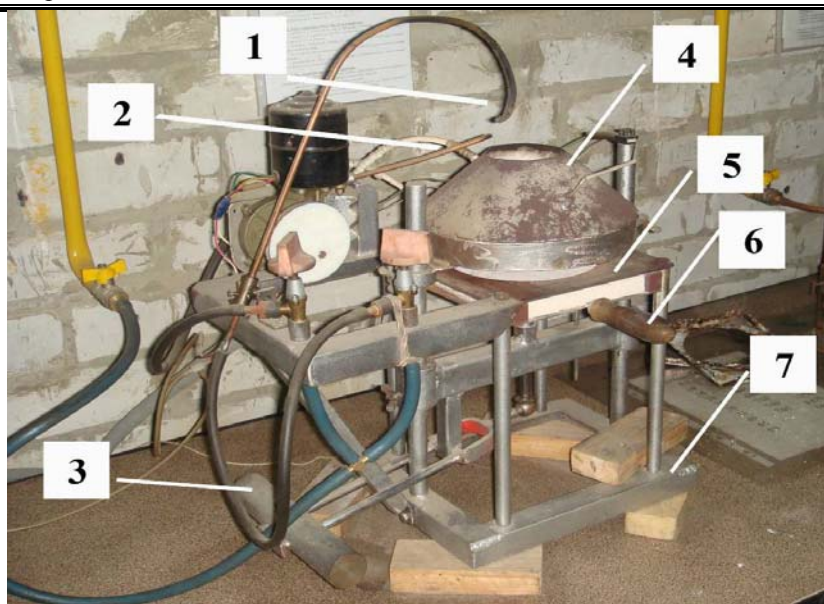


Рис. 1 – Зовнішній вигляд установки для випробування на займистість: 1 – рухомий пальник; 2 – допоміжний стаціонарний пальник; 3 – важіль з противагою; 4 – радіаційна панель з нагрівальним елементом; 5 – захисна плита; 6 – тримач зразка; 7 – основа опорної станини

Суть методу полягає у визначенні параметрів займистості матеріалу при заданих стандартом рівнях впливу на поверхню зразка, променистого теплового потоку та полум'я від джерела запалювання.

Спираючись на результати попередніх експериментів, для визначення дії ГУС на займистість були обрані склади з наступними концентраціями:

$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$ – 6,41%, CaCl_2 – 9,33% склад ГУС який забезпечує максимальне значення часу вогнезахисної дії для ДСП визначений на установці ОТМ [5].

$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$ – 16,56%, CaCl_2 – 2,76% склад ГУС який забезпечує максимальне значення часу вогнезахисної дії для лавсану визначений на установці для визначення займистості текстильних матеріалів [6]

$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$ – 3,63%, CaCl_2 – 7,79%, концентраційний склад ГУС обраний виходячи з мети мінімізації найбільш коштовної речовини – силікату натрію.

Обрані склади наносились на зразки з витратою, яка забезпечувала нанесення шару гелю 1 та 2 мм. Товщина шару гелю визначалась гравіметричним методом.

Враховуючи специфіку оздоблення сучасних квартир, дослідження проводились на матеріалі ДСП, згідно [7], з густиною 800 кг/м^3 . Зразки виготовлялись у формі квадратів розмірами 165 мм x 165 мм, середньою товщиною 16 мм. Перед початком експерименту зразки кондеціонувались до досягнення постійної маси при температурі $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ та відносній вологості $(50 \pm 5)\%$. На одну з поверхонь досліджуваного зразка методом набризкування наносився ГУС силікат натрію-хлорид

кальцію у кількості, яка відповідала плану експерименту. Після цього зразок обгортався листом алюмінієвої фольги (номінальна товщина 0,2мм), у центрі якого вирізаний отвір діаметром 140 мм.

Перед початком експерименту рухомий пальник встановлювався у вихідне положення, регулювалась витрата газу (19–20 мл/хв) та повітря (160–180 мл/хв), що подають у рухомий пальник. Вмикалось електроживлення, і по регулюючому термоелектричному перетворювачу задавалась величина термоЕРС, що відповідала ПГТП 30 кВт/м² та 20 кВт/м² відповідно. Екранувальна пластина розташовувалась на захисній плиті, зразок розташовувався у тримачі, встановлювався на рухому платформу, вмикався механізм рухомого пальника, видалялась екранувальна пластина та вмикався секундомір. Фіксувався час спалахування зразка, після чого дослід припинявся.

Дослідження проводились серіями з трьох опитів. Для порівняння використовуються необроблені зразки, а також зразки, що обробляються водою та робочим розчином піноутворювача Снежок-1 (ТУ У 24.5-00230668-006-2001) методом занурення (час занурення – 1 хвилина).

Під час дослідів спостерігалось, що під дією теплового потоку необроблені зразки, оброблені водою та розчином ПАР вже через 10-15 секунд починають інтенсивно випаровувати вологу та звуглюватися. Після початку займання наступало стійке горіння по усій площі зразка, не прикритого фольгою. Зразки оброблені ГУС під дією теплового потоку інтенсивно втрачали вологу, при цьому до моменту утворення ксерогелю спостерігалось гасіння рухомого пальника парами, які виходили з шару гелю. В подальшому поверхня, оброблена ГУС Na₂O·2,95SiO₂ – 6,41%, CaCl₂ – 9,33%, та Na₂O·2,95SiO₂ – 3,63%, CaCl₂ – 7,79%, покривалася щільною сіткою тріщин, через які виходили горючі продукти термодеструкції, що приводило до займання. Гелеві плівки з надлишком силікату натрію Na₂O·2,95SiO₂ – 16,56%, CaCl₂ – 2,76% покривались менш густою сіткою тріщин, спостерігалось спучення, яке, на нашу думку, є визначальним до того, що час займання зразків, оброблених при цій концентрації, був найбільший (табл. 1-2), (рис 2-3).

Таблиця 1
Дослідні результати часу займання зразків з ДСП при ПГТП 30 кВт/м²

Вид РЗП	Час займання τ, с			Середній час, τ _{ср} , с	Дисперсія, S _ц ²
	1	2	3		
Необроблений зразок	49	48	49	48,67	0,33
Оброблений водою	51	55	52	52,67	4,33
Оброблений розчином Снежок-1	53	57	56	55,33	4,33
Na ₂ O·2,95SiO ₂ - 6,41%, CaCl ₂ - 9,33% 1мм	122	128	116	122,00	36,00
Na ₂ O·2,95SiO ₂ - 6,41%, CaCl ₂ - 9,33% 2мм	159	160	166	161,67	14,33
Na ₂ O·2,95SiO ₂ - 16,56%, CaCl ₂ - 2,76% 1мм	111	115	117	114,33	9,33
Na ₂ O·2,95SiO ₂ - 16,56%, CaCl ₂ - 2,76% 2мм	181	176	175	177,33	10,33
Na ₂ O·2,95SiO ₂ - 3,63%, CaCl ₂ - 7,79% 1мм	106	105	101	104,00	7,00

$\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,95\text{SiO}_2 - 3,63\%$, $\text{CaCl}_2 - 7,79\%$ 2мм	111	107	108	108,67	4,33
---	-----	-----	-----	--------	------

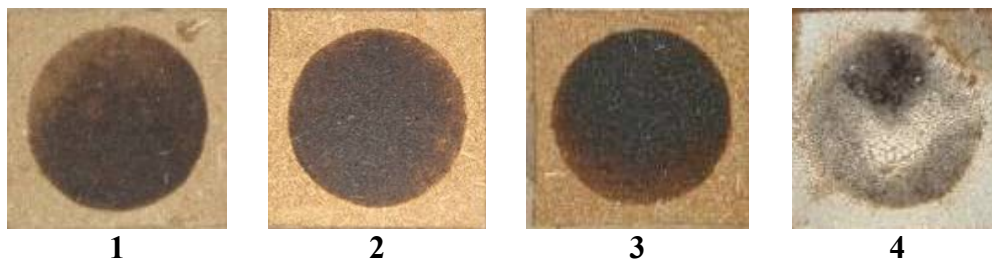


Рис 2 – Зовнішній вигляд досліджуваних зразків ДСП після випробувань при ПГТП 30 кВт/м²: 1 – необроблений зразок (час займання 49 с); 2 – зразок, що занурювався у воду (час займання 51 с); 3 – зразок, що занурювався у розчин ПАР (час займання 57 с); 4 – зразок оброблений ГУС $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,95\text{SiO}_2 - 16,56\%$, $\text{CaCl}_2 - 2,76\%$ товщина 2 мм (час займання 181 с).

Таблиця 2
Дослідні результати часу займання зразків з ДСП при ПГТП 20 кВт/м²

Вид РЗП	Час займання τ , с			Середній час, $\tau_{\text{ср}}$, с	Дисперсія, S_u^2
	1	2	3		
Необроблений зразок	60	61	58	59,67	2,33
Оброблений водою	80	84	81	81,67	4,33
Оброблений розчином Снежок-1	90	92	95	92,33	6,33
$\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,95\text{SiO}_2 - 6,41\%$, $\text{CaCl}_2 - 9,33\%$ 1мм	196	183	185	188,00	49,00
$\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,95\text{SiO}_2 - 6,41\%$, $\text{CaCl}_2 - 9,33\%$ 2мм	218	210	225	217,67	56,33
$\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,95\text{SiO}_2 - 16,56\%$, $\text{CaCl}_2 - 2,76\%$ 1мм	165	180	174	173,00	57,00
$\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,95\text{SiO}_2 - 16,56\%$, $\text{CaCl}_2 - 2,76\%$ 2мм	315	301	298	304,67	82,33
$\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,95\text{SiO}_2 - 3,63\%$, $\text{CaCl}_2 - 7,79\%$ 1мм	132	131	135	132,67	4,33
$\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,95\text{SiO}_2 - 3,63\%$, $\text{CaCl}_2 - 7,79\%$ 2мм	158	160	164	160,67	9,33

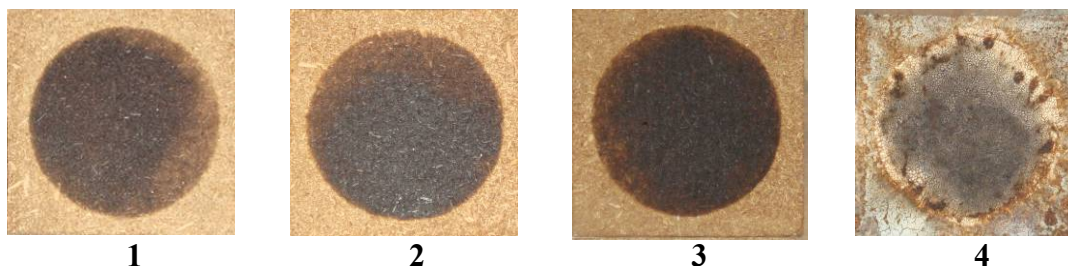


Рис. 3 – Зовнішній вигляд досліджуваних зразків ДСП після випробувань при ПГТП 20 кВт/м²: 1 – необроблений зразок (час займання 61 с); 2 – зразок, що занурювався у воду (час займання 84 с); 3 – зразок, що занурювався у розчин ПАР (час займання 90 с); 4 – зразок оброблений ГУС $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,95\text{SiO}_2 - 16,56\%$, $\text{CaCl}_2 - 2,76\%$ товщина 2 мм (час займання 301 с).

Висновки. У проведених дослідженнях використання води та розчину ПАР практично не вплинули на час займання зразків ДСП при ПГТП 30 кВт/м². Тільки при значенні ПГТП 20 кВт/м² використання розчину піноутворювача дозволило збільшити час займання на 50%. В усіх випадках при використанні ГУС час займання зразків був

значно більший. Використання ГУС дозволяє збільшити час займання зразків ДСП у 2-3,2 рази більше, ніж використання ПАР при ПГТП 30 кВт/м² та у 2-3,3 рази при ПГТП 20 кВт/м².

Під час теплового впливу вода, навіть з добавками ПАР, не забезпечує тривалий захист горючого матеріалу. Збільшення кількості води яку подають на захист, приводить лише до її проливу. На відміну від рідинних засобів пожежогасіння, ГУС практично на 100% утримуються на захищаємій поверхні, до того ж, товщину гелевої плівки можна регулювати, при необхідності збільшуючи її в особливо небезпечних місцях. Саме цю перевагу можна використовувати при гасінні пожеж різних об'єктів особливо за умови недостатньої кількості сил, засобів або дефіциту води.

ЛІТЕРАТУРА

1. Абдурагимов И.М. Физико-химические основы развития и тушения пожаров / И.М. Абдурагимов, В.Ю. Говоров, В.Е. Макаров // М.: ВИПТШ МВД СССР. 1980. – 256с.

2. Киреев А.А. Пути совершенствования методов тушения пожаров в жилом секторе / А.А. Киреев, А.В. Савченко, О.Н. Щербина // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков, 2004. – Вып 16.– С. 90 – 94.

3. Ми Зуи Тхань. Горючая нагрузка в современных жилых помещениях // Пожаровзрывобезопасность. – т. 14, №4. – С.30-37.

4. Савченко О.В. Вплив гелеутворюючих систем на матеріали, поширені у житловому секторі / О.В. Савченко // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков, 2010. – Вып. 27. – С.186 – 191.

5. Савченко О.В. Дослідження вогнезахисної дії гелевих плівок на матеріалах, розповсюджених у житловому секторі / О.В. Савченко, О.О. Кіреєв, В.М. Альбоций, В.А. Данільченко // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. АГЗ Украины – Харьков, 2006 – Вып. 19. – С. 127 –131.

6. Савченко О.В. Вогнезахисна дія гелеутворюючої системи силікат натрію – хлорид кальцію на вироби з текстилю / О.В. Савченко О.О., Кіреєв Ю.В. Луценко // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. УГЗ Украины – Харьков, 2007 – Вып. 21. – С.228 – 233.

7. Плиты древесностружечные. Технические условия: ГОСТ 10632-89 – Взамен ГОСТ 10632-77 – [Чинний від 1989-02-02]; – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1996. – 10 с.

А.В. Савченко, О.А. Островерх, Т.М. Ковалевська, С.В. Волков

Исследование времени возгорания образцов ДСП, обработанных гелеобразующей системой $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95 \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$.

В работе экспериментально определена зависимость времени воспламенения образцов ДСП от концентрационного состава гелеобразующей системы $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95 \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ при воздействии на обоазец теплового потока различных. Установлено, что использование гелеобразующей системы увеличивает время возгорания образ-

ца ДСП в 2-3 более и раз по сравнению с образцом обработанным ПАВ.

Ключевые слова: гелеобразующая система, поверхностная плотность теплового потока, время воспламенения.

O.V. Savchenko, O.O. Ostroverx, T.M. Kovalevska, S.V. Wolkov

Study of particleboard samples ignition time, preprocessed gel-forming system $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95 \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$.

We experimentally determined the dependence of ignition time from the DSP samples the concentration of the gel-forming system $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95 \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ at the action, such as heat flow. Set-lished that the time of ignition of samples treated with DSP Huss 2-3 or more times the time of ignition of samples treated with water or surfactant solution.

Keywords: gel-forming system, the surface density of those pilaf-stream time of ignition.

В.О. Самарін, викладач, НУЦЗУ

ВПЛИВ УМОВ ТЕПЛОВОГО КОНТАКТУ НА ПРОЦЕС ЗАПАЛЕННЯ КОНДЕНСОВАНОЇ РЕЧОВИНИ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОЮ ЧАСТКОЮ

(представлено д-ром техн. наук Алексєєвим О.П.)

Представлено результати чисельного моделювання процесу запалювання конденсованої речовини одиночною нагрітою до високої температури часткою в умовах неідеального теплового контакту. Встановлено, що час затримки запалення збільшується в міру зростання частки шорсткості між часткою і конденсованою речовиною.

Ключові слова: конденсована речовина, неідеальний тепловий контакт, частка.

Постановка проблеми. При зберіганні вибухових речовин, порохів, твердих палив, боєприпасів на армійських складах можливі випадки виникнення локальних осередків пожежі. Одним з найбільш ймовірних варіантів розвитку пожежі по території складу, арсеналу або сховища є поширення нагрітих до високих температур часток - продуктів горіння як металів, так і неметалічних матеріалів, у результаті розтріскування палаючої деревини, диспергування, мікрОВИбухів або під дією вітру. При цьому нагріта до високих температур частка металу (неметалу) може відігравати роль локального джерела запалення порохів або твердих палив, що у загальному випадку прийнято називати конденсованими речовинами (КР).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [1] досліджені режими запалювання КР потоком газу з високою концентрацією часток, що мають самостійні значення, а в публікаціях [2, 3] виділені специфічні режими запалювання одиночною часткою. При цьому завжди розглядалося питання про умови контакту часток з поверхнею КР, так як з експериментів [1] впливало, що стан поверхні конденсованої речовини впливає на характеристики запалювання (наприклад, на час затримки запалення t_3).

Неідеальність контакту на границі "частка - КР" повинна приводити до зміни умов підведення тепла і, відповідно, величини питомого теплового потоку в зону запалювання, а отже, й часу затримки запалення.

У загальному випадку неідеальність контакту може бути наслідком шорсткості поверхні КР або частки, а також наявності на ній плівки матеріалу з низькою теплопровідністю, що відіграє роль теплоізолятора. Але масштаби впливу шорсткості в будь-якому випадку

істотно більше впливу ізолятора з КР, тому що на практиці частки найчастіше мають форму неправильних багатогранників. При осадженні таких багатогранників на поверхню КР завжди утворюються газові зазори різної конфігурації, що "ізолюють" частку від речовини.

У даній роботі розглядається задача, у якій неідеальність контакту інтерпретується шорсткістю частки, що моделюється газовим зазором визначених розмірів.

Мета роботи - чисельне дослідження впливу неідеальності контакту частки з КР на характеристики запалювання останньої.

Постановка завдання та його вирішення. Одиночна частка у формі диска в момент часу $t = 0$ випадає на поверхню КР. Початкова температура частки $T_{\text{ч}}$ набагато більше початкової температури КВ T_0 та температури середовища $T_{\text{г}}$, з якого випадає частка і яка оточує конденсовану речовину. При випаданні частка і поверхня КВ не деформуються, їх теплообмін із зовнішнім середовищем здійснюється за рахунок конвекції і випромінювання. Передбачається, що поверхня частки нерівна і контакт із КР неідеальний. Неідеальність контакту моделювалася так, як показано на рис. 1 (на деякій ділянці межі контакту частки з КР немає). В області 3 знаходиться повітря при атмосферному тиску і температурі $T_{\text{г}}$. Розглянутий варіант неідеального контакту досить типовий і відповідає випадку нерівного рельєфу межі частки.

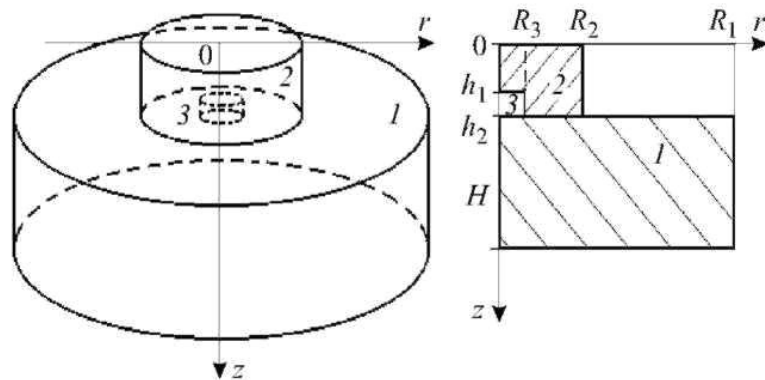


Рис. 1 – Схема розрахункової області

Задача в такій постановці зводиться до рішення системи трьох рівнянь теплопровідності для частки, зазору і КР з відповідними початковими і граничними умовами. Використано циліндричну систему координат, початок який зв'язаний з точкою, розташованою на межі «частка - зовнішнє середовище» на осі симетрії частки. В КР виділялася циліндрична область, що по своїх розмірах істотно перевищує розміри частки. На зовнішніх межах цієї області задавалися умови, що відповідали умовам збереження на цих межах початкової температури. На відкритій межі КР виставлялися граничні умови третього

роду, також як і на всіх межах частки з зовнішнім середовищем.

Система нестационарних рівнянь теплопровідності з нелінійними граничними умовами і відповідними до кожної області початковими умовами має вигляд:

$$c_1 \rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_1}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} \right) + Q k_0 \exp\left(\frac{-E}{RT_1}\right), \quad (1)$$

$$0 \leq r \leq R_1, h_1 + h_2 \leq z \leq H + h_1 + h_2;$$

$$c_2 \rho_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_2}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2} \right), \quad (2)$$

$$0 \leq r \leq R_1, 0 \leq z \leq h_1, R_3 \leq r \leq R_2, h_1 \leq z \leq h_2;$$

$$c_3 \rho_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3 \left(\frac{\partial^2 T_3}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_3}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial z^2} \right), \quad (3)$$

$$0 \leq r \leq R_3, h_1 \leq z \leq h_1 + h_2.$$

де T – температура, К; c – питома теплоємність, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; ρ – густина,

$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; λ – коефіцієнт теплопровідності, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$; t – час, с; r, z – циліндри-

чні координати; h_1 – висота частки до зазору, м; h_2 – висота зазору, м; H – висота циліндра, що виділяється в пластині КР; R_i – радіуси циліндрів, м, $i = 1, 2, 3$; індекси 1, 2 и 3 відповідають КР, частці і за-

зору, що заповнений газом, відповідно; E – енергія активації, $\frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$;

R – універсальна газова стала, $\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$; k_0 – передекспонент; Q – те-

пловий ефект реакції, $\frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$.

При постановці задачі прийнято, що осі симетрії частки і циліндра, що виділяється в пластині КВ, збігаються.

Граничні й початкові умови для сформульованої задачі мають вигляд:

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1(r, h_1 + h_2, t)}{\partial z} = \alpha(T_r - T_1) + \varepsilon \sigma (T_r^4 - T_1^4), \quad (4)$$

$$R_2 < r < R_1, 0 < t < t_3;$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1(r, h_1 + h_2 + H, t)}{\partial z} = 0, 0 \leq r \leq R_1, 0 < t < t_3; \quad (5)$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1(0, z, t)}{\partial r} = 0, \quad h_1 + h_2 \leq z \leq H + h_1 + h_2, \quad 0 < t < t_3; \quad (6)$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1(R_1, z, t)}{\partial r} = 0, \quad h_1 + h_2 \leq z \leq H + h_1 + h_2, \quad 0 < t < t_3; \quad (7)$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1(r, h_1 + h_2, t)}{\partial z} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3(r, h_1 + h_2, t)}{\partial z},$$

$$T_1 = T_3, \quad 0 \leq r \leq R_3, \quad 0 < t < t_3; \quad (8)$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1(r, h_1 + h_2, t)}{\partial z} = -\lambda_3 \frac{\partial T_2(r, h_1 + h_2, t)}{\partial z},$$

$$T_1 = T_2, \quad R_3 \leq r \leq R_2, \quad 0 < t < t_3; \quad (9)$$

$$-\lambda_3 \frac{\partial T_3(0, z, t)}{\partial r} = 0, \quad h_1 \leq z \leq h_1 + h_2, \quad 0 < t < t_3; \quad (10)$$

$$-\lambda_2 \frac{\partial T_2(R_3, z, t)}{\partial r} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3(R_3, z, t)}{\partial r},$$

$$T_2 = T_3, \quad h_1 \leq z \leq h_1 + h_2, \quad 0 < t < t_3; \quad (11)$$

$$-\lambda_2 \frac{\partial T_2(r, h_1, t)}{\partial z} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3(r, h_1, t)}{\partial z},$$

$$T_2 = T_3, \quad 0 \leq r \leq R_3, \quad 0 < t < t_3; \quad (12)$$

$$-\lambda_2 \frac{\partial T_2(r, 0, t)}{\partial z} = \alpha(T_r - T_2) + \varepsilon\sigma(T_r^4 - T_2^4),$$

$$0 \leq r \leq R_2, \quad 0 < t < t_3; \quad (13)$$

$$-\lambda_2 \frac{\partial T_2(0, z, t)}{\partial r} = 0, \quad 0 \leq z \leq h_1, \quad 0 < t < t_3; \quad (14)$$

$$-\lambda_2 \frac{\partial T_2(R_2, z, t)}{\partial r} = \alpha(T_r - T_2) + \varepsilon\sigma(T_r^4 - T_2^4),$$

$$0 \leq z \leq h_1 + h_2, \quad 0 < t < t_3; \quad (15)$$

$$T_2(r, z, 0) = T_3(r, z, 0) = T_4, \quad 0 < r < R_2, \quad 0 \leq z \leq h_1 + h_2; \quad (16)$$

$$T_1(r, z, 0) = T_0, \quad 0 < r < R_1, \quad h_1 + h_2 \leq z \leq H + h_1 + h_2, \quad (17)$$

де α - коефіцієнт тепловіддачі на всіх відкритих ділянках поверхні частки і КР, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$; σ - стала Стефана-Больцмана, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$; T_r - температура зовнішнього газового потоку, К; $T_ч$ — температура частки в початковий момент часу, К; ε - приведений ступінь чорноти; T_0 - температура КР у початковий момент часу, К.

Сформульовану нелінійну межу задачу вирішимо методом кінцевих різниць.

Чисельний аналіз проведемо на прикладі частки алюмінію, що вплив умов теплового контакту на процес запалення конденсованої речовини високотемпературною часткою

випадає з повітря на поверхню порошу «Н» [4] при наступних характеристиках матеріалів, параметрах частки й умовах теплообміну:

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= 0,2352 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}; c_1 = 1470 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; \rho_1 = 1600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \\ \lambda_2 &= 100 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}; c_1 = 900 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; \rho_1 = 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \\ E &= 147000 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}; Qk_0 = 1,6464 \cdot 10^{23} \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{с}}; \\ T_0 &= 300 \text{ К}; \varepsilon = 0,5; \alpha = 300 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.\end{aligned}$$

Критичні умови запалення в розглянутій задачі можна записати в безрозмірному вигляді [5]:

$$\delta_{\text{кр}} = \delta_{\text{кр}}^* \left[1 + \frac{(\theta_{\text{н}} - 3)^2 b}{30k_{\lambda}^{2/3}(1 + 3b^{2/3})} \right], \quad (18)$$

де $\delta_{\text{кр}}^* = 0,4b[\theta_{\text{н}} - 2,25]^2 [1 + 0,5\beta\theta_{\text{н}}]$;

$$k_{\lambda} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}; b = \frac{c_2\rho_2}{c_1\rho_1}; \theta_{\text{н}} = \frac{E}{RT_{\text{ч}}^4}(T_{\text{ч}} - T_0);$$

$$\beta = \frac{RT_{\text{ч}}}{E}; \delta = R_2 \left[\frac{Qk_0}{\lambda_2} \frac{E}{RT_{\text{ч}}^2} \exp\left(-\frac{E}{RT_{\text{ч}}}\right) \right]^{1/2},$$

де $\delta, \delta_{\text{кр}}, k_{\lambda}, b, \theta_{\text{н}}, \beta$ - безрозмірні параметри.

Якщо розмір осередка $\delta > \delta_{\text{кр}}$ [5], то відбувається запалення. Розрахунки, проведені для часток різних розмірів, показали, що в розглянутому випадку при $T_{\text{ч}} = 600 \text{ К}$ запалювання має місце при $\delta_{\text{кр}} = 173,65$, а при $T_{\text{ч}} = 800 \text{ К}$ $\delta_{\text{кр}} = 124,873$.

Гранична умова запалення має вигляд [2]:

$$q(t_3) = Qk_0 \int_0^{\infty} \left\{ \exp\left[-\frac{E}{RT(z, t_3)}\right] - \exp\left[-\frac{E}{RT_0}\right] \right\} dz, \quad (19)$$

де q - тепловий потік від частки, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$; z - координата (відстань від поверхні КР), м; t_3 - час затримки запалювання, с.

Особливістю даної задачі є те, що теплофізичні характеристики матеріалів і повітря на межі розділення областей 1, 2, 3 стрибкоподі-

бно змінюються. Крім того, на межах розділу двох областей у початковий момент часу температура також змінюється стрибкоподібно.

На рис. 2 наведені залежності часу затримки запалення від початкової температури частки для різних характерних розмірів і умов ідеального контакту. Зі зростанням розмірів частки величина t_3 зменшується при фіксованому значенні $T_{ч}$. Криві $t_3(T_{ч})$ побудовані до мінімальних значень, за яких ще можливе запалення.

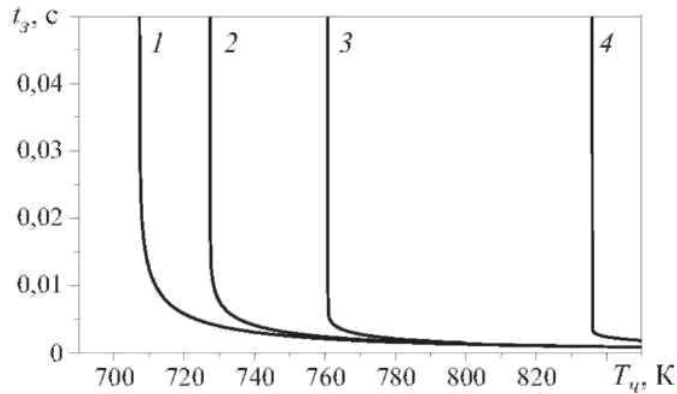


Рис. 2 – Час затримки запалення КВ при ідеальному контакті з часткою різного радіуса: 1 - $R_2 = 200$ мкм, 2 – 150 мкм, 3 – 100 мкм, 4 – 50 мкм

Аналогічні залежності наведені на рис. 3 для умов неідеального контакту, що відповідають схемі на рис. 1. Результати представлені для різних розмірів області повітряного зазору. Наявність зазору між часткою і КР з низьким коефіцієнтом теплопровідності приводить при інших ідентичних умовах до збільшення часу затримки запалення в порівнянні з варіантом, коли контакт на границі розділу "частка - КР" ідеальний. Зі зростанням площі зазору величина $T_{ч}$, за якої ще можливе запалення, також збільшується при інших незмінних умовах. Даний результат можна пояснити в такий спосіб.

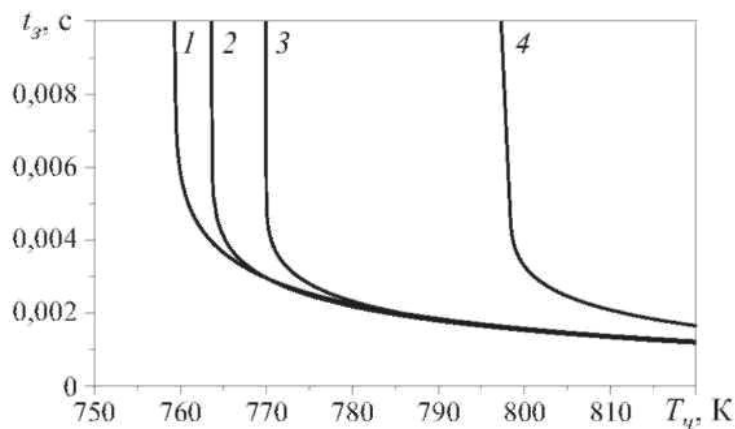


Рис. 3 – Час затримки запалення КВ при неідеальному контакті з час-

ткою радіуса 100 мкм із різними жорсткостями 1 - $R_3 = 0$ мк, 2 - 20 мк, 3 - 50 мк, 4 - 70 мк

Чисельний аналіз показує, що максимальна температура в зоні контакту T_k досягається на осі симетрії частки (рис. 4) в умовах ідеального контакту. При этом по мере увеличения r (віддалення від осі симетрії) знижується температура й відповідно збільшується час затримки запалення. Розрахунок величини теплового потоку q у зону запалювання свідчить, що ця величина досягає максимум на осі симетрії в умовах ідеального контакту. Отже, можна зробити висновок, що в розглянутій системі «частка – КР» має місце істотно неоднорідний теплоперенос, обумовлений тепловідведенням від частки в КР по напрямку як координати z , так і координати r . Крім того, частка також охолоджується за рахунок тепловідведення в зовнішнє середовище по двох координатних напрямках.

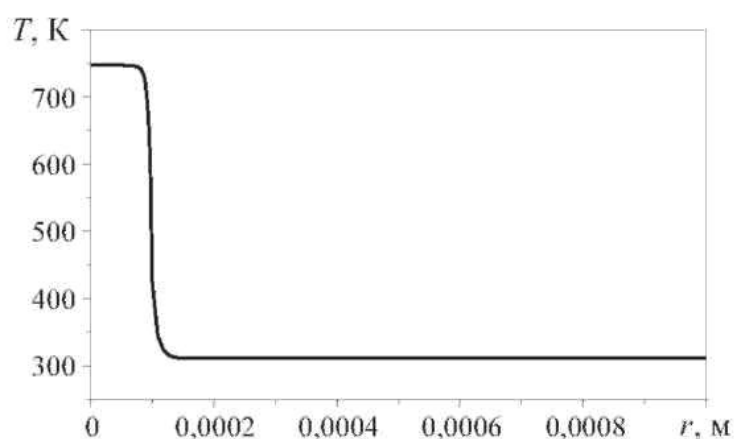


Рис. 4 – Розподіл T по осі при неідеальному контакті КР з часткою в момент запалення КР

У цих умовах наявність зазору, що представляє собою зону з істотно більш низькою в порівнянні з будь-яким металом (зокрема, з алюмінієм) теплопровідністю, призводить до того, що частка передає енергію КР через площадку з істотно меншою поверхнею. А так як умови теплообміну в зоні контакту КР і безпосередньо частки сприятливі в порівнянні із зазором або зовнішнім середовищем, то на всій ділянці контакту сумарна величина q зменшується в порівнянні з варіантом, коли зазор відсутній. Зменшення величини теплового потоку в зону запалювання і призводить до збільшення t_3 в порівнянні з варіантом ідеального контакту.

Аналізуючи отримані результати, робимо висновок, що час затримки запалення визначається в першу чергу теплоємністю частки. Так, частка великих розмірів і, відповідно, більшої об'ємної теплоємності, має великий запас тепла. І зі збільшенням розмірів частки зменшується час t_3 в умовах як ідеального (рис. 2), так і неідеального (рис. 3)

контактів. При цьому зменшення площі контакту (при збереженні незмінним об'ємного тепловмісту частки) спричиняє збільшення t_3 .

Існує мінімальна площа контакту, за якої ще можливе запалення КР при визначеному рівні теплового потоку в зону запалювання. Зі збільшенням q ця площа зменшується при постійних значеннях t_3 (рис. 3). Величина теплового потоку визначається як температурою частки, так й її теплопровідністю. Часткове зменшення коефіцієнта теплопровідності λ при постійній температурі та теплоємності призводить до різкого росту значень температур, за яких запалення КВ можливе.

Таким чином, найкращим локальним джерелом запалення буде частка матеріалу з високими тепломісткістю і теплопровідністю. Для того, щоб нагріта до високих температур частка виконувала роль локального джерела запалення, необхідно, щоб вона забезпечувала мінімально необхідну величину теплового імпульсу в КР. Величина цього імпульсу визначає глибину прогріву КР і температуру в кожній точці прогрітого шару, останні ж характеризують інтенсивність твердофазної реакції запалення[4-5]. Відповідно, площа контакту частки й КР, що забезпечує запалення, має свій мінімум(рис. 3), при якому запалення стає неможливим навіть при високій тепломісткості частки. Перетікання енергії по координаті r в конденсованій речовині знижує температуру прогрітого шару, обмеженого по радіальному напрямку. Запалення КР буде неможливим, якщо тепловиділення через зону контакту з часткою не буде перевищувати протягом деякого необхідного проміжку часу тепловідведення у холодні шари КР по напрямках координат r и z .

Висновки. Проведене чисельне дослідження процесу запалення типової КР нагрітою до високих температур часткою в рамках моделі, що враховує двомірний теплоперенос в умовах неідеального теплового контакту. Аналіз результатів показав, що збільшення площі шорсткості призводить до зростання часу затримки запалення КР при інших адекватних параметрах процесу.

На підставі отриманої інформації можна прогнозувати можливість запалення КВ за рахунок передачі тепла нагрітими до високих температур твердими частками при наявності шорсткості на поверхні частки або КР, що при влученні на поверхню КР створюють місцеві центри запалення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Барзыкин В.В. Зажигание конденсированных веществ дисперсным потоком. / Барзыкин В.В., Гольдшлегер У. И., Мержанов А.Г. // Докл. АН СССР. – М.: АН СССР, 1970. - Т. 191, № 1. - С. 111-114.

2. Кузнецов Г.В. Воспламенение конденсированного вещества

частицей в условиях неидеального теплового контакта. / Кузнецов Г.В., Таратушкина Г.В. // Пожаровзрывобезопасность. – М.: Пожнаука, 2005. - №6. - С. 16-20.

3. Кузнецов Г.В. Зажигание конденсированного вещества частицей. / Кузнецов Г.В., Мамонтов Г.Я., Таратушкина Г.В. // Химическая физика. – М.: Наука, 2004. - Т. 23, № 3. - С. 67-72.

4. Вилунов В. Н. Теория зажигания конденсированных веществ. – Новосибирск, Наука, Сибирское отд., 1984. – 183 с.

5. Аверсон А.Э. Приближенный метод решения задач тепловой теории зажигания. / Аверсон А.Э., Барзыкин В.В., Мержанов А.Г. // Докл. АН СССР. – М.: АН СССР, 1968. - Т. 178, № 1. - С. 131-134.

В.А. Самарин

Влияние условий теплового контакта на процесс воспламенения конденсированного вещества высокотемпературной частицей

Представлены результаты численного моделирования процесса зажигания конденсированного вещества одиночной нагретой до высокой температуры частицей в условиях неидеального теплового контакта. Установлено, что время задержки воспламенения увеличивается по мере роста доли шероховатости между частицей и конденсированным веществом.

Ключевые слова: конденсированное вещество, неидеальный тепловой контакт, частица.

V.O. Samarin

Influence of thermal contact conditions to the process of ignition of condensed matter by particle that heated to high temperature

The results of numerical simulation of the ignition process of condensed matter by single heated to high temperature particle in a non-ideal thermal contact are presented. It is established that the ignition delay time increases as the proportion of surface roughness between the particle and condensed matter increase.

Keywords: condensed matter, non-ideal thermal contact, the particle.

*Ю.Н. Сенчихин, канд. техн. наук, профессор кафедры, НУГЗУ,
С.В. Росоха, докт. техн. наук, начальник факультета, НУГЗУ,
В.А. Гузенко, канд. техн. наук, начальник кафедры, НУГЗУ*

ТАКТИКА ПРИЦЕЛЬНОГО ПНЕВМОМЕТАНИЯ СНАРЯДА С ТРОСОМ ПРЯМОЙ НАВОДКОЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОЖАРНОГО ВЫСОТНОГО СПАСАТЕЛЯ (НПВС)

(представлено д-ром техн. наук Куценко Л.Н.)

Рассматривается тактическая задача прицельного метания снаряда с тросом прямой наводкой в оконный проем, лоджию, балкон и др. Представлены расчетные данные параметров НПВС для стрельбы прямой наводкой.

Ключевые слова: тактическая задача, прямой наводкой, снаряд с тросом, принятие решений руководителем тушения пожара (РТП).

Постановка проблемы. В предшествующих задачах принятия решений (задача 1 и задача 2) выстрелы производились по определенной цели (крыша здания, территория за зданием, размеры которой, очевидно, велики по сравнению с рассеиванием пневмометания снаряда под углом к горизонту) [1]. Совсем другое дело - задача 3 – прицельное метание снаряда с тросом прямой наводкой в оконный проем, лоджию, балкон и др. В связи с вероятностным характером событий (попадание в оконный проем) здесь всегда возникает ряд вопросов. Например, какой процент выстрелов в среднем будет успешным? Какие следует принять меры для уменьшения площади рассеяния и другие факторы, характеризующие положительный исход. Эти вопросы органически связаны со случайной природой процесса, и для того, чтобы на них ответить, требуется отдельное рассмотрение явлений рассеяния с точки зрения статистических закономерностей, присущих ему. То есть, надо дополнительно исследовать закон распределения точек попадания снаряда в цель, выяснить случайные причины, вызывающие рассеяние, сравнить их между собой по степени важности.

Анализ последних достижений и публикаций. В тактическом обеспечении НПВС в полной мере рассмотрены задачи 1 и 2, однако можно показать, что для решения тактической задачи 3 уже созданы определенные предпосылки. Действительно, наилучшие результаты при метании снаряда в заданную точку на определенный участок боковой поверхности следует ожидать, когда весь полет снаряда с тро-

сом происходит в границах первой фазы [2], т.е. тогда, когда траектория близка к прямой линии (выстрел прямой наводкой). В этом случае для обеспечения попадания снаряда, например, в оконный проем нахождение угла α и расстояния до передней стены здания S_1 является основным вопросом в принятии решения РТП по использованию НПВС [3,4].

Постановка задачи и ее решение. Рассмотрим в модельной постановке задачу определения вероятности попадания из НПВС в заданную точку стены здания, как задачу теории вероятностей.

Пусть известны параметры рассеяния попаданий снаряда ε . Тогда, воспользовавшись аппаратом, изложенным в [5] можно определить математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение случайной величины (отклонения R) точки попадания снаряда от геометрического центра мишени. Причем для простоты будем рассматривать мишень в форме круга (такой подход удобен с практической точки зрения, если рассматривать круг, вписанный в оконный проем, при этом точность результатов достигается с избытком):

$$m(R) = (\sum R_i) / N, \quad (1)$$

где N - число выстрелов.

Вероятность попадания в мишень при одном выстреле определяется формулой (считаем систематическую ошибку отсутствующей, а соотношение диаметра мишени и параметра рассеяния равным $1/2$):

$$P = 1 - e^{-\rho}, \quad (2)$$

ρ - величина, определяемая соотношением:

$$\Phi(\rho) = 1/2, \quad (3)$$

здесь Φ – функция Лапласа. Тогда среднеквадратичное отклонение рассматриваемой случайной величины будет:

$$D_x \approx NP(1 - P). \quad (4)$$

Для более детальных исследований необходимо будет рассмотреть значительно более сложную задачу теории вероятностей (следует учитывать систематическую ошибку, обусловленную поправками на ветер и реальное отклонение траектории от прямой линии). Решение такой задачи требует дополнительных исследований особенностей процесса выстрела при стрельбе прямой наводкой, которые выходят за рамки данной работы. Тем не менее, следует рассмотреть те недостающие для задачи принятия решений РТП харак-

теристики пневмометания прямой наводкой, которые относятся к использованию НПВС непосредственно в оперативных условиях.

С этой целью сформулируем вопрос - когда можно считать процесс движения снаряда укладываемым в рамки первой фазы? Имеющегося экспериментального материала для ответа на этот вопрос вполне достаточно [6].

Действительно, оперируя данными результатов расчетов соответствующих разным фазам движения снаряда с тросом для одной из серий выстрелов, в задаче 3 уместно результаты представить в виде таблицы 1 и номограммы (Рис.1).

Таблица 1
Расчетные данные параметров НПВС для стрельбы прямой наводкой

Расстояние S_1 (М)	Угол α (°)
27	55
25	60
20	65
14	70
12	75
9	80
7	85
5	90

Как уже отмечалось, в тактической задаче 3 необходимо обеспечить попадание снаряда в заданную точку на определенном участке стены здания.

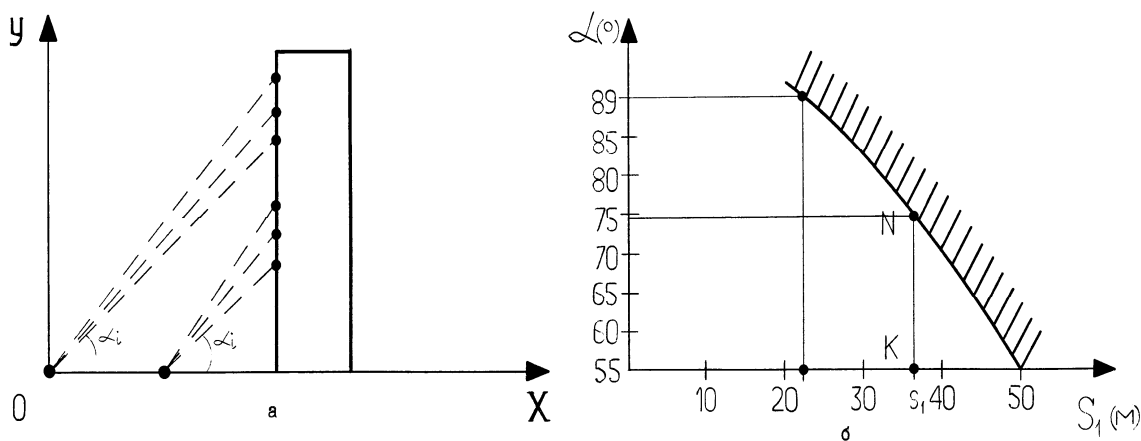


Рис. 1 – Задача 3 - метание снаряда со спасательным концом прямой наводкой: а – графическая иллюстрация к задаче, б – номограмма к задаче

Тактика принятия решений руководством проведения пожарно-спасательных работ основывается на оценке соотношений между различными расстояниями до здания S_1 и углов наклона установки α . То-

гда в соответствии с наперед заданной точностью ε полет рассматривается происходящим только в первой фазе движения снаряда с тросом.

Порядок использования номограммы [7] следующий. По горизонтали откладывается расстояние между стеной здания и установкой, по вертикали - получим угол наклона установки к горизонту (Рис.1б - номограмма к задаче метания снаряда с тросом прямой наводкой). Заштрихованная область номограммы соответствует диапазону характеристик расположения НПВС, когда стрельба прямой наводкой невозможна.

Или иначе задается одно из возможных значений величины S_1 . Тогда соответствующий желаемым исходам диапазон углов наклона установки определяется отрезком вертикальной прямой KN.

При отсутствии прицела угол наклона установки при стрельбе прямой наводкой определяется из элементарного соотношения:

$$\alpha = \text{arctg}(y/S_1), \quad (5)$$

где y - высота точки стены здания, в которую необходимо попасть посредством выстрела снаряда с тросом.

Безусловно, эффективность стрельбы в рассматриваемом случае можно существенно повысить, если оснастить установку прицелом, причем и в этом случае необходимость использования приведенных таблицы и номограммы не вызывает сомнений.

Выводы. Для различных расстояний до здания и углов наклона установки характеристики рассматриваемого процесса (α , S_1) фиксированы. Полет снаряда рассматривается только до пересечения траектории снаряда со стеной здания.

Иными словами, в таблице 1 столбцом приведены расстояния, которые для данного значения угла соответствуют максимальной из возможных величин S_1 , такой, что весь процесс укладывается в первую фазу движения снаряда с тросом. А значит, как следует из номограммы, у РТП есть набор альтернатив, обеспечивающих выполнение оперативной задачи.

Безусловно, и здесь весьма эффективным представляется использование бортового компьютера. В этом случае входными данными являются возможные диапазоны расстояний между установкой и зданием, а выходными - приемлемый диапазон углов наклона установки к горизонту обеспечивающий возможность стрельбы прямой наводкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сенчихин Ю.Н., Попов В.М. Тактические задачи при проведении пожарно-спасательных работ на высотах с использованием высотного спасателя. Проблемы обеспечения безопасности при чрез-

вычайных ситуациях: Материалы международной науч.-практ. конф. / Под общ. ред. В.С. Артамонова. – СПб.: Санкт-Петербургский институт ГПС МЧС России, 2003. – С. 123-125.

2. Сенчихин Ю.Н., Пальчиков Р.В. Формализация задачи анализа пневмометания снаряда с тросом в общей постановке. Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. АПБ Украины. - Вып. 8. – Харьков: Фолио, 2000. – С. 154-156.

3. Девенец Ю.В., Иванов В.Н., Катрасов П.А. Проблемы испытаний ПТВ и спасания людей с высоты / Пожарная безопасность - 95: Материалы Всероссийской научн. - техн. конф. М.: ВНИИПО МВД России, 1995. – С. 393- 394.

4. Сенчихин Ю.Н. Решение тактической задачи применения высотного спасателя НПВС. Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. АПБ України. - Вып. 9. – Х.: Фолио, 2001. – С. 186-188.

5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1988. – 464 с.

6. Голендер В.А., Сенчихин Ю.М., Вінник А.І. Деякі результати експериментальних досліджень роботи нетрадиційного пожежного висотного рятувальника / Пожежна безпека. Матеріали III наук.-практ. конф. – К.: УкрНДПБ МВС України, 1997. – С. 243-244.

7. Хованский Г.С. Номография и ее возможности. – М.: Наука, 1977. – 128 с.

Ю.М. Сенчихин, С.В. Росоха, В.А. Гузенко

Тактика прицільного пневмометання снаряда з тросом прямим наведенням при використанні пожежного висотного рятувальника (НПВР)

Розглядається тактичне завдання прицільного метання снаряда з тросом прямим наведенням у віконний отвір, лоджію, балкон і ін. Представлені розрахункові дані параметрів НПВР для стрільби прямим наведенням.

Ключові слова: тактичне завдання, прямим наведенням, снаряд з тросом, ухвалення рішень керівником гасіння пожежі (КГП).

Y.N. Senchukhin, S.V. Rosokha, V.A. Guzenko

Tactics of an aim pneumothrowing of a shell with a cable over open sights at use of the fire high-rise rescuer (NFHR)

The tactical task of the aiming throwing of shell is examined with a rope direct aiming in a window aperture, loggia, balcony and other. Calculation information of parameters of height rescuer is presented for firing the direct aiming.

Keywords: tactical task, direct aiming, shell with a rope, making decision the leader of extinguishing of fire.

*В.М. Сирих, канд. техн. наук, доцент, НУЦЗУ,
О.В. Тарахно, канд. техн. наук, доцент, НУЦЗУ*

ЕКСПЕРТНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЖЕЖ РОЗЛИВУ РІДИН (представлено д-ром хім. наук Прохачем Е.Є.)

Наводяться основні положення методики визначення площі пожежі та маси рідини з урахуванням параметру висоти полум'я, для підтвердження або спростування версії виникнення горіння внаслідок розлиття горючих рідин при проведенні пожежно-технічних експертиз

Ключові слова: пожежно-технічна експертиза, висота полум'я, розлиття небезпечної рідини

Постановка проблеми. Експертне дослідження пожеж щодо визначення причини їх виникнення є одним із найбільш складних напрямків серед інженерно-технічних експертиз. Це обумовлюється особливостями виникнення і розвитку пожеж, їхньою залежністю від багатьох фізико-хімічних факторів, необоротністю процесу горіння й складністю розв'язуваних завдань. Пожежно-технічною експертизою визначається, насамперед, первинне вогнище пожежі, джерело запалювання, механізм й час виникнення горіння, а також сукупність обставин, що обумовили її розвиток. Виконання даного виду експертиз передбачає дослідження множинних показників, у тому числі і якісних, які практично не піддаються формалізації, що ускладнює рішення поставленого завдання.

Під час дослідження пожеж, що виникли на об'єктах, де зберігаються або застосовуються пожежонебезпечні рідини, як правило, розглядається версія початку горіння внаслідок розлиття ЛЗР або ГР. Більшість пожеж на подібних об'єктах виникають в умовах неочевидності. При цьому кількісні показники, що необхідні для проведення відповідних розрахунків, не фіксуються і експерту для проведення досліджень не надаються. Наприклад, в матеріалах справи про пожежу в гіпермаркеті "Нова лінія" (м. Запоріжжя) показником, що характеризував динаміку горіння на ділянці лаків та фарб, була тільки висота полум'я, яка дорівнювала 2-2,5 м. При подібних умовах розвитку небезпечної події експерту необхідно підтвердити або спростувати версію виникнення пожежі внаслідок розлиття небезпечної рідини.

Тому, під час експертного дослідження пожеж, пов'язаних із розливом рідин, застосування методики, що враховує параметр висоти полум'я, є актуальною задачею, вирішення якої дозволяє визначити площу пожежі та масу рідини, що розлилася.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У спеціальній літературі та наукових публікаціях, присвячених діагностуванню ди-

наміки розвитку пожеж розливу рідин за відсутності вихідних даних (кількісних параметрів), питання щодо визначення площі пожежі та маси рідини на момент настання небезпечної події взагалі не розглядаються. У роботі [1] наведена емпірична формула залежності висоти полум'я від діаметру ємності, де відбувається горіння. Для пожеж проливу рідин та горіння твердих матеріалів висота полум'я може визначатися відповідно до положень норм [2] та стандарту [3]. Окремі теоретичні основи визначення параметру висоти полум'я пожежі з урахуванням впливу газового навколишнього середовища представлені в роботі [4]. Наявна нормативно-методична база щодо прогнозування динаміки розвитку пожежі розливу рідини [1] - [4] дає алгоритм розрахунку параметру висоти полум'я при наявності вихідних даних. Проте, під час проведення пожежно-технічних експертиз такі дані, як правило, на дослідження експерту не надаються.

Постановка задачі та її розв'язання. Однією із складових проведення пожежно-технічної експертизи, є дослідження динаміки розвитку пожежі з моменту її виникнення. Задача експерта - створити віртуальний об'єкт і змоделювати процес виникнення й розвитку пожежі, виклавши у висновку ретроспективу явищ, що мали місце. Для цього ураховуються множинні якісні показники, які практично не піддаються формалізації, що ускладнює або виключає застосування розрахункових методів для рішення поставленого завдання. У більшості випадках єдиною інформаційною базою для проведення відповідного дослідження є надані на дослідження документи про пожежу.

Експертна практика свідчить, що при виникненні пожеж розливу рідин людина, що була свідком даної події, найчастіше вказує на параметр висоти полум'я неконтрольованого горіння. І цей параметр часто буває єдиним кількісним показником динаміки пожежі. На даний час відсутність методичної бази для проведення досліджень подібних пожеж не дозволяє ефективно розв'язувати питання, що ставляться на вирішення пожежно-технічної експертизи. Тому, задачею даної роботи є визначення параметрів розвитку небезпечної події з метою подальшої розробки основних положень методики, застосування якої дозволить підтвердити або спростувати версію виникнення пожежі при розливі легкозаймистих або горючих рідин.

У даній роботі наводяться основні положення методики, застосування якої дозволить підтвердити або спростувати версію виникнення та розвитку небезпечної події унаслідок розлиття рідини.

Під час пожежі, що виникла в наслідок розлиття рідини, висота полум'я відповідно до норм [2] може бути визначена за наступною формулою:

$$h = 42 d \left(\frac{M}{\rho_v \sqrt{gd}} \right)^{0,61}, \quad (1)$$

де M – питома масова швидкість вигорання рідини, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; ρ_v – густина навколишнього повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$; g – прискорення вільного падін-

ня, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; d – ефективний діаметр розлиття рідини, м.

Виконавши відповідні дії, визначимо діаметр площі пожежі:

$$d = \left[\frac{h}{42} \cdot \left(\frac{\rho_v \sqrt{g}}{M} \right)^{0,61} \right]^{1/0,695} \quad (2)$$

За умови, що форма розливу є круговою, площа пожежі визначається за формулою:

$$F = \frac{\pi d^2}{4} \quad (3)$$

Якщо прийняти положення п. 7.1.2. з норм [2], як обставину, що у подальшому вплине на динаміку пожежі, то можна орієнтовно визначити кількість рідини, яка розлилася при руйнуванні обладнання або ємностей. Передбачається, що 1 л сумішей та розчинів, які містять 70 % і менше (по масі) розчинників, розливається на площі $0,5 \text{ м}^2$, а інших рідин – на 1 м^2 підлоги приміщення.

Порівняння отриманої розрахунком маси речовини, що приймала участь у горінні, з фактичною величиною пожежної навантаги у даному місці (визначається за матеріалами справи) дозволяє зробити висновок про достовірність висунутих версії щодо виникнення пожежі. Запропонована методика не враховує вплив швидкості руху газового навколишнього середовища на відхилення і висоту полум'я. У випадку, коли на рух газів суттєво впливають зовнішні сили (напір повітря), то для врахування цього впливу можна застосовувати число Фруда, яке характеризує співвідношення між силами інерції та зовнішніми силами, у полі яких відбувається рух потоків. Тому, для наближеного визначення висоти факела полум'я при горінні розливу рідини може бути використана залежність відносної висоти полум'я від числа Фруда, яка виражається рівнянням [1]:

$$\frac{h}{d} = 40 \cdot Fr^{1,5}, \quad (4)$$

де Fr – критерій подібності руху газів. Приймається у випадках, коли існує дія зовнішніх сил:

$$Fr = \frac{v_{\text{п}}^2}{gd}, \quad (5)$$

де $v_{\text{п}}$ – швидкість руху повітря, м/с.

Кут відхилення полум'я від вертикального положення можна визначити із формули:

$$\frac{\operatorname{tg}\Theta}{\cos\Theta} = 0,67\operatorname{Fr}^{0,33} \operatorname{Re}^{0,12}, \quad (6)$$

де Re – число Рейнольдса, яке визначають за формулою $\operatorname{Re} = dv_{\pi}/\nu$.

Таким чином, при проведенні експертиз пожеж розливу рідин, що виникли в умовах неочевидності, запропонована методика застосування параметру висоти полум'я надає можливість визначити площу пожежі та масу рідини, яка приймала участь у горінні. При відсутності достатніх даних для проведення експертного дослідження щодо визначення причини пожежі, це дозволить підтвердити або спростувати версію її виникнення внаслідок розтікання рідини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Волков О.М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. М., Недра. 1984, 151 с.
2. НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
3. ГОСТ Р 12.3.047-98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
4. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров. – М.: Стройиздат, 1990.

В.Н. Сырых, Е.В. Тарахно

Экспертное исследование пожара разлива жидкостей

Приводятся основные положения методики определения площади пожара и массы жидкости с учетом параметра высоты пламени для подтверждения или опровержения версии возникновения горения вследствие разлива горючих жидкостей при проведении пожарно-технической экспертизы.

Ключевые слова: пожарно-техническая экспертиза, высота пламени, разлив горючих жидкостей

V.N. Surux, E.V. Tarahno

Expert research fire of liquid spill

Outlines the main provisions of methods for determining the area of fire and the mass of fluid with consideration of the parameter height of the flame to confirm or refute the version of burning due to spills of flammable liquids in carrying out of fire-technical expertise

Keywords: fire-technical expertise, a flame height, the spill of flammable liquids

*А.М. Сиротенко, канд. техн. наук, начальник АСВ г. Одесса,
Д.П. Дубинин,
К.В. Корытченко, канд. техн. наук, с.н.с., нач. НИЛ НТУ ХПИ*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА СОЗДАНИЯ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ РАЗРЫВОВ ОБЪЕМНЫМИ ШЛАНГОВЫМИ ЗАРЯДАМИ

(представлено д-ром техн. наук Соболев А.Н.)

В работе экспериментально исследовалась возможность получения противопожарного разрыва с помощью ударного действия взрыва топливоздушнoй смеси, формируемой в объемном шланговом заряде. Проведен анализ изменения состояния травяного покрова на земной поверхности под действием взрыва. Оценено влияние диаметра объемного шлангового заряда на ширину противопожарного разрыва.

Ключевые слова: противопожарный разрыв, объемный шланговый заряд, взрывчатые вещества

Постановка проблемы. Площадь лесного фонда Украины составляет около 10,8 млн. гектара. К сфере управления Госкомлесхозу Украины принадлежит 7,4 млн. гектара лесов, который составляет 68 % от общей площади земли лесного фонда. Можно сказать, что в результате возникновения лесных пожаров уничтожаются не только лесные массивы на значительной площади, но и наносится большой вред окружающей среде, а государство при этом несет ощутимые экономические убытки. В результате лесных пожаров погибают представители флоры и фауны, снижается плодородие земли, ухудшается состояние окружающей среды. Кроме того, лесные пожары способствуют увеличению содержания углекислого газа в атмосфере, который способствует глобальному потеплению климата в мире.

Анализ последних достижений и публикаций. В ряде работ предлагается новая концепция борьбы с пожарами на больших площадях, основанная на локализации и последующем тушении пожара с помощью взрывных зарядов [1-3]. Гришиным А.М., Зимой В.П., Ревой Г.В. и др. проведено ряд теоретико-экспериментальных исследований эффективности локализации пожара взрывом конденсированных взрывчатых веществ (ВВ) с малыми энергетическими затратами. Полученные результаты показали возможность снижения затрат и достижение более высокой производительности по сравнению со способами локализации на основе средств механизации. Данный способ приобретает существенное преимущество при необходимости тушения пожаров на большом удалении от источников воды. Авторы

отмечают, что кроме применения конденсированных ВВ, также в данном способе локализации возможно применение зарядов на основе топливовоздушных смесей [3]. Но результаты исследования таких зарядов данными авторами в открытой печати не приводятся.

Постановка задачи и ее решение. Целью исследования является создание противопожарных барьеров для локализации лесных пожаров путем смешивания струи отработанных газов с горючим газом в ограниченном объеме с последующим их подрывом. Ударное действие объемного взрыва топливовоздушных зарядов нашло применение в военном деле. Так, разработаны боеприпасы объемного взрыва, взрывные способы разминирования минных полей. Работы по созданию детонационно-способных топливовоздушных смесей в струе отработанных газов бронетехники и теоретико-экспериментальные результаты исследования действия взрыва на грунт применительно к задаче разминирования проведены Сиротенком А.М., Серпуховым А.В., Стаховским О.В. и др [4-6]. Исследования действия взрыва на лесной фитоценоз и растительность данными авторами не проводилось.

Нами ранее проведено математическое моделирование ударного действия мгновенного взрыва топливовоздушного заряда на растительность в газодинамической постановке с применением модифицированной модели Угрюмова М.Л. и Скобы Ю.А., учитывающей сопротивление многофазной среды [7]. Данная работа направлена на экспериментальное исследование способа создания противопожарных разрывов взрывом топливовоздушных смесей в виде объемных шланговых зарядов.

Экспериментальные исследования проводились на полигоне Харьковского института танковых войск и факультета военной подготовки НТУ «ХПИ».

С целью определения влияния диаметра и количества объемных шланговых зарядов на ширину создаваемых противопожарных разрывов была проведена серия экспериментальных исследований (табл. 1).

Таблица 1
Таблица экспериментов

Количество зарядов	Количество подрывов, шт.		
	Диаметр заряда, м		
	0,95	1,4	1,8
1	2	1	1
2	4	2	-

За счет использования двух зарядов достигается распределение энергии взрыва вдоль земной поверхности. Поэтому предполагалось, что за счет такого распределения достигается создание противопожарных разрывов с шириной, большей, чем это достигается при взрыве одиночного заряда с тем же количеством энергии на погонный метр заряда. В случае исследования двойных зарядов расстояние между их

осями бралось равным $2 \pm 0,2$ м, что соответствует базе широко распространенных транспортных средств. Длина зарядов составляла 20 ± 1 м, за исключением заряда диаметром 1,8 м, длина которого составила 12 м. Данное ограничение было вызвано из-за недостаточной производительности применяемого генератора ацетилено-воздушной смеси.

Каждое из исследований проводилось в следующем порядке. На выбранном участке местности осуществлялось разворачивание оболочек зарядов над травяным растительным покровом. Края оболочек тщательно обвязывались прочным шпагатом для герметизации заряда и крепились к грунту для предотвращения смещения ветром. Дополнительно вдоль заряда оболочки также прикреплялись к грунту с помощью гибких охватов. Открытый конец оболочки заряда подсоединялся к выходному патрубку генератора топливовоздушной смеси (рис. 1).



Рис. 1 – Расстиление объемного шлангового заряда

Предварительно в генератор ацетилена загружался карбид в виде кусков, полная масса которого зависела от объема оболочки в наполненном состоянии. Размер кусков карбида по ширине, высоте и длине был в диапазоне $15 \div 25$ мм. После присоединения оболочки генератор наполнялся водой. Подача смеси в оболочку осуществлялась периодическая. То есть, на протяжении $35 \div 50$ секунд осуществлялась генерация ацетилена без подачи воздуха от нагнетателя. Затем включался на $35 \div 50$ секунд нагнетатель, что обеспечивало смесеобразование при эжекционном наполнении оболочки. В результате, наполнение оболочки смесью осуществлялось на протяжении $5 \div 10$ минут. Предварительно был развернут регистрирующий измерительный комплекс, включающий видеосъемку, датчики давления, осциллограф, соединительные провода. Датчики давления располагались в один ряд на уровне грунта в травяной растительности. Средняя высота травы составляла около 15 см. Расстояние от проекции оси шлангового заряда до первого датчика равнялось 2,5 м, второго – 3,5 м, третьего – 4,5 м, что близко соответствует порядку расположения датчиков по работе [3]. Хотя под действием веса шлангового заряда происходило смятие травы, но между поверхностью земли и зарядом оставалась прослойка высотой около $3 \div 5$ см.

Кроме измерения давления, проверялось изменение массы рас-

тительного покрова в относительных единицах. Вблизи участка экспериментальных исследований на ровном участке была скошена контрольная полоса шириной 40 см и длиной 3 м. Высота нескошенной части травяной растительности не превосходила 2 см. После этого скошенная трава сразу же собиралась, и производилось её взвешивание. После воздействия ударной волны на растительный покров на участках, где произошло только частичное удаление растительности, вдоль оси заряда на одинаковом удалении от неё выкашивалась полоса шириной 20 см и длиной 6 м.

Степень изменения массы δ определялась по выражению:

$$\delta = \frac{m_{\text{исх}}}{m_{\text{ост}}}, \tag{1}$$

где $m_{\text{исх}}$ – масса травяной растительности в контрольной полосе до взрыва, $m_{\text{ост}}$ – масса травяной растительности в контрольной полосе после взрыва.

Перед инициированием детонации участники эксперимента удалялись от заряда на безопасное расстояние.

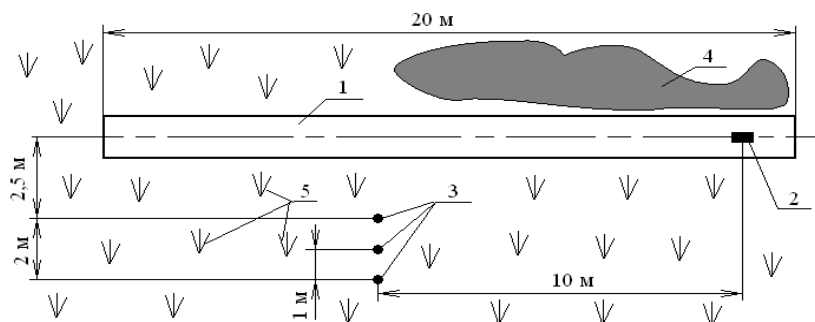


Рис. 2 – Схема проведения эксперимента: 1 – объемный шланговый заряд, 2 – инициатор детонации, 3 – датчики давления, 4 – лесной массив, 5 – травяной покров

Для исследования ударного действия взрыва шлангового заряда на лесной фитоценоз отдельные участки заряда располагались как вблизи сосновых, так и возле лиственных деревьев и кустарников (рис. 3).



Рис. 3 – Размещение заряда вблизи деревьев и кустарников

Результаты измерения ударного действия взрывов объемных шланговых зарядов

За результатами обработки видеосъемки было установлено, что генератор смеси обеспечил формирование практически стехиометрической топливовоздушной смеси. Об этом свидетельствует отсутствие фазы догорания топлива после прохождения детонационной волны по объемному шланговому заряду (рис. 4).

Анализ изменения состояния травяного покрова на земной поверхности под воздействием взрыва шлангового заряда, проведенный путем оценки изменения массы растительного покрова на единице площади земной поверхности, показал, что степень изменения массы, рассчитанная по выражению (1), вблизи проекции оси заряда на земную поверхность достигает 0,05. То есть осуществляется практически полное удаление растительного покрова.



Рис. 4 – Разлет продуктов детонации и оболочки заряда

Было установлено, что основная масса оставшейся растительной массы состояла из мелко разорванных элементов растительности, упавших на земную поверхность после взрыва (рис. 5).



Рис. 5 – Вид земной поверхности после взрыва

Зависимость степени изменения массы при удалении от заряда определяется погонной энергией, сосредоточенной в заряде, и количеством зарядов (табл. 2). Но во всех случаях наблюдался общий характер формирования противопожарного разрыва взрывным спосо-

бом. Так, вблизи заряда степень изменения массы была максимальной с постепенным уменьшением степени изменения при удалении от оси заряда. На некотором расстоянии наблюдалось частичный обрыв травы с примятием растительного покрова. После этого наблюдается растительность, на которую не воздействовала достаточно интенсивная ударная волна, но покрытая кусками растительности, осевшей после взрыва. То есть, в этой области происходит возрастание количества растительной массы от исходной.

Следует отметить, что имеется погрешность расчета степени изменения массы на фиксированном расстоянии, так как при измерении массы растительного покрова после взрыва используются данные по скосу травы шириной 20 см, а затухание ударной волны вблизи заряда является не линейным.

Таблица 2
Результаты исследований степени изменения массы при удалении от одиночного заряда

Диаметр одиночного заряда	Степень изменения массы				
	при удалении от проекции оси заряда на расстояние, м				
	0	1	2	3	4
0,95	0,05	0,09	0,9	1,05	1
1,4	0,06	0,11	0,21	0,9	1,1
1,8	0,07	0,08	0,22	0,3	0,9

На основании полученных данных установим зависимость степени изменения массы от погонной мощности заряда и удаления от него. Перераспределением массы в результате взрыва пренебрежем, так как на данный процесс определяющее влияние оказывают погодные условия – ветер. Кроме этого, будем полагать, что если интенсивность ударной волны превышает некий порог, то происходит полный обрыв растительного покрова, что соответствует степени изменения массы, равной $\delta = 1$. А если интенсивность ударной волны снизилась ниже определенного порога, то $\delta = 0$. Поэтому степень изменения массы будем рассматривать в диапазоне от 0 до 1, то есть будем искать зависимость степени изменения массы от приведенной погонной энергии заряда $Q_{\text{пр}}$ и удаления от него r в виде:

$$\delta(Q_{\text{пр}}, r) = 1 - \Phi(-aQ_{\text{пр}}^n + b \cdot \ln(r)), \quad (2)$$

где значения коэффициентов a , b и n определяются на основании обработки экспериментальных данных, $\Phi(z)$ – нормальная функция распределения, имеющая вид:

$$\Phi(z) = \frac{1 + \operatorname{erf}(z/\sqrt{2})}{2}, \quad (3)$$

Применительно к проведенным экспериментальным исследованиям получим, что энергия объемных шланговых зарядов на погонный метр длины составила 3,04 МДж/м, 6,6 МДж/м и 10,9 МДж/м для зарядов диаметром 0,95 м, 1,4 м и 1,8 м, соответственно. Пользуясь экспериментальными данными (табл. 4.2), получим, что степень изменения массы вполне удовлетворительно аппроксимируется зависимостью:

$$\delta(Q_{\text{пог}}, r) = 1 - \Phi(-2Q_{\text{пог}}^{2/3} + 5 \cdot \ln(r)) \quad (4)$$

где приведенная погонная энергия заряда $Q_{\text{пр}}$ имеет размерность [МДж/м], расстояние от проекции оси заряда r имеет размерность [м].

Получаемые по данной зависимости кривые аппроксимации для различных по диаметру зарядов имеют вид (рис. 6).

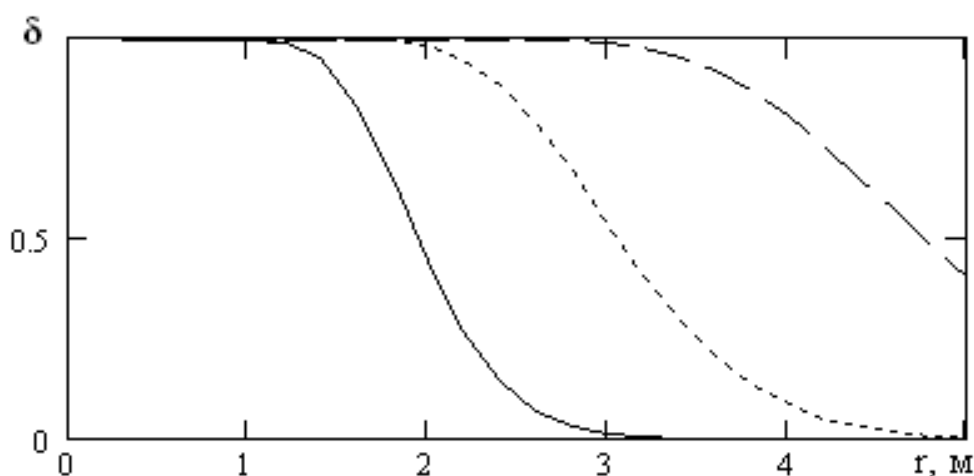


Рис. 6 – Зависимости степени изменения массы от удаления от проекции оси заряда для заряда диаметром 0,95 м (сплошная кривая), диаметром 1,4 м (точечная кривая) и 1,8 м (пунктирная кривая)

Выводы. Экспериментально подтверждено получение противопожарного разрыва с помощью ударного действия взрыва топливовоздушной смеси, формируемой в объемном шланговом заряде. На основании анализа изменения состояния травяного покрова на земной поверхности под действием взрыва получена эмпирическая зависимость степени изменения массы от удаления от проекции оси заряда для объемно-шланговых различных диаметров. В условиях проведенных исследований для зарядов диаметром от 0,95 м до 1,8 м ширина противопожарного разрыва составила от 2,5 м до 7 м.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рева Г.В. Метод розрахунку циліндричних відбивачів вибухових хвиль для гасіння лісових пожеж: Автореф. дис. канд. техн. Наук. – Донецьк, 2000. – 18с.

2. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. – М.: Наука, 1992. – 408с.

3. Разработка концепции новых способов и устройств для борьбы с верховыми лесными пожарами: - Отчет о НИР / Том. ун-т; Руководитель работы А.М. Гришин. – Томск, 1989. – 276 с.

4. Сиротенко А.Н. Создание детонационно-способной смеси в газовой струе с приложением для разминирования минных полей / А.Н Сиротенко, А.Н. Довбня, О.В. Стаховский, К.В.Корытченко // Механіка та машинобудування, Х.: НТУ ХПІ. – 2006. – №1. – С.166-177.

5. Серпухов А.В. Математическое моделирование процесса струйного формирования топливовоздушной смеси в неограниченном пространстве / А.В. Серпухов, О.В. Стаховский, К.В. Корытченко, С.А. Сладких, Ю.И. Кистерний // Механіка та машинобудування, Х.: НТУ ХПІ. – 2007. – №2. – С. 169-177.

6. Сиротенко А.М. Застосування бронетанкової техніки для розмінування мінних полів об'ємним вибухом / А.М Сиротенко, А.М. Довбня, О.В Стаховський., К.В Коритченко // Механіка та машинобудування, Х.: НТУ ХПІ. – 2006. – №1. – С.178-188.

7. Нечипорук Н.В. Математическое моделирование экологических процессов / Н.В. Нечипорук, Ю.А. Скоб, М.Л. Угрюмов. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т "ХАИ", 2007. – 89 с.

А.М. Сиротенко, Д.П. Дубінін, К.В. Коритченко

Експериментальне дослідження способу створення протипожежних розривів об'ємними шланговими зарядами

У роботі експериментально досліджувалася можливість отримання протипожежного розриву за допомогою ударної дії вибуху паливоповітряної суміші, що формується в об'ємному шланговому заряді. Проведено аналіз зміни стану трав'яного покриву на земній поверхні під дією вибуху. Оцінено вплив діаметру об'ємного шлангового заряду на ширину протипожежного розриву.

Ключові слова: протипожежний розрив, об'ємний шланговий заряд, вибухові речовини.

A.M. Sirotenko, D.P. Dubinin, K.V. Korytchenko

Experimental research of method of creation of fire-prevention breaks by volume hose charges

In-process possibility of receipt of fire-prevention break was experimentally probed by the shock action of explosion fuel of air mixture, formed in a by volume hose charge. The analysis of change of the state of soil-covering is conducted on an earthly surface under the action of explosion. Influence of diameter of by volume hose charge is appraised on the width of fire-prevention break.

Keywords: fire-prevention break, by volume hose charge, explosives.

УДК 614.84

*О.М. Соболев, докт. техн. наук, нач. каф., НУЦЗУ,**А.Г. Коссе, канд. техн. наук, доцент, НУЦЗУ,**В.В. Комяк, ад'юнкт, НУЦЗУ*

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИБОРУ ЗАСОБІВ І ШЛЯХІВ ЕВАКУАЦІЇ З БУДИНКІВ ПІДВИЩЕНОЇ ПОВЕРХОВОСТІ ПІД ЧАС ПОЖЕЖ

В роботі проведено огляд існуючих технічних засобів евакуації та здійснено загальну постановку задачі оптимізації вибору засобів і шляхів евакуації з будинків підвищеної поверховості під час пожеж. Досліджено особливості даної задачі.

Ключові слова: засоби евакуації, шляхи евакуації, будинки підвищеної поверховості.

Постановка проблеми. Сучасний стан розвитку суспільства характеризується прогресуючою урбанізацією, що призводить до концентрації бізнес-центрів, супермаркетів, престижних готелів, житлових будинків і культурних центрів на обмеженій міській території. Вартість одиниці площі цієї території постійно зростає, що призводить до необхідності будівництва будівель підвищеної поверховості, в яких, у більшості випадків, комплексно розміщуються бізнес-центри, супермаркети зі складами продукції, житлові приміщення і стоянки автомобілів. Разом з тим, будинки підвищеної поверховості характеризуються насиченістю вертикальними комунікаціями і енергетичним обладнанням, наявністю великої кількості горючих матеріалів у вигляді конструкцій, оздоблення, меблів, що збільшує ризик виникнення пожеж. Слід зазначити, що пожежі у будівлях підвищеної поверховості відрізняються своєю складністю та супроводжуються, як правило, масовою загибеллю людей. Таким чином, існує актуальна науково-прикладна проблема забезпечення безпеки людей у будинках підвищеної поверховості у випадку виникнення пожежі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Згідно п. 6.24 СНіП 21-01-97, у випадку пожежі для евакуації людей повинні бути використані сходові клітки, а не ліфти. Але при цьому існуючі норми передбачають однакову кількість сходових кліток як для двоповерхових, так і для 102-поверхових будинків. У цьому випадку, при евакуації з будинку підвищеної поверховості потік людей досягає щільності 7-8 чол./м² і більше, що може призвести до летальних випадків. Існують приклади використання ліфтів частиною людей для евакуації до

тих пір, поки вони функціонують [1]. Так, використовуючи ліфти при евакуації з будинків Всесвітнього торгового центру в Нью-Йорку 11 вересня 2001 р., вдалося врятуватися більше ніж 3000 чоловік.

У роботах [2,3] для евакуації населення з будинків підвищеної поверховості пропонується додатково використовувати вертольоти, рятувальні мотузки та механічні пристрої, що створені на основі альпіністського спорядження, рукави, навісні ліфти, парашути. При використанні вертольотів передбачаються, в основному, два варіанти виходу людей на рятувальні площадки, які розміщують на даху, або люди евакуюються з балконів і вікон за допомогою підвісної кабінки, що спускається з вертольота. Використання рятувальних мотузок і механічних пристроїв, створених на основі альпіністського спорядження, як правило, вимагає спеціальної підготовки. Використання рукавів і навісних ліфтів при розвитку надзвичайної ситуації (пожежі) може призвести до того, що люди потраплять під дію високих температур, шкідливих газів і т.д.

У роботі [2] пропонується також використовувати рятувальні вежі, що являють собою спорудження, які будуються поруч із будинками підвищеної поверховості на всю їхню висоту. Рятувальна вежа має власний фундамент, границі вогнестійкості стін і перекриттів, що відповідають REI 150, MO і REI 60, MO. Навколо осі спіралеподібно будується трубопровід-серпантин діаметром 1000 мм і кутом нахилу по горизонталі 30-35 градусів. Вихід у рятувальну вежу передбачається також з кожного поверху. У роботі [4] показано, що при проектуванні будинків підвищеної поверховості необхідно влаштовувати на кожному поверсі протипожежні зони безпеки як єдиний транспортно-комунікаційний вузол, вхід у який здійснюється через тамбуршлюз першого типу з підпором повітря в ньому. До складу такої зони повинні входити незадимлювальна сходова клітка, ліфтовий хол, ліфтова установка, евакуаційний перехід у сусідній будинок, якщо він є. Таке рішення дозволить здійснити евакуацію людей з будь-якої частини будинку підвищеної поверховості.

Державні будівельні норми ДБН В 2.2-24:2009 «Будинки і споруди. Проектування висотних житлових і громадських будинків» регламентують вимоги, в тому числі протипожежні, до об'ємнопланувальних, конструктивних і інженерних рішень, які повинні закладатися при проектуванні будівель підвищеної поверховості [5].

Норми поширюються на проектування нових житлових і громадських будинків з умовною висотою від 73,5 м до 100 м включно. Проектування громадських будинків з умовною висотою більше 100 м дозволяється виконувати згідно з індивідуальними технічними вимогами, які затверджує Мінрегіонбуд України, оскільки дані об'єкти розглядаються як об'єкти експериментального будівництва.

Об'ємно-планувальні рішення норм [5] включають: розділення

будівлі по вертикалі і горизонталі протипожежними перешкодами на протипожежні відсіки; обмеження висоти розташування приміщень з масовим перебуванням людей, а також виділення вказаних приміщень протипожежними перешкодами; відокремлення між собою протипожежними перешкодами приміщень різного призначення.

Нормами регламентується необхідність проводити розрахунки відповідності рівня пожежної безпеки людей вимогам ГОСТ 12.1.004, і проектувати варіанти систем управління евакуацією.

Таким чином, враховуючи вищевикладене, однією із задач, що сприятиме розв'язанню проблеми забезпечення безпеки людей у будинках підвищеної поверховості у випадку виникнення пожежі, є задача оптимізації вибору засобів та шляхів евакуації людей з будинків підвищеної поверховості.

Постановка задачі та її розв'язання. В даній роботі необхідно розглянути загальну постановку задачі оптимізації вибору засобів та шляхів евакуації людей з будинків підвищеної поверховості.

Нехай кількість засобів евакуації нараховує n видів (типів). Розглянемо будинок підвищеної поверховості у вигляді прямокутного паралелепіпеда S_0 . У даному будинку кількість людей на всіх поверхах, а також у приміщеннях одного поверху є різною. Інакше кажучи, область S_0 є неоднорідною з точки зору розглянутої характеристики.

До розміщення перерахованих вище засобів евакуації висувається низка обмежень, які для кожного із засобів визначають область припустимих розміщень D_k , $k = 1, 2, \dots, n$. Області припустимих розміщень можуть бути як неперервними, так і дискретними. Нехай кількість засобів евакуації k -того типу дорівнює n_k , при цьому їх параметри розміщення повинні бути обрані з відповідних областей припустимих розміщень $(x_{i_k}, y_{i_k}, z_{i_k}) \in D_k$, $i_k = 1, 2, \dots, n_k$, $k = 1, \dots, n$, $N = \sum_{k=1}^n n_k$. Для

кожного з N засобів необхідно визначити шлях евакуації L_{i_k} , виходячи із властивостей засобу евакуації, можливих небезпечних факторів пожеж на шляху евакуації.

Таким чином, загальна постановка задачі оптимізації вибору засобів та шляхів евакуації людей з будинків підвищеної поверховості має наступний вигляд:

$$\min_{W_1} N, \quad (1)$$

де W_1 :

$$\left(x_{i_k}, y_{i_k}, z_{i_k}\right) \in D_k, i_k = 1, 2, \dots, n_k, k = 1, \dots, n, N = \sum_{k=1}^n n_k ; (2)$$

$$S_i \cap D_k \neq \emptyset, i = 1, 2, \dots, N ; (3)$$

$$S_i \cup S_j = S_0, i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, N ; (4)$$

$$S_i \cap S_j = \emptyset ; (5)$$

$$\left(R^3 \setminus S_0\right) \cap S_i = \emptyset ; (6)$$

$$t_i(L_i) \leq t^* . (7)$$

Таким чином, необхідно розбити неоднорідну область S_0 (будинок) на мінімальну кількість N підобластей $S_i, i = 1, 2, \dots, N$, що являють собою області обслуговування i -ми евакуаційними засобами, з урахуванням обмежень на: належність евакуаційних засобів областям припустимих розміщень D_k (2); наявність елементів областей припустимих розміщень D_k у підобластях S_i (3); розбиття всієї неоднорідної області S_0 (4); взаємний неперетин підобластей S_i та S_j (5); належність підобластей S_i області S_0 (6); неперевикнення часу досягнення i -го засобу евакуації $t_i(L_i)$ заданого часу t^* (7).

Особливістю задачі (1)÷(7) є те, що під час виникнення пожежі необхідно визначити оптимальні шляхи евакуації $L_i, i = 1, 2, \dots, N$, з урахуванням часу досягнення критичної температури t_k , часу досягнення втрати видимості t_v , часу досягнення критичної концентрації кисню t_o , часу досягнення граничної концентрації токсичних продуктів горіння t_b .

Таким чином, виникає наступна оптимізаційна задача:

$$\min_{W_2} t_i(t_k(L_i), t_v(L_i), t_o(L_i), t_b(L_i)), i = 1, 2, \dots, N, (8)$$

де W_2 являє собою систему обмежень (2)÷(6).

Висновки. В даній роботі здійснено постановку задачі оптимізації вибору засобів та шляхів евакуації людей з будинків підвищеної поверховості. Формалізація обмежень даної задачі дозволить в подальшому розробити математичну модель та метод визначення раціональної кількості та місць розташування засобів евакуації, а також визначити оптимальні шляхи евакуації у випадку виникнення пожежі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Холщевников В.В. К вопросу безопасности использования лифтов при эвакуации из высотных зданий / В.В. Холщевников, Д.А. Самошин // Пожаровзрывобезопасность. - М., 2006. - Т. 15, №5. - С.45-47.

2. Бут В.А. Рятувальні вежі висотних будівель / В.А. Бут, І.Б. Федюк // Запобігти, врятувати, допомогти. Матеріали XIV науково-технічної конференції курсантів та студентів. - Харків: НУЦЗУ, 2010. - С.33-35.

3. Кашевник Б.Л. Проблемы спасения людей при чрезвычайных ситуациях в многоэтажных зданиях / Б.Л. Кашевник // Пожаровзрывобезопасность. - М., 2003. - №2. - С.34-38.

4. Ройтман В.М. Нормирование защиты высотных зданий от прогрессирующего разрушения при комбинированных особых воздействиях / В.М. Ройтман // Пожаровзрывобезопасность. - М., 2007. - Т.10, №2. - С.6-11.

5. ДБН В 2.2-24:2009 Будинки і споруди. Проектування висотних житлових і громадських будинків. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009.

А.Н. Соболев, А.Г. Коссе, В.В. Комяк

Постановка задачи оптимизации выбора средств и путей эвакуации из зданий повышенной этажности при пожарах

В работе приведен обзор существующих технических средств эвакуации и предложена общая постановка задачи оптимизации выбора средств и путей эвакуации из зданий повышенной этажности при пожарах. Исследованы особенности данной задачи.

Ключевые слова: средства эвакуации, пути эвакуации, здания повышенной этажности.

O.M. Sobol, A.G. Kosse, V.V. Komyak

A problem statement the optimization of choice devices and ways of evacuation from high-rise buildings in case of fire

In this work the review of technical devices of evacuation is given. A general problem statement the optimization of choice devices and ways of evacuation from high-rise buildings in case of fire is proposed. Features of the problem are investigated.

Key words: devices of evacuation, ways of evacuation, high-rise buildings.

*Е.Ю. Спирина-Смилка, м.н.с., ХНТУСА,
Р.А. Яковлева*, д.т.н., профессор., зав. кафедрой, ХНТУСА,
*Н.В. Саенко, к.т.н., доцент, ХНТУСА,
А.В. Довбыш, к.т.н., с.н.с., зав. лаб. ИЦ «Тест»,
Е.А. Рыбка, научный сотрудник, НУГЗУ*

ПОВЫШЕНИЕ ОГНЕЗАЩИТНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВСПУЧИВАЮЩИХСЯ ЭПОКСИДНЫХ СОСТАВОВ

(представлено д-ром техн. наук Андроновым В.А.)

Проведена сравнительная оценка огнезащитной эффективности по металлу и древесине разработанного состава с сертифицированными и ранее известными составами.

Ключевые слова: огнезащитные составы, эпоксидные композиции, ко-интеркалированные соединения графита, огнезащитная эффективность, огнестойкость, пожарная опасность.

Постановка проблемы. Огнезащита строительных конструкций играет важную роль в системе обеспечения пожарной безопасности разных объектов. Тонкослойные вспучивающиеся составы занимают особое место среди применяемых в настоящее время средств огнезащиты металлических и деревянных конструкций [1]. Согласно ДБН В.1.2-7:2008 [2] одной из основных характеристик пожарной безопасности зданий и сооружений является степень их огнестойкости. Проведенный анализ фактических пределов огнестойкости строительных конструкций различных типов показал, что наименьшую огнестойкость (до 15 минут) имеют металлические конструкции. Далее они теряют несущую способность и деформируются, что приводит к их обрушению.

Анализ последних исследований и публикаций. В литературе описаны различные методы определения огнестойкости [3, 4] однако они являются дорогостоящими и применяются для больших элементов металлических и деревянных конструкций, что требует значительного расхода материала. Поэтому в настоящее время эффективность средства огнезащиты определяют по огнезащитной эффективности на малогабаритных образцах [5]. Эпоксиполимерные материалы благодаря технологичности, высоким механическим, адгезионно-прочностным и антикоррозионным свойствам широко применяются в качестве основы для защитных покрытий металлических конструкций,

но вместе с тем имеют повышенную пожарную опасность. Ранее проведенными исследованиями установлено, что введение коинтеркалированных фосфорной и серной кислотами графитов в состав вспучивающихся эпоксидных составов позволяет снизить их пожарную опасность и увеличить термостойкость коксового остатка [6,7]. Все это в совокупности должно способствовать повышению огнезащитной эффективности вспучивающихся эпоксидных составов.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы являлось повышение огнезащитной эффективности вспучивающихся композиций на основе эпоксиполимеров путем введения в их состав коинтеркалированных фосфорной и серной кислотами графитов.

В качестве полимерной матрицы для получения вспучивающихся композиций использовали эпоксидный олигомер марки ЭД-20. Для отверждения при пониженных температурах использовали также бинарный отвердитель на основе УП-0633М и отвердителя аминифенольного типа марки АФ-2, в качестве модификатора применяли активный разбавитель марки Лапроксид 503. Основным антипиреном служил моноаммонийфосфат (МАФ) в виде аммофоса и он же является основным вспучивающим компонентом. Для повышения огнезащитной эффективности эпоксидных составов вводили коинтеркалированный графит, полученный в присутствии окислителей - персульфата калия (SP-пск) и бихромата калия (SP-бхк).

Огнезащитную эффективность вспучивающихся составов по металлу оценивали по ДСТУ-Н-П Б В.1.1-29:2010 [8]. В качестве основного критерия оценки огнезащитных свойств использовано время прогрева металлической поверхности образца до критической температуры (500 °С для стали) при тепловом воздействии на него со стороны огнезащитного покрытия в испытательной печи. Образцы представляли собой стальные пластины размером 230×230 мм и толщиной 5 мм с нанесенными на них огнезащитными покрытиями. Все исследуемые покрытия наносились толщиной 1 мм, 2 мм и 3 мм на образцы после удаления с них загрязнений и обезжиривания. С не обогреваемой стороны по центру стальной пластины устанавливалась термопара типа ТХА, а сама стальная пластина закрывалась теплоизоляционной базальтовой плитой Rockwool толщиной 100 мм и плотностью 120 кг/м³.

Определена также огнезащитная эффективность разработанных покрытий для древесины в соответствии с ГОСТ 16363–98 [9]. Сущность метода заключается в определении потери массы образцом древесины, обработанным огнезащитным покрытием при огневом испытании в условиях, благоприятствующих накоплению тепла.

Для определения огнезащитной эффективности по металлу пластины с нанесенными на них покрытиями устанавливали верти-

кально в испытательную печь. Изменение температуры в испытательной печи приведено на рис. 1.

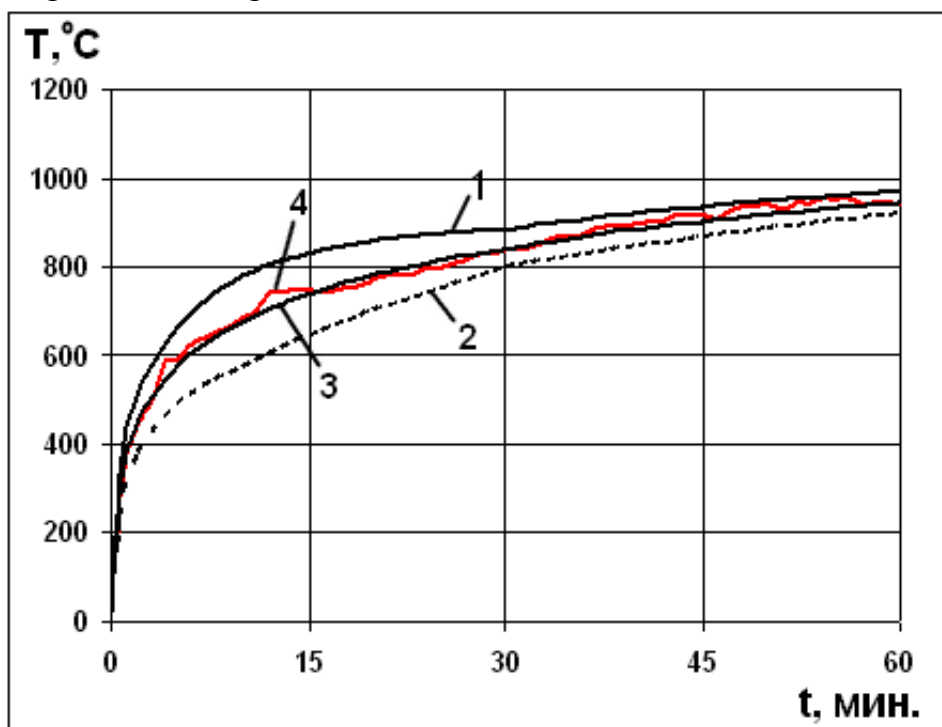


Рис. 1 – Изменение температуры в испытательной печи стандартной максимальной (1), стандартной минимальной (2), стандартной номинальной (3) и средней температуры в печи (4)

Полученная экспериментально температура в печи (график 4) находится между стандартной минимальной и максимальной и практически совпадает со стандартной номинальной, поэтому поправка на температуру не требуется.

Было исследовано влияние толщины эпоксидного состава на его огнезащитную эффективность. Для этого были испытаны образцы с покрытием, содержащим МАФ и ко-интеркалированный графит - SP-пск. Для сравнения разработанного вспучивающегося эпоксидного состава с сертифицированными составами, применяемыми для огнезащиты металлов на Украине, были проведены исследования огнезащитных свойств таких составов, как «Эндотерм ХТ-150» и «Протерм Стил». Данные составы наносились на образец толщиной 1 мм, без предварительной грунтовки поверхности, для получения результатов в одинаковых условиях. Полученные результаты приведены на рис. 2.

Как видно из полученных данных, при увеличении толщины разработанного покрытия, время прогрева образца до критической температуры 500°C возрастает с 39 до 50 минут, что соответствует группе R45 по огнестойкости. Согласно полученным данным (рис. 2) образец с огнезащитным составом «Протерм Стил» достиг критиче-

ской температуры за 31 минуту, а образец с составом «Эндотерм ХТ-150» - за 35 минут.

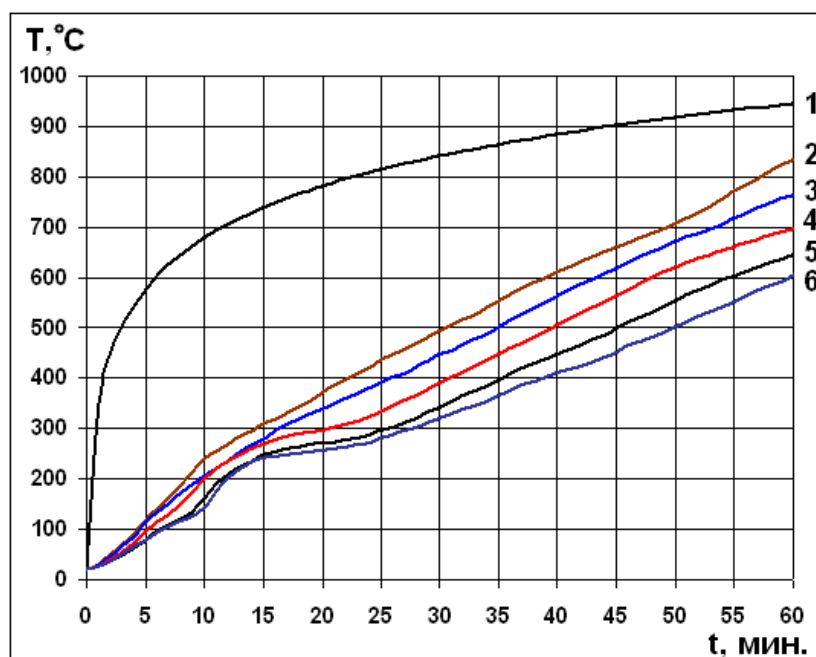


Рис. 2 – Изменение температуры в испытательной печи (1) и на необогреваемой стороне образца с покрытиями толщиной 1 мм «Протерм Стил» (2), «Эндотерм ХТ-150» (3) и разработанным составом ЭС:МАФ+SP-пск толщиной 1 мм (4), 2 мм (5) и 3 мм (6)

При этом вспученный состав «Протерм Стил» имел крайне низкую прочность и адгезию к подложке. В условиях замкнутого объема испытательной печи этот фактор не оказывает влияния на показатели огнезащитной эффективности, однако в условиях реального пожара такой пенококс под действием конвективных потоков без труда отслоится от металлического основания, что приведет к отсутствию огнезащиты.

Проведена сравнительная оценка эффективности огнезащиты для древесины разработанных вспучивающихся составов и некоторых известных покрытий (табл. 1).

Таблица 1
Огнезащитная эффективность покрытий для древесины

№	Покрытие	Потеря массы после испытаний, (dm), %	Группа огнезащитной эффективности по древесине
1	Эмаль ПФ-114	7,6	I
2	Паста ВПМ-2	5,45	I
3	ЭБЖАМО	16,25	II
4	Покрытие МАФ+ИГАК	7,32	I
5	ЭС:МАФ+SP-бхк	3,26	I
6	ЭС:МАФ+SP-пск	3,04	I

В результате испытаний определена потеря массы испытуемых образцов, содержащих МАФ+SP-бхк и МАФ+SP-пск которая составила в среднем 3,26% и 3,04% соответственно, что соответствует I группе огнезащитной эффективности для древесины. Прототипом наших двух составов является огнезащитное покрытие МАФ+ИГАК с добавкой аммофоса и интеркалированного графита. Как видно из таблицы, потеря массы разработанных покрытий после испытаний на огнезащитную эффективность в 2,2-2,4 раза меньше по сравнению с известной композицией ЭД-20+УПМ+МАФ+ИГАК.

Выводы. 1. Определено, что огнезащитная эффективность разработанного вспучивающегося состава толщиной 1-2 мм, нанесенного на металлическую пластину в режиме стандартного пожара составляет 39-45 мин.

2. Подтверждено, что огнезащитная эффективность разработанного вспучивающегося состава толщиной 1 мм на 11-21% больше, чем у аналогичных сертифицированных составов («Эндотерм ХТ-150» и «Протерм Стил»).

3. Определено, что рациональное сочетание наполнителей моноаммонийфосфата и ко-интеркалированных графитов, полученных в присутствии окислителей – бихромата и персульфата калия в огнезащитной композиции позволяет при нанесении на древесину получить I группу огнезащитной эффективности древесины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Страхов В. Огнезащита строительных конструкций: современные средства и методы оптимального проектирования / В. Страхов, А. Гаращенко // Строительные материалы. – 2002. – №6. – С.2-5.

2. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до споруд. Пожежна безпека: ДБН В.1.2-7:2008 – [Чинний від 2008-10-01]. – К: Мінрегіонбуд України, 2008. – 30 с. – (Національний стандарт України).

3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-2. Общие правила определения огнестойкости (EN 1993-1-2:2005, IDT): ТКП EN 1993-1-1-2009 – [Утвержден от 2009-12-10]. – Минск: Минстройархитектуры, 2010. – 71 с. – (Европейский стандарт).

4. Проектирование деревянных конструкций. Часть 1-2. Общие положения. Расчет с учетом огнестойкости (EN 1995-2:2004, IDT): ТКП EN 1995-2-2009 – [Утвержден от 2009-12-10]. – Минск: Минстройархитектуры, 2010. – 72 с. – (Европейский стандарт).

5. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Метод определения огнезащитной эффективности: ГОСТ Р 52295-2009. – [Введ. 01.01.2010]. – М.: Стандартинформ, 2010. – 10 с.

6. Яковлева Р.А. Влияние антипиренов на показатели пожарной опасности эпоксиполимерных материалов / Р.А. Яковлева, Е.Ю. Спирина-Смилка, Ю.В. Попов, Н.В. Саенко, С.В. Новак, О.Д. Гудович, Л.М. Шафран // Проблемы пожарной безопасности: сборник научных трудов. – 2011, вып. 29. – С 175-181.

7. Яковлева Р.А. Влияние коинтеркалированных соединений графита на показатели огнезащитных свойств вспучивающихся огнезащитных композиций / Р.А. Яковлева, Е.Ю. Спирина, Ю.В. Попов [и др.] // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, – 2010. – Вип. 59. – С. 259-263.

8. Захист від пожежі. Вогнезахисне оброблення будівельних конструкцій. Загальні вимоги та методи контролювання: ДСТУ-Н-П Б В.1.1-29:2010– [Чинний від 2011-09-01]. – К: Мінрегіонбуд України, 2011. – 14 с. – (Національний стандарт України)

9. Средства огнезащитные для древесины. Методы определения огнезащитных свойств: ГОСТ 16363 – 98.

О.Ю. Спирина-Смилка, Р.А. Яковлева, Н.В. Саенко, А.В. Довбиш, Є.О. Рибка

Підвищення вогнезахисної ефективності спучуваних епоксидних складів

Проведено порівняльну оцінку вогнезахисної ефективності за металом та деревиною розробленого складу та сертифікованих і раніше відомих складів.

Ключові слова: вогнезахисні склади, епоксидні композиції, коінтеркальовані сполуки графіту, вогнезахисна ефективність, вогнестійкість, пожежна безпека.

E. Spirina-Smilka, R. Jakovleva, N. Sajenko, A. Dovbish, Je Ribka.

Raising fireproof efficiency of upwarpings epoxy retardants.

The comparative estimation of fireproof efficiency on metal and wood of the developed retardants with the certificated and earlier known retardants is carrying out.

Keywords: fireproof retardants, epoxide compounds, co-intercalation graphite compounds, fireproof efficiency, fire resistance, fire danger.

*Д.Г. Трегубов, к.т.н., старший преподаватель, НУГЗУ,
А. Н. Лыман, студент, НУГЗУ*

АСПЕКТЫ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКЛОННОСТИ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ К ТЕПЛОВОМУ САМОВОЗГОРАНИЮ

(представлено д-ром техн. наук Соболев О.М.)

Рассмотрено состояние вопроса относительно способа выбора степени заполнения вращающегося барабана при испытании зернистых проб разной кажущейся плотности. Произведены обоснование и выбор способа отбора пробы для заполнения реакционной камеры барабанного типа в рамках методики определения склонности твердых материалов к тепловому самовозгоранию.

Ключевые слова: проба, масса, объем, самовозгорание

Постановка проблемы. В данной работе рассматриваются аспекты разрабатываемой методики определения склонности твердых материалов к тепловому самовозгоранию в условиях электроконтактного нагрева. Известна проблема, возникающая при исследовании зернистых материалов, по-разному решаемая в рамках различных методик, а именно – отбор пробы для испытания по массе или по объему. Решение этого вопроса серьезно влияет на результаты испытания и индивидуально для каждого случая, оно основано на анализе характера влияния на материал обширной группы факторов при испытании. Поэтому откликом на загрузку во вращающийся барабан зернистых материала по массе или по объему могут оказаться разные технологические свойства пробы. При определении склонности твердых материалов к тепловому самовозгоранию вращение необходимо для стабилизации и стандартизации теплового режима испытания пробы в целом, а также для обновления электрических контактов между частичками пробы при ее электронагреве. Необходимо создать для разных проб одинаковые условия окисления и теплообмена.

Анализ последних исследований и публикаций. В большинстве методик, связанных с исследованием зернистых материалов, принимают отбор пробы по массе. Это связано в первую очередь с тем, что массе определять проще и можно это сделать с требуемой степенью точности. В рассмотренных методиках [1, 2, 3, 4] при определении технологических физико-химических свойств доменного кокса, в том числе реакционной способности, принято отбирать пробу по массе. По методике [4] испытания кокса фракции +20 мм и массой 50 (25) кг на проч-

ность проводят в большом (малом) барабане (100 оборотов). В настоящее время производство нацелено на поддержание международного стандарта [2]: термомеханическим испытаниям подвергается кокс фракции 19 - 22 мм массой 200 г при скорости вращения 20 об·мин⁻¹. Электротермический метод УХИНа [1] предлагает испытывать коксы фракции 6 – 10 мм с массой пробы 200 г при вращении барабана со скоростью 30 об·мин⁻¹ и подаче воздуха. Такая обработка обеспечивает протекание окислительно-восстановительных реакций и истирание кокса. По умолчанию предполагается, что одинаковая масса проб будет создавать одинаковые условия для воздействия на разные пробы.

Нами предложен электротермический метод определения склонности твердых материалов к самовозгоранию [5]. Материал фракции 6 – 10 мм подвергается воздействию тепловых нагрузок при диссипации в электропроводном наполнителе электрической энергии и химическом взаимодействии с имеющимся в реакционной камере газообразным реагентом. Цилиндрический барабан вращается относительно своей оси, со скоростью 1 об·мин⁻¹, поэтому в ходе испытания истирание практически отсутствует.

Постановка задачи и ее решение. Для получения адекватных результатов анализа в описанной установке необходимо принять один из вариантов загрузки: 1) пробы с одинаковой массой, но вариативного объема; 2) пробы с одинаковым объемом, но вариативной массы. Испытание должно создавать идентичные условия воздействия на различные материалы для получения чувствительного отклика по рассматриваемому показателю.

Несмотря на то, что во всех проанализированных методиках определения прочности и реакционной способности зернистых материалов принята загрузка по массе, существует ряд соображений, которые говорят в пользу взятия пробы по объему. Поэтому в данной работе поставлена задача проанализировать влияние на итоговые показатели испытания во вращающемся барабане фиксированной массы и объема исходной пробы.

Сравним особенности испытания зернистых материалов во вращающейся камере в условиях микродугового воздействия и реакции с газообразным окислителем при отборе проб по массе и по объему.

1. *Количество частиц.* При взятии пробы данной фракции по объему достигается близкое количество частичек в разных опытах и, соответственно, близкая площадь поверхности механического и электроконтактного взаимодействия частиц. В то же время, рассев обработанной в барабане пробы показывает, что фракция < 1 мм на 90 % состоит из частиц < 0,5 мм [5]. Это говорит о том, что разрушение образца происходит именно по поверхности частиц. Поэтому близкая интенсивность действия механических, химических, микродуговых

факторов будет наблюдаться при испытании проб, имеющих стандартный объем.

2. *Степень заполнения барабана* определяет длину пути пересыпания засыпи при вращении барабана. На истирание частиц большее влияние оказывает не масса пробы, а длина пути пересыпания частиц. При этом незначительное расхождение значений масс частиц в пробах с разной плотностью материала незначительно влияет на величину истирающих и раскалывающих усилий. Учитывая диапазон кажущихся плотностей испытываемых твердых материалов, при загрузке по массе возможны варианты полупустой и переполненной реакционной камеры. Кроме этого, в полупустом барабане большее количество частиц участвуют в пересыпании.

3. *Температура испытания.* Разная степень заполнения барабана, при измерении температуры камеры по оси ее вращения, приводит к тому, что точка измерения температуры может оказаться: 1) ближе к центру загрузки (наименьшая средняя температура пробы), 2) на периферии, 3) в газовой среде над уровнем пробы (наибольшая средняя температура пробы). Кроме этого, вращение усредняет температуру в объеме зернистой пробы в барабане и приближает условия к изотермическим. Разный уровень заполнения барабана при отборе проб по массе определяет разную интенсивность перемешивания и, соответственно, разную степень приближения к изотермическому режиму в пробе.

4. *Площадь реакционной поверхности.* Для физико-химических процессов, протекающих в барабане, важно равенство внешней реакционной поверхности пробы, которая пропорциональна количеству частиц. Это достигается при испытании проб равного объема.

Таким образом, проба, взятая для испытания со стандартной массой, но с меньшей кажущейся плотностью, чем у эталонного материала, который обеспечивает заполнение 70 % барабана, будет иметь больший объем и большее количество частиц установленной фракции. Поэтому в ходе опыта будет наблюдаться более интенсивная реакция (чем в эталонной пробе той же реакционной способности) из-за увеличения реакционной поверхности; менее интенсивное истирание из-за меньшего пути осыпания внешнего слоя засыпи при вращении барабана; несколько меньшая средняя температура пробы из-за попадания осевой термопары ближе к центру засыпи, поэтому наблюдается недогрев пробы и уменьшение показателей реакционной способности и истираемости. То есть, загрузка проб по массе сближает показатели оценки качества разных проб и снижает чувствительность метода.

Проба, подготовленная со стандартным объемом и имеющая меньшую кажущуюся плотность, чем у эталонного материала, будет

иметь меньшую массу, но занимать тот же объем в барабане, иметь то же количество частиц, путь пересыпания и площадь реакционной поверхности. Поэтому при прочих одинаковых физико-химических свойствах с эталонным материалом будут наблюдаться одинаковые: интенсивность реакции, истирание, путь пересыпания частиц, средняя температура и градиент температур в пробе. Это определяет более высокую чувствительность испытания. Погрешность опыта при этом меньше и зависит от погрешности определения объема.

Необходимость загрузки по объему для получения адекватных и стабильных показателей проверена экспериментально. В выбранном режиме обработки провели определение степени газификации (как функции реакционной способности) эталонной и испытываемой проб металлургических коксов разной кажущейся плотности при разных массах проб и соответственно разного объема. Затем этот эксперимент провели для смеси указанных проб с теми же суммарными массами, что и для индивидуальных проб. При этом получили объем отличный от объема индивидуальных проб эталонного и испытываемого кокса. Т. е., испытанию подвергался тот же кокс с той же массой, но с другим объемом пробы. Исходили из предположения, что если условия испытания хорошо коррелируют с массой пробы, то результат опыта не изменится. В зависимости от того, какой механизм воздействия на пробу преобладает, степень газификации будет коррелировать или с исходной массой, или с объемом пробы в пределах линейной зависимости.

В ходе эксперимента были получены линейные зависимости для степени газификации индивидуальных проб данного кокса в диапазоне объемов $350 - 400 \text{ см}^3$ с соответствующей массой $200 - 235 \text{ г}$, рис. 1.

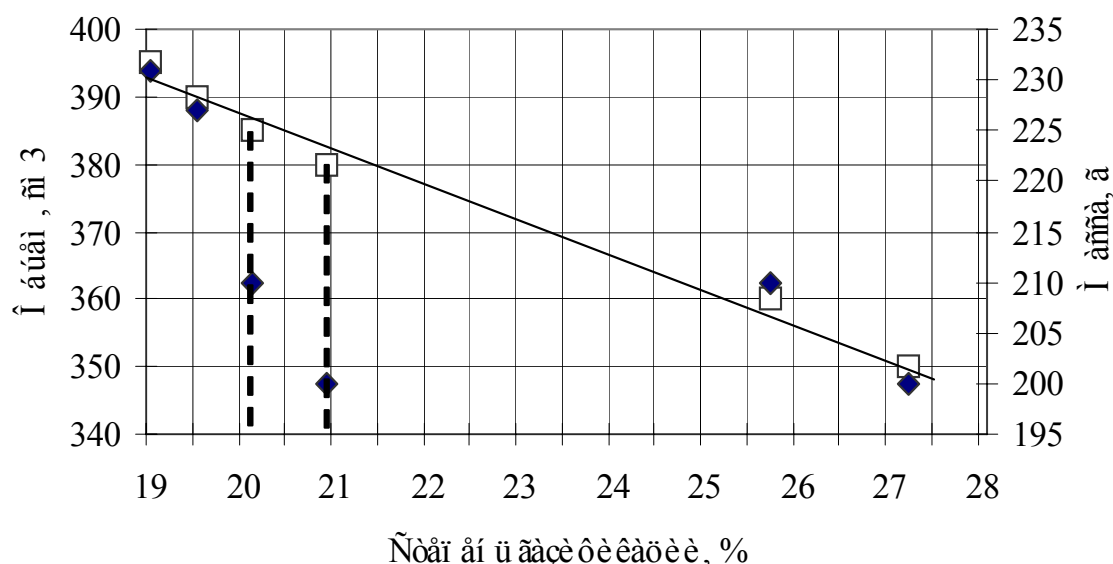


Рис. 1. Степень газификации при термообработке кокса: \blacklozenge - данные представленные по массе пробы, \square - данные представленные по объему пробы, пунктиром отмечены данные, полученные для смешанных проб.

Затем на графики наносились данные, полученные при обработке смешанных проб (рис.1., пунктир). Смешанные пробы при той же массе 200 и 210 г заняли больший объем – 380 и 385 см³. Степень газификации (реакционная способность), рассмотренная, как зависимость от объема смешанной пробы достаточно точно попадает в область линейных зависимостей с коэффициентом корреляции 0,99. Зависимость степени газификации от массы смешанной пробы имеет низкий коэффициент корреляции 0,54, и совершенно не идентифицируются с графиком качества исследуемого кокса. Это подтверждает принятое предположение о том, что реакционная способность материала в опыте пропорциональна объему пробы (и реакционной поверхности), и не зависит от массы пробы.

Таким образом, эксперимент подтвердил, что высокая сходимость результатов термоиспытания материалов на реакционную способность во вращающемся барабане достигается при отборе проб по объему.

Как показано выше, изменение объема пробы влияет на интенсивность как истирания, так и химической реакции. Это позволяет выбрать технологически выгодную степень заполнения барабана. В нашем случае истирание не нужно (поскольку у разных материалов разная степень истирания и это будет искажать результаты эксперимента), поэтому загрузка барабана должна проводиться предварительным определением объема пробы в количестве 90 % от рабочего объема барабана. Это обеспечит вспушивание пробы, а не истирание частиц. Большая степень заполнения может вызвать ухудшение теплораспределения в пробе и перегрев ее центральной части, которая и контролируется термопарой. Тогда средняя температура пробы будет заниженной.

Вывод. Чем шире диапазон кажущихся плотностей испытываемых материалов, тем больше погрешность анализа при испытании проб в барабане, взятых по массе. Экспериментально обоснован выбор метода отбора проб по объему, как обеспечивающий более близкие условия для определения реакционной способности зернистого материала во вращающемся барабане.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 1651546 СССР. Способ определения прочности кокса / Слободской С.А., Скляр М.Г.; заявитель УХИН, 18.09.91; опубл. 20.12.91, Бюл. №19.

2. Дубравски С. Автоматическое определение параметров доменного кокса ISO 18894/Дубравски С., Савицки Я.//Уголь. -2006. - №1. - С. 58 - 63.

3. Веселовский В.С. Физические основы самовозгорания углей и

руд / Веселовский В.С., Виноградова Л., Орлеанская Л. – М: Наука. – 1976. – 160 с.

4. Кокс з розміром кусків 20 мм. Визначення механічної міцності: ДСТУ 2206-93: 1993.- [Від 1994-07-01]. -К.: Держстандарт України, 1994. -12 с.

5. Трегубов Д.Г. Моделирование процессов теплового самовозгорания / Трегубов Д.Г., Бондарчук М.Г. // Проблемы пожарной безопасности. - Харьков: УГЗУ.-Вып.25. - 2009. – С. 185-189.

Д.Г.Трегубов, А.Н. Лиман

Аспекти методики визначення схильності твердих матеріалів до самозаймання

Розглянуто стан питання щодо способу вибору ступеня заповнення обертового барабана при випробуванні зернистих проб різної уявної щільності. Зроблено обґрунтування й вибір способу відбору проби для заповнення реакційної камери барабанного типу в рамках методики визначення схильності твердих матеріалів до теплового самозаймання.

Ключові слова: проба, маса, об'єм, самозаймання.

D.G. Tregubov , A. N. Liman

Aspects of the methodology for determining the propensity to spontaneous combustion of solid materials

The state of the question concerning the method of choice for the degree-filled rotating drum test samples of different grain apparent density. Made the rationale and choice of sampling method for filling a reaction chamber within the drum-type methodology for determining the tendency of solids to the heat spontaneous combustion.

Keywords: test, weight, capacity, spontaneous combustion.

*Н.Н. Удянский, к.т.н., доцент, начальник факультета, НУГЗУ,
А.Г. Кутявин, старший преподаватель, НУГЗУ*

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ КРИТИЧЕСКОЙ
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПОЖАРА ($\tau_{\text{крит}}$) ДЛЯ ПОМЕЩЕНИЙ,
В КОТОРЫХ ПРИМЕНЯЮТСЯ ЛВЖ И ГЖ С
КОЭФФИЦИЕНТОМ ДЫМООБРАЗОВАНИЯ $D_m > 280 \dot{V}_i^2 / \dot{e}_{\text{д}}$**

(представлено д-ром техн. наук Комяк В.М.)

Представлена методика расчета критической продолжительности пожара для помещений в которых применяются ЛВЖ и ГЖ с коэффициентом дымообразования $D_m > 280 \dot{V}_i^2 / \dot{e}_{\text{д}}$.

Ключевые слова: рекомендации, критическая продолжительность пожара.

Постановка проблемы. В современных строительных нормативно-технических документах стало больше внимания уделяться вопросам обеспечения безопасности людей при возникновении пожаров в зданиях. В соответствии нормативным документом в зданиях должны быть предусмотрены конструктивные, объемно-планировочные и инженерно-технические решения, обеспечивающие в первую очередь возможность эвакуации людей до наступления угрозы их жизни и здоровью вследствие воздействия опасных факторов пожара. Однако ряд вопросов, касающихся необходимого времени эвакуации людей в случае пожара в нормативных документах проработан недостаточно из-за отсутствия научно-обоснованных методик расчета. В первую очередь это относится к процессу задымления помещения при пожаре.

Важнейшей составляющей частью системы безопасности зданий и сооружений является система обеспечения безопасной эвакуации людей в экстремальных случаях и, в частности, при возникновении пожара. К сожалению, эта проблема до конца не решена.

Необходимое время эвакуации людей в соответствии с государственным стандартом определяется как произведение критической продолжительности пожара (времени достижения опасных факторов пожара предельно допустимых значений) на коэффициент безопасности, равный 0,8.

Анализ последних исследований и публикаций. Проектирование современных существующих противопожарных средств делает попытку решить задачи возможно более раннего обнаружения пожара, автоматического его тушения, оповещения, необходимого пере-

ключения технических средств систем вентиляции и включения противодымной защиты.

Здание считается незадымляемым, если во всех помещениях, за исключением очага пожара, во время пожара значения опасных факторов пожара не достигают предельно допустимых.

Основываясь на анализе последних исследований и публикаций в статье предлагается методика расчета критической продолжительности пожара для помещений в которых применяется ЛВЖ и ГЖ с коэффициентом дымообразования $D_m > 280 \dot{V}_i \dot{V}^2 / \dot{e} \dot{a}$.

Постановка задачи и её решение. Настоящие рекомендации могут применяться при разработке объемнопланировочных и технических решений производственных и складских помещений, в которых применяются или хранятся легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, а также при экспертизе проектов.

1. Определяется площадь растекания жидкости (выбирается аппарат с максимальной емкостью):

$$F = V \cdot ctg \alpha \sqrt{\frac{\rho \cdot g}{\zeta}} K_i \quad (1)$$

где: V - вместимость емкости, \dot{V}^3 ; α - угол смачиваемости поверхности пола разливаемой жидкостью; g - ускорение силы тяжести, \dot{V} / \dot{n}^2 ; ρ - плотность жидкости, $\dot{e} \dot{a} / \dot{V}^3$; ζ - коэффициент поверхностного натяжения жидкости; \hat{E}_i - коэффициент состояния поверхности, определяющий соотношение фактического радиуса растекания по реальной поверхности и радиуса растекания по идеальной поверхности (см. табл.).

Таблица 1
Значения коэффициента состояния поверхности \hat{E}_i .

Поверхность	\hat{E}_i
Грунт	0,9
Метлахская плитка	0,9
Железобетонная плита	1,1
Асфальт	1,1
Бетон (с наполнителем из мраморной крошки)	0,5

2. В расчете используется понятие критической высоты ($\dot{I}_{\dot{e} \dot{\delta}}$) - минимальной высоты от уровня пола, на которой в данный момент времени показатель ослабления света дымом во время пожара достигает критического значения ($0,46 \frac{1}{\dot{V}_i}$):

$$\dot{I}_{\dot{e} \dot{\delta}} = \dot{I}_{i \zeta} + \dot{I}_{\dot{o}} \quad (2)$$

где : $\dot{I}_{i\zeta}$ - высота незадымляемой зоны от уровня пола, м; \dot{I}_{δ} - расстояние от уровня незадымляемой зоны до \dot{I}_{δ} , м.

3. Принимается:

$$\dot{I}_{i\zeta(0)} = h_{\delta\zeta} \quad (3)$$

где : $h_{\delta\zeta}$ - высота рабочей зоны (если в помещении отсутствуют рабочие площадки, на которых находятся люди, $h_{\delta\zeta}$ принимается равной 1,7 м – среднему росту человека).

4. Определяется время опускания слоя дыма $\tau_{(i)}$ до уровня

$H_{i\zeta(i)}$ при $i=0$:

$$\tau_{(i)} = \frac{1}{0.883 - 0.737 \left(\frac{H_{i\zeta}}{\dot{I}_{i\hat{i}\hat{i}}} \right)} \cdot \frac{31,366 \cdot S_{i\hat{i}\hat{i}}}{\left(Q_i^{\delta\hat{a}\hat{a}} \cdot n \cdot F \right)^{1/3}} \cdot \left[\frac{1}{\left(H_{i\zeta(i)} + 1,918\sqrt{F} \right)^{2/3}} - \frac{1}{\left(\dot{I}_{i\hat{i}\hat{i}} + 1,918\sqrt{F} \right)^{2/3}} \right]$$

где : $\dot{I}_{i\hat{i}\hat{i}}$ - высота помещения, м; $S_{i\hat{i}\hat{i}}$ - площадь пола помещения, м²; F - площадь пожара (площадь растекания жидкости), м²; $Q_i^{\delta\hat{a}\hat{a}}$ - низшая теплота горения жидкости, кДж/кг; n - удельная массовая скорость выгорания жидкости, кг/м²·с;

5. Определяются значения $\dot{I}_{\delta(i)}$ и $\dot{I}_{\delta(0)}$, на момент времени $\tau_{(i)}$, $i=0$:

$$\dot{I}_{\delta(i)} = H_{\delta(i)} - H_{i\zeta(i)} \quad (5)$$

$$H_{\delta(i)} = e^b \quad (6)$$

где:

$$b = 1,25 \cdot \ln \left(\frac{0,46 \cdot S_{i\hat{i}\hat{i}} \cdot \left(\dot{I}_{i\hat{i}\hat{i}} - \dot{I}_{i\zeta(i)} \right)^{1,8}}{1,271 \cdot D_m \cdot F \cdot n \cdot \tau_{(i)}} - \frac{0,054 \cdot \left(\dot{I}_{i\hat{i}\hat{i}} - \dot{I}_{i\zeta(i)} \right)^{0,8}}{1,271} \right) \quad (7)$$

где : D_m - коэффициент дымообразования жидкости, м²/кг.

6. Сравнивается величина $\dot{I}_{\delta(i)}$ при $i=0$ и $h_{\delta\zeta}$. Если разность между ними меньше 0,01 м, расчет прекращается.

Если разность больше 0,01 м, расчет продолжается: уменьшается $\dot{I}_{i\zeta(0)}$ на величину $\dot{I}_{\delta(0)}$:

$$\dot{I}_{i\zeta(1)} = \dot{I}_{i\zeta(0)} - \dot{I}_{\delta(0)} \quad (8)$$

По формуле (6) определяется время опускания слоя дыма $\tau_{(i)}$ до уровня $\dot{I}_{\zeta(i)}$ при $i=1$. По формуле (8) и (2) определяются значения $\dot{I}_{\varepsilon\delta(i)}$ и $\dot{I}_{\delta(i)}$, на момент времени $\tau_{(i)}$ $i=1$. Далее руководствуясь пунктом 6, расчет прекращается или продолжается до тех пор, пока разность между $\dot{I}_{\varepsilon\delta(i)}$ и $h_{\delta\zeta}$ при $i=n$ не будет меньше 0,01 м. Окончательное значение τ , полученное в ходе расчета, является $\tau_{\varepsilon\delta}$.

Выводы. Предложенная методика расчета критической продолжительности пожара для помещений в которых применяется ЛВЖ и ГЖ с коэффициентом дымообразования $D_m \dot{V} i^2 / \varepsilon \dot{a}$ может применяться при разработке объёмно-планировочных и технических решений производственных и складских помещений в которых применяются или хранятся ЛВЖ или ГЖ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ландышев Н.В. Исследование задымления помещений при пожаре при горении ЛВЖ и ГЖ // Научно техническое обеспечение противопожарных и аварийно спасательных работ – М.: ВНИИПО, 1993.
2. Горшков В.И. Расчет и экспериментальное определение скорости выгорания горючих жидкостей (методические рекомендации). / Горшков В.И., Гурьянова Н.Н. – М.: ВНИИПО, 1985.
3. Есин В.М. Исследование распространения продуктов горения по зданию при пожаре // Пожаровзрывоопасность. – М.: Пожнаука, 2000. - №3. - С. 35-41

М.М. Удянский, А.Г. Кутявін

Рекомендації по розрахунку критичної тривалості пожежі ($\tau_{\varepsilon\delta}$) для приміщень в яких застосовуються ЛЗР або ЗР з коефіцієнтом димоутворення $D_m \dot{V} i^2 / \varepsilon \dot{a}$.

Представлена методика розрахунку критичної тривалості пожежі ($\tau_{\varepsilon\delta}$) для приміщень в яких застосовуються ЛЗР або ЗР з коефіцієнтом димоутворення $D_m \dot{V} i^2 / \varepsilon \dot{a}$.

Ключові слова: рекомендації, критична тривалість пожежі.

N.N. Udyanskiy, A.G. Kutyavin

Recommendations for calculating the critical duration of fires (τ_{cr}) for premises where applicable EIL or IL with odds burns $D_m \dot{V} i^2 / k$.

Represented by the method of calculation of the critical duration of fires (τ_{cr}) for premises where applicable EIL or IL with odds burns $D_m \dot{V} i^2 / k$.

Keywords: recommendations, the critical duration of fires.

А.А. Чернуха, преподаватель, НУГЗУ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ ВСПУЧИВАЮЩИХСЯ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ДРЕВЕСИНЫ

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

Представлен способ экспериментального исследования температуры поверхности древесины, под огнезащитным покрытием при огневом воздействии. Построены кривые изменения выше указанных температур для органического (Эндотерм ХТ-150) и неорганического (СК-1) покрытий.

Ключевые слова: температура, термодеструкция, ксерогель, огнезащитное покрытие.

Постановка проблемы. Древесина остаётся одним из наиболее распространённых конструкционных материалов, используемым в строительстве. Наряду с достоинствами, выгодно отличающими ее от других строительных материалов, она обладает и недостатками, главными из которых являются легкая воспламеняемость и горючесть.

Нормативные документы требуют применения огнезащиты для деревянных строительных конструкций. В частности в домах деревянные элементы чердачных покрытий должны обрабатываться средствами огнезащиты, обеспечивающими 1 группу огнезащитной эффективности согласно ГОСТ [1]. Для этих целей в настоящее время используют обработку огнезащитными покрытиями и пропитку специальными составами.

Настоящий стандарт распространяется на средства огнезащитные для древесины и устанавливает классификационный метод определения огнезащитных свойств. Сущность метода заключается в определении потери массы древесины, обработанной испытываемыми покрытиями или пропиточными составами [1].

Наиболее распространёнными огнезащитными покрытиями для древесины являются краски, лаки, обмазки и штукатурки. В качестве пропиток древесины используют растворы антипиренов в комбинации с веществами обеспечивающими, биозащиту древесины.

Анализ последних исследований и публикаций. Ранее для огнезащиты древесины были предложены гелеобразующие огнетушащие составы (СК-1). Они представляют собой два отдельно хранимых и одновременно подаваемых состава. Первый состав пред-

ставляет собой раствор гелеобразующего компонента, второй состав – раствор катализатора гелеобразования. При одновременной подаче двух растворов, они смешиваются на защищаемой поверхности. Между компонентами растворов происходит взаимодействие, приводящее к образованию стойкого геля. После высыхания образуется слой ксерогеля, который имеет высокие огнезащитные свойства [2]. Высокое огнезащитное действие таких слоёв обусловлено их низкой теплопроводностью, наличием в составе антипиренов и вспучиванием при нагревании. Таким образом огнезащитные покрытия на основе гелеобразующих составов одновременно действуют, как обмазки (штукатурки) так и как пропитки.

Одним из сертифицированных в Украине, наиболее используемым органическим покрытием для огнезащиты древесины является Эндотерм ХТ-150.

Постановка задачи и её решение. При огнезащите древесины необходимо обеспечить необходимое и достаточное время до достижения защищаемой поверхностью температуры выделения горючих продуктов термодеструкции. Задачей является создание способа исследования температуры защищаемой поверхности, исследование температуры защищаемой поверхности древесины при воздействии открытого пламени. Объектом исследований являются органические и неорганические вспучивающиеся огнезащитные составы.

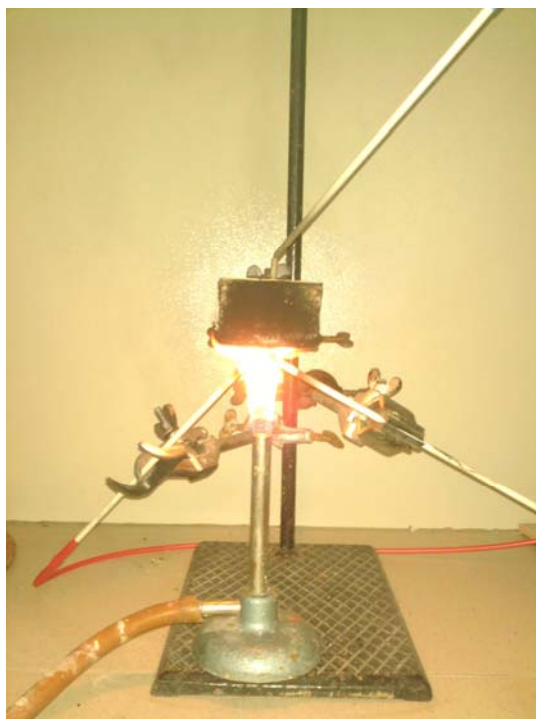


Рис. 1 – Установка для измерения температур защищаемой поверхности, поверхности покрытия и источника тепла

Для измерения температуры защищаемой поверхности, внешней поверхности покрытия и источника тепла (пламени), была создана установка, представленная на рис. 1.

Для исследований использовались образцы, приготовленные и покрытые огнезащитными составами согласно [1]. Покрытие СК-1 [4] наносилось слоем 1,5 мм. Эндотерм ХТ-150 наносился согласно инструкции его применения.

Установка состоит из трёх термопар, лабораторного комплекса ITM Labs. В отверстие в образце помещалась термопара 1 так, чтоб сплав находился в непосредственном контакте с покрытием, для измерения температуры защищаемой поверхности. Сплав термопары 2 находился во внешнем слое покрытия. Термопара 2 крепилась на подвижном шарнире для компенсации перемещения наружного слоя покрытия при вспучивании. Термопара 3, для измерения температуры источника тепла, находилась непосредственно в пламени. Каждое измерения проводилось на трёх образцах с последующим выводом усреднённых значений в виде кривых рис. 2, рис. 3.

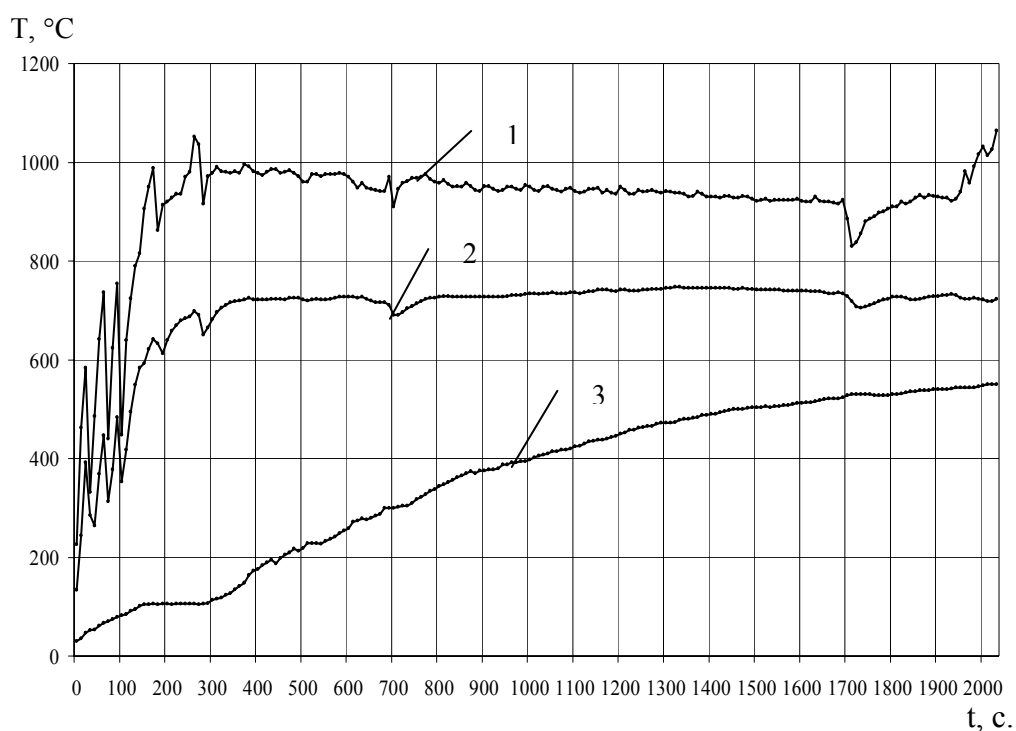


Рис. 2 – Кривые температур для образца обработанного СК-1: 1 – температура источника тепла, 2 – температура поверхности покрытия, 3 – температура защищаемой поверхности древесины

Известно, что критическая температура для древесины с точки зрения её пожарной опасности 200-250 °С. При этой температуре происходит термодеструкция древесины с выделением горючих продуктов.

На рис. 2, 3 видно, что для органического покрытия Эндотерм ХТ-150 защищаемая поверхность нагревается быстрее чем при использовании неорганического покрытия СК-1. В первом случае время нагрева составило порядка 8 мин., во втором – менее 5 мин.

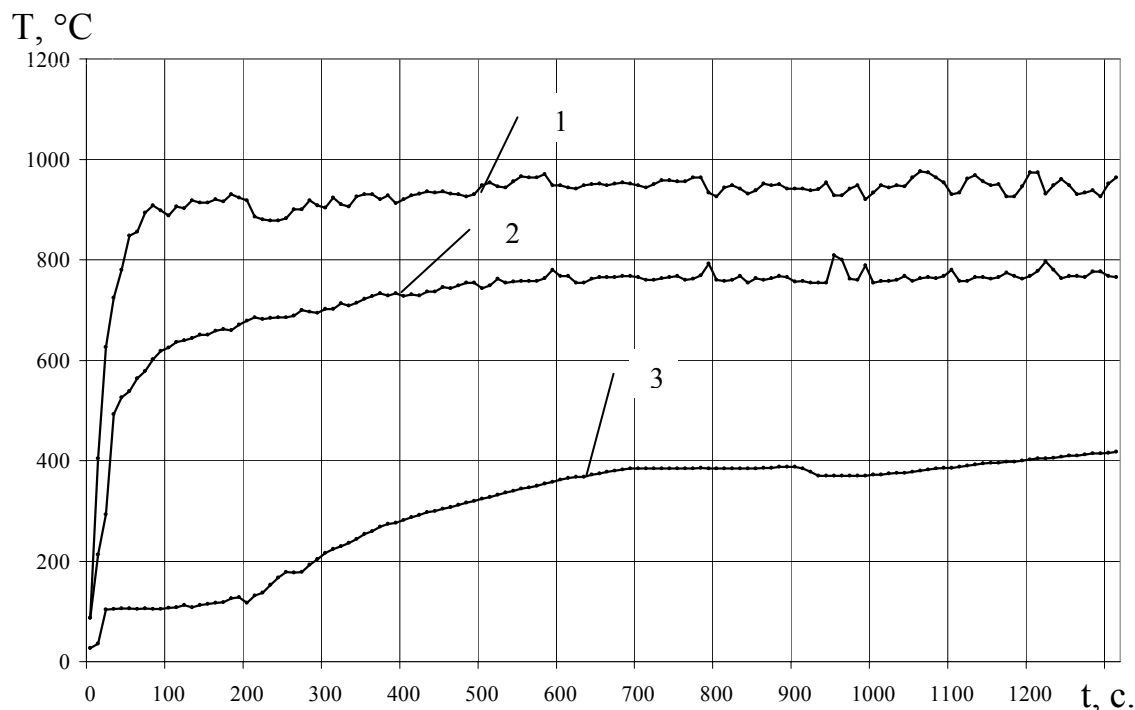


Рис. 3 – Кривые температур для образца обработанного Эндотерм ХТ-150: 1 – температура источника тепла, 2 – температура поверхности покрытия, 3 – температура защищаемой поверхности древесины

Вывод. Доказано, что неорганические вспучивающиеся покрытия более эффективны для огнезащиты древесины чем органические. Ксерогелевое покрытие СК-1 на основе силиката на 50% дольше защищало поверхность древесины от наступления критической температуры чем сертифицированное в Украине огнезащитное покрытие Эндотерм ХТ-150.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 16363-98. Средства огнезащитные для древесины. Методы определения огнезащитных свойств. – Взам. ГОСТ 16363-76; Введ. 07.01.99. – Киев: Издательство стандартов, 2000. – 8 с.
2. Кіреєв О.О. Вогнезахисні властивості силікатних гелуетворюючих систем // Науковий вісник будівництва. – Вип. 37. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2006. – С. 188-192.
3. Жартовський В. М. Профілактика горіння целюлозовмісних матеріалів. Теорія та практика / В. М. Жартовський, Ю. В. Цапко. –

Київ: Наукова думка, 2006.- 248с.

4. Айлер Р. Химия кремнезёма. Ч.1: Пер. с нем. – М.: Химия, 1982. – 386 с.

5. Чернуха А.А. Влияние состава и условий нанесения на целостность огнезащитного ксерогелевого покрытия / Чернуха А.А., Киреев А.А., Тарасова Г.В.// Проблемы пожарной безопасности. – вып. 21, 2007. – С. 292-296.

6. Киреев А.А. Термогравиметрические исследования огнетушащих и огнезащитных гелей // Проблемы пожарной безопасности. – вып. 20, 2006. – С. 81-85.

А.А. Чернуха

Експериментальне дослідження температуропровідності вогнезахисних покриттів, що вспучуються.

Розглянута гігроскопічність вогнезахисного покриття на основі ксерогеля СК-1, як визначальна властивість для встановлення області застосування. Отримані результати показали, що дане покриття застосовне в сухих, провітрюваних приміщеннях..

Ключові слова: вогнезахист, вогнезахисна ефективність, вогнезахисне покриття, ксерогель, гігроскопічність, експериментальні дослідження.

A. A. Chernuha

Definition of conditions of use fireproof covering on the basis of gel

Hygroscopicity of a fireproof covering on a basis gel СК-1, as defining property for a scope establishment is considered. The received results have shown that the given covering is applicable in dry, aired premises.

Keywords: fireproof, fireproof efficiency, a fireproof covering, gel, hygroscopicity, experimental researches.

В.В. Чигрин, ад'юнкт, НУЦЗУ

ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ РОБОТІ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ

(представлено д-ром техн. наук Ларіним О.М.)

В статті розглядається питання виникнення дисбалансу робочого колеса відцентрового пожежного насосу в результаті потрапляння сторонніх предметів в його проточну частину.

Ключові слова: відцентровий пожежний насос, дисбаланс робочого колеса, пожежний гідрант, всмоктувальний патрубок.

Постановка проблеми. Ефективність роботи пожежних і рятувальних підрозділів Міністерства надзвичайних ситуацій України (МНС) в значній мірі залежить від стану готовності пожежно-технічного озброєння. Основним тактичним підрозділом в МНС є відділення на пожежному автомобілі з встановленим на ньому відцентровим насосом. Однією з причин передчасного виходу відцентрового пожежного насоса з ладу при гасінні пожежі можна назвати вібрацію насосу, що виникає в результаті дисбалансу робочого колеса. Він виникає при попаданні сторонніх предметів в проточну частину насосу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [1] була розглянута дана проблема, але вібрація насосу виникала внаслідок дисбалансу приводу електродвигуна (замикання обмотки) чи руйнації фундаменту. Розглянуто стаціонарні відцентрові насоси, що використовувалися для перекачки нафтопродуктів на великих підприємствах, з приводом від електродвигуна. В роботі не розглядалися варіанти потрапляння сторонніх предметів в проточну частину насосу та як наслідок виникнення дисбалансу робочого колеса.

Постановка завдання та його вирішення. Метою роботи є визначення причини потрапляння різноманітних предметів в проточну частину відцентрового пожежного насоса, що приведе до дисбалансу робочого колеса.

На даний момент в Україні система водопостачання в цілому знаходиться в задовільному стані. Але, як ми знаємо, обладнання та комунікації застарілі і потребують заміни на нові. У зв'язку з цим, відбувається велика кількість розгерметизацій трубопроводів системи водопостачання, що в подальшому призводить до потрапляння сторонніх предметів в середину трубопроводу. Зазвичай ними являються каміння, гравій, цегла, шматки заліза і інше. Термін служби більшості трубопроводів уже давно скінчився. Внаслідок цього в трубопроводах утворюються отвори через які і потрапляють сторонні предмети в систему водопостачання.

Аналіз існуючих методів очистки води показав, що потраплян-

ня гравію, цегли та інших сторонніх предметів до водопровідної системи при дотриманні технологічного процесу неможливо. Це може виникнути лише при порушенні технологічного процесу очистки води.

Отже можна зробити висновок, що сторонні предмети можуть потрапляти в водопровідну систему внаслідок її руйнації або розгерметизації.

Більше 90% пожеж [2], які виникають в містах гасяться шляхом забору та подачі води при установці пожежного автомобіля на пожежний гідрант. Вони встановлені на трубопроводах міської системи водопостачання. Під час забору води з пожежного гідранта порожнина пожежного насоса не захищена, як це відбувається при заборі води з водоймищ. При заборі води з водоймища в кінці всмоктувальної лінії використовується всмоктувальна сітка конструкцією якої передбачається захист порожнини всмоктувальної лінії від потраплянь всередину сторонніх предметів. На пожежні гідранти встановлюється пожежна колонка, конструкцією якої не передбачено захист проточної частини. Внаслідок цього відбувається потрапляння сторонніх предметів, які знаходяться в системі водопостачання через пожежний гідрант та пожежну колонку в порожнину насоса.

Також причинами потрапляння сторонніх предметів в корпус пожежного гідранта можуть бути:

- нещільне закриття кульового клапана пожежного гідранта через несправність гумової прокладки;
- потрапляння піску, дрібних каменів між прокладкою і сідлом клапана пожежного гідранта;
- відсутність захисної кришки пожежного гідранта;
- засмічення колодязя, де розміщений пожежний гідрант.

Було проведено статистичний аналіз в пожежних частинах міста Харкова, на факт наявності сторонніх предметів в порожнині пожежних насосів. Предметами, що були виявлені в порожнині насосу були: каміння, куски метала, куски деревини тощо. Аналіз показав що найчастіше в корпусі насосу знаходять каміння щебеню та, в поодиноких випадках, сталеві болти з хвилерізів пожежної цистерни. Щебінь є найбільш небезпечним предметом, який викликає дисбаланс робочого колеса.

Згідно [3] щебінь має 8 фракцій, які враховують різні його розміри: 1) від 3 мм до 8 мм (євро щебінь); 2) від 5 до 10 мм; 3) від 10 до 20 мм; 4) від 5 до 20 мм; 5) від 20 до 40 мм; 6) від 25 до 60 мм; 7) від 20 до 70 мм; 8) від 20 до 70 мм.

Було проведено дослідження з метою визначення фракції щебеню, що потрапляє до порожнини насосу. Дослідження показали, що частіше всього ним є щебінь 3-ї, 5-ї та 6-ї фракції. Згідно [4] хід клапана пожежного гідранта становить 30 мм, що ще раз підтверджує, вибір 3-ї та 5-ї фракції розміру щебеню. Зробивши вибірку ще-

беню з 1000 каменів даних фракцій було визначено, який саме розмір та масу має щєбінь, що найчастіше потрапляє та застряє в робочому колесі насоса (рис. 1 та 2). З діаграм видно, що розмір щєбеню від 27 до 30 мм та середньою масою 11г має найбільшу вірогідність потрапляння і заклинювання в робочому колесі пожежного насоса. Форма щєбеню різноманітна, але вона не перевищує висоту ходу клапана пожежного гідранта та товщину пластмасової прокладки, яка знаходиться в основі пожежної колонки.

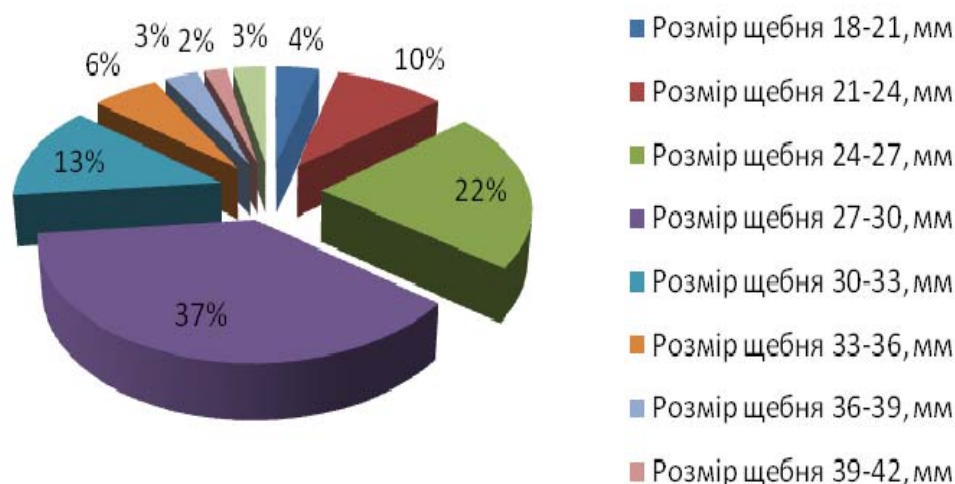


Рис.1 – Розподіл щєбеню за розмірами (при виборці із 1000 каменів)

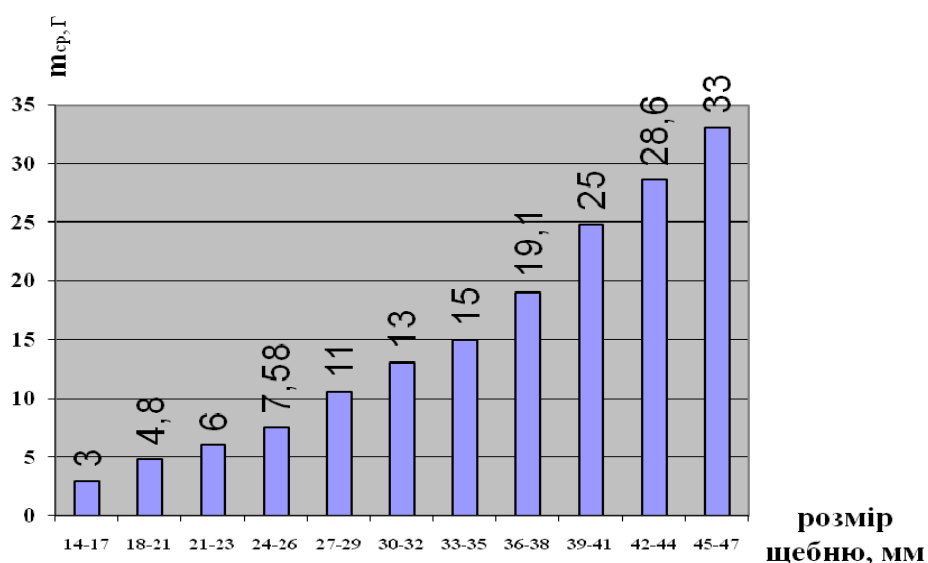


Рис.2 – Середня маса щєбеню в залежності від його розміру

Найбільш небезпечними з точки зору працездатності відцентрового насосу є щєбінь розміром від 14 до 45 мм. Оскільки до 14 мм щєбінь буде рухатись з потоком води по рукавній лінії і безпосередньо затримуватися в пожежному стволі, що приведе до відсутності подачі води на гасіння пожежі. Але це ні як не вплине на роботу насоса.

Щєбінь розміром більше 45 мм буде потрапляти лише до всмо-

ктувального патрубку і зупиняться перед робочим колесом і безпосередньо потрапляти в середину робочого колеса не буде тому, що вхідний отвір в робоче колесо має висоту 45 мм. Значно гірша ситуація, коли щебінь розміром від 14 до 45 мм потрапляє в середину робочого колеса насоса і зупиняється (заклинює). Заклинювання щебеню між лопатками робочого колеса (рис.3) буде приводити до виникнення дисбалансу і руйнування посадкових отворів опірних підшипників валу робочого колеса. Що, в свою чергу, буде призводити до виникнення вібрації і передчасного виходу насоса з ладу. У випадку не заклинювання щебеню він буде обертатися в середині корпусу насоса та викликати руйнування робочого колеса, кришки корпусу насоса, обриву шпоночного з'єднання валу і робочого колеса, або ж навіть до зупинки пожежного насосу під час гасіння пожежі.

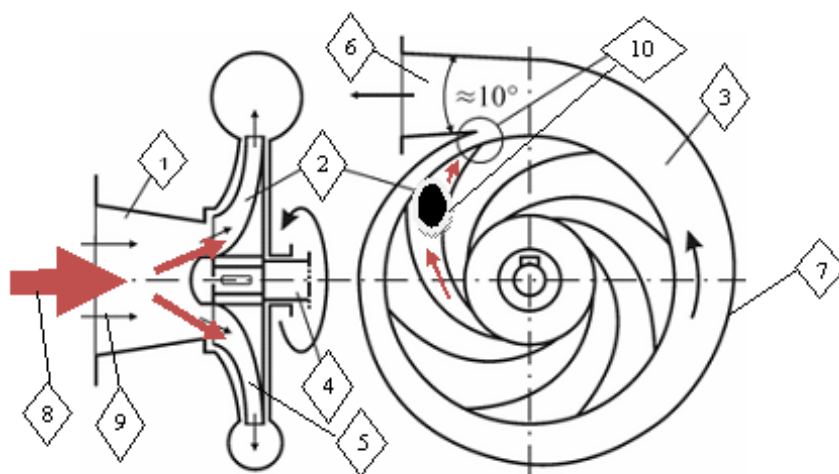


Рис.3 – Схема потрапляння каміння в порожнину пожежного насосу:
 1 – всмоктувальний патрубок; 2 – камінь; 3 – спіральна камера; 4 – робочий вал насоса; 5 – робоче колесо; 6 – напірний патрубок; 7 – корпус насоса; 8- напрямок руху каміння; 9 – напрямок руху рідини; 10 – ймовірне місце зупинки каміння

Чи можна виявити дисбаланс робочого колеса на його ранній стадії і чи існують для цього відповідні методики? Проаналізуємо перелік робіт, які проводять при технічному обслуговуванні.

Так при технічному обслуговуванні № 1 (ТО-1) пожежних автомобілів, що проводять через 1000 км. приведеного пробігу, але не рідше одного разу на місяць, для пожежних насосів виконують таку операцію як [6]:

--- при необхідності розбирають насос, звертаючи особливу увагу на стан шпоночного з'єднання робочого колеса з валом, сторонні предмети в насосі;

Тобто в період між проведенням ТО-1 немає можливості виявляти дисбаланс робочого колеса пожежного насоса.

Висновки. Отримані в результаті дослідження дані дозволили зробити висновок, що найбільш небезпечним предметом являється щебінь розміром 27-30 мм. Проаналізувавши перелік робіт, що проводиться при технічному обслуговуванні встановлено, що на даний момент немає засобів діагностування щодо виявлення дисбалансу робочого колеса та валу пожежного насосу в період між проведенням ТО-1. Тому подальші дослідження необхідно спрямувати на розробку та впровадження нового методу діагностування, за допомогою якого можна виявити на ранній стадії роботи пожежного насоса дисбаланс робочого колеса насосу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Костюков А.В. Контроль и мониторинг технического состояния центробежного насосного агрегата по трендам вибропараметров: дис. ... кандидата тех. наук: 05.11.13/Костюков Алексей Владимирович. – Омск, 2006. – 194с.

2. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2010 році – МНС України [Електронний ресурс]. - Режим доступу до доповіді: http://www.mns.gov.ua/content/national_lecture.html.

3. Щебенъ и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия: ГОСТ 8267-93 – [Действующий от 1995-01-01]. – М.: Межгосударственный стандарт, 2009- IV.

4. Гидранты пожарные подземные. Технические условия: ГОСТ 8220-85* – [Действующий от 1987-01-01]. – М.: Межгосударственный стандарт, 2002- I.

5. Настанова з експлуатації транспортних засобів в підрозділах МНС: за станом на 8 серпня 2007 р / МНС. – Офіц. вид. – К.: - МНС, 2007. - 101 с. – (Бібліотека офіційних видань).

В.В. Чигрин

Динамические нагрузки при работы центробежного насоса

В статье рассматривается вопрос возникновения дисбаланса рабочего колеса центробежного пожарного насоса в результате попадания посторонних предметов в его проточную часть.

Ключевые слова: центробежный пожарный насос, дисбаланс рабочего колеса, пожарный гидрант, всасывающий патрубок.

V.V. Chigrin

Dinamichni navantazhennya at roboti vidtsentrovih nasosiv

The article discusses the imbalance of the impeller of a centrifugal fire pump as a result of foreign objects in the flow part of it.

Keywords: centrifugal fire pump, disbalance of driving wheel, fire hydrants, suction tube.

А.Я. Шаршанов, канд. ф.-м. н., доцент, НУГЗУ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВСПУЧИВАЮЩИХСЯ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

(представлено д-ром техн. наук Андроновым В.А.)

Построена модель нагревания вспучивающегося огнезащитного покрытия, единым образом описывающая процессы теплопереноса, термического разложения, испарения, вспучивания и уноса массы. Покрытие рассматривается как смесь веществ с изменяющимся составом, которая при вспучивании ведет себя подобно жидкости.

Ключевые слова: математическая модель, вспучивание, смесь, теплоперенос, делокализация

Постановка проблемы. В связи с тем, что пожар означает существование высокотемпературных источников тепла, защита тел от нагревания остается актуальной задачей обеспечения пожарной безопасности. Одним из распространенных способов защиты является нанесение теплоизоляционных покрытий. Целью данной работы является построение математической модели для расчета температуры поверхности тела, защищенной слоем теплоизоляционного материала, способного вспучиваться.

Анализ последних достижений и публикаций. В связи с большим практическим значением рассматриваемой проблеме посвящено значительное количество как экспериментальных, так и теоретических работ [1, 2]. Как правило, эксперименты охватывают обе стадии процесса теплозащиты - и вспучивание покрытия и дальнейший теплоперенос в образующемся при вспучивании пористом материале. Теоретические части исследований посвящены обычно отдельным этапам теплозащиты. Даже в этой ситуации в связи со сложностью задачи количество аналитических результатов незначительно и охватывают они отдельные аспекты проблемы (см. например [3]). Все более широкие теоретические исследования проводятся при помощи численного решения соответствующих математических моделей [4].

Данная работа является попыткой описать в рамках единого подхода обе стадии функционирования теплозащитного покрытия.

Постановка задачи и ее решение. В работе предлагается модель поведения вспучивающегося при нагревании покрытия, соответствующая следующей последовательности физических процессов. Первоначально защитное покрытие представляет собой сплошное вещество с незначительным содержанием (либо вообще без) вкраплений газовой фазы. Нагревание происходит от одной из поверхностей покрытия. По мере повышения температуры покрытия содержание газовой фазы (вследствие химического распада либо просто фазового пе-

рехода) и давление в ней нарастают. Рост температуры приводит к текучести материала, реализующей возможность значительного роста объема газовой компоненты. Начало этого процесса (до стадии существенного объединения газовых областей) является вспучиванием без делокализации газа. В ходе дальнейшего нагревания удельный объем газовых областей может достичь критического значения, при котором происходит разрушение стенок между вкраплениями газа (вспучивание приводит к делокализации). В такой области движение газа становится неограниченным. Газ уносится из системы, снимая напряжение в данной области. Глубина области делокализации движения газа вслед за толщиной области прогрева покрытия нарастает в направлении от горячей поверхности. Описанная последовательность процессов отражена в предложенной математической модели.

Основой модели является взгляд на вещество покрытия, как на смесь более простых веществ (например: материал покрытия - трехкомпонентная смесь из исходного вещества и двух продуктов его термического распада, а конденсированная и газообразная фазы одного вещества являются разными компонентами смеси). В соответствии с таким взглядом состав вещества в точке с радиус-вектором \mathbf{r} , m , в момент времени τ , s , будет задаваться набором концентраций $\rho_i(\mathbf{r}, \tau) \equiv dm_i/dV$, где dm_i – масса i -го компонента, кг, в малом объеме dV , m^3 , покрытия; удельная объемная изобарная теплоемкость вещества покрытия представима в виде

$$c'_p = \sum_i \rho_i \cdot c_{p,i}, \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{К}^{-1}, \quad (1)$$

где $c_{p,i}(T)$ – удельная массовая изобарная теплоемкость i -го компонента, $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, при абсолютной температуре $T(\mathbf{r}, \tau)$, К. Сумма \sum_i берется по всем n возможным компонентам.

Концентрации $\rho_i(\mathbf{r}, \tau)$ удовлетворяют уравнениям материального баланса

$$\frac{\partial \rho_i(\mathbf{r}, \tau)}{\partial \tau} + \text{div}[\mathbf{w}_i \cdot \rho_i(\mathbf{r}, \tau)] = R_i, \quad (2)$$

где $R_i(T, \boldsymbol{\rho})$ – объемная плотность скорости изменения массы i -го компонента, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$, вследствие его химических либо фазовых превращений; векторным символом $\boldsymbol{\rho}$ отображено то обстоятельство, что величина R_i может зависеть от нескольких из n парциальных плотностей ρ_j . Явный вид функций $R_i(T, \boldsymbol{\rho})$ считается известным.

Величина $\mathbf{w}_i(\mathbf{r}, \tau)$ является усредненной по сечению покрытия среднерасходной скоростью движения i -го компонента относительно защищаемой поверхности, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$. Все компоненты, не являющиеся газами, а также газовые компоненты в области локализации газа (область с $x < x_{\text{кр}}$ на рисунке) движутся с одинаковой скоростью, а

именно скоростью остова $w_{oc}(r, \tau)$:

$$w_i(r, \tau) = w_{oc}(r, \tau).$$

При наличии области делокализации газа ($x > x_{кр}$ на рисунке) в пренебрежении взаимной диффузией все газовые компоненты движутся с одинаковой скоростью

$$w_i(r, \tau) = w_{oc}(r, \tau) + w_r(r, \tau),$$

где $w_r(r, \tau)$ – усредненная по сечению покрытия среднерасходная скорость движения газа относительно остова, $m \cdot c^{-1}$.

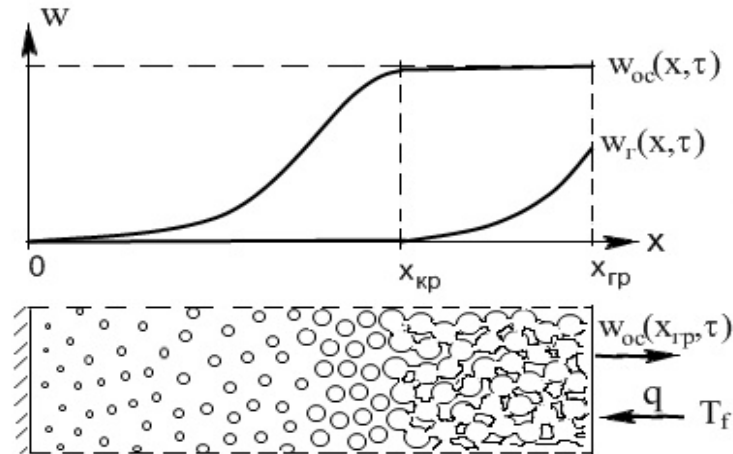


Рис. 1 – Графики зависимости скорости остова и скорости газовой компоненты покрытия от расстояния (x) от защищаемой поверхности и пространственная схема структуры вспучивающегося покрытия.

Система n уравнений (2) дополняется соотношением энергетического баланса:

$$c'_p \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} + w_{oc} \cdot \text{grad } T \right) - \text{div}(\lambda \cdot \text{grad } T) = - \sum_i h_i R_i - c'_{p,г} \cdot w_r \cdot \text{grad } T, \quad (3)$$

где $\lambda(T, \rho)$ – коэффициент теплопроводности покрытия, $Вт \cdot м^{-1} \cdot К^{-1}$; $h_i(T)$ – энтальпия i -го компонента в расчете на единицу его массы, $Дж \cdot кг^{-1}$, взятая с учетом возможных химических и фазовых превращений; $c'_{p,г}$ – удельная объемная изобарная теплоемкость газовой компоненты покрытия, равная

$$c'_{p,г} = \sum_i^{(г)} \rho_i \cdot c_{p,i}, \quad Дж \cdot м^{-3} \cdot К^{-1},$$

где символ $\sum_i^{(г)}$ обозначает сумму по всем газовым компонентам.

Отметим, что в уравнении (3) последнее слагаемое отлично от нуля только в области делокализации газовых компонент ($x > x_{кр}$ на рисунке). Уравнение (3) не учитывает вкладов в энергобаланс дви-

жения остова покрытия, деформационных напряжений в нем, взаимной диффузии компонент газа, вязкого трения.

Для разрешения системы $(n+1)$ уравнений (2), (3), необходимо знать скорости остова $\mathbf{w}_{oc}(\mathbf{r}, \tau)$ и газа $\mathbf{w}_r(\mathbf{r}, \tau)$.

Для определения $\mathbf{w}_{oc}(\mathbf{r}, \tau)$ рассмотрим фиксированный малый элемент вещества покрытия, заполняющий объем dV . Учтя то, что скорость движения поверхностей данного элемента и есть $\mathbf{w}_{oc}(\mathbf{r}, \tau)$, рассмотрев поток вектора $\mathbf{w}_{oc}(\mathbf{r}, \tau)$ через эти поверхности, получим требуемое соотношение

$$\begin{aligned} \operatorname{div}(\mathbf{w}_{oc}) &= \frac{1}{dV} \left[\frac{d^2 V}{d\tau} \right] = \frac{1}{dV} \left[\frac{d}{d\tau} \left(\sum_i dm_i \cdot v_i \right) \right] = \\ &= \sum_i \left(\frac{d^2 m_i}{dV d\tau} \cdot v_i + \frac{dm_i}{dV} \cdot \frac{dv_i}{d\tau} \right) = \sum_i \left(R_i \cdot v_i + \rho_i \cdot \frac{dv_i}{d\tau} \right). \end{aligned}$$

Здесь $v_i(T, \sigma) \equiv dV_i/dm_i$, - удельный объем i -го компонента, $\text{м}^3 \cdot \text{кг}^{-1}$, где dV_i и dm_i - объем и масса i -го компонента в объеме dV покрытия; $\sigma(\mathbf{r}, \tau)$ - тензор напряжений в данной области покрытия, Па.

Учтя, что в области вспучивания удельные объемы газовых компонент значительно больше, а плотности значительно меньше, чем такие же характеристики конденсированной фазы, можно упростить последнее уравнение:

$$\operatorname{div}(\mathbf{w}_{oc}) = \sum_i^{(r)} R_i \cdot v_i. \quad (4)$$

Рассматривая газовые компоненты как идеальные газы, можно связать их удельный объем с другими параметрами состояния:

$$v_i = \frac{R_0 \cdot T}{\mu_i \cdot P}, \quad (5)$$

где $R_0 = 8314 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ - универсальная газовая постоянная; μ_i - молярная масса i -го компонента, $\text{кг} \cdot \text{моль}^{-1}$; $P(\mathbf{r}, \tau)$ - давление газа, Па, которое для локализованной газовой фазы определяется диагональными компонентами тензора напряжений покрытия σ в месте вкрапления газовой фазы. Определение этого давления требует либо решения не рассматриваемой здесь задачи теории упругости [5], либо модельных предположений, проверяемых экспериментально. В данной работе предполагается, что подобно жидкости

$$P = P_0 + \Delta P(T, v), \quad (6)$$

где P_0 - давление во внешней среде, Па; $\Delta P(T, v)$ - считающееся известным избыточное давление в газовых вкраплениях, Па, являющееся убывающей функцией, как температуры T , так и размера вкраплений, и

следовательно удельного объема вещества покрытия v , $\text{м}^3 \cdot \text{кг}^{-1}$, равного

$$v(\mathbf{r}, \tau) = \frac{\sum_i \rho_i(\mathbf{r}, \tau) \cdot v_i(T(\mathbf{r}, \tau), \sigma(\mathbf{r}, \tau))}{\sum_i \rho_i(\mathbf{r}, \tau)}. \quad (7)$$

Отметим, что уравнение (4) является главным приближением в области локализованной газовой фазы ($x < x_{\text{кр}}$ на рисунке). В соседней области делокализованной газовой фазы ($x > x_{\text{кр}}$) избыток образующихся газов уходит из системы, не участвуя во вспучивании покрытия. Здесь уравнение, определяющее скорость движения остова покрытия, в основном приближении имеет вид

$$\text{div}(\mathbf{w}_{\text{ос}}) = 0. \quad (8)$$

Движение газа в области делокализации является течением вязкой жидкости в пористой среде. В связи с этим усредненная по сечению покрытия среднерасходная скорость этого движения задается соотношением [6]

$$\mathbf{w}_{\text{г}} = -C_w \cdot k_F \cdot \frac{L^2}{\rho_{\text{г}} \cdot \nu_{\text{г}}} \cdot \text{grad } P, \quad (9)$$

где C_w – определяемый структурой пор безразмерный коэффициент порядка единицы; k_F – доля площади сечения пор в площади сечения покрытия; L – средний размер поры, м; $\nu_{\text{г}}$ – коэффициент кинематической вязкости газа, $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$; $\rho_{\text{г}}$ – приведенная к объему покрытия плотность газа, равная

$$\rho_{\text{г}} = \sum_i^{(\text{г})} \rho_i, \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}.$$

При записи последнего соотношения предполагается, что в области делокализации в каналах оказывается большая часть газовой фазы. Отметим, что среди газовых компонент в порах (при рассмотрении ситуации повторного прогревания) следует предусмотреть воздух.

Как отмечалось выше, поведение покрытия существенно зависит от возможности неограниченного движения газовой фазы. Мы предполагаем, что газы становятся делокализованными, когда удельный объем вещества покрытия v превышает некое критическое значение $v_{\text{кр}}(T, \sigma)$. В соответствии с этим представлением уравнение, определяющее положение границы области делокализации ($x_{\text{кр}}$ на рисунке), имеет вид:

$$v(\mathbf{r}_{\text{кр}}, \tau) = v_{\text{кр}}(T(\mathbf{r}_{\text{кр}}, \tau), \sigma(\mathbf{r}_{\text{кр}}, \tau)). \quad (10)$$

где v определяется соотношением (7). Иными словами, решение

уравнения (10) ($\mathbf{r}_{кр}(\tau)$) является уравнением движения границы области делокализации. В соответствии с этим величина

$$\mathbf{w}_{кр}(\tau) = \frac{d\mathbf{r}_{кр}(\tau)}{d\tau}$$

является скоростью движения границы области делокализации, $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$.

Задача прогрева вспучивающегося покрытия сводится к решению системы $n+3$ уравнений (2)-(4) и (6) относительно неизвестных: n концентраций $\rho_i(\mathbf{r}, \tau)$, температуры $T(\mathbf{r}, \tau)$, давления $P(\mathbf{r}, \tau)$ и скорости движения остова $\mathbf{w}_{ос}(\mathbf{r}, \tau)$. При наличии делокализованной газовой области добавляется неизвестная скорость движения газа $\mathbf{w}_r(\mathbf{r}, \tau)$ и уравнение (9).

Граничными условиями к рассматриваемой системе уравнений является непрерывность потоков массы компонент и энергии на границах покрытия [7]. Напомним, что граница с защищаемой поверхностью ($x=0$ на рисунке) является неподвижной и непроницаемой для вещества (то есть соответствующие потоки массы равны нулю), а движение внешней границы ($x_{гр}$ на рисунке) описывается уравнением

$$\frac{d\mathbf{r}_{гр}(\tau)}{d\tau} = \mathbf{w}_{ос}(\mathbf{r}_{гр}(\tau), \tau), \quad \mathbf{r}_{гр}(0) = \mathbf{r}_{гр,0}, \quad (11)$$

где $\mathbf{r}_{гр,0}$ - начальная координата внешней стороны покрытия. Внешняя граница покрытия проницаема только для газовых компонент в случае попадания ее в область делокализации. Условие непрерывности потока энергии на этой границе имеет вид:

$$-\lambda|_{гр} \cdot \frac{\partial T}{\partial n}|_{гр} + [c'_{p,r} \cdot \mathbf{w}_r \cdot (T - T_0)]|_{гр} = q, \quad (12)$$

где символом $\partial/\partial n$ обозначена составляющая градиента по нормали к поверхности; символ $|_{гр}$ - указывает на взятие величин у граничной поверхности; T_0 - температура начала отсчета энтальпии, К; q - падающий на поверхность покрытия удельный тепловой поток от внешних источников, $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$, который в случае теплообмена с горячей средой задается соотношением $q = \alpha \cdot [T|_{гр} - T_f]$, где α - коэффициент теплоотдачи данной поверхности во внешнюю среду, $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{К}^{-1}$; T_f - температура среды, К.

Если в процессе прогрева меняется характер локализации газа в покрытии, то решение также разбивается на две пространственных области. На соответствующей внутренней границе (в одномерном случае $x = x_{кр}$ на рисунке) непрерывными является температура, дав-

ление, скорость движения остова, потоки массы компонент, что в случае газовых компонент дает дополнительное соотношение

$$\left[\rho_i \cdot (\mathbf{w}_{oc} - \mathbf{w}_{кр}) \right]_{x_{кр}-0} = \left[\rho_i \cdot (\mathbf{w}_r + \mathbf{w}_{oc} - \mathbf{w}_{кр}) \right]_{x_{кр}+0}, \quad (13)$$

где символ $\left|_{x_{кр}\pm 0}$ - указывает на взятие величин на соответствующей стороне граничной поверхности.

На этой границе непрерывность потока энергии, непрерывности потока массы и пренебрежение изменением энергии покрытия при переходе от локализованных к делокализованным газовым областям приводит к условию непрерывности теплового потока

$$-\left[\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial n} \right]_{x_{кр}-0} = -\left[\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial n} \right]_{x_{кр}+0}. \quad (14)$$

Сразу же отметим, что величина коэффициента теплопроводности λ по разные стороны от границы делокализации отличается. Действительно, в случае значительного объема газовой фазы, имеющей пренебрежимо малую теплопроводность, коэффициент теплопроводности вспученного материала можно оценить соотношением

$$\lambda(\mathbf{r}, \tau) = C_\lambda \cdot \lambda_0 \cdot \frac{\sum_i^{(\kappa)} \rho_i(\mathbf{r}, \tau) \cdot v_i(\mathbf{r}, \tau)}{\sum_i \rho_i(\mathbf{r}, \tau) \cdot v_i(\mathbf{r}, \tau)}. \quad (15)$$

где λ_0 – коэффициент теплопроводности сплошного материала покрытия, Вт·м⁻¹·К⁻¹; C_λ - меньший единицы безразмерный множитель, зависящий от структуры остова; символ $\sum_i^{(\kappa)}$ обозначает сумму по всем не

газовым (конденсированным) компонентам. При переходе от локализованного к делокализованному состоянию в правой части соотношения (15) изменяется множитель C_λ . Он уменьшается, что отражает уменьшение коэффициента теплопроводности вследствие разрыва связей в конденсированной (и потому теплопроводящей) части покрытия.

Начальным условием рассматриваемой задачи естественно принять однородное распределение плотностей компонент $\rho_i(\mathbf{r}, \tau)$, температуры $T(\mathbf{r}, \tau)$ и давления в покрытии, а также нулевое значение скоростей.

Выводы. Рассмотрена математическая модель прогревания вспучивающегося огнезащитного покрытия, базирующаяся на законах сохранения вещества и энергии. Основой подхода являются взгляд на покрытие, как на смесь, состоящую из исходных веществ и продуктов их преобразований, среди которых есть газ, рост объема которого при нагревании является причиной вспучивания. Упрощающим обстоя-

тельством является предположение о том, что при вспучивании остов покрытия ведет себя подобно жидкости. Предложенный подход позволил в рамках единой модели описывать вызванные нагреванием от внешнего теплового потока процессы теплопереноса, термического разложения, испарения, вспучивания и уноса массы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ненахов С.А. Физико-химия вспучивающихся огнезащитных покрытий на основе полифосфата аммония. / С.А. Ненахов, В.П. Пименова // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – Т.19., №8. – С. 11-58.
2. Киреев А.А. Термогравиметрические исследования огне-тушащих и огнезащитных гелей. / А.А. Киреев // Проблемы пожарной безопасности. – 2006. – вып. 20. – С. 86-89.
3. Шаршанов А.Я. Теоретические аспекты высыхания геля при пожаре. / А.Я. Шаршанов // Проблемы пожарной безопасности. – 2008. – вып. 23. – С. 221-229.
4. Страхов В.Л. Математическое моделирование работы водосодержащих вспучивающихся огнезащитных покрытий. / В.Л. Страхов, А.Н. Гаращенко, В.П. Рудзинский // Пожаровзрывобезопасность. – 2003. – Т.12., №1. – С. 39-46.
5. Ландау Л.Д. Теоретическая физика: Т.7. Теория упругости. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1987. – 248 с.
6. Ландау Л.Д. Теоретическая физика: Т.6. Гидродинамика. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1986. – 736 с.
7. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. / Давид Альбертович Франк-Каменецкий – М.: Наука, 1967. – 491 с.

А.Я. Шаршанов

Математична модель вогнезахисних покриттів, що спучуються

Побудована модель нагрівання вогнезахисного покриття, яке спучується, яка єдиним чином описує процеси теплопереносу, термічного розкладання, випаровування, спучування і винесення маси. Покриття розглядається як суміш речовин з змінним складом, що при спученні поводить себе подібно до рідини.

Ключові слова: математична модель, спучування, суміш, теплоперенос, делокалізація

A.Ya. Sharshanov

Mathematical model of swelling fire protective coatings

A model of heat intumescent fire retardant coating, in a unified manner describing the processes of heat transfer, thermal decomposition, evaporation, swelling and mass loss. Coverage is seen as a mixture of substances with variable composition, which, when swelling behaves like a liquid.

Keywords: mathematical model, swelling, mix, heat transfer, delocalization.

СОДЕРЖАНИЕ

Ю.А. Абрамов, С.Н. Бесараб, В.П. Садковой Условия и временные характеристики тушения пожара класса в распыленной водой	3
Ю.А. Абрамов, А.А. Тарасенко, О.Е. Безуглов Маршрут движения подразделений при ликвидации наземного ландшафтного пожара	8
С.І. Азаров, В.Л. Сидоренко, О.В. Руденко Вивчення процесу надходження радіонуклідів у повітря при пожежах у лісах зони відчуження чаєс	16
П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко, Ю.И. Калябин О роли адгезионного контакта полимер – волокно в сохранении прочности стеклопластика на пожаре	24
П.А. Билым, А.П. Михайлюк, В.В. Олейник, А.В. Альбоцкий О применении обобщенной температурно-временной характеристики прочности и деформативности полимерных материалов к условиям развития пожара	30
С.Н. Бондаренко, В.В. Калабанов Установка для испытания тепловых пожарных извещателей	41
Н.П. Борисенко Разработка периферийного модуля автоматической системы пожарной сигнализации с автономным радиоканалом управления	45
В.Г. Борисенко, Ю.Ф. Деркач, К.Р. Умеренкова Риск возникновения пожаровзрывоопасных ситуаций на объектах водородной энергетики	58
П.Ю. Бородич, О.Е. Безуглов Оценка показателя легочной вентиляции для работ разной степени тяжести	64
В.А. Дуреев, А.Н. Литвяк Исследование влияния геометрических параметров элементов распределительной сети на потребную мощность подводимого потока жидкого огнетушащего вещества	68
А.В. Елизаров Численная реализация математической модели процесса развития пожара в помещении	72
А.Я. Калиновский Модель нахождения периметров и площадей ландшафтных пожаров с учетом флуктуаций их параметров	77
А.А. Киреев, К.В. Жерноклёв Исследование огнетушащего действия гелеобразующих составов на модельных очагах пожаров класса а из ДВП и ДСП	83
А.А. Киреев, А.Н. Коленов Исследование пенообразования и кинетики разрушения пен при подслоном сливе	89
О.В. Кириченко, В.Д. Акіньшин, В.А. Ващенко, В.В. Цибулін Термодинамічні методи прогнозування пожежонебезпечних властивостей високометалізованих піротехнічних нітратно-металічних сумішей в умовах зовнішніх термовпливів	94
Ю.П. Ключка, В.И. Кривцова Определение теплофизических характеристик металлгидридной системы	107
В.В. Ковалишин Моделювання характеру впливу вогнегасного порошку на осередок пожежі спільно з рециркуляцією продуктів горіння	113
В.М. Комяк, Р.В. Романов Моделирование рационального размещения пожарных гидрантов в практической деятельности пожарной охраны	123
Н.І. Коровникова, В.В. Олійник, Ю.Ю. Рипало Вплив умов модифікації синтетичного волокна на зниження горючості	130

В.К. Костенко, О.Л. Зав'ялова, А.І. Морозов Попередження самонагрівання вугілля в зонах геологічних порушень	134
Л.Н. Красоха, Н.Н. Оберемок, А.В. Прокопов Алгоритм многокритериальной оптимизации для оценки эффективности метрологической деятельности в сфере пожарной безопасности	141
О.В. Кулаков, С.В. Рудаков Нормування вимог до штучного заземлювача системи блискавкозахисту з точки зору пожежної небезпеки	147
М.В. Кустов Исследование механизмов каплеобразования при тушении пожаров атмосферными осадками	153
А.А. Лісняк Розповсюдження та небезпека диму лісової пожежі	160
А.Н. Литвяк, В.А. Дуреев Параметры водяных завес для предотвращения распространения продуктов горения	164
Ю.В. Луценко, Є.А. Яровий Дослідження умов припинення горіння нафтопродуктів з використанням сітчатих елементів	167
Л.В. Ляшок, А.В. Васильченко, И.А. Афонина Электрохимический детектор опасности возгорания	172
О.В. Миргород Підвищення вогнетривкості бетонів за рахунок введення вогнестійкого бар'єрового шпінельвмісного цементу	176
А.О. Михайлюк Мінімізація теплового впливу пожежі резервуара у резервуарній групі	180
В.К. Мунтян, Р.Г. Мелещенко Оценка эффективности использования огнетушащего вещества при сбросе с пожарного самолета АН-32П	184
О.А. Петухова Доповнення до алгоритму визначення робочих характеристик пожежних кран-комплектів	189
Б.Б. Поспелов, А.Е. Басманов, А.А. Михайлюк, Я.С. Кулик Оптимальный выбор количества датчиков первичной информации в системе защиты резервуара с нефтепродуктом	193
А.С. Пушкаренко Повышение предела огнестойкости железобетонных конструкций	197
А.С. Rogozin, В.С. Хоменко Оптимізація розміщення засобів пожежогасіння на арсеналах та базах зберігання боєприпасів	201
С.В. Росоха, И.Н. Грицына, С.А. Виноградов Экспериментальное определение скорости капельного потока огнетушащей жидкости, необходимой для тушения газового факела	205
О.В. Савченко, О.О. Островерх, Т.М. Ковалевська, С.В. Волков Дослідження часу займання зразків ДСП, оброблених гелеутворюючою системою $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95 \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$	209
В.О. Самарін Вплив умов теплового контакту на процес запалення конденсованої речовини високотемпературною часткою	216
Ю.Н. Сенчихин, С.В. Росоха, В.А. Гузенко Тактика прицельного пневмометания снаряда с тросом прямой наводкой при использовании пожарного высотного спасателя (НПВС)	225
В.М. Сирих, О.В. Тарахно Експертне дослідження пожеж розливу рідин	230
А.М. Сиротенко, Д.П. Дубинин, К.В. Корытченко Экспериментальное исследование способа создания противопожарных разрывов объемными шланговыми зарядами	234
О.М. Соболев, А.Г. Коссе, В.В. Комяк Постановка задачі оптимізації вибору засобів і шляхів евакуації з будинків підвищеної поверховості під час пожеж	242
Е.Ю. Спирина-Смилка, Р.А. Яковлева, Н.В. Саенко, А.В. Довбыш,	247

Е.А. Рыбка Повышение огнезащитной эффективности вспучивающихся эпоксидных составов	
Д.Г. Трегубов, А.Н. Лыман Аспекты методики определения склонности твердых материалов к тепловому самовозгоранию	253
Н.Н. Удянский, А.Г. Кутявин Рекомендации по расчету критической продолжительности пожара для помещений, в которых применяются ЛВЖ и ГЖ	259
А.А. Чернуха Экспериментальное исследование температуропроводности вспучивающихся огнезащитных покрытий для древесины	263
В.В. Чигрин Динамічні навантаження при роботі відцентрових насосів	268
А.Я. Шаршанов Математическая модель вспучивающихся огнезащитных покрытий	273

СПИСОК АВТОРОВ

Абрамов Ю.А.	3, 8	Литвяк А.Н.	68, 164
Азаров С.І.	16	Лісняк А.А.	160
Акіншин В.Д.	94	Луценко Ю.В.	167
Альбоций А.В.	30	Лыман А.Н.	253
Афанасенко К.А.	24	Ляшок Л.В.	172
Афонина И.А.	172	Мелещенко Р.Г.	184
Басманов А.Е.	193	Миргород О.В.	176
Безуглов О.Е.	8, 64	Михайлюк А.А.	180, 193
Бесараб С.Н.	3	Михайлюк А.П.	24,30
Билым П.А.	24, 30	Морозов А.І.	134
Бондаренко С.Н.	41	Мунтян В.К.	184
Борисенко В.Г.	58	Оберемок Н.Н.	141
Борисенко Н.П.	45	Олійник В.В.	30, 130
Бородич П.Ю.	64	Островерх О.О.	209
Васильченко А.В.	172	Петухова О.А.	189
Ващенко В.А.	94	Поспелов Б.Б.	193
Виноградов С.А.	205	Прокопов А.В.	141
Волков С.В.	209	Пушкаренко А.С.	197
Грицына И.Н.	205	Рипало Ю.Ю.	130
Гузенко В.А.	225	Рогозін А.С.	201
Деркач Ю.Ф.	58	Романов Р.В.	123
Довбыш А.В.	247	Росоха С.В.	205, 225
Дубинин Д.П.	234	Рудаков С.В.	147
Дуреев В.А.	68, 164	Руденко О.В.	16
Елизаров А.В.	72	Рыбка Е.А.	247
Жерноклёв К.В.	83	Савченко О.В.	209
Зав'ялова О.Л.	134	Садковой В.П.	3
Калабанов В.В.	41	Саенко Н.В.	247
Калиновский А.Я.	77	Самарін В.О.	216
Калябин Ю.И.	24	Сенчихин Ю.Н.	225
Киреев А.А.	83, 89	Сидоренко В.Л.	16
Кириченко О.В.	94	Сирих В.М.	230
Ключка Ю.П.	107	Сиротенко А.М.	234
Ковалевська Т.М.	209	Соболь О.М.	242
Ковалишин В.В.	113	Спирина-Смилка Е.Ю.	247
Коленов А.Н.	89	Тарасенко А.А.	8
Комяк В.В.	242	Тарахно О.В.	230
Комяк В.М.	123	Трегубов Д.Г.	253
Коровникова Н.І.	130	Удянський Н.Н.	259
Корытченко К.В.	234	Умеренкова К.Р.	58
Коссе А.Г.	242	Хоменко В.С.	201
Костенко В.К.	134	Цибулін В.В.	94
Красоха Л.Н.	141	Чернуха А.А.	263
Кривцова В.И.	107	Чигрин В.В.	268
Кулаков О.В.	147	Шаршанов А.Я.	273
Кулик Я.С.	193	Яковлева Р.А.	247
Кустов М.В.	153	Яровий Є.А.	167
Кутявин А.Г.	259		

Научное издание

ПРОБЛЕМЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Выпуск 30

Ответственный за выпуск Ю.А. Абрамов

Технический редактор А.А. Михайлюк

Подписано в печать 24.11.2011

Уч.-изд. л. 12

Печ. л. 11,3

Формат бумаги 60x84/16.

Тир. 300

Зак. 217 – 2010

Цена договорная

61023, Харків, вул. Чернишевська, 94

Електронна адреса: <http://apbu.edu.ua/rus/>

Типографія Національного університету цивільного захисту України