

МИНИСТЕРСТВО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ УКРАИНЫ

ПРОБЛЕМЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Выпуск 29

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 № 14 от 7.04.2011 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. 29. – 184 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. – 66, табл. – 22.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: д-р техн. наук, проф. *Ю.А. Абра-
мов* (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.

УДК 614.8

Ю.А. Абрамов, докт. техн. наук, гл. научн. сотр., НУГЗУ,
В.И. Кривцова, докт. техн. наук, профессор, НУГЗУ,
В.Г. Борисенко, канд. физ.-мат. наук, доцент, НУГЗУ,
О.П. Алексеев, докт. техн. наук, профессор, ХНАДУ

НОМОГРАММЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ КЛАССА В РАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ

Получены номограммы, обеспечивающие оперативные оценки времени тушения пожаров класса В распыленной водой.

Ключевые слова: распыленная вода, номограмма, оценка времени тушения, пожар класса В.

Постановка проблемы. В последнее время заметно повысился интерес к использованию распыленной воды при тушении пожаров, что обусловлено рядом достоинств при применении такого огнетушащего вещества. Одной из проблем применительно к тушению таких пожаров является отсутствие хорошо апробированных математических моделей, описывающих процесс воздействия распыленной воды на горящую жидкость.

Анализ последних исследований и публикаций. В [1] рассматривается математическое описание процесса тушения пожара класса В распыленной водой, однако полученная математическая модель достаточно сложна для ее использования. Упрощенный вариант математической модели получен в [2], однако в работе не рассматриваются возможные области ее применения. В частности, не рассматриваются варианты получения с помощью такой математической модели оценок времени тушения пожаров класса В распыленной водой.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является получение номограмм, которые могут быть использованы для оперативной оценки времени тушения пожаров класса В распыленной водой.

В предположении, что процесс тушения горючей жидкости происходит вследствие испарения капель воды на ее поверхности, а капли воды не пересекают эту поверхность, для такого процесса можно записать [1]

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

$$\theta(z,0)=0; \left. \frac{\partial \theta}{\partial z} \right|_{z=0} = -\frac{I_0 r a K}{\lambda V (T_K - T_0)}; \theta|_{z=\infty} = 0, \quad (2)$$

где

$$\tau = V^2 a^{-1} t; z = V a^{-1} x; \theta = (T_K - T)(T_K - T_0)^{-1}. \quad (3)$$

В этих выражениях T – температура горючей жидкости; T_K, T_0 – температура кипения жидкости и температура окружающей среды соответственно; V – линейная скорость распространения пламени; a – коэффициент температуропроводности; λ – коэффициент теплопроводности; r – теплота испарения воды; K – коэффициент использования воды; I_0 – интенсивность орошения распыленной водой.

В [1] с использованием интегрального преобразования Лапласа получено решение (1) следующего вида

$$\theta(\tau) = A \left[1 + \sqrt{\frac{\tau}{\pi}} \exp(-0,25\tau) - (1 + 0,5\tau) \operatorname{erfc}(0,5\sqrt{\tau}) \right], \quad (4)$$

где

$$A = I_0 r a K [\lambda V (T_K - T_0)]^{-1}. \quad (5)$$

Использование модели, описывающей температуру на поверхности горючей жидкости, в виде (4) обуславливает ряд трудностей. В частности, при определении времени тушения пожара класса В с использованием распыленной воды возникает необходимость в решении трансцендентного уравнения, что возможно лишь численным путем.

Математическая модель (4) может быть упрощена и представлена следующим образом

$$\theta_0(\tau) = A [1 - \exp(-d\tau)], \quad (6)$$

где d – параметр, определяемый решением задачи идентификации в соответствии с критерием

$$\int_0^{\infty} [\theta_0(\tau) - \theta(\tau)]^2 d\tau \rightarrow \min. \quad (7)$$

В [2] показано, что $d = 1,3875$.

Тогда из (5) следует выражение для времени тушения

$$\tau_T = -0,72 \ln(1 - \theta_T A^{-1}), \quad (8)$$

где $\theta_T = (T_K - T_T)(T_K - T_0)^{-1}$, T_T – температура тушения горючей жидкости.

Следует заметить, что из (7) вытекает условие

$$\theta_T < A = I_0 \rho a K [\lambda V (T_K - T_0)]^{-1} = I_0 \rho a \rho K [\lambda \psi (T_K - T_0)]^{-1}, \quad (9)$$

где ρ – плотность горючей жидкости; ψ – массовая скорость выгорания горючей жидкости.

На рис. 1 приведены зависимости $\theta_T = f(T_K)_{T_T = \text{const}}$, а на рис. 2 – зависимость $\tau_T = \varphi(\theta_T A^{-1})$. На рис. 3 приведена зависимость $\tau_T = \varphi(\theta_T A^{-1})$ для малых значений отношения параметров θ_T и A .

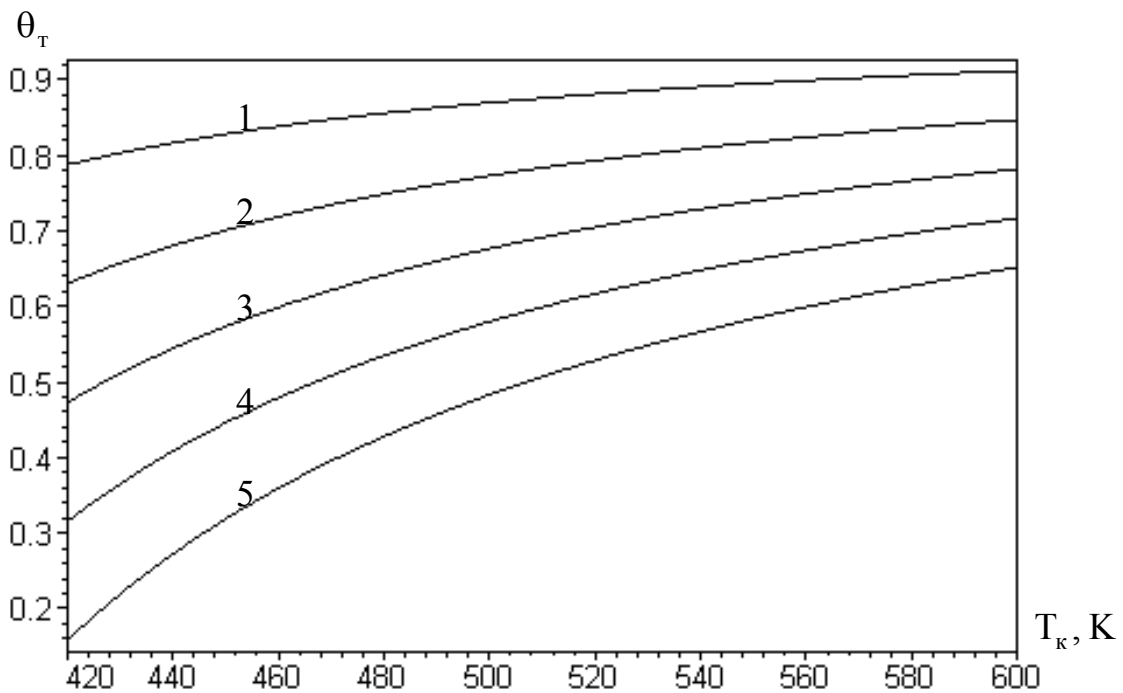


Рис. 1 – Зависимость $\theta_T = f(T_K)_{T_T = \text{const}}$: 1 – $T_T = 320$ К; 2 – $T_T = 340$ К; 3 – $T_T = 360$ К; 4 – $T_T = 380$ К; 5 – $T_T = 400$ К

Совокупность приведенных графических зависимостей представляет собой номограммы, с помощью которых возможно оперативное определение потенциальных возможностей при тушении пожаров класса В распыленной водой. Физически это означает, что определяются характеристики очага горения в виде горючей жидкости

при его тушении распыленной водой и при условии, что интенсивность подачи описывается функцией Хевисайда.

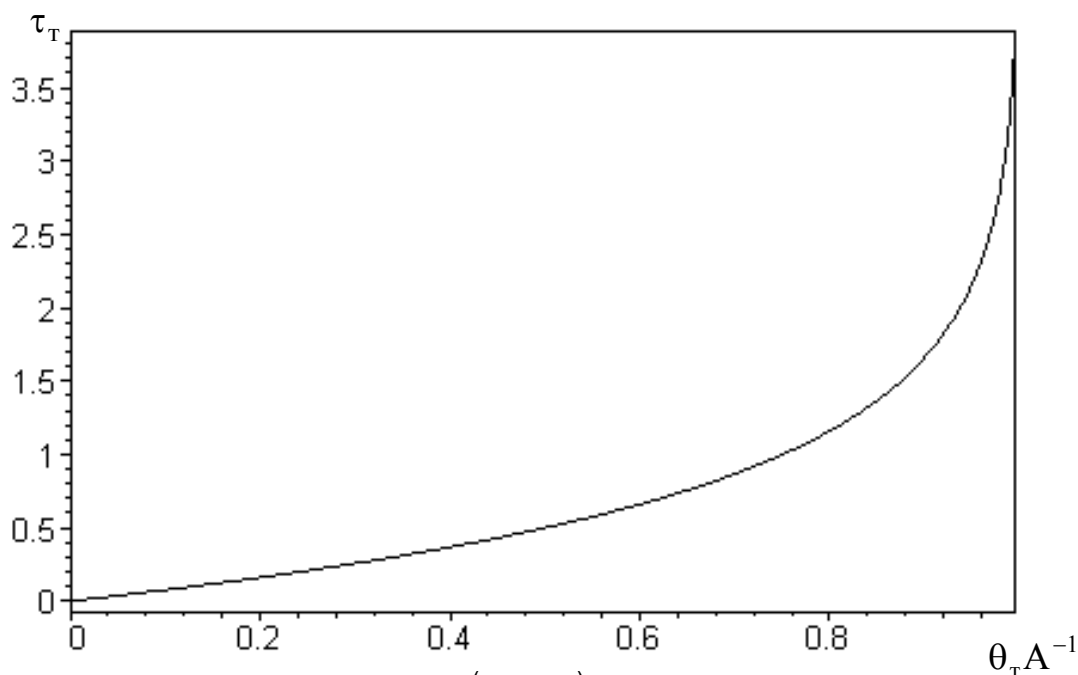


Рис. 2 – Зависимость $\tau_T = \varphi(\theta_T A^{-1})$ при $\theta_T A^{-1} \leq 0,995$

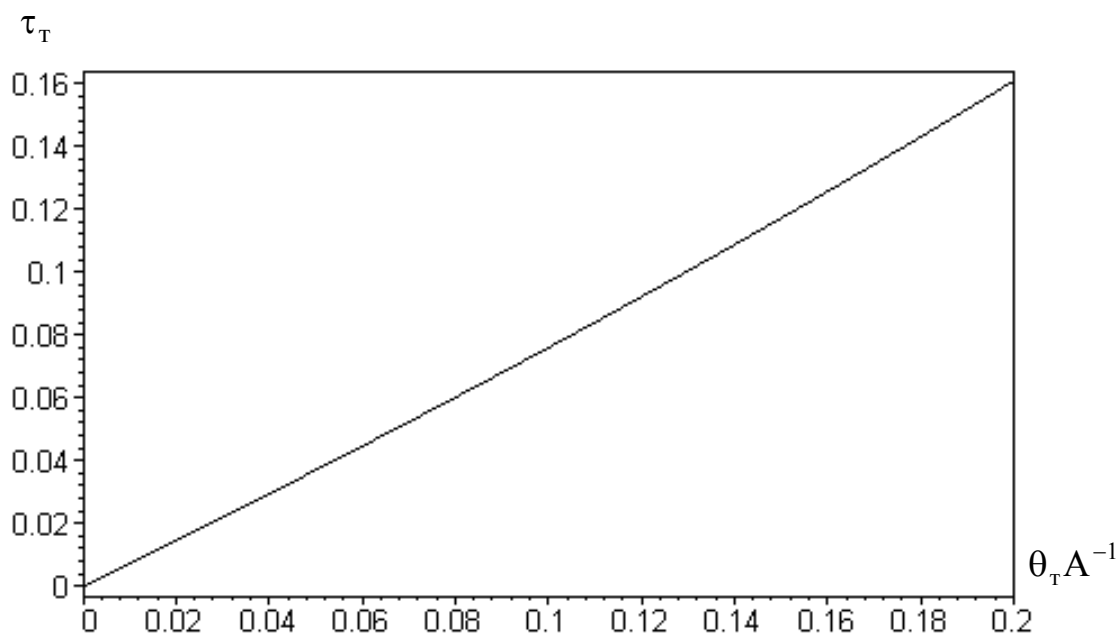


Рис. 3 – Зависимость $\tau_T = \varphi(\theta_T A^{-1})$ при $\theta_T A^{-1} \leq 0,2$

В частности, если горючей жидкостью является трансформаторное масло, для которого $T_k = 580 \text{ К}$, $T_T = 463 \text{ К}$, $\rho = 7,5 \cdot 10^2 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, $\psi = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \text{с}^{-1}$, $a = 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2 \text{с}^{-1}$, то согласно (8) имеет место – $A = 13,4 \text{ Кл}_0$. Если при тушении имеет место,

что $K = 0,2$, $I_0 = 0,8 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \text{с}^{-1}$, то величина параметра A равна 2,14. Вследствие того, что для трансформаторного масла $\theta_T = 0,43$ (см. выражение (3)), то $\theta_T A = 0,2$. Тогда время тушения масла в соответствии с номограммой, приведенной на рис. 3, равно 0,16, что в размерных величинах составляет 7,2 с.

Выводы. Применительно к процессам тушения пожара класса В распыленной водой получены номограммы, позволяющие оперативно определить потенциально достижимые характеристики систем пожаротушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.

2. 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, В.І. Кривцова, В.Г. Борисенко, О.П. Алексеев

Номограми для оцінки часових характеристик гасіння пожеж класу в розпиленю водою

Отримано номограми, що забезпечують оперативні оцінки часу гасіння пожеж класу В розпиленю водою.

Ключові слова: розпилена вода, номограма, оцінка часу гасіння, пожежа класу В.

Y.A. Abramov, V.I. Krivtsova, V.G. Borisenko, A.P. Alekseev

Nomograms for estimation of time characteristics of fire class b distinguishing by water spray

Nomograms for operative estimations of fire class B distinguishing by water spray are built.

Keywords: water spray, nomogram, estimation of distinguishing time, class B fire.

УДК 699.61

*В.А. Андронов, д-р техн. наук, профессор, проректор, НУЦЗУ,
Є.О. Рибка, науковий співробітник, НУЦЗУ*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РЕАКТИВНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ З УРАХУВАННЯМ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ РЕАЛЬНИХ ПОЖЕЖ

Проведено математичне планування та обробка результатів експерименту для встановлення закономірностей впливу температурного режиму пожежі на вогнезахисні властивості реактивних покриттів для металевих конструкцій.

Ключові слова: реактивне покриття, температурний режим, експеримент, фактор, дослід, коефіцієнт регресії, дисперсія.

Постановка проблеми. З метою забезпечення регламентованої [1] межі вогнестійкості металевих конструкцій застосовуються переважно реактивні вогнезахисні покриття, завдяки їх високій ефективності, низькій витраті вогнезахисного матеріалу та незначного навантаження на фундамент та конструкцію. Практика сьогодення при проектуванні та забезпеченні вогнезахисту потребує нових достовірних даних щодо комплексу вогнезахисних властивостей реактивних покриттів. Тому встановлення закономірностей впливу різних факторів на вогнезахисні властивості покриттів є актуальною науково-технічною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проаналізувавши багаторічні дослідження розвитку пожеж в будівлях та спорудах [2-8] встановлено, що інтенсивність і тривалість пожежі змінюється в кожному конкретному випадку і відрізняється від стандартної кривої "температура-час" [1] (Рис. 1), яка застосовується для відтворюваності стандартних експериментальних досліджень.

В існуючих методах дослідження вогнезахисної здатності [1, 9-10] та ідентифікації теплофізичних характеристик (ТФХ) [11-12] реактивних вогнезахисних покриттів випробування проводяться в умовах стандартного температурного режиму та не враховуються температурні режими реальних пожеж, що приводить до недостовірних даних щодо вогнезахисних властивостей покриттів.

Постановка завдання та його вирішення. В зв'язку з вище сказаним виникає необхідність у встановленні математичних залежностей комплексу вогнезахисних властивостей (вогнезахисна здатність, коефіцієнт спучення, коефіцієнт втрати маси та механічна міцність) від товщини реактивного покриття та режиму нагрівання.

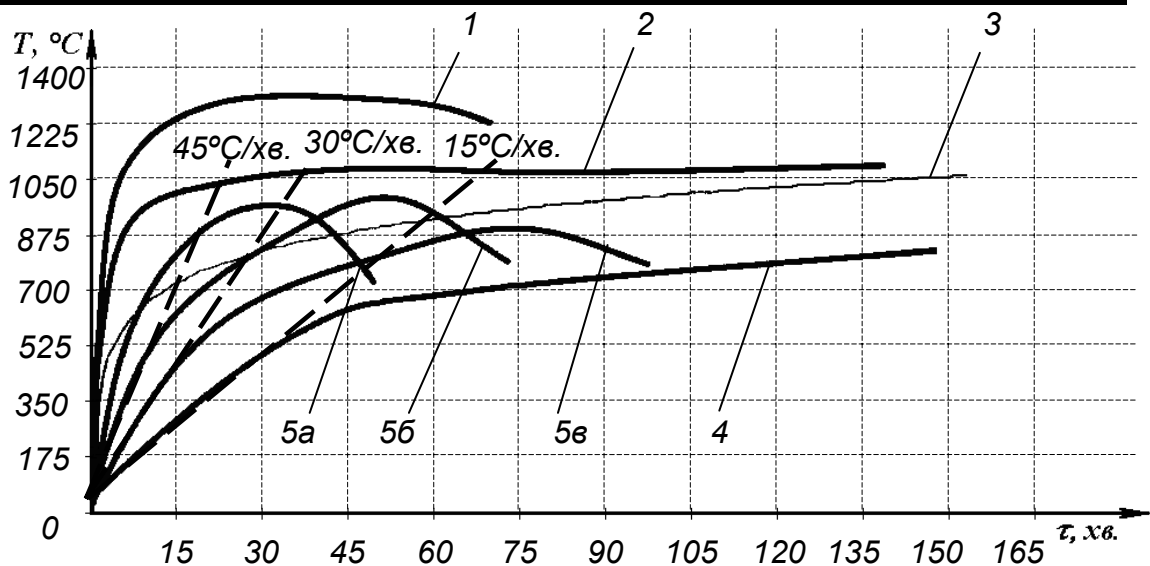


Рис. 1 – Температурні режими пожежі в приміщеннях будівель і споруд різного призначення: 1 - для пожеж у тунелях; 2 - для пожеж у будинках нафтопереробної і хімічної промисловості; 3 - стандартна температурна крива пожежі; 4 - для пожеж у підвалах; 5 - режими пожеж у житлових приміщеннях з різними площами прорізів (від а до в площа прорізів зменшується від 2 м^2 до 1 м^2).

Для описання цих залежностей в роботі використовували повний факторний експеримент (ПФЕ). Вогнезахисні властивості обрано в якості вихідної змінної y (відгуку).

Мета дослідження полягає у визначенні та аналізі y як функції від наступних факторів:

$$y = \varphi(h, V), \quad (1)$$

де y – значення вогнезахисної властивості реактивного покриття;
 h – товщина реактивного покриття в початковому стані, мм;
 V – швидкість нагріву, $^{\circ}\text{C}/\text{хв.}$

На основі аналізу даних, отриманих під час проведення пошукового експерименту, зроблено висновок, що для забезпечення необхідної межі вогнестійкості (30, 45, 60, 90 хв.) товщина реактивного покриття h змінюється в межах від 1 до 3 мм відповідно; а всі температурні режими на етапі розвитку пожежі (перших 10 – 40 хв.) мають лінійну швидкість зміни температури V . Також передбачається, що криві відгуку (вогнезахисні властивості) від вищевказаних факторів будуть мати деяку кривизну, тому для побудови математичної моделі необхідний поліном другого ступеня. Відповідно до математичної теорії експерименту [13], можливість передбачити поведінку функції відгуку дає ортогональний центральний композиційний план другого порядку. Проведення експерименту відповідно до цього плану дозво-

ляє встановити аналітичну залежність функції відгуку y від відповідних факторів у вигляді поліноміального рівняння другого ступеня:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (2)$$

де x_i, x_j – незалежні змінні (фактори); b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – коефіцієнти регресії.

Конструювання ортогонального плану другого порядку полягає в додаванні експериментальних точок до ядра ПФЕ, а саме, нарощування точок до розташованих у центрі плану (на нульовому рівні факторів) і на деякій відстані від центра («зоряних точках»). У випадку двох факторного експерименту ($k = 2$) при варіюванні фактору на двох рівнях загальна кількість дослідів: $n = 2^k + 2k + 1 = 9$, тому що 2^k – число точок ядра ПФЕ, $2k$ – кількість зоряних точок, 1 – одна нульова точка в центрі плану.

Планування, проведення та обробка результатів експерименту складається з наступних обов'язкових етапів: кодування факторів; складання план-матриці експерименту; реалізація плану експерименту; перевірка відтворюваності дослідів; перевірка адекватності поліноміальної моделі.

Кодування факторів застосовано для переведення натуральних факторів (товщина реактивного покриття, швидкість нагрівання) в безрозмірні величини для можливості побудувати стандартну ортогональну план-матрицю експерименту. Для переведення натуральних змінних в кодовані x_i заповнено таблицю кодування змінних (Табл. 1). В якості нульового рівня факторів обрано центр інтервалу, в якому передбачено проводити експеримент.

Таблиця 1 – Кодування факторів, їх значення та інтервали варіювання при дослідженні вогнезахисних властивостей реактивних покриттів для металевих конструкцій.

Інтервал варіювання та рівень факторів	Товщина шару (до спучення) h , мм	Швидкість нагріву V , °C/хв.
Нульовий рівень $x_i = 0$	2	25
Інтервал варіювання δ_i	1	15
Нижній рівень $x_i = -1$	1	10
Верхній рівень $x_i = +1$	3	40
Кодове позначення	x_1	x_2

Межі зміни факторів x_1 та x_2 задані з урахуванням проведених попередніх досліджень, а інтервал варіювання є мінімальним для отримання рівняння та достатнім для відсутності помилкового висновку про незначимість одного із факторів.

Зв'язок між кодовим та натуральним значенням фактора задається формулою:

$$x_i = \frac{X_i - x_{i_0}}{\delta_i}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, k, \quad (3)$$

де X_i – натуральне значення фактора; x_{i_0} – значення i -го фактора на нульовому рівні; δ_i – інтервал варіювання i -го фактора.

Основними функціями відгуку є коефіцієнт вогнезахисної здатності y_1 , коефіцієнт спучення y_2 , коефіцієнт втрати маси y_3 , механічна міцність y_4 спученого вогнезахисного шару.

Складання план-матриці експерименту здійснюється за рахунок чергування рівнів фактора x_2 в кожному досліді, а x_1 – через три досліді (Табл. 2).

Таблиця 2 – Матриця планування експерименту з вивчення залежності вогнезахисних властивостей реактивного покриття від його товщини (x_1) та швидкості нагріву (x_2)

№ досліді	Кодовані значення вхідних змінних				
	1	2	3	4	5
	x_1	x_2	x_1^2	x_2^2	$x_1 x_2$
1	-1	-1	1	1	1
2	-1	0	1	0	0
3	-1	1	1	1	-1
4	0	-1	0	1	0
5	0	0	0	0	0
6	0	1	0	1	0
7	1	-1	1	1	-1
8	1	0	1	0	0
9	1	1	1	1	1

Експеримент проводився на розробленій лабораторній установці з дослідження вогнезахисних властивостей [17]. В таблиці 3 представлені результати реалізації плану експерименту.

Розрахунок коефіцієнтів регресії проводився за формулою:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu} Y_u}{x_{iu}^2}, \quad (4)$$

де i – номер стовпця в матриці планування; x_{iu} – елементи i -того стовпця.
Дослідження вогнезахисних властивостей реактивних покриттів для металевих конструкцій з 11 урахуванням температурних режимів реальних пожеж

Таблица 3 – Результати експерименту з вивчення залежності вогнезахисних властивостей реактивного покриття від його товщини (x_1) та швидкості нагріву (x_2).

№ дослідю	y_1	y_2	y_3	y_4
1	3	1,50	78,55	2
2	5	3,00	76,41	10
3	8	15,0	64,78	12
4	4	1,80	69,16	3
5	6	3	73,00	15
6	10	10	65,87	13
7	7	1,8	70,45	5
8	12	4	69,89	12
9	22	9,00	67,33	15

Розраховані значення коефіцієнтів регресії представлені в Таблиці 4.

Таблица 4 – Значення коефіцієнтів регресії

Коефіцієнт регресії	Значення коефіцієнтів регресії			
	y_1	y_2	y_3	y_4
b_0	5,778	2,811	71,839	13,00
b_1	4,167	<u>-0,783</u>	-2,011	1,333
b_2	4,33	4,816	-3,363	5,000
b_{11}	2,833	<u>0,783</u>	<u>1,892</u>	<u>-1,00</u>
b_{22}	<u>1,333</u>	3,183	-3,743	-4,00
b_{12}	2,500	-1,575	2,662	<u>0</u>

Для перевірки значимості коефіцієнтів регресії знаходили його дисперсію за формулою:

$$S_{bi}^2 = \frac{S_y^2}{\sum_{u=1}^n x_{iu}^2}. \quad (5)$$

Дисперсія помилок дослідю визначається за формулою:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^n \sum_{q=1}^m (y_q^{4i} - \bar{y}_u)^2}{n(m-1)}, \quad (6)$$

де m – число паралельних досвідів; n – число незалежних оцінок дисперсії.

Коефіцієнт регресії вважається значимим, якщо виконується нерівність:

$$|b_i| \geq \Delta b_i = t_{(0,05;f_y)} \cdot S_{bi}, \quad (7)$$

де $t_{(0,05;f_y)}$ – 5 %-я точка розподілу Стюдента з f_y ступенями свободи; Δb_i – довірчий інтервал для коефіцієнта регресії.

Перевірка адекватності моделі, що відповідає рівнянню регресії виконуємо за допомогою критерію Фішера. Адекватність обґрунтована, якщо виконується нерівність:

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2} \leq F_{(0,05;f_{ад};f_y)}, \quad (8)$$

де дисперсія адекватності $S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^n (\bar{y}_u - y_{\text{мод}})^2}{f_{ад}}$; $y_{\text{мод}}$ – розрахункове

значення відгуку в i -тому досліді; $f_{(0,05;3;9)}$ – критерій Фішера при 5% рівні значимості; $f_{ад} = n - 0,5(k+2)(k+1)$ – число ступенів свободи дисперсії адекватності $9 - 0,5(2+2)(2+1) = 3$; f_y – число ступенів свободи при визначенні помилки досліді.

Результати перевірки значимості коефіцієнтів регресії та адекватності моделі представлені в Таблиці 5.

Таблиця 5 – Статистичний аналіз рівнянь регресії

Коефіцієнт регресії	Значення коефіцієнтів регресії			
	y_1	y_2	y_3	y_4
S_y^2	2,26	2,19	1,84	3,11
Δb_0	1,90	1,87	2,98	2,24
Δb_1	1,04	<u>1,03</u>	1,63	1,22
Δb_2	1,04	1,03	1,63	1,22
Δb_{11}	1,80	<u>1,78</u>	<u>2,82</u>	<u>2,12</u>
Δb_{22}	<u>1,80</u>	1,78	2,82	2,12
Δb_{12}	1,28	1,26	1,99	<u>1,49</u>
S_{bi}^2	6,78	6,56	5,52	9,33
$f_{ад}$	3	3	3	3
F	3	2,99	3	3
$F_{(0,05;3;9)}$	3,86	3,86	3,86	3,86

Статистичний аналіз рівнянь регресії показав, що отримані рівняння регресії адекватні експериментальним даним при рівні значимості 0,05 (критерій Фішера). Аналіз даних таблиць 4 та 5 показав, що деякі коефіцієнти регресії являються не значимими, так як вони

накриваються довірчими інтервалами і відповідно рівні нулю.

За допомогою програми «Maple» за отриманими рівняннями регресії були побудовані поверхні відгуків (Рис. 2-5), що дають можливість зорового сприйняття відповідного геометричного образу.

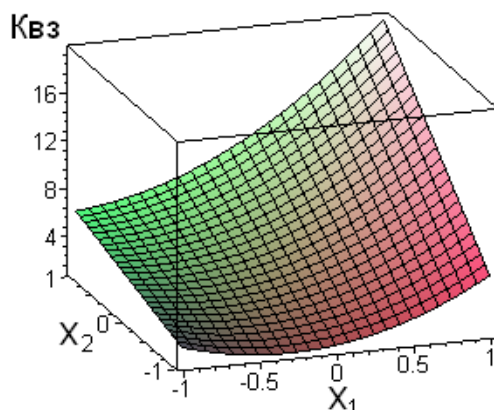


Рис. 2 – Поверхня відгуку, що описується рівнянням регресії $y_1 = 5,78 + 4,17x_1 + 4,33x_2 + 2,83x_1^2 + 2,5x_1x_2$ залежності коефіцієнта вогнезахисної здатності ($K_{вз}$) покриття від початкової товщини (x_1) та швидкості нагрівання (x_2).

З поверхні відгуку залежності коефіцієнта вогнезахисної здатності від товщини покриття та швидкості нагрівання (Рис. 2) видно, що зміна коефіцієнта вогнезахисної здатності від відповідних факторів носить квадратичний характер. При зростанні швидкості нагрівання та товщини покриття коефіцієнт вогнезахисної здатності покриття теж підвищується. А при інтенсивності нагрівання більше 30 °С/хв. спостерігається різкий стрибок коефіцієнта вогнестійкості.

Отримана поверхня відгуку коефіцієнта спучення від відповідних факторів (Рис. 3) показала, що незалежно від товщини покриття при низьких швидкостях нагрівання (до 25 °С/хв.) ефекту спучування практично не спостерігається, а при підвищенні швидкості - коефіцієнт спучення збільшується обернено-пропорційно до початкової товщини покриття.

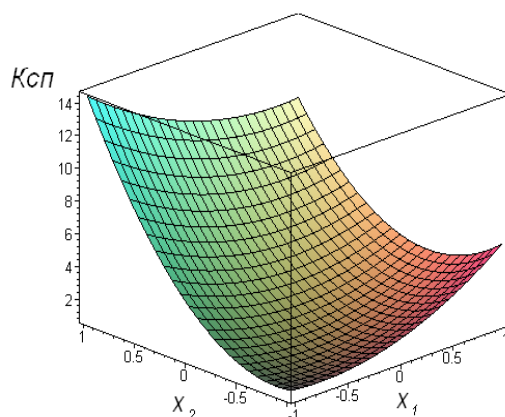


Рис. 3 – Поверхня відгуку, що описується рівнянням регресії $y_2 = 2,81 + 4,82x_2 + 3,18x_2^2 - 1,58x_1x_2$ залежності коефіцієнта спучення ($K_{сп}$) вогнезахисного покриття від початкової товщини (x_1) та швидкості нагрівання (x_2).

На Рисунку 4 представлена поверхня відгуку, що описується рівнянням регресії y_3 залежності коефіцієнта втрати маси (K_m) покриття від факторів (x_1) та (x_2).

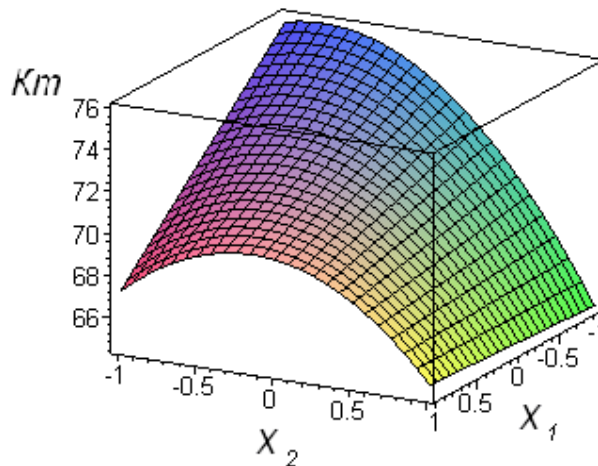


Рис. 4 – Поверхня відгуку, що описується рівнянням регресії $y_3=71,84-2,01x_1-3,36x_2-3,74x_2^2+2,27x_1x_2$ залежності коефіцієнта втрати маси (K_m) вогнезахисного покриття від початкової товщини (x_1) та швидкості нагрівання (x_2).

Встановлено, що механічна міцність (Рис. 5) спученого шару залежить майже лінійно від факторів (x_1 , x_2). Тобто при збільшенні товщини покриття та швидкості нагрівання механічна міцність спученого шару теж зростає.

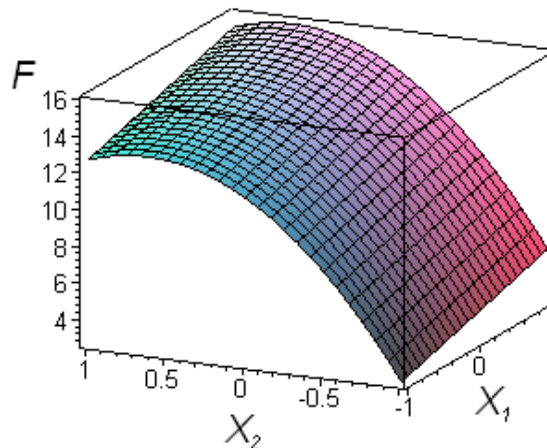


Рис. 5 – Поверхня відгуку, що описується рівнянням регресії $y_4=13+1,33x_1+5x_2+4x_2^2$ залежності механічної міцності (F) спученого вогнезахисного покриття від початкової товщини (x_1) та швидкості нагрівання (x_2).

Висновки. Встановлено, що при повільному нагріванні вогнезахисний ефект реактивних покриттів практично відсутній, що свідчить про неефективність існуючих методів випробування даних покриттів та необхідність розробки рекомендацій щодо їх удосконалення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги: ДСТУ Б.В. 1.1-4-98. – [Чинний від 1999-03-01]. – К. – Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 1998. – 20 с. – (Національний стандарт України).
2. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий / Ройтман В.М. – М.: Ассоциация «Пожарная безопасность и наука». 2001. — 382 с.
3. Яковлев А.И. Огнестойкость одноэтажных производственных зданий в зависимости от пожарной нагрузки / Яковлев А.И., Стороженко Т.Е. // Промышленное строительство. – 1979. - № 9. - С. 37-39.
4. Башкирцев М.П. Исследование температурного режима при пожарах в зданиях на моделях / Башкирцев М.П. // Труды Высшей школы МВД. – М: НИРЧО, 1966. - № 13.-С. 51-58.
5. Молчадский И.С. Расчет эквивалентной продолжительности пожара для основных строительных конструкций / Молчадский И.С., Гомазов А.В., Зотов СВ. // Поведение строительных конструкций в условиях пожара. - М.: ВНИИПО, 1987.- С. 60-68.
6. Стороженко Т.Е. Оценка пожарной опасности производственных зданий и помещений на основе пожарной нагрузки: Реферат, инф-я. / Стороженко Т.Е., Федоров В.В., Измаилов А.С. - М.: ЦНИИСК, 1978. - Серия IV. - Вып. 9.
7. Lie T.T. Characteristic temperature curves for various fire severities / Lie T.T. // Fire Technol. – 1974 (10). – № 4. - P. 315-326.
8. Rubini. P., SOFIE - Simulation of Fires in Enclosures, V 3.0 Users guide, School of Mechanical Engineering, Granfield University (UK), 2000.
9. Захист від пожежі. Вогнезахисні покриття для будівельних несучих металевих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності (EN 13381-4:2002, NEQ) : ДСТУ Б В 1.1-17:2007. – [Чинний від 2008-01-01] – К.: УКРАРХБУДІНФОРМ, 2009. – XIV, 105 с. – (Національний стандарт України).
10. Круковский П.Г. Определение теплофизических характеристик вспучивающегося покрытия по данным испытаний на огнестойкость / Круковский П.Г., Цвиркун С.В. // Науковий вісник УкрНДПБ. – 2005. – №1(11). – С. 5-13.
11. Огнезащитные составы для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности: НПБ 236-97. – [Действующий с 1997-06-01, введены в действие приказом ГУГПС МВД РФ от 29 апреля 1997 г. N 25] –М., 1997. – 8 с.

12. Определение теплоизолирующих свойств огнезащитных покрытий по металлу: Методика. – М.: ВНИИПО, 1998. - 19 с.

13. Современный эксперимент: подготовка, проведение, анализ результатов / [Блохин В.Г., Глудкин О.П., Гуров А.И. Ханин М.А.]. – М.: Радио и связь, 1997. – 232 с.

14. Андронов В.А. Лабораторна установка для визначення вогнезахисних властивостей реактивних вогнезахисних покриттів для металевих конструкцій / Андронов В.А., Рыбка Є.О. // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ, 2009. – Вып. 26. – С. 3 – 11.

Андронов В.А., Рыбка Е.А.

Исследование огнезащитных свойств реактивных покрытий для металлических конструкций с учетом температурных режимов реальных пожаров

Проведено математическое планирование и обработка результатов эксперимента для установления закономерностей влияния температурного режима пожара на огнезащитные свойства реактивных покрытий для металлических конструкций.

Ключевые слова: реактивное покрытие, температурный режим, эксперимент, фактор, опыт, коэффициент регрессии, дисперсия.

Andronov V.A., Rybka Ye.A.

Experiment planning on research of fireproof properties of reactive coverages for metal constructions taking into account temperature modes of real fires

The mathematical planning and processing of experimental data to establish patterns of influence of the temperature regime of fire retardants on the properties of reactive coverages for metal constructions.

Keywords: reactive coverage, temperature mode, experiment, the factor, experience, regress factor, dispersion.

УДК 614.8

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

К ВОПРОСУ МАСШТАБНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗУПРОЧНЕНИЯ СТЕКЛОПЛАСТИКА НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПОЖАРА

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

В работе проведена оценка изменений характеристик прочности стеклопластика с применением принципа моделирования тепловых состояний с определением нагрузки, вызывающей разрушение материала определенного размера на начальной стадии медленно развивающегося пожара.

Ключевые слова: стеклопластик, критерии подобия, несущая способность.

Постановка проблемы. Сочетание высоких механических свойств стеклопластиков с их легкостью, низкой теплопроводностью позволяет с успехом использовать их в теплоизолирующих конструкциях, кратковременно работающих при высоких температурах. Однако внедрение этих материалов для высоконагруженных конструкций сопряжено с решением ряда технических задач, одной из которых является обеспечение их пожарной безопасности. При учете достаточно низкого уровня возгораемости, по сравнению с основными видами полимерных и композиционных материалов, традиционным стеклопластикам (их конструкциям) не свойственно в условиях развития пожара длительно сохранять несущую способность. Применение специальных связующих решает эту задачу, обеспечивая сохранение несущей способности на начальной стадии развития пожара.

Анализ последних исследований и публикаций. Попытки создать аналитические методы расчета несущей способности указанных материалов сталкиваются со значительными трудностями, связанными со сложностью построения физической модели процесса разупрочнения стеклопластиков в условиях интенсивного неустановившегося нагрева (пожара) и решения системы уравнений, достаточно полно описывающих физико-химические процессы, происходящие в изучаемом объекте, а также с отсутствием данных о температурной зависимости теплофизических и механических характеристик полимерных материалов.

Известно, что в изучении вопросов несущей способности конструкций при нестационарном нагреве весьма перспективным направлением является применение методов теории подобия [1]. Такой инженерный подход позволяет при ограниченном объеме эксперимента получать общие закономерности разупрочнения исследуемых образцов.

В работе [2] несущая способность конструкции рассматривалась как функция критериев, определяющих подобие температурных полей. Для линейного режима изменения температуры нагреваемой поверхности пластины толщиной δ приняты следующие критерии:

критерий Фурье $F_o = \frac{a_o \tau}{\delta^2}$, представляющий собой безразмерное время

нагрева и критерий Предводителя $Pd = \frac{b \delta^2}{a_o T_o}$, характеризующий

безразмерную скорость нагрева, где T_o - начальная температура; b - скорость нагрева, $b = \frac{T - T_o}{\tau}$ (τ - время нагрева); δ - толщина пластины,

α_o - коэффициент температуропроводности при $T = T_o$. По результатам многочисленных экспериментов, выполненных на плоских образцах, было установлено, что эти критерии однозначно определяют несущую способность исследованных объектов. Данный подход к изучению несущей способности конструкций из стеклопластика при нестационарном нагреве дает возможность устанавливать общие закономерности разупрочнения при ограниченном объеме выполненных экспериментов. Так, в работе [3] на примере проведенных экспериментальных исследований несущей способности стеклопластика в условиях нестационарного нагрева показана возможность распространения результатов испытаний на широкий диапазон режимов его нагрева. Следует отметить, что авторами был выбран материал на основе традиционного связующего – эпоксифенольной смолы. Поведение последнего в ходе одностороннего нагрева характеризуется размягчением по достижении температуры стеклования с последующим набором жесткости, главным образом, за счет коксования приповерхностного слоя.

В ходе предварительных исследований нами был разработан эпоксидный компаунд на основе динафталенового производного, который при нагреве (в диапазоне умеренных температур) обеспечивал минимальное размягчение материала. В целом такое поведение должно положительным образом влиять на сохранение несущей способности нагруженных конструкций при экстремальных тепловых воздействиях [4].

Постановка задачи и ее решение. В связи с особым отличием предложенного связующего в работе поставлена задача оценить из-
К вопросу масштабного моделирования разупрочнения стеклопластика на начальной стадии 19
пожара

менение характеристик его прочности с применением принципа моделирования тепловых состояний с определением нагрузки, вызывающей разрушение материала определенного размера.

Образцы размером 100 x 10 и толщиной от 2 до 10 мм вырезали из листов стеклопластика, полученных методом автоклавного формования. Испытания образцов при изгибе проводили по стандартной схеме действия на разрывной машине Р-5, которая предназначена для статических испытаний пластмасс по ГОСТ 1497-89. Образцы из стеклопластика (стеклотекстолита) на основе рассматриваемого связующего подвергали одностороннему нагреву путем непосредственного пропуска электрического тока через поверхностный слой. Последний представлял собой двухслойную ленту ЛУ-2, которая отформовывалась вместе с препрегом соответствующего композита. Несущую способность образцов оценивали временем до их разрушения при действии постоянной во времени изгибающей нагрузки и нарастании температуры на нагреваемой поверхности в режимах, близких к условиям медленно развивающегося пожара. Скорость нарастания температуры задавалась путем подбора напряжения на углеленту через лабораторный автотрансформатор. При этом скорость выбиралась такой, что на образцах различной толщины выполнялось условие $Pd = \frac{b\delta^2}{\alpha_0 T_0} = idem$. Величина α_0 принималась равной 0,35 мм²/с. а $T_0 = 293$ К.

Эксперименты проводили при безразмерной скорости нагрева $Pd = 0,37$, при этом абсолютная скорость нагрева образцов изменялась от 0,4 до 9,5 град/сек. При каждом значении $Pd = const$ было испытано по 5 образцов толщиной 2, 5, 7,5 и 10 мм. При комнатной температуре величина удельной прочности на изгиб указанных образцов составляла $\sigma_0(T_0) \sim 250$ Мпа.

Температурное распределение в образце определялось при помощи платино-платинородиевых термопар. Ведущая термопара, по результатам показаний которой осуществлялась программа нагрева, устанавливалась между углелентой и стеклопластиком.

Результаты испытаний несущей способности образцов при различных режимах одностороннего нагрева представлены на рисунке в виде зависимости $\sigma(T) / \sigma_0(T_0) = f(F_0, Pd)$, где $\sigma(T)$ – интенсивность внешней изгибающей нагрузки при некотором температурном поле образца.

Анализируя полученные экспериментальные зависимости, можно отметить, что экспериментальные точки, характеризующие уровень относительной прочности образцов различной толщины при одном и том же значении безразмерной скорости нагрева $Pd = idem$, в пределах разброса, оцениваемого неоднородностью материала, укла-

дываются на одну кривую. В тоже время, абсолютная долговечность (время до разрушения) для образцов различной толщины отличается примерно в 50 раз.

Таким образом, несущая способность образцов стеклопластика в исследованном диапазоне скоростей нагрева с достаточной степенью точности может быть определена критериями, характеризующими безразмерное время нагрева $F_o = \frac{a_o \tau}{\delta^2}$ и условия теплообмена на нагреваемой поверхности, в данном случае $Pd = \frac{b \delta^2}{a_o T_o}$. Этот факт указывает на возможность масштабного моделирования процессов разрушения конструкций из стеклопластиков на основе связующих, склонных к интенсивным пиролитическим превращениям в условиях нестационарного нагрева.

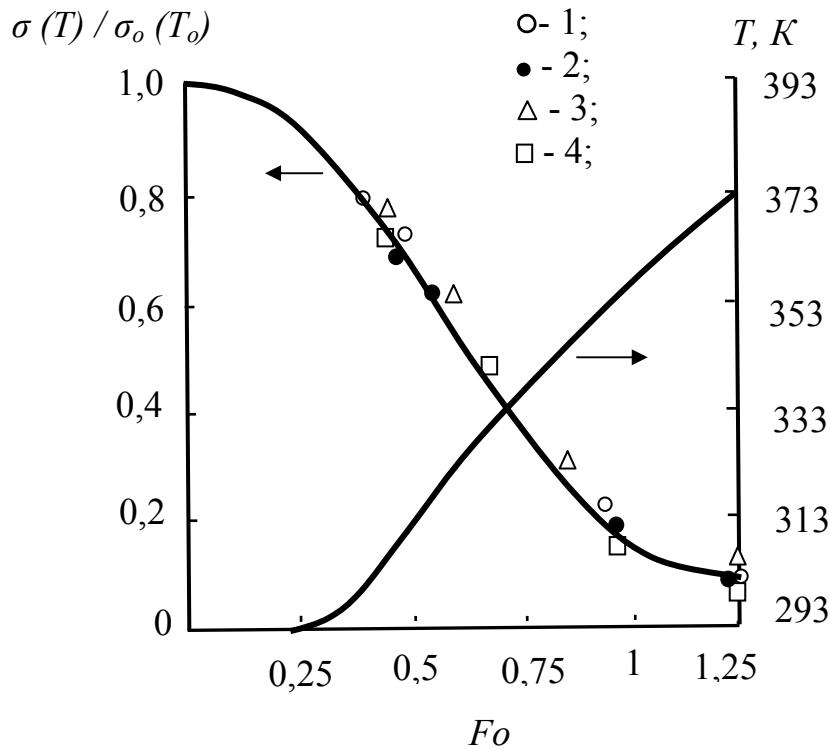


Рис. 1 – Зависимость разупрочнения стеклопластика при одностороннем нестационарном нагреве ($Pd = 0,37$): 1 - $\delta = 2$ мм; 2 - $\delta = 5$ мм; 3 - $\delta = 7,5$ мм и 4 - $\delta = 10$ мм

Окончательное подтверждение о возможном масштабном моделировании несущей способности конструктивных элементов (образцов) для данного вида стеклопластиков требует проведения дополнительных испытаний при варьировании безразмерной скорости нагрева и получения обобщенных экспериментальных зависимостей разупрочнения при одностороннем нестационарном нагреве.

Выводы. Предлагаемый метод, в основу которого положено определение зависимости несущей способности материала от критериев теплового подобия, позволяет при единичных испытаниях с достаточной степенью точности сопоставить величины относительной прочности армированных пластиков от их размера. При этом следует подчеркнуть, что несущая способность образцов, выполненных на данном полимерном связующем, представляет собой частный вид функции критериев подобия, рассчитанных по времени и скорости нагрева в условиях режима медленно развивающегося пожара.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грачева Л.И. Термическое деформирование и работоспособность материалов тепловой защиты. – Киев: Наук. думка, 2006. – 294 с.
2. Димитренко Ю.И. Механика композиционных материалов при высоких температурах. – М.: Машиностроение, 1997. – 367 с.
3. Третьяченко Г.Н., Грачева Л.И., Термическое деформирование неметаллических деструктурирующих материалов : [учебное пособие]. – К.: Наук. думка, 1983. – 248 с.
4. Билым П.А. Особенности высокотемпературного структурирования полимерных связующих стеклопластика на начальной стадии развития пожара. / Билым П.А., Михайлюк А.П., Афанасенко К.А. // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков: УГЗУ, 2009. – Вып. 26. – С. 25 – 31.

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

До питання масштабного моделювання руйнування склопластику на початковій стадії пожежі

В роботі проведена оцінка зміни характеристик міцності склопластику із застосуванням принципу моделювання теплових станів із визначенням навантаження, що викликає руйнування матеріалу визначеного розміру на початковій стадії пожежі, що повільно розвивається.

Ключові слова: склопластик, критерії подібності, несуча спроможність.

Bilym P., Mikhailyuk A., Afanasyenko K. Kalyabin U.

To question of scale design of fiberglass destruction on the initial stage of fire.

The estimation of fiberglass durability descriptions changes is In-process conducted with the use of principle of design of the thermal states with determination of loading, defiant destruction of material of certain size on the initial stage of slow developing fire.

Keywords: fiberglass, criteria of similarity, bearing ability.

УДК 614.8

*П.А. Билым, канд. хим. наук, доцент, НУГЗУ,
А.П. Михайлюк, канд. хим. наук, доцент, профессор, НУГЗУ,
К.А. Афанасенко, преподаватель, НУГЗУ,
В.К. Мунтян, канд. техн. наук, заведующий кафедрой, НУГЗУ*

**КИСЛОТНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ ОТВЕРЖДЕНИЯ
ЭПОКСИДОВ И ИХ МОДИФИЦИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ НА
СЕТЧАТЫЙ ПОЛИМЕР В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА**

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

По данным динамических механических испытаний в условиях низкоскоростного (равномерного) и высокоскоростного нагрева установлено действие отверждающего агента на сохранение теплоустойчивости и термостабильности сетчатого полиэпоксида. Найдены и интерпретированы интервалы мультиплетных переходов в главной релаксационной области

Ключевые слова: полиэпоксид, комплекс трехфтористого бора, скорость нагрева, акустические характеристики.

Постановка проблемы. Известно, что кислотные катализаторы, к числу которых относятся комплексы трехфтористого бора (КТБ) с аминопроизводными, получили широкое применение в качестве отвердителей эпоксиолигомеров для синтеза полимерных связующих высокомодульных композитных материалов [1]. Установлено, что для амина с низкой основностью процесс полимеризации эпоксициклов происходит столь бурно, что при нагреве до температуры ~35-40 °С за одну две минуты может образовываться блочный полимер с крайне неравновесной структурой. С другой стороны, амин, высвобожденный в ходе последовательных гидролитических превращений, вследствие низкой основности не способен к участию в реакции полиприсоединений с эпоксициклами и, соответственно, должен «остаться» в несвязанном виде в объеме полимерной матрицы [2].

Ранее было установлено, что наличие в полимерной матрице «свободных» реакционноспособных соединений в ряде случаев может приводить к получению полимера с комплексом специфических свойств [3]. В частности это касается соединений на основе полисопряженных молекулярных образований, действие которых при повышенных температурах, и в особенности при высоких скоростях нагрева может способствовать деструктивно-полимеризационным превращениям с образованием новой термодинамически стабильной

структуры, обеспечивая повышенную тепловую и термическую стойкость материала [4].

Постановка задачи и ее решение. В связи с особенностями поведения полимеров, содержащих сопряженные ароматические фрагменты, в работе поставлена задача по исследованию динамики изменения их термоупругих и релаксационных свойств в условиях пожара. Предложено рассмотреть в качестве стабилизирующей добавки кислотный катализатор отверждения эпоксида - соединение трехфтористого бора с донорным соединением динaftаленового типа.

Исходный диаминодинафтил (4,4'-диамино-1,1'-динафтил) и его комплексное соединение были получены по известным методикам [5, 6]. Для предотвращения на воздухе гидролиза полученных комплексов по окончании синтеза продукты обрабатывали этиловым эфиром.

Композиции готовили путем совмещения эпоксидного олигомера ЭД-20 (э.ч. = 21,47) и кислотного катализатора при массовом соотношении 100:5. Отверждение проводили по режиму: при комнатной температуре – 24 часа + 100 °С – 2 часа + 140 °С – 2 часа + 180 °С – 4 часа.

Поведение материала при интенсивных скоростях нагрева оценивали по изменению его акустической характеристики – скорости сдвиговых волн в образце. Расчет скорости звука c_t проводили по экспериментальным значениям динамического модуля сдвига G' и величине плотности блочных полиэпоксидов ρ , согласно приближенному выражению $c_t = \sqrt{\frac{G'}{\rho}}$. Динамический модуль упругости измеряли на обратном крутильном маятнике в режиме вынужденных резонансных колебаний в диапазоне частот 20-200 Гц и двух видов нагрева: линейном – 5 град/мин и скоростном. В последнем случае нагрев проводили в камере с помощью газовой горелки. Ее позиционирование и расход газообразного топлива позволило провести имитацию нагрева испытуемого образца в режиме нарастания температуры близком к условиям развития стандартного пожара. Для сравнения в работе приводятся экспериментальные зависимости поведения блочного полимера на основе ЭД-20, сшитого КТБ с α -нафтиламином, серийно выпускаемого под торговой маркой УП-605/1.

Рассмотрим сначала, каким образом происходит изменение c_t при низкой скорости нагрева образцов. Как видно из данных, представленных на рис. 1, переход полиэпоксидов из стеклообразного в высокоэластическое состояние сопровождается традиционным скачкообразным падением скорости сдвиговых волн. Используя общие представления о мультиплетном характере α -перехода в сшитых полимерах можно, по крайней мере, выделить два вида структурной организации в представленных системах. Во-первых, область более

рыхлых и менее упорядоченных участков аморфного сетчатого полимера, которые в интервале температур от T_1 до T_3 характеризуются размораживанием микроброуновского сегментального движения. Другим видом надмолекулярной организации в предствленных полимерах являются более упорядоченные или более плотно упакованные области. Для последних интервал релаксации находится в области повышенных температур и ограничивается температурным диапазоном между T_2 и T_4 . Если сравнить положение на температурной шкале области основных перегибов то видно, что для исследуемых полиэпоксидов T_1 и T_4 практически совпадают. Несмотря на определенные отличия сетчатых систем по величине плотности сшивки и степени реализации физических контактов в стеклообразном состоянии переход для них в высокоэластическое состояние заканчивается практически одновременно. Такой результат дает основание полагать, что при размягчении блочных эпоксидов полимеризационного типа происходит интенсивная релаксация, которая обусловлена скорее не топологическим устройством сетки, а ее напряженностью, приобретенной на стадии отверждения реакционной системы.

На рис. 1-б приведены температурные зависимости $tg \delta$ исследуемых полиэпоксидов в главной релаксационной области. Обращает на себя внимание тот факт, что вершина температурного максимума смещается в область повышенных температур при переходе от диаминного к монозамещенному аминному комплексу. Этот эффект становится понятным после анализа графиков $c_t=f(T)$ (см. рис. 1-а). При этом мультиплетность α -перехода на графиках $tg \delta=f(T)$ не проявляется, но отчетливо прослеживается на температурных зависимостях скорости звука. Поэтому широкий максимум $tg \delta$ в главной релаксационной области представленных систем можно рассматривать, как результат суперпозиции двух близко расположенных на шкале температур α_1 - и α_2 -пиков механических потерь. Несимметричность формы результирующего максимума определяется, по-видимому, неодинаковой высотой суммируемых гауссовых кривых. Однако, наблюдаемая тенденция к снижению максимума и уширения пика соответствует традиционному виду зависимости $tg \delta=f(T)$ при повышении плотности сшивки полиэпоксидного связующего.

Иная картина изменения акустических характеристик наблюдалась при увеличении темпа нагрева. Так, нарастание температуры в испытательной камере при условиях близких к развитию стандартного пожара, вызывает сдвиг температурно-временных характеристик размягчения образца в область более высоких температур. В этом случае более интенсивно теряет упругие свойства (размягчается) образец, отвержденный комплексом с моноамином. Однако, вместо четырех перегибов кривые скорости звука прописываются двумя об-

ластями скачкообразного падения скорости сдвиговых волн. Причем, расположение перегибов по оси температур, не позволяет провести однозначную оценку по их отнесению к характерным температурным интервалам области стеклообразного перехода.

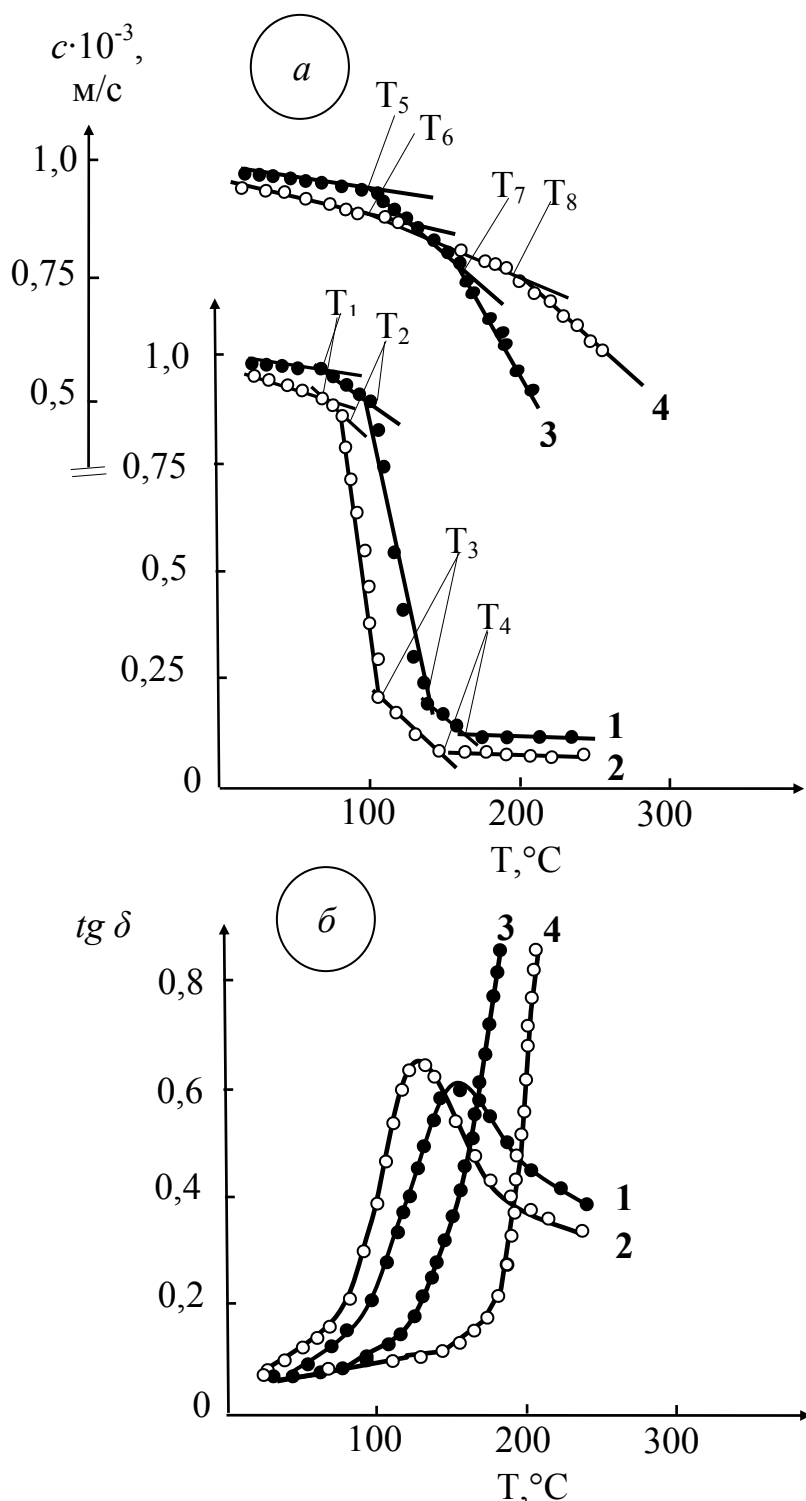


Рис. 1 – Температурная зависимость скорости сдвиговых волн (а) и тангенса угла механических потерь (б) для полиэпоксида при линейном нагреве – 1, 2 и в режиме медленно развивающегося пожара – 3,4. Отвердитель: КТБ с α -нафтиламином - (кривые 1, 3) и КТБ с 4,4'-диамино – 1,1'-динафтилом – (кривые 2, 4)

В связи с этим целесообразно более подробно остановиться на особенностях изменения характеристических температур мультиплетного перехода в главной релаксационной области от скорости нагрева. Для этого, с учетом аппаратурных возможностей, дополнительно были проведены динамические механические испытания при скоростях нагрева 10, 15 и близкой к 20 град/мин. По результатам данных исследований были построены экспериментальные зависимости изменения характеристических температур переломов на кривых $c_i=f(T)$ от программируемой скорости нагрева.

Как видно из данных, представленных на рис. 2, найденная экспериментальная зависимость позволяет достоверно проводить интерпретацию структурных переходов, наблюдаемых при нагреве образца в режиме медленно развивающегося пожара. Судя по положению отдельно нанесенных точек, соответствующих температурам перегибов на зависимости c_i от T , можно однозначно свидетельствовать об их отнесении к конкретному виду релаксационного процесса. Так, установленные температуры переломов для режима медленно развивающегося пожара (см. рис. 1) удовлетворительно накладываются на линейные зависимости, которые построены по точкам T_1 и T_2 . Переходы T_1 и T_2 относят к низкотемпературным границам α -релаксации в областях с двумя различными уровнями надмолекулярной организации. Поэтому, как при низкоскоростном (программируемом) режиме нагрева, так и скоростном (режиме медленно развивающегося пожара) однозначно наблюдаются двойные переходы, соответствующие началу релаксационного процесса. Дополнительным подтверждением этому является то, что кривые, построенные по значениям T_3 и T_4 , существенно отклоняются от рассмотренной серии линейных зависимостей и характеризуются заметной нелинейностью и удаленностью от температур переходов T_5, T_6, T_7 и T_8 , фиксируемых при нарастании температуры в режиме пожара.

Остается выяснить вопрос о разнице в отклонении структурных переходов по температурной шкале для исследуемых полиэпоксидных систем. Следует напомнить, что данные полиэпоксиды представляют собой полимеры сетчатого строения. Причем, сетка образована в результате миграционной полимеризации исходного олигомера с участием замещенных кислоты Льюиса. Это означает, что сетки полученных полимеров имеют аналогичное строение и по брутто-составу существенно не отличаются. Основным отличием рассматриваемых систем является присутствие в полимерной матрице в свободном (несвязанном) или частично связанном состоянии протонодонорных соединений – аминов на основе моно- и динифталина или их комплексов (аддуктов) с трехфтористым бором. Поскольку углеводороды с конденсированными ядрами способны быть инициатора-

ми пиролитических превращений, то очевиден факт ускорения прохождения процессов конденсационного уплотнения с образованием более термодинамически устойчивых структур.

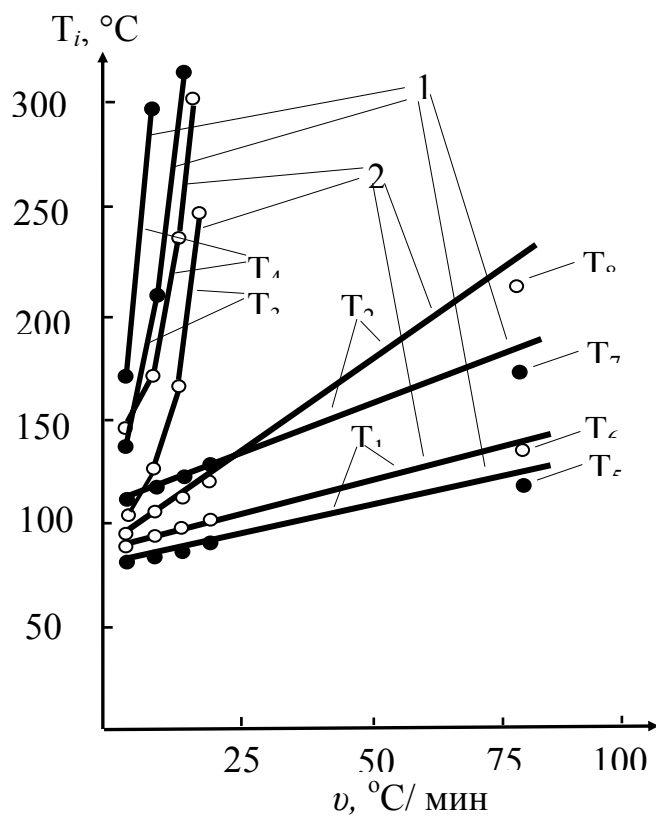


Рис. 2 – Зависимость изменения характеристической температуры скачкообразного снижения скорости сдвиговых волн в образце от скорости его нагрева. Отвердитель: КТБ с α -нафтиламином - (кривые 1) и КТБ с 4,4'-диамино – 1,1'-динафтилом – (кривые 2)

Не останавливаясь на возможных механизмах реакций пиролитического превращения, более подробно рассмотрим экспериментальные данные, касающиеся кинетики прохождения релаксационных процессов, которые по сути и ответственны за повышение температуры начала интенсивного размягчения системы. Воспользуемся для этого экспериментальными зависимостями $\tan \delta$ от T и проведем по ним расчет «кажущейся» энергии активации при различных скоростях нагрева. Величины E_a рассчитывали по известной методике [7]. Как видно из данных, приведенных на рис. 3, во всех случаях с ростом скорости нагрева наблюдается повышение энергии активации. Причем, интенсивность роста E_a от скорости нагрева для системы, отвержденной в присутствии комплексного соединения на основе биядерного аминопроизводного, значительно выше, чем для его одноядерного аналога. В соответствии с общим правилом релаксационной теории в конденсированных полимерных телах для размораживания сегмента большего размера требуется большая тепловая

энергия. Следовательно, чем больше энергия активации, тем больший размер сегмента размораживается при температуре стеклования. В тоже время, сопоставление экспериментальных величин E_a со значениями характеристических температур начального этапа α -релаксации указывает на неоднозначность данного вывода. Установлено, что увеличению энергии активации соответствует интенсивный прирост характеристической температуры T_2 до значений T_7 и T_8 , при незначительном смещении по температурной шкале перегиба T_1 до значений T_5 и T_6 . Следовательно, для сохранения текущей прочности материала при экстремальных тепловых воздействиях необходимо применять связующее с максимальным уровнем уплотнения. Последнее относится к уровню надмолекулярной организации сетчатого полимера с минимальной долей менее уплотненных, более разрыхленных областей в объеме матричного связующего. Тривиально решить такую проблему можно на стадии получения сетчатого полимера, используя ступенчатый нагрев при отверждении с более длительными стадиями прогрева, последующей длительной термообработкой при температурах выше T_{cm} и плавным режимом охлаждения до температуры окружающей среды.

Остается открытым вопрос о различиях интервалов запаздывания структурных переходов для исследуемых полимеров. Так, было установлено, что в условиях скоростного нагрева (режиме медленно развивающегося пожара) исследуемые полиэпоксиды характеризуются различным расширением переходных зон ΔT_{57} и ΔT_{68} (см. рис. 1).

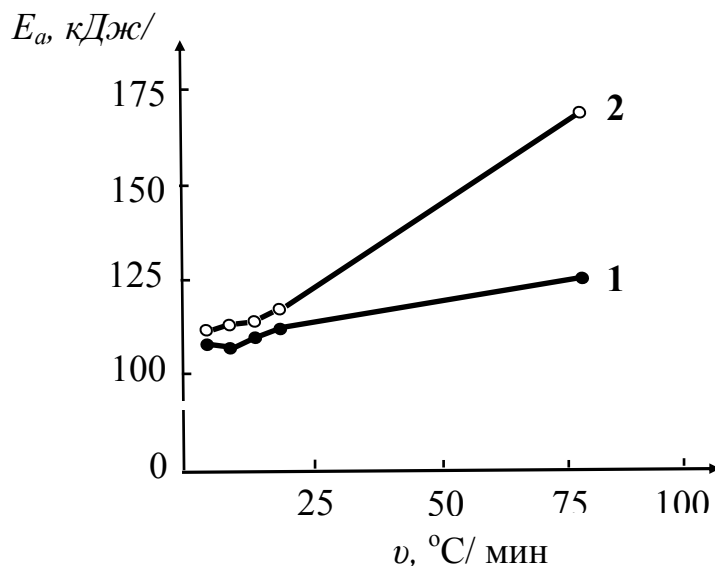


Рис. 3 – Зависимость величины энергии активации стеклообразного перехода сетчатого полиэпоксиды от скорости нагрева. Отвердители: КТБ с α -нафтиламином - 1 и КТБ с 4,4'-диамино – 1,1'-динафтилом – 2

Еще одно немаловажное обстоятельство – различие в уменьшении для них скорости звука в переходной области. Судя по экспериментальным зависимостям, для полиэпоксида, отвержденного комплексом с диаминодинафтилом, скорость звука с ростом температуры в зоне ΔT_{68} убывает незначительно и достигает температуры перехода T_8 значительно позже по времени.

На наш взгляд, наблюдаемое отличие состоит в характере прохождения твердофазных процессов, включающих протекание относительно простых реакций, таких как, рекомбинация радикалов и радикальных пар, низкомолекулярное окисление макрорадикалов. Кроме этого, в процессе деструкции полимеров могут образоваться продукты реакции, которые катализируют не только процесс распада полимера, но и его твердофазную постполимеризацию. Очевидно, что в данном случае, внесение в систему большей доли сопряженных ароматических группировок, за счет применения в качестве донора КТБ диаминодинафтила, благоприятно влияет на сохранение теплоустойчивости и термостабильности сетчатого полимера при экстремальных тепловых воздействиях.

Выводы. Исследования показали, что применение соединений с системой сопряженных связей, которые используют в качестве отверждающих агентов эпоксидов, обеспечивает при нагреве полимера стабилизирующий эффект. С переходом от моно- к биядерному донору комплексного соединения, а также при увеличении темпа нагрева, действие кислотного катализатора отверждения усиливается.

2. По температурной зависимости акустических свойств найдены и интерпретированы основные интервалы структурных переходов в сетчатом полимере, что однозначно свидетельствует об их отнесении к конкретному виду релаксационного процесса. Для сохранения текучей прочности материала необходимо достижение максимального уровня уплотнения сетки полимера, как на стадии его получения, так и за счет твердофазных пиролитических превращений при экстремальных тепловых воздействиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Композиционные материалы. Справочник / [Васильев В.В., Протасов В.Д., Алфутов Н.А. и др.], под ред. В.В. Васильева. – М.: Машиностроение, 1990 – 512 с.

2. Билым П.А. Особенности термической и термоокислительной деструкции эпоксидов, отвержденных комплексами трехфтористого бора / Билым П.А. // Вестник НТУ «ХПИ»: Сб. научн. трудов. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2008, Вып. 39. – С. 176 – 181.

3. Берлин А.А., Гейбрих М.А. Химия полисопряженных систем: [производственное издание]. – М.: Химия, 1983. – 271 с.

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

5. Доналдсон Н. Химия и технология соединений нафталинового ряда. – М.: Госхимиздат, 1963. – 656 с.

6. Билым П.А. Аддукты трехфтористого бора с ароматическими диаминами в качестве отвердителей эпоксидиановых смол / Билым П.А., Преждо В.В., Сергеев В.А., Неделькин В.И., Дубовик И.И. // Пластические массы, 1990. - № 7. – С. 82 – 84.

7. Перепечко И.И. Введение в физику полимеров.- М.: Химия, 1978. – 312 с.

П.А. Білим, О.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко, В.К. Мунтян

Кислотні каталізатори ствердіння епоксидів та їх модифікуюча дія в умовах екстремальних температурних впливів на сітчастий полімер

За даними динамічних механічних випробувань в умовах низько швидкісного (рівномірного) та високошвидкісного нагріву встановлена дія стверджуючого агента на збереження теплостійкості та термостабільності сітчастого поліепоксиду. Знайдені та інтерпретовані інтервали мультиплетних переходів в головній релаксаційній області.

Ключові слова: поліепоксид, комплекс трифтористого бора, швидкість нагріву, акустичні характеристики.

Bilym P., Mikhailuk A., Afanasyenko K., Muntyan V.

Acid catalysts of hot-setting for epoxy and their modifying action in the conditions of extreme thermal affecting to the cellular polymer

From data of dynamic mechanical tests in the conditions of low-speed (regular) and high-speed heating it is set effect of hardening agent on the maintenance of thermal endurance and thermostability of cellular polyepoxy. Found and interpreted intervals of multiplet transitions in main relaxation area.

Keywords: polyepoxy, complex of the three-fluorine boron, heating speed, acoustic descriptions.

УДК 162.3

*В.М. Быков, н.с., ИРЭ НАН Украины,
В.А. Комяк, канд. ф.-м. наук, с.н.с., ИРЭ НАН Украины,
В.К. Мунтян, канд. техн. наук, заведующий кафедрой, НУГЗУ,
В.Н. Акулов, преподаватель, НУГЗУ*

**ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
РАДИОТЕПЛОЛОКАТОРА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ
РАДИОТЕПЛОКОНТРАСТНЫХ УЧАСТКОВ ЛАНДШАФТА В
ПРОЦЕССЕ ЛИКВИДАЦИИ ЛЕСНОГО ПОЖАРА СИТУАЦИЙ**
(представлено д-ром техн. наук Алексеевым О.П.)

В статье рассмотрено физическое обоснование применения бортового радиотеплолокатора для выявления радиотеплоконтрастных участков ландшафта и использования полученной информации с целью наведения авиации на примере ликвидации лесного пожара.

Ключевые слова: модель теплового излучения, радиотепловой контраст, пожарная авиация

Постановка проблемы. Лесной пожар является одним из видов чрезвычайных ситуаций (ЧС) – код этой ЧС согласно ДК-019 2001 – 20510. Использование пожарной авиации (ПА) для тушения ландшафтных пожаров широко внедряется в мировую практику борьбы с чрезвычайными ситуациями. Пожарные самолеты и вертолеты решают проблему доставки больших масс огнетушащих веществ в труднодоступных районах, а при тушении верховых лесных пожаров могут быть единственным эффективным средством борьбы с ними. Основной проблемой применения ПА является наведение авиационных средств (АС) на очаг пожара и определения штурманом времени сброса воды [1]. В реальных условиях крупного пожара его очаг скрыт мощным дымовым шлейфом (особенно в зоне фронта пожара и перед ним) и использование наземных ориентиров малоэффективно. Еще более остро задача наведения стоит при создании заградительных полос на путях распространения огня с помощью сброса воды с борта летательных аппаратов (ЛА). Согласно практике применения авиации в борьбе с лесными пожарами в США [2] при локализации очага заградительная полоса создается последовательным сбросом воды с самолетов перед фронтом пожара. При этом зоны покрытия лесных горючих материалов сброшенной водой с отдельных ЛА должны перекрываться для исключения прорыва огня по неувлажненному пространству между «пятнами». Пример схемы сброса представлен на рис. 1 [2]. Для облегчения визуального наблюдения места сброса предыдущими ЛА вода окрашивается контрастным веществом, что должно облегчать работу экипажа. Од-

нако, наличие дымового шлейфа и возможное затенение мест сброса кронами окружающих деревьев (особенно при предельно малых допустимых рабочих высотах полета танкера) могут существенно снизить эффективность использования «окрашивания». Поэтому актуальным становится применение инструментальных средств навигации АС.

В работе [3] для повышения точности наведения АС на очаг пожара предложено использовать инструментальные методы на основе радиотеплолокатора (РТЛ), работающего в микроволновом диапазоне радиоволн. Дальнейшие исследования показали эффективность этих методов и для навигации ПА при создании заградительных полос перед фронтом лесного пожара. В данной работе рассмотрены физические предпосылки для инструментальной навигации АС при таком применении ПА.

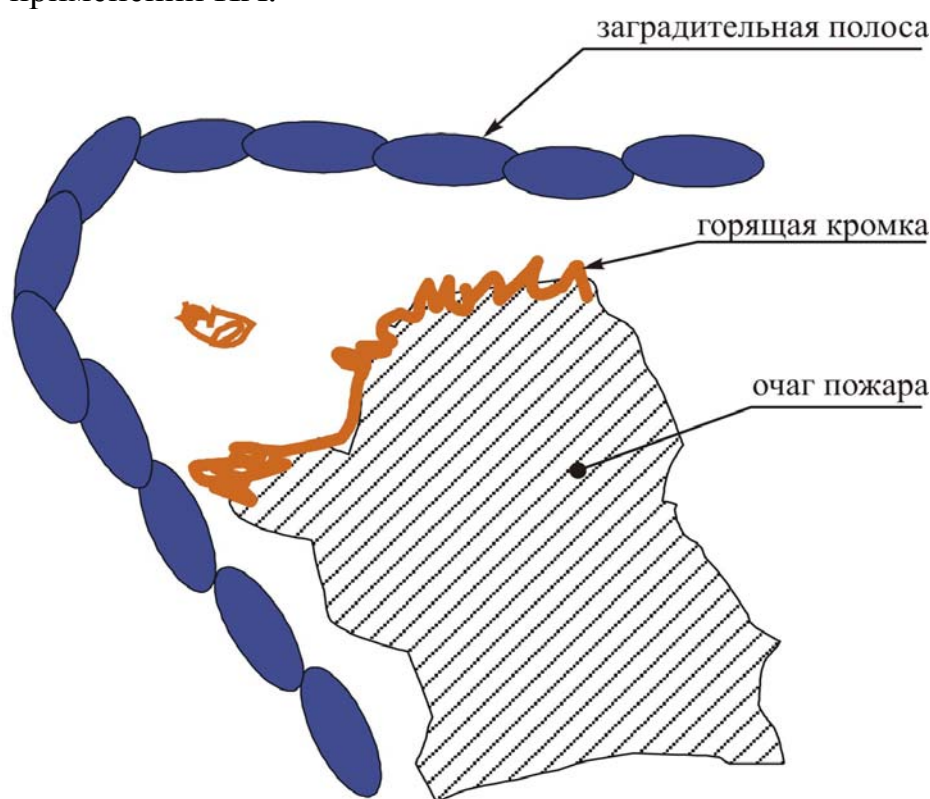


Рис. 1 – Схема построения заградительной полосы перед фронтом лесного пожара [2]

Анализ последних достижений и публикаций. Авторами работ [4, 5] рассчитаны поля плотности наземного распределения воды, сброшенной с пожарных самолетов АН – 32 П с высоты 40 м и Ил – 76 МД с высоты 100 м соответственно. Расчеты показывают, что количество воды, достигающей поверхности лесных горючих материалов, не превышает нескольких миллиметров на кв. метр, а площади, на которых возможно изменение влажности почвенного покрова до критической, т.е. изменение пирологических характеристик лес-

ных горючих материалов (ЛГМ), составляют $\sim 100 \text{ м}^2$ (согласно [6] это количество соответствует $\geq 3 \text{ мм/м}^2$).

Процесс создания заградительной полосы с помощью пожарной авиации можно рассматривать как увлажнение лесных горючих материалов (ЛГМ) атмосферными осадками. При этом следует учитывать, что, как указывается в [6], этот процесс сопровождается последовательным задержанием осадков пологом древостоя, живым наповенным покровом и подстилкой. При прохождении осадков сквозь полог древостоя часть их задерживается на поверхности листьев (хвои), ветвей и стволов. Остальная часть либо непосредственно достигает напочвенного покрова, либо стекает по стволам и опадает с крон деревьев. Малые осадки полностью или почти полностью задерживаются пологом древостоя. С увеличением силы дождя доля проникающих сквозь полог осадков нарастает, при полном насыщении полог перестает задерживать осадки и вся попадающая на него влага достигает напочвенного покрова. Максимальное количество воды, задерживаемое при полном смачивании всех наземных частей деревьев, характеризует влагоемкость лесного полога, которая в течение вегетационного периода пропорциональна листовому индексу насаждений [6]. Полагая, что количество влаги R_δ , задерживаемых пологом древостоя, пропорционально его сомкнутости δ , для насаждений с произвольной полнотой можно записать:

$$R_\delta = \delta \cdot R^* [1 - \exp(-\rho q)] \quad (1)$$

где δ - сомкнутость древесного полога, $0 < \delta \leq 1,0$; R_δ - количество осадков, задержанных пологом древостоя с сомкнутостью крон δ , мм; R^* - полная влагоемкость полога древостоя, мм; q - количество выпавших осадков, мм; ρ - постоянный коэффициент для данного типа насаждений.

В соответствии с [6], численные значения параметров, найденные по экспериментальным данным, для сомкнутых сосняков составляют $R_c^* = 4,5$ и $\rho_c = 0,11$, а для сомкнутых ельников - $R_e^* = 6,5$ и $\rho_e = 0,135$.

На рис. 2 представлены расчетные и экспериментальные зависимости количества влаги, задержанной пологом древостоев разной сомкнутости, при различной величине осадков.

Задержанная кронами вода существенно изменяет интенсивность собственного радиотеплового излучения участка леса в микроволновом диапазоне за счет дополнительного рассеяния излучения на обводненных хвоинках [7] и образовавшихся на них капельках воды. Такие локальные зоны с повышенным рассеянием должны контрастно

выделяться на радиотепловом изображении местности, получаемым РТЛ [3], которое может быть выведено на монитор штурмана ЛА.

Постановка задачи и ее решение. Рассмотрим влияние эффектов рассеяния на уровень собственного радиотеплового излучения участка хвойного леса. Формирующая излучение среда в этом случае может быть представлена плоскостой моделью [8].

Предположим, что над полубесконечным пространством с температурой T_0 (подстилающая поверхность, в нашем случае наземные ЛГМ) расположен плоскопараллельный поглощающий слой (растительность) толщиной $Z_{e\delta}$ со средней температурой T_1 и диэлектрической проницаемостью ϵ_1^* .

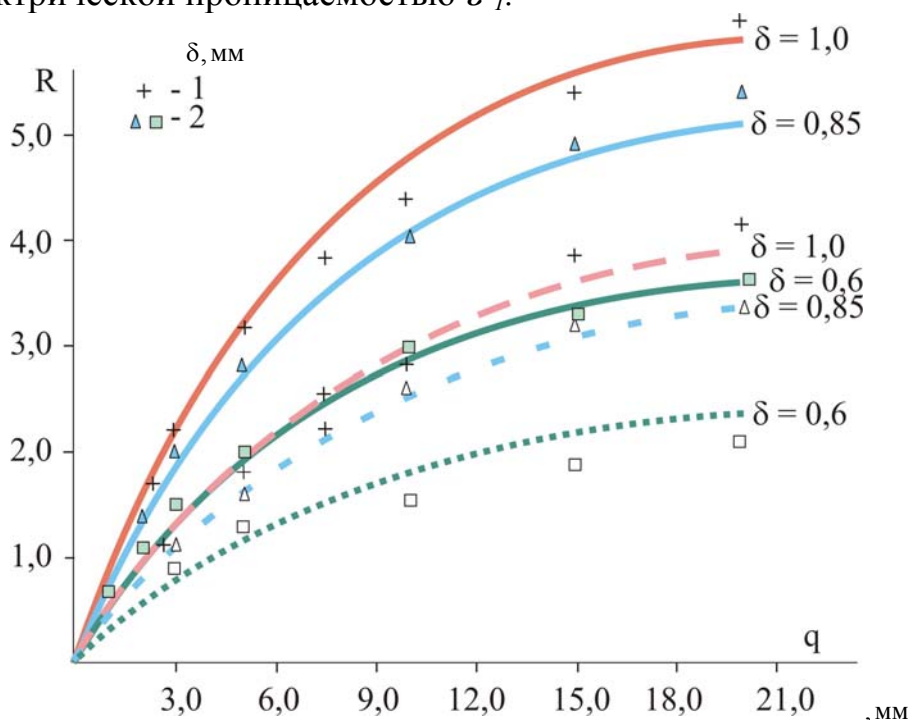


Рис. 2 – Количество влаги (R_δ), задержанной пологом древостоев разной сомкнутости (δ), при различной величине осадков (q) [6]: ельники – сплошные линии, сосняки – пунктир; 1, 2 – эксперимент

Влияние этого слоя на общее излучение системы будет выражаться в ослаблении излучения полупространства T_0 на величину

$$y(\theta_1) = \exp[-\gamma_1 Z_{кр} \sec \theta_1] \tag{2}$$

где γ_1 - удельный коэффициент поглощения слоя растительности, θ_1 - угол, связанный с углом наблюдения θ законом Снеллиуса, и внесении собственного излучения.

Выражение для радиояркой температуры \dot{O}_β , общепринятой меры интенсивности теплового излучения, может быть записано как

$$\dot{O}_\beta = y(\theta_1)T_0 + [1 - y(\theta_1)]T_1 \quad (3)$$

При проведении наблюдений радиотепловых контрастов участков леса в коротковолновой части СВЧ диапазона кроме эффектов поглощения в кронах деревьев необходимо учитывать рассеяние излучения на листьях и хвоинках [8].

Для случая рассеяния радиоизлучения цилиндрами с размерами $a \ll \lambda \ll l$, где a - радиус цилиндра, l - его длина, λ - длина радиоволны. При этом коэффициент ослабления (поглощение плюс рассеяние) авторы [8] предлагают рассчитывать как

$$\gamma = -\frac{4}{\pi^2}kNV \cdot \text{Im}(m^2 - 1) + 8kNV \cdot \frac{4}{\pi^2} \cdot \text{Re} \left[1 + \frac{b}{4d} \cdot \ln \frac{(b-d)^2}{(b+d)^2} \right], \quad (4)$$

где $b = \sqrt{2(1 - m^{-2})}$; $d = (1 - m^{-2})$; Re - действительная часть; Im - мнимая часть; m^2 - комплексная диэлектрическая проницаемость частицы ($\epsilon^*_{\text{воды}}$); N - объемная концентрация частиц; $V = \pi a^2 l$ - объем частицы. Первый член в (4) дает ослабление излучения за счет поглощения, второй член появляется вследствие рассеяния излучения частицами.

Учет рассеяния излучения применительно к рассмотренным выше моделям приводит к некоторому изменению выражений для вклада собственного радиотеплового излучения слоя растительности.

Параметр $y(\theta_1)$, входящий в выражения (2), (3), теперь будет иметь два значения: $y^*(\theta_1)$ будет ответственным за ослабление сигнала в слое, а $y^{**}(\theta_1)$ - за формирование собственного радиотеплового излучения. С учетом этого, выражение (3) примет вид:

$$\dot{O}_\beta = y^*(\theta_1)T_0 + [1 - y^{**}(\theta_1)]T_1 \quad (5)$$

где $y^*(\theta_1) = \exp[-\gamma^* Z_{\text{ед}} \sec \theta_1]$ - общее ослабление сигнала, рассчитываемое по (4), а $y^{**}(\theta_1) = \exp[-\gamma^{**} Z_{\text{ед}} \sec \theta_1]$ - ослабление за счет поглощения, рассчитываемое для:

$$\gamma^{**} = -\frac{4}{\pi^2}kNV \cdot \text{Im}(m^2 - 1) \quad (6)$$

В микроволновом диапазоне из-за значительного ослабления излучения в кронах деревьев за счет высоких значений мнимой части диэлектрической проницаемости воды (на длине волны $\lambda \sim 3$ см $\epsilon_A'' \square 30$) и высокой объемной плотности хвои ($NV \square 10^{-2}$ [8]) первым слагаемым в (5) можно пренебречь, а для сред с высоким уровнем рассеяния, к которым относятся и молодые хвойные насаждения, выражение (5) можно записать как (для леса $\theta_1 \cong \theta$):

$$T_{\text{я}} = (1 - \omega)[1 - y^{**}(\theta)]\Gamma_1, \quad (7)$$

где ω - альбеде однократного рассеяния (первое приближение многократного); $y^{**}(\theta) = \exp[-\gamma^{**}Z_{\text{кр}} \sec \theta]$.

Использованный в (7) термин альбеде показывает долю рассеяния в общем ослаблении сигнала в среде:

$$\omega = \frac{\sigma_{\delta\alpha\tilde{n}\tilde{n}}}{\sigma_{\delta\alpha\tilde{n}\tilde{n}} + \sigma_{i\tilde{i}\tilde{a}\tilde{e}}}, \quad (8)$$

где $\sigma_{\delta\alpha\tilde{n}\tilde{n}}$ и $\sigma_{i\tilde{i}\tilde{a}\tilde{e}}$ - сечения рассеяния и поглощения, соответственно [9].

В соответствии с [9] для сферических частиц, какими можно считать капельки воды на хвоинках:

$$\sigma_{\text{расс}} = \frac{8}{3}\pi k^4 |\alpha|^2 \quad (9)$$

$$\sigma_{\text{погл}} = 4\pi k \text{Im} \alpha, \quad (10)$$

где $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ - волновое число; λ - длина радиоволны; α - поляризуемость [9], определяемая диэлектрическими свойствами рассеивателя $\epsilon^* = \epsilon' + i\epsilon''$ и его размерами.

Вода, покрывшая хвоинки за счет смачивания, учитывается в (6).

Расчеты радиотепловых контрастов зон, подвергшихся «орошению» с борта ЛА, проводились для приближений, приведенных ниже.

На покрытие хвоинок водой для молодых ельников ($N_{\text{хвоинок}} \sim 50000$ в 1 м^2 кроны) требуется 0,6 л воды, для сосняков ($N_{\text{хвоинок}} \sim 5000$ в 1 м^2 кроны) – 0,3 л [10]. Остальная задержанная кронами вода (см. рис. 2) оседает на хвоинках в виде капелек. Для 1 мм капли ее объем $V = 0,5 \text{ мм}^3$, а для 2 мм капли – $V = 4,2 \text{ мм}^3$. В 1 литре - 10^6

мм³, т.е. при 1 л/м² «избыточной» воды число капелек диаметром 1 мм – 2×10^6 , число капелек диаметром 2 мм – 2×10^5 .

В результате расчетов определена чувствительность излучения системы почва – лес к задержанной пологом влаге $\Delta \dot{O}_\beta / \Delta R_\delta$ [7]. На длине радиоволны $\lambda \sim 8$ мм чувствительность составляет - 25 К/мм для сосняков, и - 40 К/мм для молодых ельников при диаметре капель 2мм в предположении, что капля соответствует каждой их хвоинок.

Для радиотепловых систем обнаружения критерием качества принято считать вероятность правильного обнаружения. Вероятность правильного обнаружения радиотеплового контраста «пятна» $\delta T_\Pi = T_{\text{яп}} - T_{\text{я фона}}$ в радиотеплолокации может быть определена как [3]:

$$P_D(L) = \frac{1}{2} \left[1 + \hat{O} \left(\frac{\delta \dot{O}_i - L}{\sqrt{2} \Delta \dot{O}_{\min}} \right) \right] \quad (11)$$

где L - выбранный порог; ΔT_{\min} - чувствительность радиометра; $L \approx q_m \Delta T_{\min}$; q_m - надежность обнаружения; $\Phi(z)$ - интеграл вероятности, т.е. вероятность правильного обнаружения в основном определяется радиотепловым контрастом объекта и чувствительностью системы, т.е. отношением сигнал/шум, и для РТЛ, предложенного в [3], при чувствительности 1К – 2К будет превышать 0,9 при надежности $q_m = 6$.

Схема наблюдения РТЛ для этого случая приведена на рис. 3. Сектор сканирования антенны РТЛ составляет $\pm \Delta\beta$, для современных систем $\pm 60^\circ$.

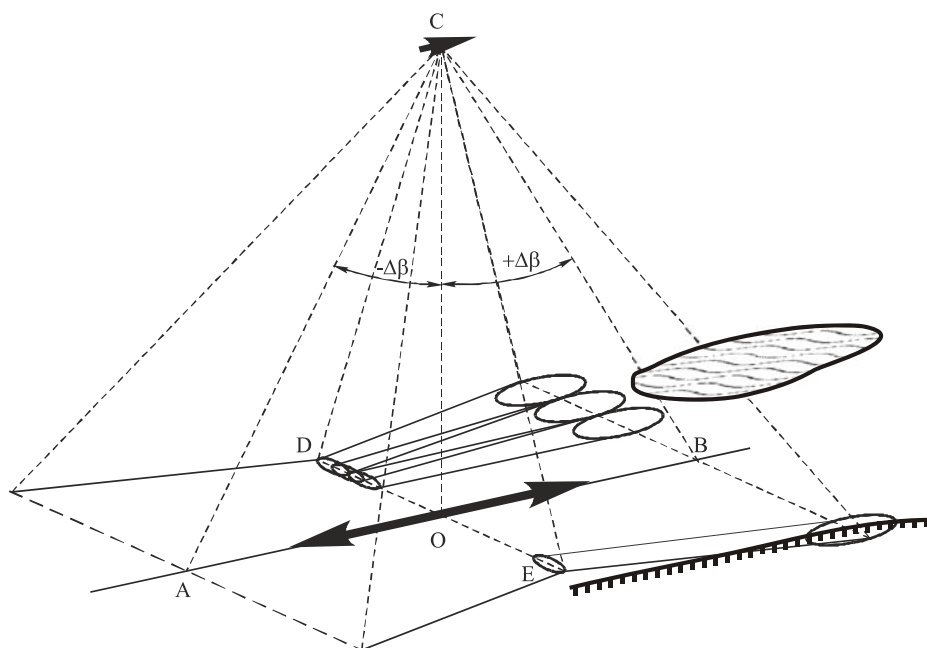


Рис. 3 – Схема наблюдения зоны «орошения» с помощью бортового РТЛ [3]

На рис. 3 стрелка в точке С указывает направление полета ЛА. По достижении линией DE дальнего края зоны «орошения», выделенной на рисунке, штурманом принимается решение о сбросе воды (На рисунке также схематически показана горящая кромка очага лесного пожара). В соответствии с [4, 5] при этом будет достигнуто перекрытие «пятен» на земной поверхности.

Выводы. В работе показана перспективность применения радиотеплолокаторов микроволнового диапазона для наведения авиационного пожарного танкера для построения заградительных полос при локализации крупных лесных пожаров. Высокая чувствительность радиоизлучения к задержанной кронами влаги в принципе позволит экипажу ЛА с достаточно высокой достоверностью различать на радиотепловом изображении зоны с различным содержанием задержанной кронами воды внутри «пятна».

По этой же схеме возможно применение бортового РТЛ и для борьбы с ландшафтными пожарами на безлесной территории, например, с крупными степными пожарами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мунтян В.К. Влияние параметров полета самолета Ан-32П на точность сброса огнетушащего вещества / В.К. Мунтян, Р.Г. Мелещенко // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. НУГЗ Украины – Харьков, 2009. – Вып. 25. – С. 132 – 136.
2. Грін Б. Протипожежна концепція військових сил США // Доп. на Міжнарод. семінарі «Гасіння лісових пожеж із застосуванням авіації» - Полтава, 2 – 3 червня 2009 р.
3. Абрамов Ю.А. Обнаружение очагов лесных пожаров и прогноз динамики их распространения / Ю.А. Абрамов, В.А. Комяк, В.М. Комяк, Г.В. Рева, В.Е. Росоха // - Харьков: АГЗУ, 2004. – 146с.
4. Мунтян В.К. Моделирование траектории полета ядра воды, сброшенной с пожарного самолета Ан-32П / В.К. Мунтян, Р.Г. Мелещенко // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. НУГЗ Украины – Харьков, 2010. – Вып. 27. – С. 145 – 150.
5. Москвилин Е.А. Применение авиации для тушения лесных пожаров // Пожарная безопасность. – М.: 2009. - № 1. – С. 89 – 92.
6. Коровин Г.Н. Авиационная охрана лесов / Г.Н. Коровин, Н.А. Андреев // – М.: Агропромиздат, 1988. – 220 с.
7. Гранков А.Г. Моделирование характеристик радиотеплового излучения увлажненного осадками лесного полога в миллиметровом, сантиметровом и дециметровом диапазонах/ А.Г. Гранков, А.А. Мильшин, А.А. Чухланцев // Радиотехника. и электрон. – 2005. – т. 50, № 12. – С. 1447 – 1450.

8. Быков В.М. Влияние крон деревьев на уровни излучения подстилающей поверхности / В.М. Быков, В.А. Комяк, О.Е. Маракивский // Вестник Национального техн. ун-та «ХПИ». Сб. научн. тр. Тем. выпуск: Новые решения в совр. технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2002. - № 20. – С. 222 – 226.

9. Ван де Хюлст Г. Рассеяние света малыми частицами. М.: ИЛ, 1961. – 536 с.

10. Schwering F.K., Millimeter wave propagation in vegetation: Experiment and Theory./ F.K. Schwering, E.J. Violette, R.H. Espeland // IEEE Tr. on Geosc. Remote Sens., - v.26, N 3. –1988. –P. 355 – 367.

В.М. Биков, В.О. Комяк, В.М. Акулов, Ю.М. Райз

Обґрунтування можливості використання радіотеплолокатора для виявлення радіотеплоконтрастних ділянок ландшафту у процесі ліквідації лісових пожеж.

У статті розглянуто фізичне обґрунтування застосування бортового радіотеплолокатора для виявлення радіотеплоконтрастних ділянок ландшафту та використання отриманої інформації з метою наведення авіації на прикладі ліквідації лісової пожежі.

Ключові слова: модель теплового випромінювання, радіотепловий контраст, пожежна авіація.

Bykov V.M., Komyak V.A., Mountyan V.K., Akulov V.N.

Information support for radio heat locator used for revealing of radio heat contrasting landscape areas during emergency situations.

The article describes physical grounding for using of airborne radio heat locator for revealing of radio heat contrasting landscape areas and using of the received information for navigation of fire aviation against forest fires.

Key words: model of thermal exposure, radio heat contrast, fire aviation.

УДК 614.8

*О.В. Васильченко, канд. техн. наук, доцент, НУЦЗУ
М.М. Стець, УМНС України в Кіровоградській області*

**ОЦІНКА ВПЛИВУ ВІТРУ ТА ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ НА
БЕЗПЕКУ ЗАСТОСУВАННЯ ТРОСОВИХ ТЕХНІЧНИХ
ЗАСОБІВ РЯТУВАННЯ ЛЮДЕЙ З ВИСОТНОЇ БУДІВЛІ**

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

Приведено розрахунок безпечних умов рятування людей за допомогою тросових ТЗР на горизонтальну площадку певної ширини при впливі вітру. Оцінено необхідний гальмівний шлях при використанні ТЗР для спуску.

Ключові слова: технічні засоби рятування.

Постановка проблеми. Для збільшення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт, евакуаційних заходів при пожежі у висотній будівлі пропонується використовувати додаткові технічні системи протипожежного захисту. До числа подібного устаткування належать і технічні засоби рятування (евакуації) людей, (далі - ТЗР).

Для впровадження та подальшого використання технічних засобів необхідно дослідити різноманітні за принципом дії та характеристиками зразки ТЗР, оцінити безпеку їх практичного застосування при впливі різноманітних несприятливих чинників зовнішнього середовища. При рятуванні людей зі значної висоти за допомогою тросових ТЗР можна очікувати негативний вплив вітру на процес спуску.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У роботах [1, 2] наведено результати досліджень у частині виділення типових груп ТЗР, які можливо використати при рятуванні людей з верхніх поверхів висотної будівлі. Це дозволило визначити основні вимоги щодо комплектування та розміщення ТЗР на поверхах будівлі створити узагальнену методику оцінки фактичного часу рятування людей з висотної будівлі за їх допомогою.

Авторами робіт [3, 4] відмічено, що кожен типовий зразок ТЗР ефективно спрацьовує лише при заданих умовах, у певній обмеженій області, де утворюється так звана робоча зона ТЗР. Для прикладу (рис. 1) схематично зображено зони тросових (1) та рукавних (2) технічних засобів рятування. Документами ДБН В.2.2-9:2009 та ДБН В.2.2-24:2009 у висотних будівлях регламентовано необхідність розташування у межах нижнього поверху кожного протипожежного відсіку (висота якого не повинна перевищувати 30 м) по периметру бу-

динку карнизів або евакуаційних балконів, що виступають за межі фасаду не менше 0,75 м.

Постановка задачі та її рішення. Можливість використання ТЗР для рятування буде залежати від того, чи забезпечать вказані розміри карнизів (балконів) при впливі зовнішніх чинників (наприклад, вітру) достатню безпеку користування ТЗР.

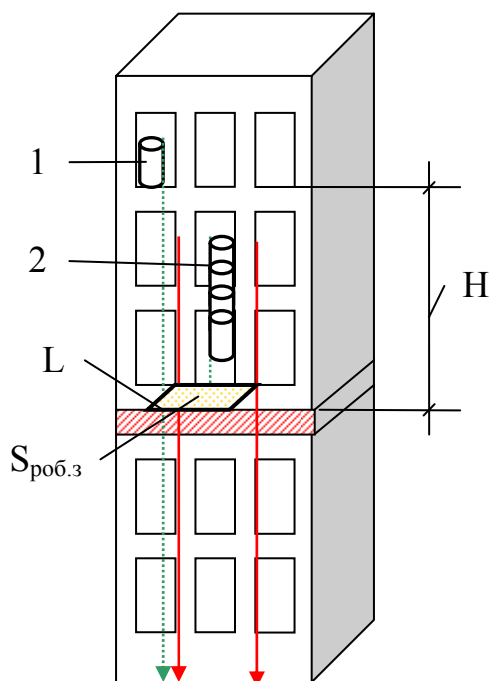


Рис. 1 – Зони ТЗР

Задача складається у тому, щоб визначити відповідність розмірів робочої зони ТЗР рекомендованим розмірам карнизів.

Визначимо кілька параметрів робочої зони ТЗР та дамо оцінку ймовірності травмування людини при спуску з поверху. Припустимо, що під час пожежі на поверсі людина (масою m) буде виконувати спуск за допомогою ТЗР з висоти (H), при цьому на швидкість її дій впливає паніка, стресова ситуація або небезпечні чинники пожежі.

При наявності вітру, що дме зі швидкістю V_B , зміщення точки приземлення від центру по горизонтальному напрямку (L_1) складе:

$$L_1 = \frac{\rho S_0 V_B^2 H}{mg}, \quad (1)$$

де ρ - густина повітря; S_0 - ефективна площа людини; $g \approx 9,8 \text{ м/с}^2$.

Якщо врахувати допустиме відхилення людини від центру робочої зони ТЗР при виконанні спуску (Δ_1), тоді найменша ширина цієї зони складе:

$$L_{\min} = 2\left(\frac{\rho S_0 V_B^2 H}{mg} + \Delta_1\right), \quad (2)$$

Коли припустити, що робоча зона ТЗР має форму квадрата, то з урахуванням швидкості вітру і висоти спуску її площа (S_{P3}) дорівнює:

$$S_{P3} = 4\left(\frac{\rho S_0 V_B^2 H}{mg} + \Delta_1\right)^2, \quad (3)$$

Враховуючи (3), можливо оцінити найбільшу допустиму швидкість вітру, при якому можливий безпечний спуск людини за допомогою ТЗР:

$$V_{B_{\max}} = \sqrt{\frac{mg}{2\rho S_0 H} [\sqrt{S_{P3}} - 2\Delta_1]}, \quad (4)$$

На графіку рис. 2 відображено залежність зміщення точки приземлення людини з певної висоти від швидкості вітру при користуванні тросовим приладом типу "Карусель". За штриховою лінією визначається допустима сила вітру при рятуванні людей на площадку шириною до 75 см з різних висот. Наприклад, вітер швидкістю понад 5 м/с може бути небезпечним при рятуванні з висоти 30 м.

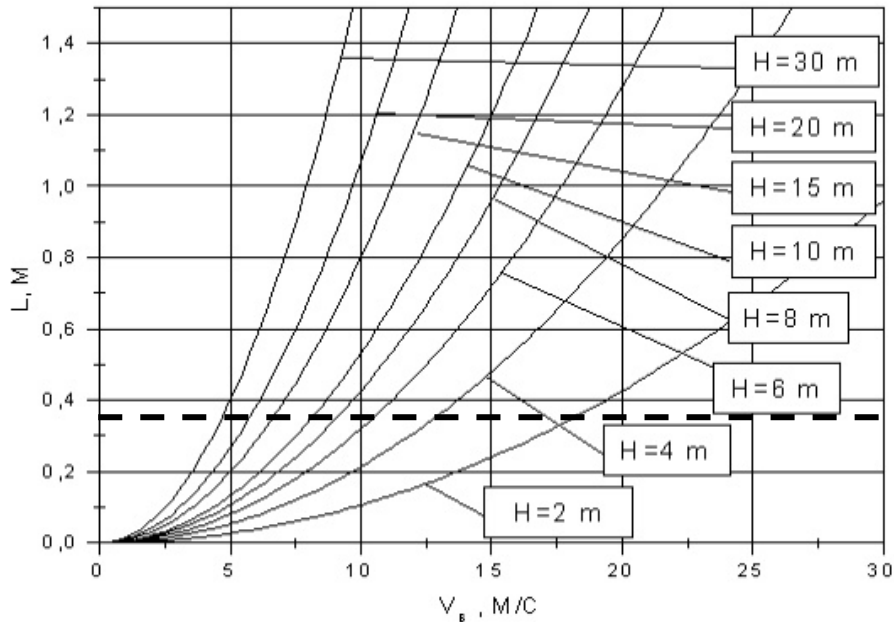


Рис. 2 – Зміщення точки приземлення людини (L) у залежності від швидкості вітру (V_в) та висоти (H) при користуванні приладом типу "Карусель"

Під час неконтрольованого спуску (що обумовлений панікою або стресом) за допомогою ТЗР і подальшому гальмуванні на людину діє перевантаження. При гальмівному шляху *h* перевантаження *n* складає:

$$n = \frac{H}{h}, \quad (5)$$

при часу дії перевантаження *t*:

$$t = \frac{h\sqrt{2}}{\sqrt{gH}}, \quad (6)$$

Враховавши можливості людини переносити навантаження, можна отримати графічні оціночні залежності гальмівного шляху від висоти спуску. Наприклад, при використанні тросових ТЗР перевантаження діє у напрямку голова–тулуб. На рис. 3 наведено перевантаження, які діють на людину при використанні тросових ТЗР типу "Карусель" при швидкості спуску (1,5...3) м/с.

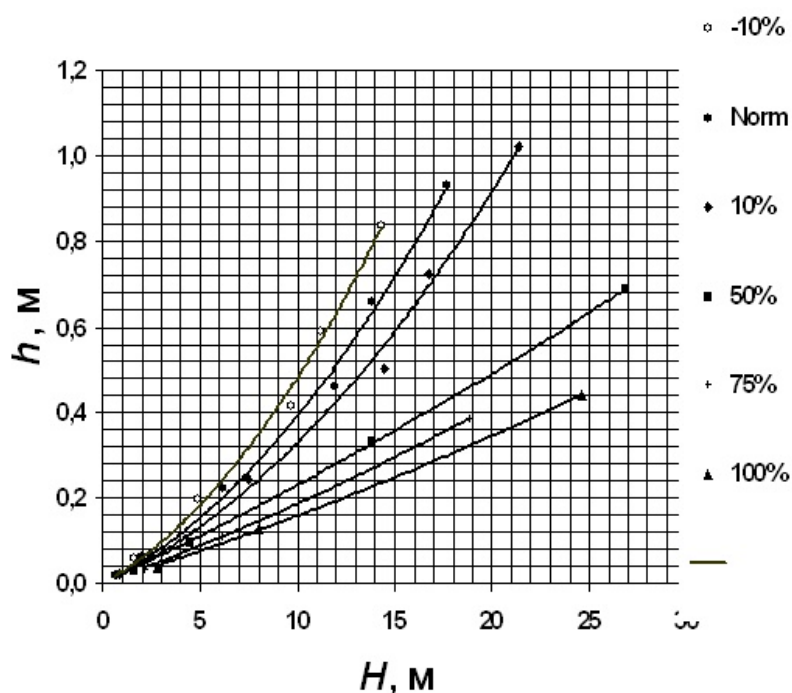


Рис. 3 – Залежність перевантаження від гальмівного шляху (h) та висоти спуску (H) при користуванні пристроєм типу "Карусель"

Графік з індексом "Norm" на рис. 3 відповідає допустимому перевантаженню. Графіки з індексами "10%", "50%", "75%", "100%" відповідають перевантаженням, які більше допустимих, відповідно, на 10 %, 50 %, 75 %, 100 % і, таким чином, обумовлюють підвищену вірогідність травмування. Графік з індексом "-10%" описує ситуацію, коли перевантаження на 10 % менше допустимого. Наприклад, при спуску з висоти 23 м гальмівний шлях 0,4 м викликає перевантаження у 2 рази більше допустимого. За приведеними графіками можна визначити, що для безпеки рятування тросовий ТЗР при спуску з висоти (20...30) м повинен забезпечувати гальмівний шлях не менше (1,2...1,5) м.

Висновки. У роботі показано можливість визначення безпечних умов рятування за допомогою тросових ТЗР при впливі вітру на

горизонтальную площадку шириной 75 см (соответственно требованиям ДБН В.2.2-9:2009 та ДБН В.2.2-24:2009).

Отримано залежності, які дозволяють рекомендувати необхідний гальмівний шлях при використанні ТЗР для спуску, проаналізувати ймовірність травмування людини і можуть бути використані при проектуванні ТЗР.

ЛІТЕРАТУРА

1. Васильченко, О.В. Варіант класифікації технічних засобів евакуації людей з висотних будівель / О.В.Васильченко, М.М.Стець, Т.М.Полуляшна // Зб. наук. праць Харківського університету Повітряних сил. – Харків: ХУПС, 2005. – Вип. 6(6) – С. 98-100.

2. Васильченко, А.В. Расчет фактического времени спасения людей из высотного здания с помощью технических средств / А.В.Васильченко, Н.Н.Стец // Сб. науч. трудов «Проблемы пожарной безопасности». – Вип. 25. – Харьков: УГЗУ, 2009. – С. 34-37.

3. Слуев В.И. Теоретические принципы опасности падения человека с высоты: Монография. – М.: Академия ГПС МЧС России - 136 с.

4. Харисов Г.Х. Теоретические основы и разработка принципов безопасности людей при несчастных случаях /Дис. д-ра тех. наук. – М.: 1991.

А.В. Васильченко, Н.Н. Стец

Оценка влияния ветра и перегрузки на безопасность применения тросовых технических средств спасения людей из высотного здания

Приведен расчет безопасных условий спасения людей с помощью тросовых ТСС на горизонтальную площадку определенной ширины при воздействии ветра. Оценен необходимый тормозной путь при использовании ТСС для спуска.

Ключевые слова: технические средства спасения.

A.V. Vasilchenko, N.N. Stets

Estimation of influence of wind and g-load on safety of application of rope rescue devices from a high-rise building

Calculation of safe conditions of evacuation of people by rope rescue devices on a horizontal platform of certain width at wind influence is demonstrated. The necessary brake way at use of rope rescue devices for descent is estimated.

Keywords: rope rescue devices.

УДК 614.844.2

И.Н. Грицына, канд. техн. наук, ст. преп., НУГЗУ,
С.А. Виноградов, адъюнкт, НУГЗУ

РАСЧЕТ ДЛИНЫ СПЛОШНОГО УЧАСТКА УЛЬТРАСТРУИ

Предложены математические зависимости для определения длины сплошного участка струи, проведена оценка протяженности сплошного участка ультраструи, рекомендовано учитывать ее при расчетах дальности подачи ультраструй.

Ключевые слова: ультраструя, длина сплошного участка струи.

Постановка проблемы. Подача огнетушащих веществ в виде ультраструй (УС) до настоящего момента не производилась.

Движение УС в пространстве отличается от движения распыленных струй. Течение распыленных струй жидкости в воздухе можно схематически представить в виде, изображенном на рис. 1 [1].

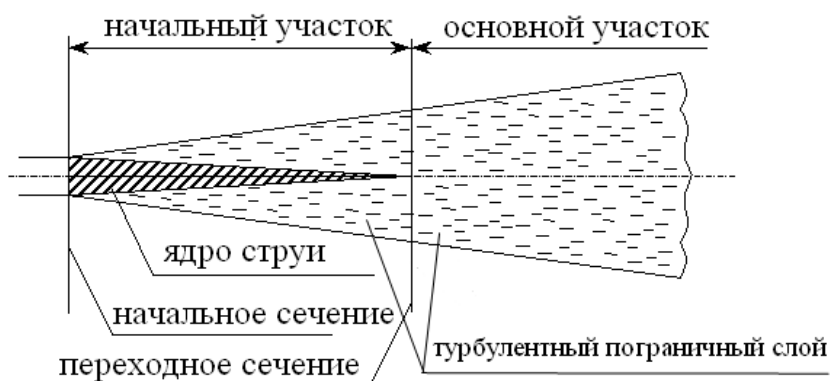


Рис. 1 - Схема течения тонкораспыленной струи

Для ультраструй характерна схема, изображенная на рис. 2 [4].

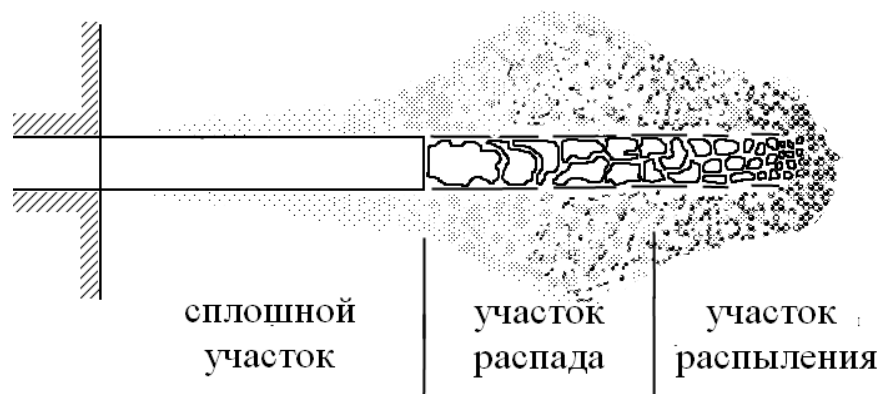


Рис. 2 – Схематическое изображение ультраструи

В отличие от распыленной струи жидкости, в ультраструе присутствует сплошной участок, на котором происходит незначительная потеря массы струи, но целостность ее не меняется. Начальные параметры струи на данном участке изменяются также незначительно. Поэтому для расчета дальности подачи необходимо учитывать длину сплошного участка.

Далее ультраструя ведет себя как обычная распыленная струя и можно использовать известные соотношения для определения дальности подачи [3].

Анализ последних достижений и публикаций. Для определения дальности полета тонкораспыленных струи жидкости проведено множество экспериментальных и теоретических исследований, построено несколько зависимостей [1 - 5]. В работе [4] проведены расчеты сплошного участка ультраструи. Работы по определению дальности подачи ультраструи не проводились.

Постановка задачи и ее решение. Применение для определения дальности подачи ультраструи моделей распыленной струи без учета протяженности сплошного участка, приводит к погрешностям в расчетах и не адекватному отображению процесса распространения струи.

Для оценки дальности подачи ультраструй вначале необходимо определить длину сплошной части, после чего можно рассматривать струю как распыленную.

В [2] предложена методика расчета длины неразрушенной струи жидкости, которую можно использовать для определения длины сплошной части струи для области аэродинамического разрушения струй. По данной методике вначале определяются критическая скорость истечения по формуле

$$U_0 = \frac{A_0 \left[\frac{\rho_c d_c \sigma \left(\frac{\mu_c}{\mu_g} \right)^{0,5}}{2\mu_c^2} \right]^{-0,58}}{\frac{\mu_c}{\sigma} \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_c}}}, \quad (1)$$

где A_0 – коэффициент, определяющийся характером распада струи ($A_0=15$ - распад в результате развития волнообразных колебаний, обусловленных воздействием внешней среды), ρ_c – плотность жидкости, d_c – диаметр струи, μ_c – динамический коэффициент вязкости жидкости, σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости, μ_g – динамический коэффициент вязкости воздуха, ρ_g – плотность воздуха.

После этого определяются критическое время начала распада, отсчитанное от момента истечения струи

$$T_0 = \frac{A_0 \left[\left(0,1 \frac{\sigma \rho_c d_c}{\mu_c^2} \right)^{3/2} + \left(0,1 \frac{\sigma \rho_c d_c}{\mu_c^2} \right) \right]}{\frac{\sigma^2 \rho_c}{27 \mu_c^3}}. \quad (2)$$

Далее определяем время начала распада T в зависимости от скорости истечения U струи:

$$\text{при } U < U_0, T = T_0; \quad (3)$$

$$\text{при } U \geq U_0, T = \frac{0,17T_0}{\frac{U}{U_0} - 1}. \quad (4)$$

Зная скорость истечения и время начала распада можно определить длину сплошного участка струи

$$L_c = UT. \quad (5)$$

Анализ результатов расчетов по изложенной методике (табл. 1) показывает, что при истечении из отверстия $d_c = 1$ см длина сплошного участка струи достигает 1,45 м. С учетом того, что общая дальность подачи составляет 10-15 м, данный участок необходимо учитывать при определении дальности подачи ультраструй.

Таблица 1. Зависимость времени начала распада струи и длины сплошного участка от скорости истечения

Скорость U , м/с	Время начала распада T , с	Длина сплошного участка струи L_c , м
500	0,0029	1,45
1000	0,00145	1,455
1500	0,00096	1,42

После определения длины сплошного участка при расчетах дальности подачи струи можно использовать известную методику, изложенную в [3], при этом начальную скорость каплей U_k принимаем равной скорости истечения U , а расчет диаметра капли производим по формуле [6]

$$d_{\kappa} = \frac{2\sigma We_{\kappa}}{\rho_c (U_{\kappa} - U_2)}, \quad (6)$$

где We_{κ} – число Веббера; U_2 – скорость газа.

Выводы. Расчетом длины сплошного участка ультразвуки пренебрегать нельзя, поскольку его длина составляет 10-15 % от общей длины струи. Расчет длины сплошного участка ультразвуки целесообразно проводить по формулам (1-5).

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А. Моделирование процессов в пожарных стволах / Ю.А. Абрамов, В.Е. Росоха, Е.А. Шаповалова – Харьков: Фолио, 2001. – 195 с.
2. Взаимодействие жидких струй с атмосферой / [сост. В.В. Воронина] – М.: ЦАГИ, 1988. – 195 с.
3. Балістика крапель розпилених рідин / В.П. Ольшанський , С.В. Ольшанський , О.М. Ларін , Є.О. Фомін – Біла Церква: вид. Пшонківський, 2006. – 124 с.
4. Noumi M. Flow characteristics and impact phenomena of pulsed water jets / M. Noumi , K. Yamamoto - Chicago (Illinois), 1976.- Paper B4.- P. 47-58 (Proc. 3rd International Symposium on Jet Cutting Technology).
5. McCarthy M.J. Review of stability of liquid jets and the influence of nozzle design / M.J. McCarthy, N.A. Molley – Chem. Engineering J., 1974, vol. 7, p. 1-20.
6. Грицина И.Н. Разработка пожарного ствола для подачи тонкораспыленной воды с использованием газожидкостного двухфазного ствола: дис...канд. техн. наук: 05.26.03. – Харьков: ХИПБ, 1999. – 135 с.

Грицина І.М., Виноградов С.А.

Розрахунок довжини суцільної ділянки ультразвуку

Запропоновані математичні залежності для визначення довжини суцільної ділянки струменя, проведена оцінка довжини суцільної ділянки ультразвуку, рекомендовано враховувати її при розрахунку дальності подачі ультразвуку.

Ключові слова: ультразвук, довжина суцільної ділянки струменя.

Hritsyna I.N., Vinogradov S.A.

Calculation of length of continuous area of high-speed water jets.

Proposed mathematical dependences for determination of length of continuous area of jet are described, estimations for the choice of optimum ratio for the calculation of continuous part of high-speed water jets are conducted.

Keywords: high-speed water jets, length of continuous area of jet.

УДК 614. 84

*В.А. Гузенко, канд. техн. наук, нач. кафедри, НУЦЗУ,
Ю.М. Сенчихін, канд. техн. наук, професор кафедри, НУЦЗУ,
С.Ю. Руденко, ст. інспектор магістратури, НУЦЗУ*

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ГАСІННЯ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ НАПРАВЛЕНИМ ВИБУХОМ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФОРМИ УДАРНИХ ВИБУХОВИХ ХВИЛЬ

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

Розраховано та показано в часі форму замкненої області фронту відбитої від циліндричного відбивача вибухової хвилі, яка (тобто область) характеризується пониженим тиском на підставі чого запропоновано удосконалення існуючого методу гасіння лісових пожеж направленим вибухом шляхом подачі в такі області вогнегасного порошку.

Ключові слова: вибухова хвиля, область пониженого тиску, зона горіння, додаткова вогнегасна речовина.

Постановка проблеми. Щорічно в Україні виникає понад 3 тис. лісових пожеж в наслідок чого державі наносяться великі матеріальні збитки. Не в усіх випадках, за рахунок як об'єктивних так і суб'єктивних причин, є можливість ефективно впливати на процес локалізації та ліквідації лісових пожеж.

Аналіз останніх досягнень та публікацій. Аналіз технологій пожежогасіння з використанням направлених вибухів показав, що на сьогоднішній день дії вибухової хвилі розглядалися з точки зору її силового впливу на фронт пожежі. Нами пропонується використання специфіки вибухової хвилі, яка базується на геометричній інтерпретації, згідно якої фронти ударних хвиль з точковим джерелом, відбиті від синусоїдального відбивача, матимуть точки самоперетину. Самоперетин поверхонь вибуху забезпечує існування *замкненої області низького тиску фронту вибухової хвилі*. На площині ця область матиме вигляд криволінійного трикутника, а в просторі – «криволінійної» призми. Ці призми, які фактично являються порожнинами розрідження, пропонується заповнювати вогнегасним порошком що дасть можливість удосконалити існуючий метод гасіння лісових пожеж.

В попередніх роботах [1-4] такі явища не розглядалися і відповідно не були використані.

Постановка задачі та її рішення. Шляхом моделювання об'єктів відбивальних систем вирішується поставлена наукова задача, яка виявляється в розробці методу розрахунку в часі просторової

форми замкненої області низького тиску фронту вибухової хвилі, відбитої від циліндричного відбивача.

Принцип дії нової технології пожежогасіння базується на результатах робіт [1-5], де було показано, що фронти вибухових хвиль з точковим джерелом, відбиті від синусоїдального відбивача, матимуть точки самоперетину. На рис. 1 показано приклади таких фронтів.

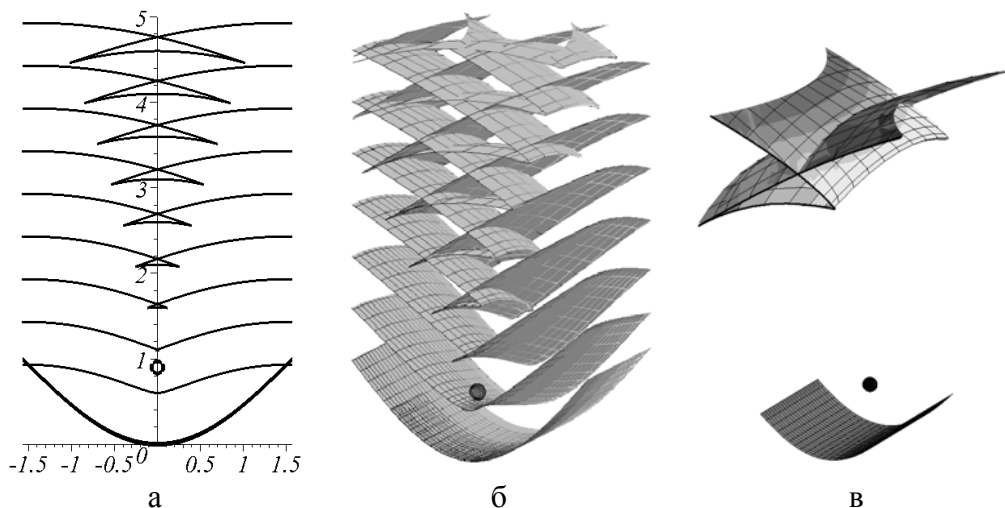


Рис. 1. Приклади сім'ї фронтів відбитих вибухових хвиль у часі: на площині (а); в просторі (б); унаочнення миттєвого фронту (в)

Наведені зображення дають уявлення про геометричну форму замкненої області, утворену криволінійним трикутником. Прийнято вважати, що у зазначеній області буде область низького тиску фронту вибухової хвилі. На феноменологічному рівні це пояснюється так: фронт вибухової хвилі характеризується зонами стиснення (що попереду) і розрідження (що позаду фронту). На рис. 2 відповідні зони позначено знаками «+» і «-». У випадку, коли фронт хвилі матиме самоперетини, то суперпозиція відповідних зон спричинить утворення області з пониженим тиском. На рис. 2 такі криволінійні «трикутні» зони позначено подвійним «-» «-». Зазначимо, що в Інтернеті наводяться аналогічні пояснення посилення дії деяких вибухових пристроїв за рахунок такої специфіки вибухових хвиль.

Наявність замкнених областей низького тиску фронту вибухової хвилі, відбитої від циліндричного відбивача, дозволяє *започаткувати нову технологію* пожежогасіння направленими вибухами.

А саме, на рис. 3 схематично зображено принцип дії відбивача

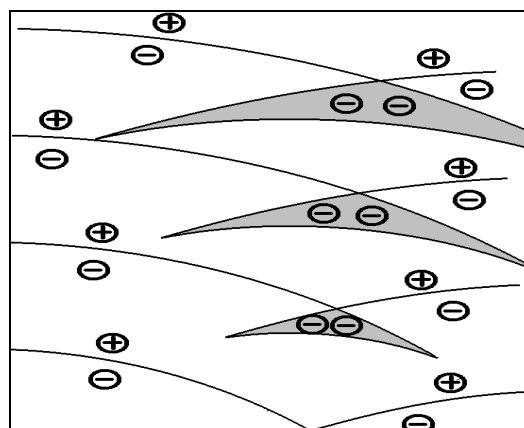


Рис. 2. Зони стиснення і розрідження фронту вибухової хвилі

вибухових хвиль, де у замкнену область низького тиску фронту (8) має «всмоктуватися» вогнегасна речовина. На рис. 3 позиціями позначено: 1 – лісовий масив з зоною горіння; 2 – синусоїдальний відбивач; 3 – головний заряд; 4 – металева перегородка; 5 – додатковий заряд з вогнегасною речовиною; 6 – пристрій для подачі заряду з вогнегасною речовиною; 7 – позначення зон ущільнення середовища; 8 – позначення зон розрідження середовища.

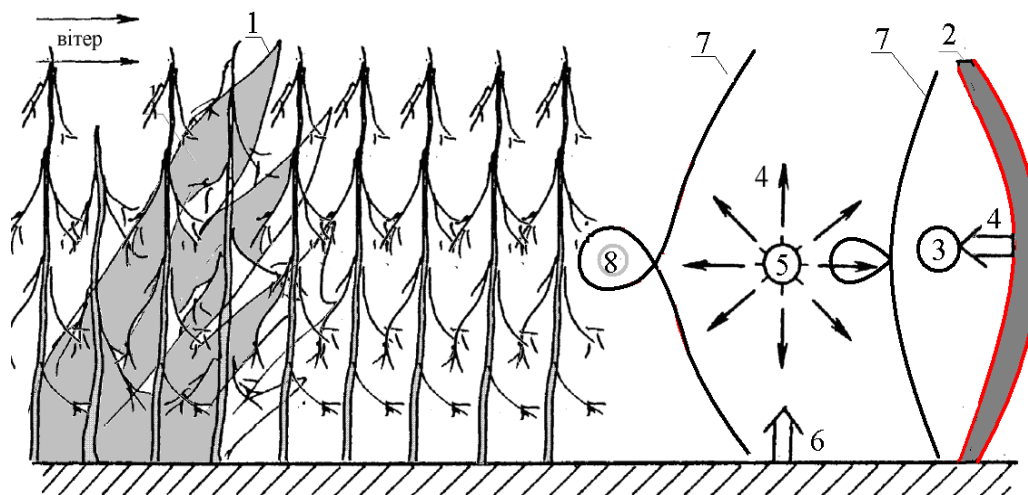


Рис.3 – Схема гасіння лісових пожеж направленим вибухом з подачею в зону переміщення вибухової хвилі додаткової вогнегасної речовини

Підриг зарядів 3 і 5 здійснюється синхронно. Доставка вогнегасної речовини в зону горіння забезпечується завдяки переміщення цієї суміші в просторі вибуховою хвилею. В якості наповнювача порожнин розрідження можна обрати різноманітні вогнегасні порошки або кристалізований інертний газ.

Далі наведено графічні побудови, які пояснюють формування замкненої області низького тиску у вигляді криволінійного трикутника. На рис. 5 пунктиром показано відбиті промені. При чому, сума довжини відбитого променя і довжини променя падіння є постійною незалежно від точки падіння.

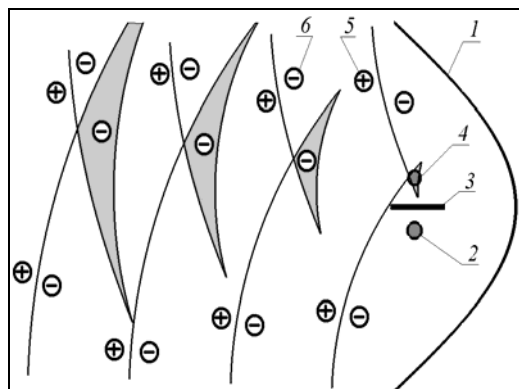


Рис. 4 – Схема дії відбивача вибухових хвиль «з наповнювачем»

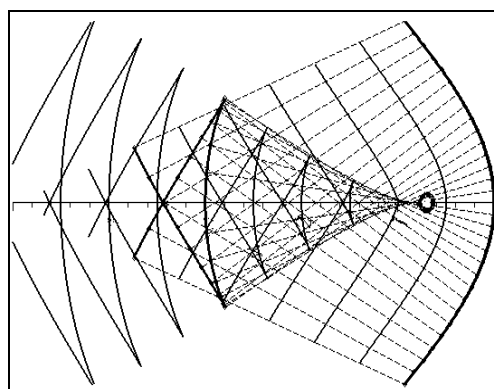


Рис. 5 – Пояснення формування криволінійного трикутника

Для формалізації подальших досліджень в декартовій системі координат одержано рівняння у часі фронту відбитої хвилі для кривої $z = f(x)$ як відбивача і точки $S(x_0, z_0)$ як джерела «вибухових» променів.

Твердження 1. Для декартового закону відбиття рівняння у часі сім'ї фронтів відбитої хвилі вибуху має вигляд:

$$X(x) = \frac{(2x - x_0)(1 + f'^2) - 2f'((x - x_0)f' + z_0 - f)(1 + t - W)}{(1 + f'^2)^2 W}; \quad (1)$$

$$Z(x) = \frac{f(1 + f'^2) + (f - z_0)(1 + f'^2) + 2((x - x_0)f' + z_0 - f) + (1 + f'^2)(t + 1 - W)}{(1 + f'^2)^2 W}$$

де $W = \sqrt{(f - z_0)^2 + (x - x_0)^2}$ і x – параметр елемента сім'ї; t – час.

При $x_0 = 0$ рівняння (1) зводиться до відомого рівняння [2].

На рис. 6 наведено приклади зображень сім'ї фронтів відбитої хвилі вибуху залежно від координат положення джерела вибуху $S(x_0, z_0)$.

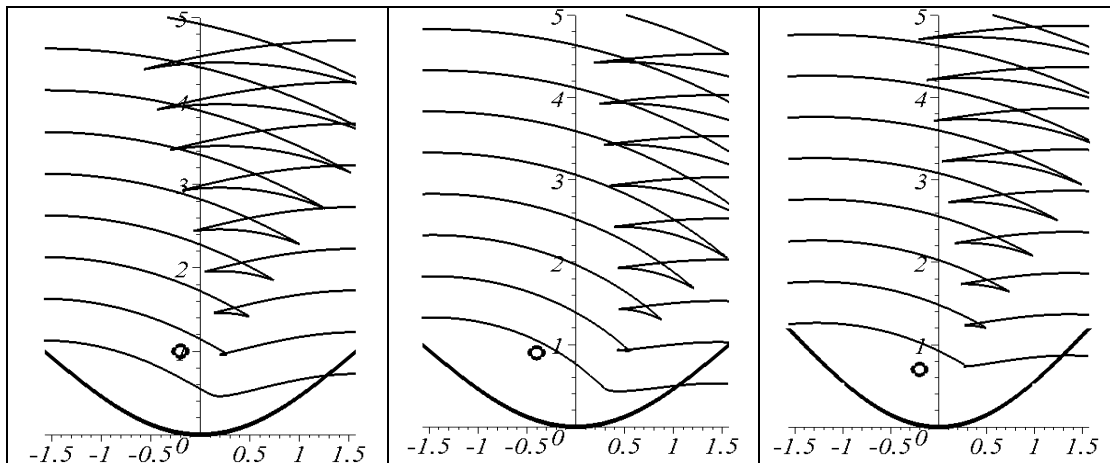


Рис. 6 – Фронти відбитої хвилі залежно від положення джерела вибуху

Висновки. Таким чином отримані результати досліджень дають можливість удосконалення існуючого методу гасіння лісових пожеж та започаткування нової технології пожежогасіння, коли на лісову пожежу має діяти не тільки вибухова хвиля, але ще і додаткова вогнегасна речовина.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гузенко В.А. Геометричне моделювання направлених вибухів для гасіння лісових пожеж // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Київ: КНУБА, 2007. Вип. 78. – С. 249-253.

2. Рева Г.В. Метод розрахунку синусоїдальної відбивальної системи // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Вип. 67. – Київ: КДТУБА, 2000. – С. 226 - 230

3. Рева Г.В. Розрахунок відбивачів ударних вибухових хвиль для гасіння лісових пожеж // Проблемы пожарной безопасности. – Вып. 7. – Харьков: Фолио. – 2000. – С. 171 – 176.

4. Рева Г.В., Куценко Л.Н., Кулешов Н.Н. Изображение фронта ударной волны, отраженной цилиндрической синусоидальной поверхностью // Материалы XV научно-практической конференции "Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков". – Ч.1.–М.: ВНИИПО.–1999.– С. 307– 309.

5. Станюкович К.П. Физика взрыва. //монография – М.: Наука, 1975. – 704 с.

В.А. Гузенко, Ю.Н. Сенчихин, С.Ю. Руденко

Усовершенствование метода тушения лесных пожаров направленным взрывом за счёт использования особенностей формы ударных взрывных волн

Рассчитано и показано во времени геометрическую форму замкнутой области фронта отраженной от цилиндрического отражателя взрывной волны, которая (т.е. область) характеризуется пониженным давлением на основании чего предложено усовершенствование существующего метода тушения путем подачи в такие области огнетушащего порошка.

Ключевые слова: взрывная волна, область пониженного давления, зона горения, дополнительное огнетушащее вещество.

V.A. Guzenko, Y.M. Senchihin, S.Y. Rudenko

Enhancing the effectiveness of the method of extinguishing forest fires using directed explosions through the use of shape features shockwaves

Geometrical shape of a closed area of the front that reflected from a cylindrical reflector of the blast wave, which (the region) is characterized by reduced pressure resulting in suggested improved fire extinguishing technology by filing in the areas of fire extinguishing powder is calculated and shown at the time.

Key words: shock wave, a low pressure area, combustion zone, further extinguishing agent.

*А.Я. Калиновский, канд.техн.наук, доцент, НУГЗУ,
А.П. Созник, доктор ф.-м. наук, профессор, НУГЗУ,
Л.Н. Куценко, доктор техн. наук, профессор НУГЗУ*

МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛАНДШАФТНОГО ПОЖАРА С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ГОРЮЧЕГО МАТЕРИАЛА

Исследовано влияние неоднородности горючего материала по влажности на распространения ландшафтного пожара. Показано влияние неоднородности поля влажности на распространение контура ландшафтного пожара.

Ключевые слова: ландшафтный пожар, поле влажности, скорость распространения, контур выгорания.

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 лесного (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 природных факторов.

Анализ последних исследований и публикаций. В [5] рассмотрена геометрическая модель скорости распространения ландшафтных пожаров, согласно которой

$$V(\varphi, \psi, v_B) = V_0 \frac{2\alpha \cos x + (1 + \alpha^2) \sqrt{\cos^2 x + (1 - \alpha^2)^2 \sin^2 x}}{\cos^2 x + (1 + \alpha^2)^2 \sin^2 x}, \quad (1)$$

где $V_0 = v_0 + kv_B$, $\alpha = v_B / \sqrt{v_B^2 + c^2}$, $x = \varphi + \psi$, v_B и ψ сила ветра и его направление относительно полярной оси, которая совпадает с осью ОХ, φ – азимутальный угол, v_0 – скорость распространения пожара при $v_B = 0$. Из этого следует, необходимость исследования зависимости скорости распространения ландшафтных пожаров от некоторых природных факторов, так как параметры модели v_0 , k и c зависят от состава и состояния горючего материала и приведены в [6]. Отметим, что формула (1) описывает скорость распространение пожара на рав-

нинной местности, а ее справедливость подтверждена многочисленными экспериментальными исследованиями (см. [2]).

Постановка задачи и ее решение. Скорость пожара зависит от многих природных факторов, в том числе от влажности горючего материала. Чтобы объективно описать процесс распространения ландшафтного пожара необходимо учитывать влажность растительного покрова, по которому происходит распространение горения.

Для того чтобы учесть поля влажности в аналитическом виде мы вводим в выражение для скорости (1) в виде множителя коэффициент K , который позволяет описать неоднородную влажность w растительного покрова. В [1, 7, 8] из экспериментальных исследований получена полуэмпирическая зависимость K от w :

$$K = f(w) = 1 - 2,6 \frac{w}{w_0} + 5,1 \left(\frac{w}{w_0}\right)^2 - 3,5 \left(\frac{w}{w_0}\right)^3, \quad (2)$$

где w_0 – критическое значение влажности. Из (2) следует, что $K=f(w_0)=0$ и $K=f(0)=1$.

Чтобы воспользоваться выражением (2) необходимо знать значения влажности w во всех точках территории, по которой распространяется пожар, т.е. иметь поле распределения влажности. Такое поле, в принципе, всегда можно описать выражением типа

$$w = \sum f_i(x, y), \quad (3)$$

где $f_i(x, y)$ – определенный набор подходящим образом выбранных кусочно-непрерывных функций, а x, y – координаты на плоскости, где происходит ландшафтный пожар.

В результате, учитывая (1), (2) и (3) и считая, что (1) не зависит явно от времени, выражения для расчета зависимости контура пожара от времени t и влажности w удобно представить в виде

$$R_i = R_{i-1} + V(\varphi, \psi, v_B) K_{i-1}(t_{i-1} - t_0), \quad i=1, 2, \dots \quad (4)$$

В (4) при $i=1$ выражение R_0 описывает контур пожара в начальный момент времени t_0 . Использование выражения (4) предполагает следующий расчетный алгоритм. По данному значению R_0 вычисляем координаты $x=R_0 \cos \varphi$ и $y=R_0 \sin \varphi$ и находим поле влажности согласно (3) в точках контура пожара в момент времени t_0 . По данным значениям w вычисляем поле коэффициента (2). Полученное значение коэффициента K , как и значение R_0 , подставляем в (4) и находим

контур пожара R_1 в момент времени $t_1=t_0+\Delta t_1$, после чего вновь повторяем указанную процедуру расчетов.

В качестве примера нами рассмотрено следующее простое овалоподобное распределение поля влажности

$$w = W \left\{ 1 - \frac{\alpha_1}{A(x - x_0)^2 + B(y - y_0)^2 + 1} \right\}, \quad (5)$$

где $W=0,4$ средняя влажность горючего материала, параметры A, B, α_1 – константы описывающие протяженность данного поля, x_0, y_0 – определяют положение поля влажности. Отметим, что при $\alpha_1 > 0$ выражение (5) описывает уменьшение влажности в окрестности т. (x_0, y_0) , а при $\alpha_1 < 0$ – увеличение влажности w .

На рис. 1 приведены примеры полей влажности: вариант а – когда влажность увеличивается ($\alpha_1=-0,5$) и вариант б – когда уменьшается $\alpha_1=0,5$.

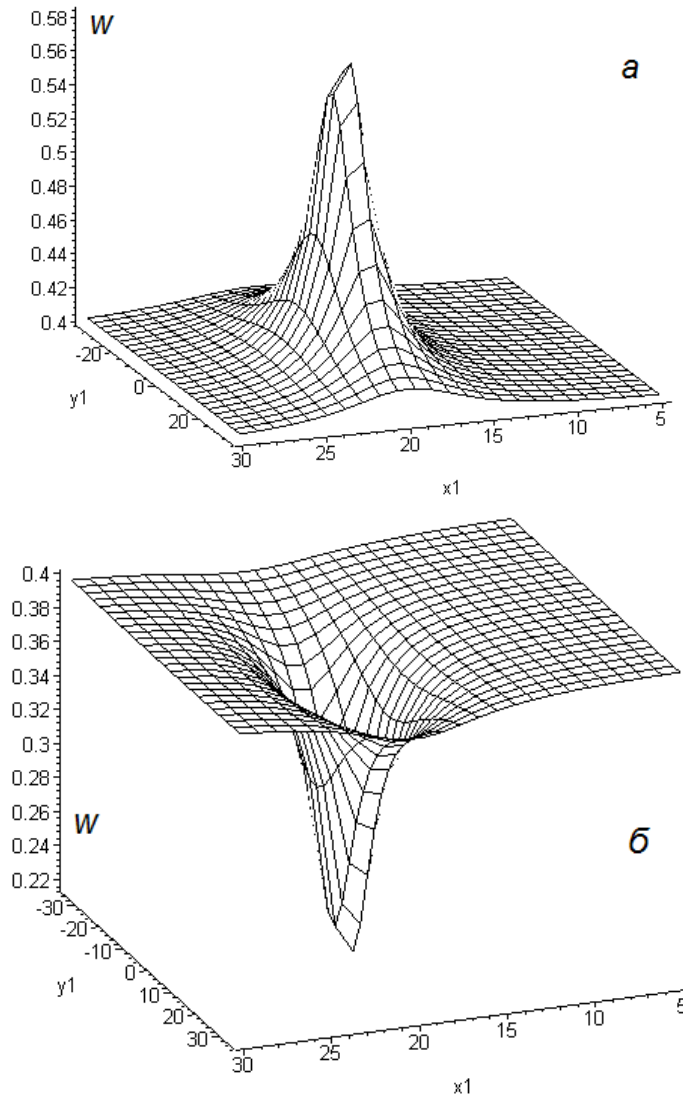


Рис. 1 Поле влажности, которое описывается w , (при $A=0,5, B=0,01$).

Используя выражения (1), (2), (4) и (5), нами рассчитаны контуры пожара с учетом изменения влажности горючего материала. Результаты расчетов при $\alpha_1 = -0,5$ и $x_0 = 20$ м, $y_0 = 5$ м в (5) и значениях А и В как на рис. 1, представлены на рис. 2, из которого видно, что когда контур пожара приближается к т. (x_0, y_0) , в окрестности которой влажность возрастает, его движение замедляется и особенно сильно вблизи (x_0, y_0) . В результате контур пожара деформируется и на нем возникают изгибы направленные внутрь контура. Отметим, что при отсутствии других аномалий в распределении влажности, с течением времени будет происходить залечивание контура [4].

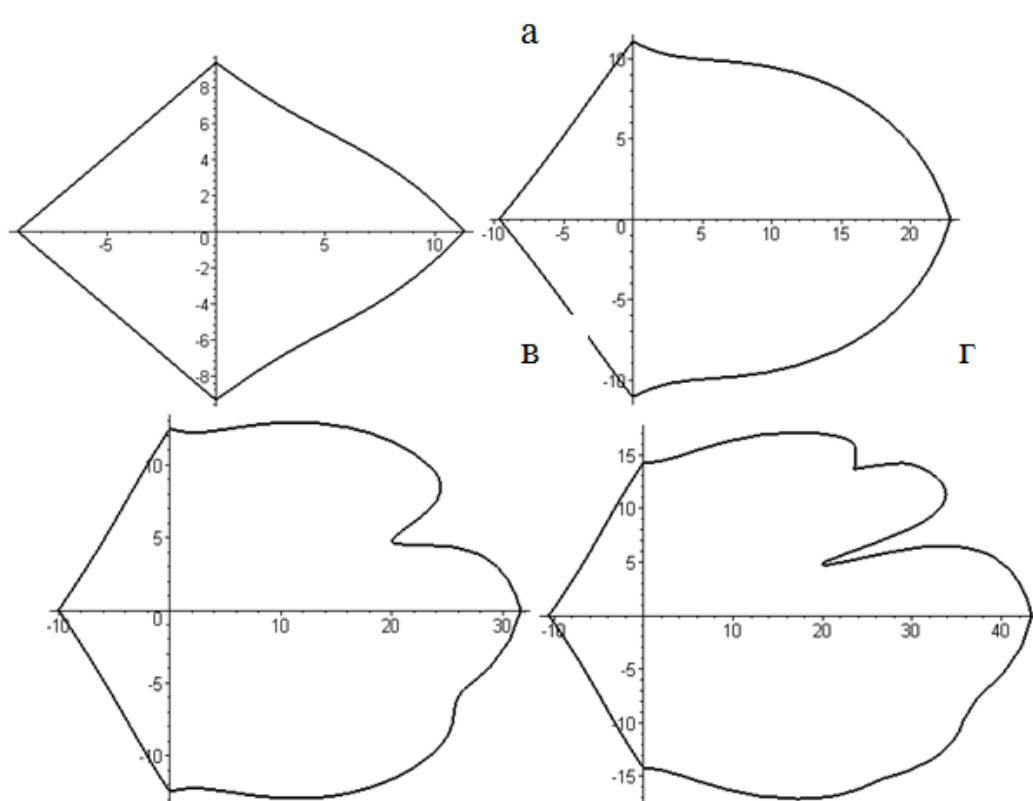


Рис. 2 Контур распространения ландшафтного пожара. Начальный очаг в форме квадрата с площадью $S_0 = 162 \text{ м}^2$. Расстояние по осям в метрах, $v_B = 3$ м/с. Кривые а, б, в, г соответствуют $t = 1, 3, 4, 5$ мин.

Введение дополнительных слагаемых в (3) не изменяет алгоритм нахождения контура пожара, однако его форма даже при небольших изменениях влажности будет существенно отличаться от простой эллиптической формы [4, 5].

Выводы. Нами показано, что существенное влияние на форму и размеры контура оказывает неоднородное распределение влажности. В дальнейшем необходимо в нашей модели учесть форму рельефа местности на скорость распространения контура ландшафтного 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.
5. Басманов А. Е. Эспериментально-аналитическая модель скорости распространения низового лесного пожара / А. Е. Басманов, А. П. Созник, А. А. Тарасенко // Проблемы пожарной безопасности. Сб. научн. тр. Вып. 11. Харьков: Фолио, 2002. – С. 17-25.
6. Телицын Г. П. Зависимость скорости распространения низовых пожаров от условий погоды / Г. П. Телицын // Сб. тр. ДальНИИЛХ. – 1965. Вып. 7. – С. 390-405.
7. Anderson H.E. Heat transport and fire spread / H.E. Anderson // USDA Forest, Serv. Res. Paper INT – 69. – Ogden, 1969.
8. Сафронов М.А. Лесные пожары в горах южной Сибири / М.А. Сафронов // М.: Наука, 1967. – 150 с.

А.Я. Калиновський, О.П. Сознік

Модель розповсюдження ландшафтної пожежі з урахуванням вологості горючого матеріалу.

Досліджено вплив неоднорідності горючого матеріалу за вологістю на розповсюдження ландшафтної пожежі. Показано вплив неоднорідності поля вологості на розповсюдження контуру ландшафтної пожежі.

Ключові слова: ландшафтна пожежа, поле вологості, швидкість розповсюдження, контур вигорання.

A.Y. Kalinovskiy, A.P. Soznik

Model distribution of landscape fires including flammable material humidity.

The influence of the heterogeneity of combustible material in moisture on the distribution of landscape fire. Shows the effect of field inhomogeneity humidity on the distribution of the contour of landscape fire.

Keywords: landscape fire, field moisture, speed of distribution, contour of burning down.

УДК 614.84

*А.А. Киреев, канд. хим. наук, доцент, НУГЗУ,
К.В. Жерноклёв, канд. хим. наук, старший преподаватель, НУЦЗУ,
Л.Н. Куценко, доктор техн. наук, профессор, НУГЗУ*

ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ КЛАССА «А» ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИМИ СОСТАВАМИ. УЧЁТ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВТОРНОГО ВОСПЛАМЕНЕНИЯ

Разработана феноменологическая модель пожаротушения с использованием гелеобразующих составов, учитывающая возможность повторного воспламенения. На её основании проведена оценка времени тушения пожаров класса А. При расчётах использовались экспериментально определённые времена повторного воспламенения образцов древесины, потушенных гелеобразующими составами.

Ключевые слова: математическая модель пожаротушения, время повторного воспламенения, пожары класса А, гелеобразующие системы

Постановка проблемы. Повышение эффективности пожаротушения является важной задачей, которая далека от своего решения. Одной из задач по рациональной организации пожаротушения является определение сил и средств, необходимых и достаточных для ликвидации пожаров и загораний. Количественно эта задача может быть решена на основе разработки математических моделей пожаротушения.

Математическая модель пожаротушения должна включать в себя учёт скорости распространения пожара, скорости его тушения, а также учёт возможности повторного воспламенения. До настоящего времени не разработаны математические модели процесса пожаротушения, которые бы учитывали возможность повторного воспламенения.

Анализ последних исследований и публикаций. До настоящего времени вода остаётся основным огнетушащим веществом. Одними из существенных недостатков воды как огнетушащего вещества являются большие потери её за счёт стекания, низкий показатель её огнетушащей эффективности и малое время повторного воспламенения материалов потушенных с использованием воды. Для решения проблемы больших потерь воды при тушении пожаров были предложены огнетушащие и огнезащитные гелеобразующие составы (ГОС) [1-2]. Среди ряда преимуществ ГОС существенное значение имеет большое время повторного воспламенения поверхностей, потушенных с использованием таких составов [3-5].

Постановка задачи и её решение. Целью работы является создание феноменологической модели пожаротушения, учитывающей возможность повторного воспламенения и оценку с помощью такой модели времени тушения пожара с использованием ГОС.

Повторное воспламенение твёрдых горючих материалов возникает по двум основным причинам. Во-первых, повторное воспламенение возможно за счёт тепла аккумулированного в потушенном материале. Второй причиной повторного воспламенения является воздействие на потушенные участки пожара теплового излучения или пламени от непотушенных участков пожара. Этот вид повторного воспламенения сильно затрудняет тушение крупных пожаров.

Для осуществления количественных оценок времени тушения необходимы численные значения времён повторного воспламенения твердых горючих материалов, потушенных с использованием ГОС. Такие данные были получены экспериментально [3-5].

Примем основные обозначения те же, что и ранее [6-7]:

S – площадь горящей поверхности; s – скорость тушения; S_0 – начальная площадь горящей поверхности; k – коэффициент площади горения; $\tau_{\text{туш}}$ – время тушения; P – расход ОБ (кг/с или л/с); a и b коэффициенты при линейном и квадратичном члене в уравнении зависимости площади горения от времени; ГОС-1 – $\text{CaCl}_2(42\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$; ГОС-2 – $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(25\%) + \text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(12\%)$.

Рассмотрим случай тушения, когда горючие материалы образуют в основном большие открытые поверхности горения и площадь горения постоянна ($S = S_0$). Успешное тушение может быть достигнуто при условии:

$$\tau_{\text{туш}} < \tau_{\text{п.в.}}, \quad (1)$$

где $\tau_{\text{п.в.}}$ – время повторного воспламенения.

В случае постоянной площади пожара время тушения составит:

$$\tau_{\text{туш}} = \frac{S_0}{s} = \frac{\Phi \cdot S_0}{P}, \quad (2)$$

где Φ величина реального удельного расхода огнетушащего вещества (ОВ).

Время повторного воспламенения для двух выбранных ГОС хорошо описывается полиномами второй степени:

$$\tau_{\text{п.в.}} = f\Phi^2 + d\Phi + c. \quad (3)$$

Соответствующие значения коэффициентов c , d и f для двух ГОС были экспериментально определены ранее [3-5].

На основании соотношений (1–3) условие отсутствия повторного воспламенения при постоянной площади пожара запишется:

$$\Phi \cdot S_0 / P < f\Phi^2 + d\Phi + c. \quad (4)$$

Оптимальным значением Φ будет его минимальное значение, обеспечивающее выполнение неравенства (4). На рис. 1 представлены графические решения этого неравенства для двух ГОС. На нём приведены зависимости времени тушения пожаров разной площади и времени повторного воспламенения для воды (4), ГОС-2 (5), ГОС-1 (6) от удельного расхода ОВ. Расход ОВ во всех случаях принят 5 кг/с. Для воды время повторного воспламенения практически не зависит от удельного расхода на тушение и для всех значений удельного расхода больших 1 кг/м^2 принята равной 2,5 мин. [3-5].

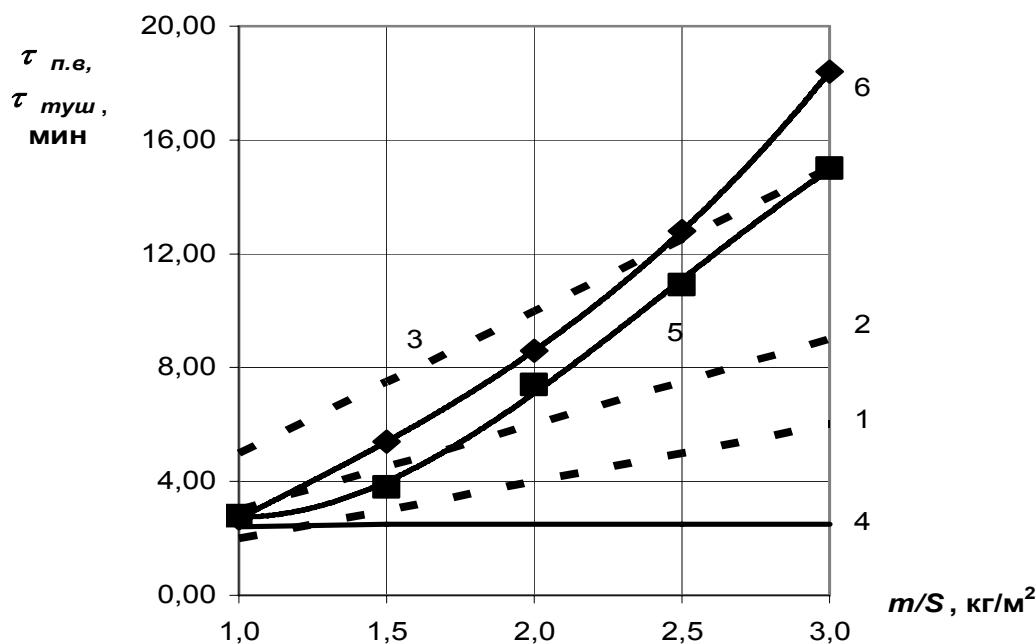


Рис. 1 – Зависимости времени тушения ($\tau_{туш}$) (прямая (1) $S_0=600 \text{ м}^2$, прямая (2) $S_0=900 \text{ м}^2$, прямая (3) $S_0=1500 \text{ м}^2$) и времени повторного воспламенения ($\tau_{п.в.}$) для воды (4), ГОС-2 (5), ГОС-1 (6), от удельного расхода ОВ (m/S) (случай постоянной площади горения)

Как видно из приведенных зависимостей распыленной водой можно потушить только пожар с площадью горения до 600 м^2 . ГОС-2 можно потушить пожар с площадью горения 900 м^2 , если обеспечить удельный расход ОВ более $1,7 \text{ кг/м}^2$. ГОС-1 позволяет потушить без

возникновения повторного воспламенения пожар с площадью горения 1500 м², если обеспечить удельный расход ОВ более 2,5 кг/м².

Теперь рассмотрим случай, когда площадь горения увеличивается со временем. Для линейного закона роста площади горения со временем выражение (1) трансформируется в неравенство [6-7]:

$$\frac{S_0}{P/\Phi - a} < f \cdot \Phi^2 + d \cdot \Phi + f \cdot \Phi^2. \quad (5)$$

Для квадратичного закона роста площади пожара со временем с учётом соотношения получим [6-7]:

$$\frac{P/\Phi - a - \sqrt{(P/\Phi - a)^2 - 2bS_0}}{b} < f \cdot \Phi^2 + d \cdot \Phi + c. \quad (6)$$

На рис.2 и 3 представлены графические решения неравенств (5) и (6). В первом случае принято $S_0 = 300 \text{ м}^2$, $a = 1,7 \text{ м}^2/\text{с}$. Как видно из приведенных зависимостей, успешное тушение может быть достигнуто при обеспечении удельного расхода для ГОС (1) вплоть до 2,2 кг/м², а для ГОС (2) до 2,4 кг/м².

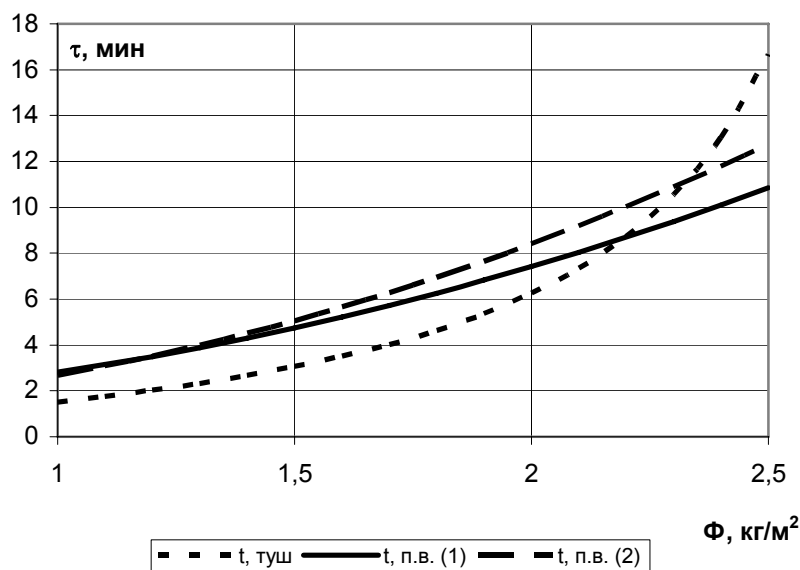


Рис. 2 – Зависимости времени тушения (t туш) и времени повторного воспламенения для образцов древесины потушенных ГОС-2 (t п.в (1)) и ГОС-1 (t п.в (2)) от удельного расхода ОВ Φ (случай линейного роста площади пожара от времени).

В случае квадратичного закона роста площади пожара со временем (рис.3) принят радиус пожара 10,5 м, линейная скорость его распространения 0,01 м/с и коэффициент поверхности горения 1,5.

Как видно из приведённых зависимостей, при тушении открытых поверхностей по времени повторного воспламенения небольшое преимущество проявляет ГОС-1.

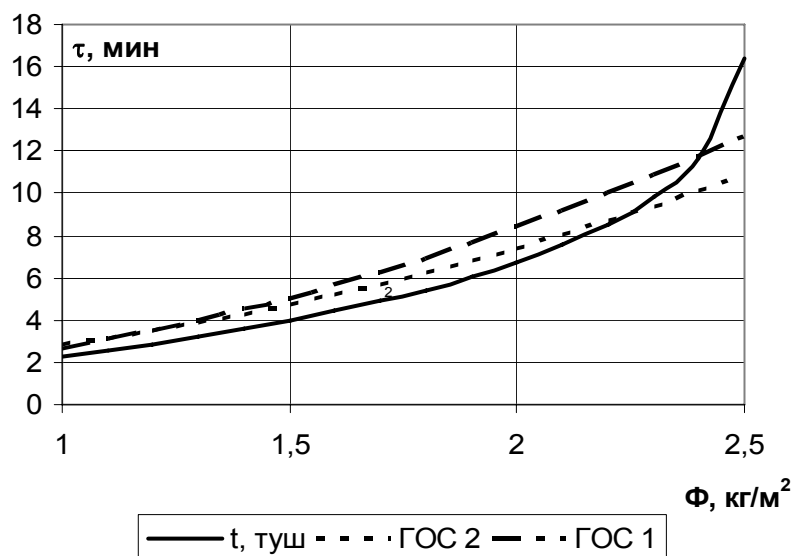


Рис. 3 – Зависимости времени тушения (t туш) и времени повторного воспламенения для образцов древесины потушенных ГОС-1 и ГОС-2 от удельного расхода ОВ Φ (случай квадратичного закона роста площади).

Выводы. Использование ГОС позволяет существенно уменьшить время тушения пожаров за счёт увеличения времени повторного воспламенения по сравнению с тушением водой. Среди ГОС преимущество при тушении открытых поверхностей имеет система $\text{CaCl}_2(42\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киреев О.О., Бабенко О.В. Обґрунтування вибору систем для дослідження явища гелеутворення при розробці нових рідинних засобів пожежогасіння. “Проблемы пожарной безопасности.– 2002, вып.12. –С.107-110.
2. 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., Бабенко А.В. Заявитель и патентообладатель Академия пожарной безопасности Украины №2003237256/12; опубл. 20.11.2005, Бюл.№32.
3. Киреев А.А. Исследование повторного воспламенения древесины, потушенной гелеобразующими составами // А.А. Киреев, Абрамов Ю.А., Александров А.В. // Проблемы пожарной безопасности.– 2006.– вып. 20.– с.86-89.

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

5. Киреев А.А. Исследование повторного воспламенения древесины обработанной гелеобразующими огнетушащими составами / А.А. Киреев, С.Н. Бондаренко // Проблемы пожарной безопасности. – 2009.– вып. 25.– С.65-72.

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

7. Киреев А.А. Оценка времени тушения крупных пожаров при использовании гелеобразующих составов / А.А. Киреев, К.В. Жерноклёв, А.Н. Коленов // Проблемы пожарной безопасности.– 2009.– вып.26.– С.36-43.

О.О. Кіреєв, К.В. Жернокльов, Л.М. Куценко

Оцінка часу гасіння пожеж класу А гелеутворюючими складами. Врахування можливості повторного займання.

Побудована феноменологічна модель пожежегасіння з використанням гелеутворюючих складів, яка враховує можливість повторного займання. На її основі проведена оцінка часу гасіння пожеж класу А.

Ключові слова: математична модель пожежегасіння, час повторного займання, пожежі класу А, гелеутворюючі склади.

A.A. Kireev, K.V. Zhernoklov, L.N. Kucenko

Estimation the time of extinguishing fires by class A with using of gelforming systems. Take into consideration possibility of repeat inflame.

Phenomenon mathematical model of fire extinguishing with use of gelforming systems was construction. This model take into consideration possibility of repeat inflame. On the base of mathematical model the time of the extinguishing fires was estimation.

Key terms: mathematical model of fire extinguishing, time of repeat inflame, gelforming system, class A fire.

УДК 614.84

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

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РАЗРУШЕНИЯ ПЕН

(представлено д-ром техн. наук Соболев А.Н.)

Исследована кинетика разрушения пен, полученных с помощью пенообразующих систем с внешним пенообразованием. Установлено влияние качественного и количественного состава пенообразующей системы на скорость разрушения пены. Исследования проведены для пенообразующих систем $Al_2(SO_4)_3 + NaHCO_3$, $Al_2(SO_4)_3 + (NH_4)_2CO_3$, $Fe_2(SO_4)_3 + (NH_4)_2CO_3$, в присутствии пенообразователей ТЭАС, ПО-6 ОСТ, Морпен, Tridol 6-10 С АFFF.

Ключевые слова: стойкость пен, пенообразующие системы, пенообразователи

Постановка проблемы. Водопенные огнетушащие средства нашли широкое применение в практике пожаротушения. По частоте использования они уступают лишь жидкостным огнетушащим веществам. Доминирующим механизмом огнетушащего действия пен является их изолирующая способность. По этому показателю пены превосходят другие традиционные средства пожаротушения.

В настоящее время для тушения пожаров используют воздушно-механическую пену, которую получают и подают с помощью различного вида пеногенераторов. Существенным недостатком существующих водопенных огнетушащих средств является затруднение их подачи на большие расстояния. Поток пены, при подаче его с большой скоростью, быстро замедляется в воздухе. Ограничены также возможности его растекания на большие расстояния. Одним из существенных недостатков воздушно-механических пен является использование в качестве газа-наполнителя воздуха, который поддерживает горение.

Анализ последних достижений и публикаций. Большинству этих недостатков лишены пенообразующие системы с внешним пенообразованием (ПОС) [1-2]. Эти системы представляют собой два раствора, отдельно хранящихся и отдельно, но одновременно подающихся в очаг пожара. Состав растворов подобран так, чтобы при их взаимодействии выделялся газ. При наличии в жидкостях пенообразователя образуется пена.

В предыдущих работах были рассмотрены в основном процессы пенообразования в ПОС [1-2]. Так, в частности, была определена кратность пен, полученных при использовании пенообразователей общего и специального назначения. Также была оценена стойкость образовавшихся пен. Для оценки стойкости пен обычно используют

время разрушения половины объёма пены [3]. Однако для количественных расчётов условий пожаротушения с помощью пен необходимо знать количественную зависимость объёма пены от времени. До настоящего времени такие исследования для ПОС не проводились.

Постановка задачи и ее решение. Задачей работы является исследование кинетики процесса разрушения пен, полученных с помощью ПОС. Для исследования выбраны ранее хорошо зарекомендовавшие кислотные компоненты $Al_2(SO_4)_3$ и $Fe_2(SO_4)_3$. В качестве основных компонентов избраны $NaHCO_3$ и $(NH_4)_2CO_3$, которые обеспечивают получение газа не поддерживающего горения – CO_2 . Для обеспечения получения стойких пен использовались пенообразователи общего и специального назначения – ТЭАС, ПО-6 ОСТ, Морпен, Tridol 6-10 С АFFF.

Экспериментальные исследования проводились в соответствии с лабораторными методиками [4]. С помощью мерных цилиндров на 10 мл отбирались одинаковые объёмы (по 5 или 10 мл) обоих компонентов. Они выливались в мерный цилиндр на 250 мл. В результате реакции выделялся углекислый газ, который обеспечивал образование пены. После достижения пеной максимального объёма проводилось наблюдение за разрушением пены с течением времени. Показания фиксировались до момента разрушения 90% объёма пены. Также фиксировался максимальный объём пены, с помощью которого рассчитывалась кратность пены.

Исследования были проведены для систем $Al_2(SO_4)_3 + NaHCO_3$, $Al_2(SO_4)_3 + (NH_4)_2CO_3$, $Fe_2(SO_4)_3 + (NH_4)_2CO_3$, в присутствии пенообразователей ТЭАС, ПО-6 ОСТ, Морпен, Tridol 6-10 С АFFF.

В ходе проведения эксперимента было установлено, что результаты параллельных опытов могут отличаться на (20-25) %. По видимому, это связано с трудностью точного воспроизведения условий смешения двух растворов. При сливании двух растворов в месте их контакта образуется гелеобразная прослойка, которая препятствует дальнейшему перемешиванию. Частично эту проблему решает интенсивное встряхивание в процессе смешения компонентов ПОС.

Ещё одной особенностью процесса разрушения пены является неравномерный характер процесса. Постепенно мелкие пузырьки газа объединяются в большие. При выходе наружу разрушение крупного пузырька даёт скачкообразное изменение объёма. На рисунках 1 и 2 приведены зависимости объёма пены от времени для двух ПОС. За начальное время принят момент сливания компонентов ПОС.

Начальный рост объёма пены определяется её образованием в результате протекания химических реакций с образованием углекислого газа [1]. Выделение газа легко фиксируется визуально. Постепенно скорость образования пены уменьшается и становится мень-

шей скорости её разрушения. Зависимость объёма пены от времени проходит через максимум. После прохождения максимума ещё некоторое время продолжается процесс образования пены. Этому этапу отвечает участок зависимости, который расположен сразу после максимума на соответствующей зависимости.

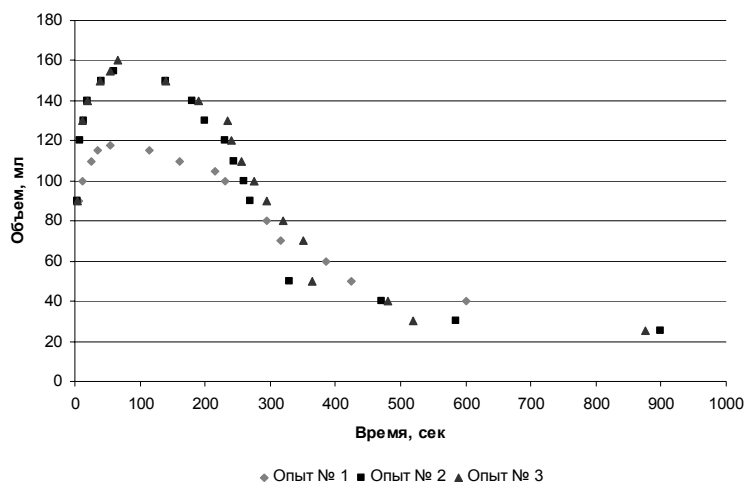


Рис.1 – Зависимость объёма пены от времени для ПОС $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ – 15 мас.% + NaHCO_3 – 8,8 мас.% (пенообразователь ТЭАС(6 %)). (исходный суммарный объём компонентов ПОС – 20 мл)

В дальнейшем идёт участок, которому соответствует уменьшение объёма пены по характеру близкое к линейному. Подобный характер зависимости наблюдается для большинства исследованных систем. Полное разрушение пены для большинства систем наступает через 20–30 минут. Это обусловлено образованием рыхлых осадков $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и $\text{Al}(\text{OH})_3$, которые опускаются в нижнюю часть цилиндра, и удерживают вокруг себя некоторую часть пены.

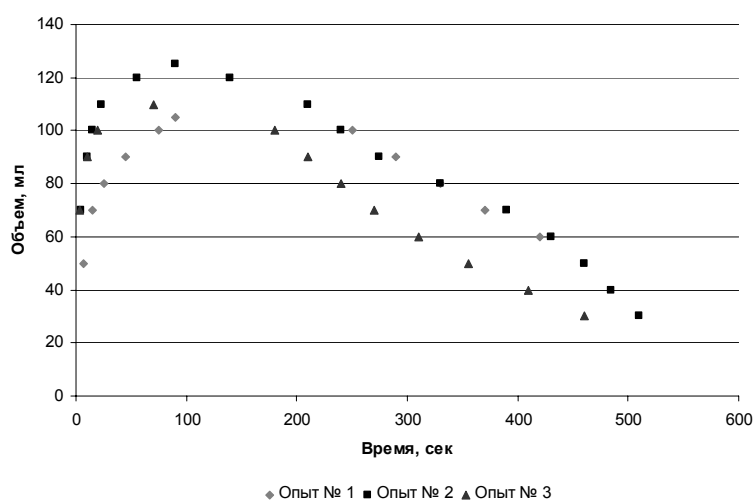


Рис.2 – Зависимость объёма пены от времени для ПОС $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ – 40 мас.% + $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ – 50 мас.% (пенообразователь Морпен (6%)). (исходный суммарный объём компонентов ПОС – 5 мл).

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

Выводы. Зависимость объёма пены от времени имеет характер близкий к линейному для большинства систем. Меньшую скорость разрушения пены позволяет обеспечить использование ПОС $Al_2(SO_4)_3+(NH_4)_2CO_3$. Наилучшие результаты по устойчивости пен позволяют обеспечить пенообразователи ТЭАС, Морпен. Наибольшее время полного разрушения пены показала ПОС $Al_2(SO_4)_3+NaHCO_3$. Наибольшую кратность пены обеспечивают системы с избытком кислотного компонента. Преимущество среди кислотных компонентов имеет 55% раствор $Fe_2(SO_4)_3$, который позволяет обеспечивать кратность пены более 20.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киреев А.А. Пути повышения эффективности пенного пожаротушения / Киреев А.А., Колонов А.Н. // Проблемы пожарной безопасности. – 2008. – вып.24. – С.50-53.
2. Киреев А.А. Исследование пенообразования в пенообразующих системах. / Киреев А.А., Колонов А.Н. // Проблемы пожарной безопасности. – 2009. – вып.25. – С.59-64.
3. 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.
4. Айвазов Б.В. Практикум по химии поверхностных явлений и адсорбции / Б.В. Айвазов. – М.: Высш. школа, 1973. – 208 с.
5. Киреев А.А. Пути повышения эффективности пенного пожаротушения / Киреев А.А., Колонов А.Н. // Проблемы пожарной безопасности. – 2008. – вып.24. – С.50-53.

О.О. Киреев, О.М. Колонов

Дослідження кінетики руйнування піни

Наведені результати експериментальних визначень стійкості піни, що отримані за допомогою ціноутворюючих систем. Встановлено, що залежність об'єму піни від часу близька до лінійної. Найменшу швидкість руйнування піни забезпечило використання системи $Al_2(SO_4)_3+(NH_4)_2CO_3$ з використанням в якості піноутворювача ТЭАС.

Ключові слова: стійкість піни, піноутворюючі системи, піноутворювачі.

A.A. Kireev, A.N. Kolenov

Investigation the kinetics of foam destroying

The results of experimental investigations the kinetics of foam destroying was present. A linear dependent of foam volume with time was ascertained. Smaller velocity of foam destroying guarantee the using of system $Al_2(SO_4)_3+(NH_4)_2CO_3$ using as blowing agent ТЭАС.

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

УДК 614.84

*Киреев А.А., канд. хим. наук, доцент, НУЦЗУ,
Кириченко А.Д., магистр, НУЦЗУ*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ТЕРМОРАСШИРЯЮЩИХСЯ КОМПОНЕНТОВ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

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

Для перспективных компонентов гелеобразующих систем исследован процесс вспучивания под воздействием нагревания. Для них определены температуры начала вспучивания и коэффициент вспучивания. Определена совместимость этих веществ с компонентами гелеобразующей системы $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$.

Ключевые слова: терморасширяющиеся компоненты, гелеобразующие системы, коэффициент вспучивания

Постановка проблемы. Защита от теплового воздействия пожара на твёрдые горючие материалы (ТГМ), находящихся в зоне теплового воздействия, в условиях развитого пожара является одним из основных видов действий оперативно-спасательных подразделений МЧС. Такой вид огнезащиты, в отличие от постоянной огнезащиты, называют временной или оперативной огнезащитой.

Для оперативной огнезащиты обычно используются те же огнетушащие вещества (ОВ), что и для прекращения горения. В большинстве случаев этим веществом является вода. Основные преимущества воды как огнетушащего и огнезащитного средства состоят в её высоких охлаждающих свойствах, экологичности и низкой стоимости. Однако она имеет и существенный недостаток, заключающийся в больших потерях за счёт стекания с наклонных и вертикальных поверхностей. Большинство твёрдых горючих материалов удерживают на своей поверхности лишь малые количества воды. Это приводит к тому, что один и тот же объект необходимо обрабатывать водой многократно. Это существенно уменьшает возможности оперативной огнезащиты подразделений принимающих участие в тушении пожара.

Анализ последних достижений и публикаций. Значительными преимуществами в осуществлении оперативной огнезащиты обладают гелеобразующие огнетушащие и огнезащитные системы (ГОС) [1-3]. Один из компонентов ГОС представляет собой раствор гелеобразующего компонента – силиката щелочного металла. Второй компонент – раствор веществ вызывающих быстрое гелеобразование силикатной составляющей. При подаче таких растворов они смешиваются на горящих или защищаемых поверхностях. Между компонентами растворов происходит взаимодействие, приводящее к образованию геля. Гель образует на поверхности нетекущий огнезащит-

ный слой. Этот слой прочно закрепляется на вертикальных и наклонных поверхностях.

По сравнению с водой гелеобразующие системы имеют преимущество, заключающееся в существенном уменьшении потерь огнетушащего вещества за счет стекания с наклонных и вертикальных поверхностей. Другим преимуществом ГОС является их высокое огнезащитное действие. Огнезащитное действие гелеобразных слоёв на первом этапе обусловлено охлаждающим действием воды, содержащейся в геле. После испарения всей воды из гелевого слоя образуется пористый слой высушенного геля (ксероргеля) который затрудняет воспламенение защищаемого горючего материала за счёт своей низкой теплопроводности.

ГОС хорошо зарекомендовали себя в качестве огнезащитного средства для древесины, древесностружечных и древесноволокнистых материалов, некоторых пластмасс и тканей [4]. Так для недопущения воспламенения перечисленных горючих материалов в течение 10-20 минут достаточно обработать их слоем геля толщиной 2-3 мм. При обработке слоем геля древесины толщиной более 4 мм обеспечивается долговременная защита материала от воспламенения. Однако и при такой обработке происходит постепенный прогрев защищаемой поверхности.

В работе [5] обоснованы пути повышения огнезащитных свойств покрытий на основе ГОС. Одним из наиболее перспективных путей является введение добавок в состав ГОС терморасширяющихся веществ. Однако до настоящего времени не изучена совместимость таких веществ с компонентами ГОС и их поведение при тепловом воздействии.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является подбор терморасширяющихся веществ, совместимых с компонентами ГОС и исследование их поведения при термическом воздействии.

В настоящее время известно достаточно большое число веществ, которые вспучиваются при нагревании. Они нашли широкое распространение как компоненты различных огнезащитных покрытий. Такие покрытия используются для постоянной огнезащиты, поэтому требования к ним существенно отличаются от оперативных огнезащитных покрытий. Последний вид покрытий приходится наносить в условиях интенсивного теплового воздействия. Поэтому для оперативной огнезащиты целесообразно применять только негорючие или малогорючие вещества такого типа. В связи с этим из рассмотрения исключим большинство органических вспучивающихся веществ.

Из органических веществ, способных к вспучиванию, оставим для рассмотрения только такие, горение которых можно подавить с

помощью антипиренов. В первую очередь сюда необходимо отнести соединения, относящиеся к классу углеводов. Эти вещества в композиции с фосфатами аммония в значительной степени утрачивают способность к горению. Это в первую очередь олигомеры крахмала и некоторые сахара.

Еще одним требованием к терморасширяющимся соединениям является низкая температура вспучивания. Чем ниже температура начала вспучивания, тем раньше начинают задействоваться теплоизолирующие свойства вспученного покрытия. Наиболее предпочтительной температурой начала вспучивания можно признать 100°C, так как при более низких температурах в огнезащитной композиции будет присутствовать вода, которая и обеспечит ей огнезащитные свойства. Анализ литературных данных позволяет отнести сюда фруктозу, глюкозу, сахарозу и глюконат кальция. Все эти вещества имеют высокие коэффициенты вспучивания и температуру начала вспучивания не более 200°C.

Из неорганических веществ отмеченным выше требованиям отвечают: жидкое калиевое и натриевое стёкла, бура, фосфаты и полифосфаты аммония, интеркалированный графит.

Первоначально было изучено вспучивание индивидуальных веществ и их растворов (в случае большой растворимости вещества). Для этого с помощью мерника отбиралось (5–10) см³ сухой смеси веществ или соответствующего раствора и равномерно рассыпался (разливался) на дно металлического стаканчика цилиндрической формы. Внутренний диаметр стаканчика составлял 5 см³, высота 5,5 см. После чего стаканчик медленно нагревался на электроплитке до прекращения процесса вспучивания. Максимальная температура, до которой осуществлялся нагрев, составляла 360°C. Объём, образовавшейся пены оценивался по её высоте поднятия в стаканчике. При этом пена, выходящая за габариты стаканчика срезалась ножом, и её объём оценивался отдельно. Для каждой системы измерения коэффициента вспучивания проводились три раза. Соответствующие усреднённые данные приведены в таблице 1.

Одновременно с определением коэффициента вспучивания проводились измерения температуры начала вспучивания. Температура начала вспучивания определялась с помощью терморпары ТХА и регистрирующего вольтметра МПП 254 с точностью ± 5 °C.

Поведение различных веществ при нагреве существенно отличалась. Исследуемые углеводы сначала плавилась, затем начинался процесс кипения, который сопровождался карамелизацией веществ. Вязкость расплавов постепенно возрастала. При дальнейшем росте температуры начиналась карбонизация веществ с постепенным увеличением объёма, образующейся твёрдой пены. Пламенного горения

всех исследованных углеводов при выбранных условиях нагрева не наблюдалось.

Таблица 1 – Коэффициент вспучивания (k), температура начала вспучивания (или кипения) (t), и совместимость веществ с компонентами гелеобразующей системы $\text{CaCl}_2(10\%) + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2(20\%)$

Вещество	k	t, °C	CaCl_2 (20%)	$\text{Na}_2\text{O} \cdot$ $2,7\text{SiO}_2$ (20%)
Глюкоза	8	175	+	+
Сахароза	9	170	+	+
Фруктоза	4	140	+	+
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2(20\%)$	2,5	105		
Бура	3	220	–	–
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	1,5	160	–	–
Полифосфат аммония	–	350	–	–
Глюконат кальция	16	190	+	+

+ совместимо, – несовместимо.

Бура при нагревании начинала увеличиваться в объёме без отчётливого плавления. При температуре около 360°C начинается плавление, которое сопровождается уменьшением объёма системы. Дигидрофосфат аммония и полифосфат аммония практически не вспучиваются в условиях эксперимента. Водный раствор жидкого стекла после выкипания воды постепенно густел и образовывал слабо вспученную, но прочную стеклообразную пену.

Наибольшее вспучивание показал глюконат кальция. Его вспучивание происходило без плавления. В результате вспучивания образовывалась светло-коричневая пористая масса. По прочности вспученный глюконат кальция уступал всем остальным системам.

Совместимость вспучивающихся компонентов с растворами гелеобразователя ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2(20\%)$) и катализатора гелеобразования ($\text{CaCl}_2(20\%)$) определялась путём сливания равных объемов растворов соответствующих веществ. Растворы вспучивающихся веществ брались с концентрацией 20 % по массе. В случае ограниченной растворимости вспучивающегося вещества к 10 мл растворов компонентов гелеобразующей системы добавлялся 2 г твёрдого вещества. Отсутствие визуальных эффектов в течение 10 минут принималось за совместимость соответствующих компонентов.

Выводы. Из всех исследованных систем наибольший коэффициент вспучивания показал глюконат кальция. Эффективные антипирены – дигидрофосфат и полифосфат аммония не способны к самостоятельному вспучиванию, при температурах до 360°C . Наиболь-

шую прочность показала стеклообразная пена, образовавшаяся при нагревании раствора жидкого стекла.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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., Бабенко А.В. Заявитель и патентообладатель Академия пожарной безопасности Украины №2003237256/12; заявл. 23.12.2003; опубл. 20.11.2005, Бюл. №32.

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

3. 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.

4. 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 // Проблеми пожарной безопасности. – 2002. – вып.19. – С.127-131.

5. Чернуха А.А. Исследование огнезащитной эффективности покрытий на основе ксерогелевых композиций. А.А. Чернуха, А.А. Киреев, С.Н. Бондаренко, А.Д. Кириченко секторі // Проблеми пожарной безопасности. – 2009. – Вып. 26. – С. 166 – 180.

О.О. Кіреєв, А.Д. Кіриченко

Дослідження поведінки компонентів, що розширюються під час термічної дії

Для перспективних гелеутворюючих систем досліджено процес спучування під впливом нагрівання. Для цих систем визначені температури початку спучування і коефіцієнт спучування. Визначена сумісність цих речовин з компонентами гелеутворюючої системи $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$.

Ключові слова: компоненти що розширюються під час нагрівання, гелеутворюючі системи, коефіцієнт спучування.

A.A.Kireev , A.D. Kirichenko

Investigations the behavior of thermoexpansion components

For perspective gelforming systems the process of thermoexpansion was investigated. For this systems the thermoexpansion temperature and coefficient of thermoexpansion was define. Compatibility of this substances with components of system $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ was define.

Key words: thermoexpansion components, gelforming systems, coefficient of thermoexpansion.

УДК 614.84

*В.Ф. Клетиков, д.ф.-м.н., профессор, ИЭРТ НАН Украины,
Е. М. Прохоренко, к.ф.-м.н., с.н.с. ИЭРТ НАН Украины,
А.М.Баранов, д.т.н., профессор, НУГЗУ,
А.И.Морозов, к.т.н., НУГЗУ.*

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ТЕПЛОВИЗИОННОГО
КОНТРОЛЯ ПРИ ПРОТИВОПОЖАРНОМ ОБСЛЕДОВАНИИ
ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

(представлено д-ром. техн. наук Андроновым В.А.)

Дано обоснование применения тепловизионного оборудования при притивопожарном контроле ТЭС. Приведены результаты обследования реально действующей ТЭС. Показаны зоны с аномальной температурой, которые могут стать источниками возгорания. Определены возможные места дефектов и повреждений, в которых могло бы возникнуть возгорание, проверена их достоверность. Предложен метод проведения противопожарного контроля с использованием тепловизора.

Ключевые слова: тепловизионное обследование, протиповожарные мероприятия.

Постановка проблемы. В настоящее время задача своевременного обнаружения возможных мест возгорания является важной и актуальной, так как позволяет предотвратить, или уменьшить количество потенциально возможных пожаров и, как следствие избежать человеческих жертв и значительных материальных потерь. Кроме этого, пожары могут приводить к необратимым последствиям для экологии, природы и т.д. В среднем в Украине каждый день возникает 120 пожаров, в которых гибнет до 9 человек, уничтожается или повреждается до 60 сооружений, наносится экономический урон в объеме 4200 тысяч гривен.[1]. В частности, количество пожаров вызванных нарушениями правил безопасной установки и эксплуатации электрооборудования за 2009 год составило 10324 пожара (23.5% от общего их количества). Следует отметить, что урон от пожаров в данной категории не уменьшается, а только возрастает. Статистика же, пожаров на тепловых электростанциях (ТЭС) показывает, что в 62% случаев всех пожаров причиной является неисправности электрооборудования и в 36% случаев – возгорания угля. Поэтому противопожарные профилактические работы по предупреждению возгорания с использованием тепловизионной техники при обследовании теплового и электрооборудования в угольной промышленности Ук-

раины, которая является стратегической отраслью страны, имеют большое значение.

Постановка задачи и ее решение. Сейчас в Украине не существует эффективных профилактических противопожарных методов определения температуры электропроводки и теплового оборудования. Эффективным методом в этом направлении является тепловизионный контроль. В отдельных странах методы тепловизионного обследования различных объектов электроэнергетики утверждены законодательно [5]. В Украине нормативно-правовая база для использования тепловизионной техники при пожарной профилактике объектов отсутствует. Институт электрофизики и радиационных технологий НАН Украины разработал свою методику определения температуры электропроводки и оборудования [2], которую авторы использовали при проведении исследований противопожарной безопасности Змиевской ТЭС. Результаты проведенных практических испытаний подтвердили необходимость создания соответствующих нормативных документов, разрешающих применение методов тепловизионного оборудования при противопожарном контроле.

Приборы и техника эксперимента. Для проведения обследования применяли метод теплового неразрушающего контроля [3]. Инфракрасная радиометрия позволяет измерить температуру на поверхности тела с высокой точностью. Метод базируется на регистрации собственного теплового излучения обследуемого объекта. Любое тело излучает в широком спектральном тепловом диапазоне (инфракрасное излучение), и данное излучение фиксируется тепловизором. При помощи тепловизионных приборов фиксируем изменение температурного поля на поверхности тела. Вид изменения градиента температур фиксируем аппаратным способом. В дальнейшем из полученных термограмм можем обнаружить не только зону теплового нарушения, но и ее форму, температуру и прочее.

Следует добавить, что при проведении тепловизионного ИК-контроля необходимо определить: а) периодичность его проведения; б) учет влияния различных факторов; в) панорамное обследование всего объекта; г) детальный контроль всех подозрительных мест; д) правильная расшифровка полученных результатов и т.д.

Тепловизионный контроль удобен тем, что позволяет проводить противопожарное обследование дистанционно, обладает высокой скоростью получения сигнала, его наглядностью, удобством в расшифровке сигнала информации. Для нужд обнаружения возможных источников возгорания тепловизионный контроль проводится в пассивном режиме. Под, пассивным режимом, подразумевается то, что тепловое поле формируется и создается в процессе эксплуатации, т.е. собственное тепловое поле, которое формирует на поверхности

изображение в зависимости от тела и его внутреннего состояния. При использовании активной термографии, необходимо применение дополнительного внешнего теплового поля, и при контроле наблюдаем суперпозицию собственного и внешнего теплового поля. Принцип тепловизионного контроля заключается в следующем. При наличии внутри объекта зоны с аномальной температурой, тепловой поток распространяется во все стороны. Математически его можно описать уравнением [4]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c\gamma} \cdot \nabla^2 T + \frac{1}{c\gamma} \cdot W, \quad (1)$$

где T – температура, c – удельная теплопроводность тела, γ – удельный вес тела, λ – коэффициент теплопроводности вещества, устанавливаемый экспериментально (скалярная величина, зависящая от природы вещества), W – количество тепла, остающееся в элементе тела, или мощность источников тепла. Уравнение позволяет учитывать конечную скорость распространения тепла и позволяет точно определить его количество. Зная прошедшее количество тепла, и температуру на поверхности объекта можем посчитать температуру внутри, в точке разогрева. Точное решение уравнения Лапласа (выражение (1)) в общем случае является очень сложной задачей. Поэтому будем пользоваться приближенными формулами:

$$Q = \frac{T_2 - T_1}{R} \quad (2)$$

где Q – теплотери (количество тепловой энергии, выделившееся на поверхности), R – тепловое сопротивление, величина, зависящая от размеров объекта и его свойств, T_1 – температура внутри тела, T_2 – температура на поверхности тела.

Температурное поле на поверхности напрямую связано с теплотерями. Температуру фиксируем тепловизором. Принцип тепловидения базируется на фиксации теплового потока с поверхности тела. Тепловой поток (количество тепла прошедшее через определенную площадь в течении единицы времени) отражает изменение температурного поля на поверхности тела. Тепловая энергия с поверхности излучается по закону Стефана-Больцмана:

$$W_\lambda = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot \cos \alpha, \quad (3)$$

где ε – коэффициент излучения, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2\text{К}^4$ – постоянная

Стефана-Больцмана, T – температура в градусах Кельвина на поверхности объекта, α – угол между тепловизором и нормалью к плоскости исследуемого объекта.

В наших исследованиях использовался тепловизор Ti-814, работающий в диапазоне температур -50 – $+1500$ С. Он имеет пространственное разрешение 1,3 мрад, температурную чувствительность 0.08 С, диапазон частот 8.5–14 мкм, оснащен неохлаждаемой матрицей FPA болометра на основе аморфного кремния (320×240). При его помощи на объекте мы определяли температуру в точках на поверхностях зон, где есть аномалия, а затем из выражения (3) находили тепловой поток. Из теплового потока получали тепловые потери (Q), которые подставляли в выражение (2) и вычисляли температуру внутри аномалии. И соответственно, по полученной тепловизором температуре на поверхности обследуемого объекта, вычисляли значение внутренней температуры. Вычисленные, таким образом температуры являются приближенными. Для получения точного решения необходимо пользоваться полным решением уравнения Лапласа.

На основе проведенной тепловизионной съемки получили термограммы. Проведя анализ этих термограмм, получили форму дефекта, его температуру, место нахождения. Упрощает работу то, что при проведении противопожарного контроля нет необходимости точно определять форму и размер нарушения, нужно только найти зону, где есть аномальные отклонения по температуре.

Проведение эксперимента. Все испытания проводились на реальном объекте. Как объект испытаний использовали Змиевскую ТЭС, вырабатывающая электроэнергию с помощью 10-ти энергоблоков общей мощностью 2450 МВт. Приготовление угольной пыли для сжигания происходит в шаровых барабанных мельницах. Транспортировка угольной пыли в топку осуществляется горячим воздухом. Температура пламени в топке – 1000°C . Наиболее важными элементами для обследования, с точки зрения пожароопасности являются зоны с аномальным отклонением температуры. Поиск данных таких зон проводился вдоль линий электрических цепей и на поверхности теплового оборудования. Контрольная проверка, при помощи тепловизора, в котлотурбинном цехе сразу позволила найти тепловые аномалии. Некоторые из них относятся к электро- та энергооборудованию, некоторые к теплооборудованию. Термограммы наиболее характерных отклонений представлены в настоящей работе.

На рисунке 1 приведены точки аномального разогрева электропроводки. Наблюдается локальный разогрев в отдельных местах, а вся остальная линия имеет однородную температуру. Это свидетельствует о том, что в зонах с повышенной температурой имеются определенные проблемные места.

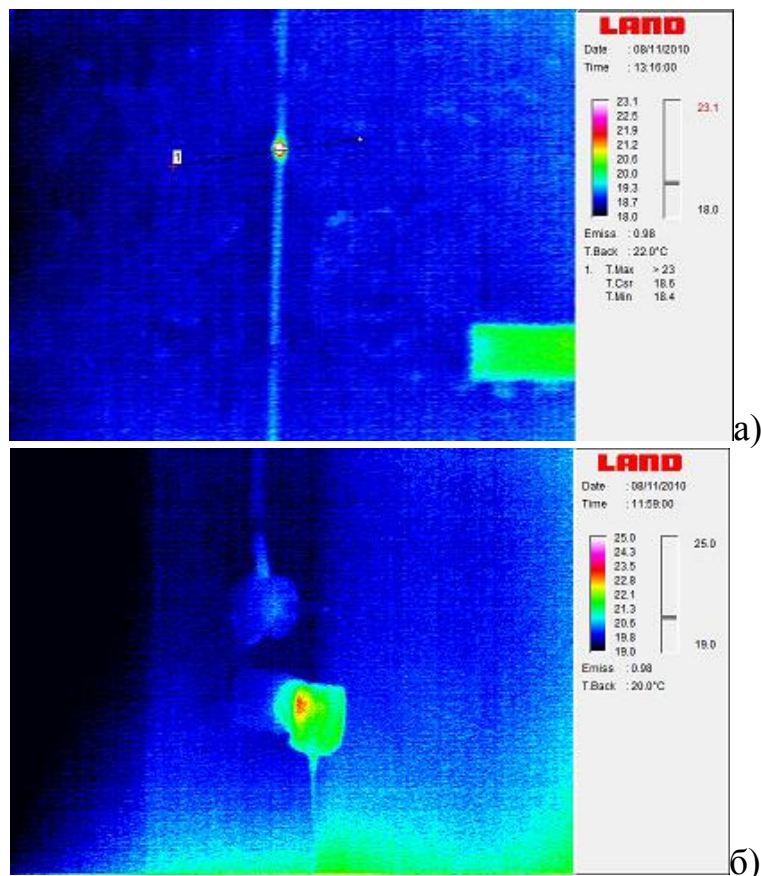


Рис.1 – «Подгар» соединенных проводов: а) заштукатуренная проводка, б) проводка в оборудовании

Обследованная проводка, представленная на термограмме Рис.1а находилась в штукатурке, на термограмме Рис.1б – распределение проводов внутри оборудования. Т.е. тепловизионная техника позволяет обнаружить скрытые дефекты, что является важным не только с позиции пожарной безопасности, но и для чисто практических вопросов контроля электропроводки и электрооборудования. Было сделано предположение о нарушении контакта между соединенными проводами. С целью проверки этой гипотезы провели разборку оборудования и демонтаж проводки. Обнаружено обгорание проводов, подводящихся к точке соединения. Инженером по охране труда и пожарной безопасности была запрещена эксплуатация данного оборудования до проведения соответствующего ремонта.

При проведении разборки оборудования и демонтажа проводки было установлено, что глубина залегания дефектов следующая: а) над электропроводкой толщина штукатурки составляла 7мм; б) над проводниками находился воздушный зазор 4мм и слой пластмассы толщиной 2мм. Зная величину, на которой находится дефект, материалы, которые находятся над ним, можем теоретически вычислить температуру в точках дефекта. Применив формулы (1-3), и учитывая,

коэффициент теплопроводности штукатурки (λ), коэффициент её излучения ($\varepsilon = 0.92$), получим, что температура проводника в точке дефекта составляет 30 С. Аналогичным образом производится расчет и для случая (б). Только в этом случае учитываем толщину воздушного зазора и пластмассового слоя, их теплопроводности, коэффициент излучения пластмассы. Полученная температура непосредственно на соединении составила величину 29 С. Для дальнейших исследований и расчетов используем графики изменения температур, приведенные на рисунке 2:

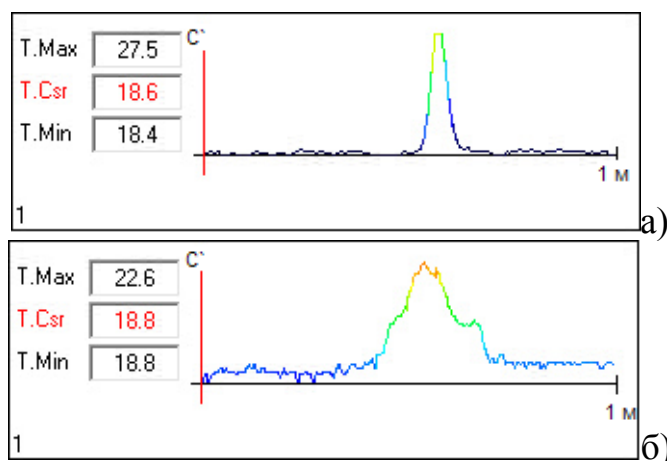


Рис.2 – Графики температур дефектов проводки: а) заштукатуренная проводка, б) проводка в оборудовании

Сравнивая эти графики, видим, что они имеют разную форму. На графике (Рис.2а) пик имеет узкое основание, вершина заострена. На рис.2б основание расширено, вершина пика размазана. Применительно к первому случаю можно отметить, что теплопроводность штукатурного раствора не очень высокая и основная масса тепловой энергии распространяется к поверхности, слабо диффундируя в окрестности. Поэтому на изображении имеем резкий пик температур. Температура на поверхности штукатурки, на тепловом следе составляет 27.5 С, что немного ниже температуры на проводнике в точке дефекта (30 С). Аналогичная температурная кривая будет и в случае если дефект проводки находится на поверхности объекта. Для сравнения, во втором случае (Рис.1б), график температур расширенный и более смазан, т.е. тепловой поток более рассеян. Основной причиной рассеяния теплового потока было излучение от дефекта в воздушный зазор. За счет того, что теплопередача при излучающем процессе значительно ниже, чем температура при контактной теплопередаче, показания в центре теплового пятна (22.6 С) сильно отличаются от собственной температуры дефектного участка составляющей 29 С.

Следующим этапом эксперимента было обследование котла. Для данного объекта важным вопросом является состояние термоизоляционного покрытия. Наличие трещин, сколов, свищей, точек прога-

ра является важным фактором, влияющим на пожароопасность и эффективность работы котлового оборудования. Поэтому, важность диагностики состояния термоизоляционного покрытия не вызывает сомнения. Эта задача является трудоемкой из-за следующих факторов: большая площадь поверхности, затрудненный подход к обследуемому объекту, недостаточная освещенность, повышенная температура и т.д. Зачастую, задача по дефектоскопии не может быть выполнена в полном объеме. Уменьшить, в значительной степени, зависимость контроля от вышеперечисленных факторов позволяет применение тепловизионной техники.

Термоизоляционное покрытие котла обследовалось на различных уровнях высоты. При контроле на уровне 27м обнаружено аномальное тепловое пятно. Термограмма данного повреждения приведена на рисунке 3:

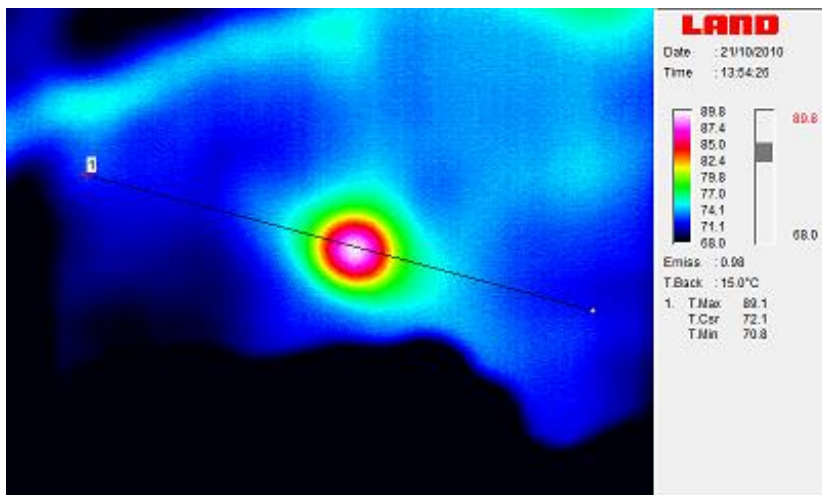


Рис.3 – Термограмма теплового пятна обнаруженного на высоте 27 м

Пятно имеет резко очерченную форму с максимальной температурой, равной 89.1 С в центральной части. Первоначально, визуальным образом, тепловое пятно никак не фиксировалось. И лишь только после тщательной детализации в привязке к термограммам, на поверхности теплозащиты был обнаружен глубокий канал прогара диаметром 4 мм. График изменения температур вдоль линии 1 (рис.3) приведен на рисунке 4:

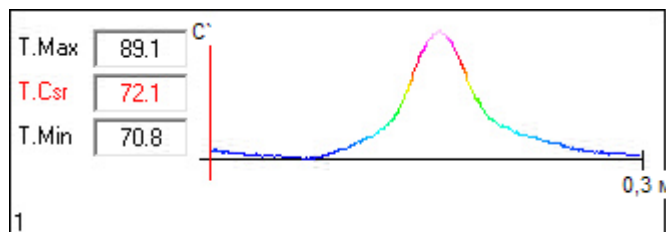


Рис.4 – .График температур точечного “прогара”

Основной идеей тепловизионного обследования есть не только обнаружение дефекта, но и распознавание его, классификация. С этой целью необходимо проводить детальный анализ, как термограмм поверхностей, так и графиков температур. Рассматривая зависимость температур от геометрического расположения, обнаруживаем следующую закономерность: тепловыделение в зоне “прогара” резко локализовано, градиент температур также значителен (угол склона температуры составляет величину больше 75). Вне зоны “прогара” температуры однородны, без резких скачков. Из этих данных можно сделать вывод о наличии внутри аномальной области полости и отсутствии в ней теплоизоляционного материала. Все наши теоретические выводы и предположения были подтверждены при практическом осмотре стенок котла.

Дальнейшая проверка позволила обнаружить еще несколько аномально завышенных температурных зон на котлах ТЭС. Обработав термограммы и графики, обнаружили, что скачки температур локализованы и находятся в узком диапазоне. Причина – нарушение целостности отдельных участков стенок и изоляции котлов. На поверхности данных зон существует вероятность возгорания осевшей угольной пыли.

На основании проведенного тепловизионного контроля были предложены мероприятия по устранению выявленных возможных очагов возгорания.

Проведенный тепловизионный контроль объектов ТЭС показал, что эффективность их проверки возросла, а затраченное на это время сократилось, в отличие от нормативного затрачиваемого времени при профилактическом обслуживании данных объектов. Тепловизионный метод контроля является результативным при противопожарной профилактике предприятия. Физическая модель соответствует теоретическим обоснованиям, предложенным в работе. Примененный нами метод тепловизионного контроля проводился с учетом существующего аналогичного опыта в Российской Федерации [5], где методы тепловизионного обследования различных объектов электроэнергетики установлены законодательно. К сожалению, в министерствах энергетики, угольной промышленности и чрезвычайных ситуаций Украины аналогичные документы и соответствующее оборудование отсутствуют.

Выводы. Применение тепловизионного контроля для проведения мониторинга теплового и электрооборудования является эффективным, быстродействующим, бесконтактным, наглядным и безопасным для персонала методом. Он позволяет оперативно обнаружить подозрительные зоны, нарушения изоляции, покрытий и прочих мест в которых температура выше установленной и возможно возгорание.

ИК-диагностика существенно сокращает время на проведение противопожарного контроля и благодаря высокой чувствительности дает точный результат. К рекомендациям необходимо отнести: разработку нормативно-правовой базы в Украине для использования тепловизионной техники при пожарной профилактике объектов; введением специального раздела по тепловизионной диагностике в противопожарной безопасности при подготовке и переподготовке специалистов в этой сфере.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стан щодо пожеж та наслідки від них в Україні за 2009 рік. / [Науково-виробничий журнал Пожежна безпека]. – Київ: ЗД «Бліц-Прінт», 2010. – № 2. – с.32 – 34.
2. К вопросу контроля кабельно-проводниковой продукции / [Базалеев Н.И., Бандурян Б.Б., Клепиков В.Ф., Литвиненко В.В., Прохоренко Е.М.]. – Контрольно- измерительные приборы и автоматика. – 2005. – №10. – с.19-23.
3. Вавилов В.П. Тепловые методы неразрушающего контроля: Справочник / В.П. Вавилов. – М: Машиностроение. – 1991. – 240с.
4. Мацевитый Ю.М. Обратные задачи теплопроводности. Т.1. / Ю.М. Мацевитый. – Киев: Наукова думка. – 2002. – 408с.
5. РД 153-34.0-20.363-99. Методика инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ.

В.Ф. Клепиков, Є. М. Прохоренко, А.М. Баранов, А.І. Морозов

Застосування методики тепловізійного контролю при протипожежному обстеженні обладнання теплових електростанцій

Дано обґрунтування застосування тепловізійного обладнання при протипожежному контролю ТЕС. Наведено результати обстеження реально діючої ТЕС. Показані зони з аномальною температурою, які можуть стати джерелами займання. Визначено можливі місця дефектів і пошкоджень, в яких могло б виникнути загоряння, перевірена їх достовірність. Запропоновано метод проведення протипожежного контролю з використанням тепловізора.

Ключові слова: тепловізійне обстеження, протипожежні заходи.

V. Klepikov, E. Prokhorenko, A. Baranov, A. Morozov

The application of thermal control methodics during fire safety inspection of the thermal power plants equipment

It is giving the justification the application of thermal control equipment during fire safety inspection of the thermal power plants. The areas of abnormal temperature are shown which can be reason of ignition. The possible location of defects and damages, which could be ignited by checking their authenticity. Proposed a method of fire control with the use of the thermal imager.

Keywords: thermal imaging survey, fire prevention.

УДК 614.8

*Ю.П. Ключка, к.т.н., ст. научн. сотр., докторант, НУГЗУ,
В.И. Кривцова, д.т.н, профессор, профессор, НУГЗУ,
В.Г. Борисенко, к.ф.-м.н., доцент, доцент, НУГЗУ*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТЕЧЕНИЯ
ГАЗООБРАЗНОГО ВОДОРОДА ИЗ БАЛЛОНА**

С использованием вириального уравнения, определена зависимость массового расхода водорода через отверстие от площади сечения, массы хранимого водорода, давления. Получена зависимость остаточной массы водорода в баллоне во времени при его истечении через отверстие, которая позволяет оценить возможность образования пожаровзрывоопасной ситуации.

Ключевые слова. Газообразный водород, баллон, истечение, массовый расход.

Постановка проблемы. В настоящее время водород рассматривается как один из перспективных экологически чистых энергоносителей для транспорта будущего [1, 2]. Хранение водорода в сжатом виде (до 70 МПа) является одним из основных способов его хранения на автотранспорте [1, 3]. При этом параметры баллонов, их количество, максимальное давление определяются исходя из характеристик автомобиля, таких как масса автомобиля, расход водорода, наличие рекуперационной установки и т.д.

Учитывая высокое давление в баллонах, вибрацию в процессе эксплуатации, постоянное изменение температурных режимов работы, данные системы хранения водорода являются пожаровзрывоопасными объектами в связи с возможным разрушением баллона или истечением водорода через щели и свищи.

Анализ последних достижений и публикаций. На рис. 1 приведены фото разрушенных баллонов различных типов.

Из рисунков следует, что в случае разрушения баллона, образовавшееся отверстие настолько велико, что истечение водорода из баллона можно считать мгновенным, а соответственно и образование горючей среды.

Кроме того, опасность представляет собой горючая среда, образование которой возможно в результате возникновения трещин, свищей, сквозных отверстий, обрыва трубопровода.

В работе [4] проведена оценка скорости уменьшения давления газа в сосудах при возникновении в них различного рода трещин и свищей. В данной работе, в качестве базового уравнения состояния газа, использовалось уравнение состояния идеального газа и уравнение Ван-дер-

Ваальса, применение которых применительно к водороду в баллонах с высоким давлением, приводит к существенным погрешностям (до 50%) [3].



Рис. 1 – Фото разрушенных баллонов

Однако, на сегодняшний день, отсутствуют данные о количественных оценках времени истечения водорода из баллона в случае возникновения щелей или свищей, а также зависимость этого параметра от температуры.

Постановка задачи и ее решение. Целью данной работы является определение массового расхода водорода при истечении его из баллона, а также динамики изменения массы водорода в баллоне, что является важным фактором с точки зрения пожаровзрывоопасности этих систем.

В соответствии с [5], массовый расход сжатого газа из резервуара описывается следующими выражениями:

– докритическое истечение

$$Q = S \cdot \mu \left(P \cdot \rho \cdot k \left(\frac{2k}{k-1} \right) \left(\frac{P_a}{P} \right)^{\frac{2}{k}} \left[1 - \left(\frac{P_a}{P} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \right)^{0,5}, \quad \text{при} \quad \frac{P_a}{P} \geq \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}; \quad (1)$$

– сверхкритическое истечение

$$Q = S \cdot \mu \left(P \cdot \rho \cdot k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}} \right)^{0,5}, \quad \text{при} \quad \frac{P_a}{P} < \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (2)$$

где Q - массовый расход, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$; P - давление газа в резервуаре, P_a ;

Определение характеристик истечения газообразного водорода из баллона 85

P_a – атмосферное давление, Па; γ - показатель адиабаты газа; S - площадь отверстия, м²; μ - коэффициент истечения (0,6-0,8); ρ - плотность газа в резервуаре, кг • м⁻³.

Поскольку неравенство $\frac{P_a}{P} < \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$ для водорода выполняется

практически во всем диапазоне давлений водорода в баллоне (0,2÷70 МПа), то при расчетах параметров истечения можно использовать только выражение (2).

Полученную на основе табличных данных [6] зависимость коэффициента адиабаты от давления можно представить в виде

$$k = 9,54 \cdot 10^{-9} P + 1,3854. \quad (3)$$

Тогда, с учетом (3), выражение (2) примет следующий вид

$$Q = S \cdot \mu \left(P \cdot \rho \cdot (9,54 \cdot 10^{-9} P + 1,3854) \left(\frac{2}{9,54 \cdot 10^{-9} P + 2,3854} \right)^{\frac{9,54 \cdot 10^{-9} P + 2,3854}{9,54 \cdot 10^{-9} P + 0,3854}} \right)^{0,5} \quad (4)$$

Зависимость давления водорода от температуры, плотности представим в виде Вириального уравнения [6]

$$P = \frac{mRT}{MV} \left(1 + \frac{mB_2(T)}{MV} + \frac{m^2B_3(T)}{M^2V^2} \right). \quad (5)$$

В соответствии с (4) и (5) на рис. 2 приведена зависимость массового расхода водорода через отверстие от площади отверстия и температуры водорода (при $V=0,15$ м³).

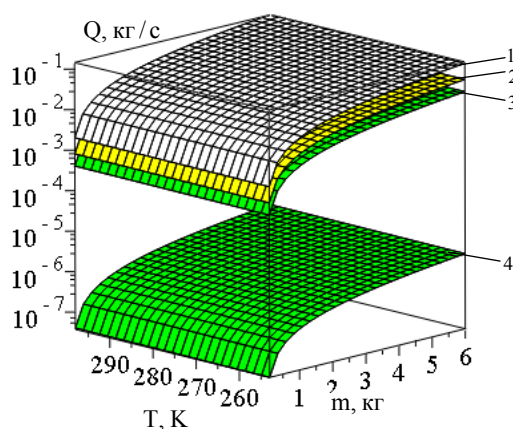


Рис. 2 – Массовый расход водорода через отверстие (трещины, свищи) площадью: 1 – 5 мм²; 2 – 2 мм²; 3 – 1 мм²; 4 – 100 мкм²

Из рисунка следует, что наибольшее влияние на массовый рас-

ход через отверстие оказывает его площадь.

На рис. 3 приведены зависимости относительного расхода водорода при температурах 273 и 253 К, в сравнении с расходом при T=298 К.

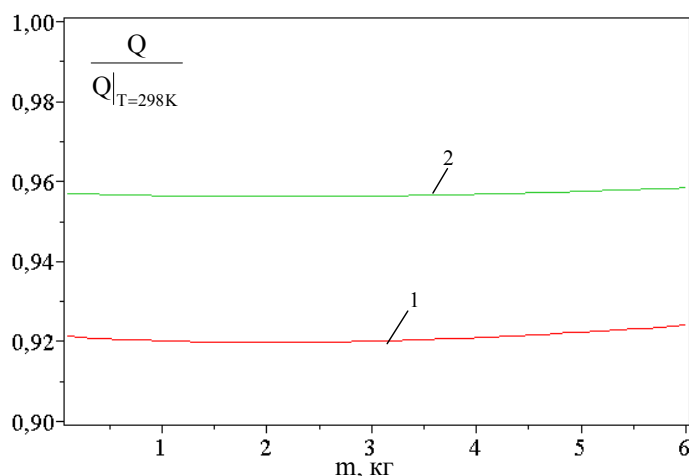


Рис. 3 – Зависимость относительного расхода водорода от его массы в баллоне при изменении температуры по отношению к 298К: 1 – 253 К; 2 – 273 К

Из рисунка следует, что уменьшение температуры до 273 К приводит к уменьшению расхода на 4%, а уменьшение до 253 К – на 8%. Поэтому при расчетах целесообразно использовать значения полученные при 298 К.

Приняв T=298 К выражение (5), можно представить в следующем виде

$$P = 1,238 \cdot 10^6 \cdot \frac{m}{V} \left(1 + \frac{7,167 \cdot 10^{-3} \cdot m}{V} + \frac{9,09 \cdot 10^{-5} \cdot m^2}{V^2} \right) \quad (6)$$

Подставив (6) в (4) получим зависимость массового расхода от массы хранимого водорода в сосуде

$$Q = 609,5 \cdot S \cdot \frac{m}{V} \left[\left(1 + \frac{7,167 \cdot 10^{-3} \cdot m}{V} + \frac{9,09 \cdot 10^{-5} \cdot m^2}{V^2} \right) \right]^{0,5} \quad (7)$$

Выражение (7) получено без учета зависимости (3), так как анализ показал, что ее учет практически не влияет на конечный результат (отклонение около 1%), и ею можно пренебречь.

Так как изменение массы водорода в баллоне равно расходу со знаком минус, то можно записать

$$\frac{dm}{dt} = -Q, \quad (8)$$

где $\frac{dm}{dt}$ – скорость изменения массы газа со временем, а Q – массовый расход через отверстие.

После разделения переменных в (8), с учетом (7), получим

$$\frac{dm}{dt} = -609,5 \cdot S \cdot \frac{m}{V} \left[\left(1 + \frac{7,167 \cdot 10^{-3} \cdot m}{V} + \frac{9,09 \cdot 10^{-5} \cdot m^2}{V^2} \right) \right]^{0,5}, \quad (9)$$

$$\frac{dm}{-609,5 \cdot S \cdot \frac{m}{V} \left[\left(1 + \frac{7,167 \cdot 10^{-3} \cdot m}{V} + \frac{9,09 \cdot 10^{-5} \cdot m^2}{V^2} \right) \right]^{0,5}} = dt. \quad (10)$$

Проинтегрируем (10)

$$\int \frac{dm}{-609,5 \cdot S \cdot \frac{m}{V} \left[\left(1 + \frac{7,167 \cdot 10^{-3} \cdot m}{V} + \frac{9,09 \cdot 10^{-5} \cdot m^2}{V^2} \right) \right]^{0,5}} = \int dt + A, \quad (11)$$

$$\frac{-1,64 \cdot 10^{-3} V}{S} \operatorname{arctgh} \left(\frac{1,58 \cdot 10^{-4} \left(2 \cdot 10^7 + \frac{71670 \cdot m}{V} \right)}{\sqrt{10^7 + \frac{71670 \cdot m}{V} + \frac{909 \cdot m^2}{V^2}}} \right) = t + A, \quad (12)$$

где A – константа.

Для определения A воспользуемся начальным условием $m = m_0, t = 0$. Тогда

$$A = \frac{-1,64 \cdot 10^{-3} V}{S} \operatorname{arctgh} \left(\frac{1,58 \cdot 10^{-4} \left(2 \cdot 10^7 + \frac{71670 \cdot m_0}{V} \right)}{\sqrt{10^7 + \frac{71670 \cdot m_0}{V} + \frac{909 \cdot m_0^2}{V^2}}} \right). \quad (13)$$

На рисунке 4 приведена зависимость константы A от массы водорода в баллоне и площади истечения через отверстие (при $V=0,15 \text{ м}^3$).

Тогда, выражение для определения массы водорода в баллоне, по истечению времени t , можно представить в виде

$$m = -68,38V \left[4,08 - \frac{\tanh \zeta \cdot \left(2,47 \tanh \zeta + \sqrt{1 - \tanh^2 \zeta} \right)}{7,05 \tanh^2 \zeta - 1} \right], \quad (14)$$

где $\zeta = 609,7 \frac{S(t+A)}{V}$.

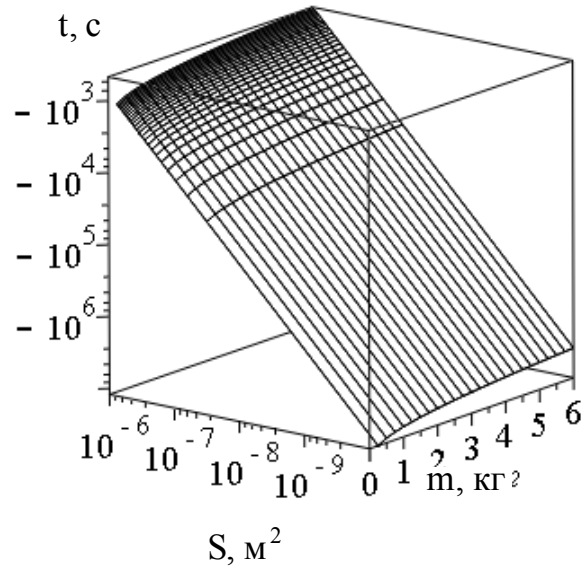


Рис. 4 – Зависимость константы A от массы водорода в баллоне и площади истечения через отверстие

На рис. 5 и 6 представлены зависимости остаточной массы водорода в баллоне при истечении через отверстие (трещины, свищи), как функции времени (при $V=0,15 \text{ м}^3$).

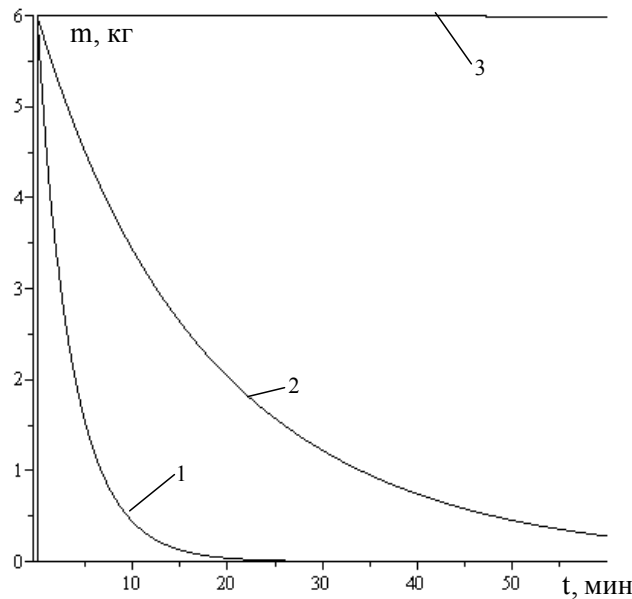


Рис. 5 – Зависимость остаточной массы водорода в баллоне при истечении через отверстие (трещины, свищи) площадью: 1 – 1 мм^2 ; 2 – 0,2 мм^2 ; 3 – 100 мкм^2

Из рисунков следует, что при малых значениях площади истечения, изменение массы водорода в баллоне может быть таким, что пользователь (владелец автомобиля) исходя из показания приборов в автомобиле в течении суток, может не замечать истечения водорода,

ввиду малых расходов.

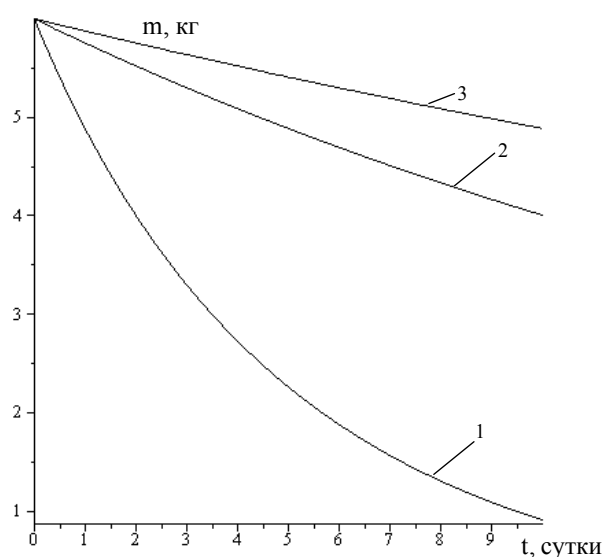


Рис. 6 – Зависимость остаточной массы водорода в баллоне при истечении через отверстие (трещины, свищи) площадью: 1 – 500 мкм²; 2 – 100 мкм²; 3 – 50 мкм²

Учитывая широкие концентрационные пределы распространения пламени для водорода, а особенно низкое значение НКПП, это может привести к пожаровзрывоопасной ситуации, например, в гараже или другом ограниченном объеме.

Выводы. В результате проведенной работы, с использованием вириального уравнения, определена зависимость массового расхода водорода через отверстие от площади сечения, массы хранимого водорода (давления). Получена зависимость остаточной массы водорода в баллоне во времени при его истечении через отверстие. Полученные результаты в дальнейшем планируется использовать при оценке возможности образования горючей среды в замкнутом пространстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ключка Ю.П. Особенности использования водорода на автомобильном транспорте / В.И. Кривцова, Ю.П. Ключка // Проблемы пожарной безопасности. – 2009. – № 26. – С. 49–61.

2. Высокие технологии, водородная энергетика, платиновые металлы. Сборник документов и материалов традиционного "круглого стола", посвященного Дню космонавтики. МИРЭА, АСМИ, 2005. — 288 с.

3. Борисенко В.Г. Определение времени разрушения баллона с водородом, обусловленного изменением температурных параметров окружающей среды / В.Г. Борисенко, В.И. Кривцова,

Ю.П. Ключка // Проблемы пожарной безопасности. – 2010. – № 27. – С. 83–96.

4. Билей Д.В. Исследование изменения давления газа в сосудах при его истечении из трещин в стенках / Д.В. Билей, М.В. Максимов, О.А. Назаренко, Р.В. Протопопов // Труды Одесского политехнического университета. – 1998. – № 6. – С. 87–91.

5. Руководство по оценке пожарного риска для промышленных предприятий / [И.А. Болодьян, Ю.Н. Шебеко, В.Л. Карпов, В.И. Макеев и др.]. – М.: Федеральное государственное учреждение «Всероссийский ордена "Знак почета" научно-исследовательский институт противопожарной обороны», 2006. — 97 с.

6. 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.

Kluchka Yu.P., Krivtsova V.I., Borisenko, VG

Characterization expiration hydrogen gas from a cylinder

Using the virial equation, is defined dependence of mass flow of hydrogen through the opening of cross-sectional area, the mass of stored hydrogen pressure. The dependence of the residual mass of hydrogen in the tank in time for its expiration through the hole, which allows to estimate possibility of fire and explosion hazards situation.

Key words: Hydrogen gas, container, discharge, mass flow rate.

Ключка Ю.П., Кривцова В.И., Борисенко В.Г.

Визначення характеристик закінчення газоподібного водню з балона

З використанням вірйального рівняння, визначена залежність масової витрати водню через отвір від площі перерізу, маси зберігається водню, тиску. Отримано залежність залишкової маси водню в балоні в часі при його витіканні через отвір, що дозволяє оцінити можливість утворення пожежевибухонебезпечної ситуації.

Ключові слова: Газоподібний водень, балон, витікання, масова витрата.

УДК 331.436

*Н.І. Коровникова, канд. хім. наук, доцент НУЦЗУ,
В.В. Олійник, канд. техн. наук, нач. кафедри НУЦЗУ,
Ю.Ю. Рипало, студентка НУЦЗУ,
С.П. Звірков, студент НУЦЗУ*

ЗНИЖЕННЯ ГОРЮЧОСТІ ВОЛОКНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ

(представлено д-ром техн. наук Комяк В.М.)

В роботі представлено огляд основних тенденцій розробок антипіренів для волокнистих матеріалів. Проаналізовано основні причини щодо труднощів в отриманні та використанні сповільнювачів горіння волокон.

Ключові слова: антипірени, хімічні волокна, вогнезахист, фосфор-та азотовмісні сповільнювачі горіння

Постановка проблеми. Більшість хімічних волокон і текстильних матеріалів, що випускаються промисловістю, легкозаймисті та горючі. Статистика показує, що причиною зростаючих кількостей пожеж в житлових і громадських будівлях є загоряння текстильних матеріалів [1]. Для зниження їх пожежної небезпеки використовуються антипірени (сповільнювачі горіння) різного складу: неорганічні й органічні речовини [2,3]. Світова потреба в сповільнювачах горіння складає 500 тис. т на рік [3]. Тому зниження займистості і горючості полімерів, створення пожежобезпечних матеріалів є актуальною проблемою, яка потребує постійної уваги та негайного вирішення, а розробка методів отримання вогнезахисних текстильних матеріалів є одним з перспективних напрямків досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вогнезахистом волокнистих матеріалів займаються давно. У цій галузі накопичений великий матеріал [1-3]. Однак кількість ефективних сповільнювачів горіння невелика, що зумовлено рядом причин: складністю процесів, що супроводжують термоокислювальне розкладання волокон; токсичністю застосовуваних антипіренів; їх високою вартістю; відсутністю хімічної взаємодії антипіренів із матрицею та функціональними групами волокна; неможливістю промислового випуску антипіренів внаслідок недостачі сировини і т.д. [4]. Тому крім вже існуючих антипіренів важливим є синтез, дослідження та апробація нових сповільнювачів горіння, що зумовлює необхідність і актуальність продовження досліджень у цій області [3,5]. Зараз запропоновано досить велике коло таких сповільнювачів горіння, які відрізняються як за складом: хлор-, бром-, азот-, фосфор неорганічні, так і за ефективністю вогнезахисної дії [3,5].

Постановка завдання та його вирішення. Вогнезахиснені во-

локна отримують шляхом введення до їх складу з'єднань, що виконують роль антипіренів [3,6-9]. Як правило, ці сполуки мають у своєму складі атоми фосфору, спільно фосфору й азоту, галогенів (хлору чи бром, рідко фтору); їх вартість та ефективність зростають в цій же послідовності. Введення антипіренів здійснюється декількома способами [3]. На стадії синтезу вихідних полімерів до їх складу вводиться певна кількість фосфор-, азот- або галогензаміщених мономерів, рідше застосовується метод щеплення таких мономерів. Інший спосіб - введення до складу прядильного розплаву або розчину при формуванні відповідних антипіренів. Цей шлях найбільш раціональний і широко застосовується на практиці, хоча вимагає використання речовин нерозчинних (при мокрому методі формування волокон) і хімічно не змінюються в умовах високотемпературного формування з розплаву. Ще один спосіб - хімічна модифікація сформованих або готових волокон. Останній - технологічно скрутний, пов'язаний з утворенням додаткових технологічних викидів. Тому вогнезахисна обробка звичайно поєднується з процесами обробки готових полотен, що в ряді випадків технологічно раціонально [3]. Слід, однак, мати на увазі, що введення антипіренів у хімічні волокна може приводити у разі терморозкладання та горіння до утворення досить токсичних сполук [10]. У зв'язку з цим застосування галогенвміщуючих антипіренів особливо для домашнього текстилю в даний час все більш обмежується.

Найбільш безпечними є фосфор і фосфор-азотвміщуючі антипірени, тому вони найбільш широко використовуються у виробництві модифікованих поліефірних, гідратцелюлозної та деяких інших волокон [3,5]. Слід також враховувати, що надання вогнезахисної дії волокнам не підвищує їх термостійкості, і крім того може викликати зниження механічних властивостей [3]. Тому одним з раціональних шляхів отримання вогнезахисних текстильних матеріалів і виробів є виготовлення їх із сумішей звичайних волокон зі спеціальними важкогорючими волокнами [5].

В даний час приділяється велика увага розробці фосфор- та азотовмісних сповільнювачів горіння, які в процесі впливу тепла утворюють карбонізований залишок, що захищає полімер від температурного впливу, від полум'я і має достатньо високу вогнезахисну ефективність [3,9]. Такі сповільнювачі горіння повинні змінювати процес термічного розкладання полімерних матеріалів, краще, якщо вони будуть взаємодіяти з полімерною матрицею, знижувати температуру та швидкість розкладання полімерного матеріалу. Все це призводить до уповільнення процесу термічного розкладання та зниження кількості газоподібних сполук, в тому числі й тих, що окислюються з високою швидкістю з виділенням великої кількості тепла. А це в

свою чергу впливає на зміну в'язкості розплавів у процесі піролізу та посилює процес карбонізації, утворення захисного шару [5]. Тому розробка таких систем і є найбільш ефективним способом і дозволяє отримувати матеріали зі зниженою пожежною небезпекою [3,5].

Вибір того чи іншого методу у кожному конкретному випадку визначається необхідним ступенем вогнезахисту і тим, наскільки міцно зберігаються вогнезахисні властивості після багаторазових водних обробок (прань), рівнем фізико-механічних властивостей отриманих волокон і тканин, а також можливостями технологічного й апаратурного оформлення процесу та техніко-економічними показниками [5].

Основними критеріями вибору речовин і композицій для обробки текстильних матеріалів з метою зниження їх горючості є розчинність у воді або здатність до утворення стійких емульсій або суспензій, нетоксичність, висока ефективність вогнезахисної дії невеликих кількостей їх, введених у волокно. Крім того, вони не повинні змінювати зовнішній вигляд текстильного матеріалу і бути доступними за ціною. З урахуванням зазначених вище екологічних вимог зазначеним критеріям в найбільшій мірі відповідають фосфоровміщуючі сполуки, як органічні, так і неорганічні [11,12].

Для вогнезахисту текстилю в Німеччині [13] використовуються такі склади: FR Cros 330, що представляє собою водну вінілацетатну суспензію з поліфосфатом амонію, і FR Cros 334, що включає модифікований поліфосфат амонію. Вогнезахисний ефект досягається при вмісті 30-40% препарату в матеріалі, але при цьому погіршуються фізико-механічні показники тканин. Для закріплення сповільнювача горіння під час просочення у робоче середовище вводяться сполуки, здатні утворювати в процесі термообробки водонерозчинні полімери. Одночасно може відбуватися формування хімічних зв'язків між макромолекулою целюлози і утвореними полімером, що обумовлює стійкість вогнезахисного ефекту до мокрих обробок. В якості таких сполук зазвичай використовуються мелаїноформальдегідні смоли [3].

У СРСР в промисловому масштабі був реалізований метод поверхневої обробки тканини з застосуванням ортофосфорної кислоти та азотовмісних сполук (діціандіаміда, карбаміду, мелаїну, гуанідину і т.д.) [14]. За цим способом тканину просочують водним розчином фосфорної кислоти і азотовмісного з'єднання, а потім піддають термообробці, в результаті чого утворюються важкорозчинні сіль. При підвищеній температурі може протікати паралельна реакція етерифікації целюлози з орто- або метафосфорною кислотою. Істотним недоліком цього способу обробки є помітне зниження міцності (50-60%) волокон і нестійкість вогнезахисного ефекту до багаторазового прання.

Протягом тривалого часу за кордоном для поверхневої обробки целюлозних тканин застосовувався метод «Proban» [15] з використанням в якості уповільнювача горіння хлориду тетрагідроксиметилфосфонія складу $[(\text{CH}_2\text{OH})_4\text{P}^+\text{Cl}]$. Обробка тканин за вказаним методом включає стадію окислення фосфору в п'ятивалентну форму водним розчином пероксиду водню. Основним недоліком зазначеного методу є зниження на 30% міцності тканини та підвищення жорсткості матеріалу. Крім того є дані про високу токсичність продуктів горіння целюлозних матеріалів, модифікованих даним препаратом. Під час термолізу тканини при температурах 200-300°C спостерігається виділення фосфіну [3]. При обробці целюлозних тканин за методом «Pyrovatex-CP» вогнезахисні властивості досягаються при вмісті препарату в матеріалі 2,0%. Істотним недоліком вогнезахисних тканин, модифікованих зазначеним складом, є токсичність продуктів піролізу цих матеріалів [10]. Показано [16], що при температурі 300-400 ° C відбувається виділення помітних кількостей метанолу, що виключає можливість застосування вогнезахисних тканин в замкнутих об'єктах.

У рамках робіт щодо створення сповільнювачів горіння для целюлозних матеріалів і тканин із суміші волокон велика кількість досліджень присвячено синтезу амідів і алкіламідів фосфорної і алкілфосфорової кислот. У роботі [17] описано синтез тріаміду фосфорної кислоти і запропоновано використовувати його для додання вогнезахисних властивостей целюлозним матеріалами. Обробка тканин проводиться за режиму, що включає просочення водним розчином сповільнювача горіння і каталізатору, сушіння і термообробку при 150-170°C. При взаємодії тріаміду фосфорної кислоти з гідроксильними групами целюлози в реакцію вступають дві амідні групи, при цьому остання, що залишилася, гідролізується з утворенням амонієвої групи.

В даний час намагаються замінити галогеновмісні антипірени іншими, більш екологічно чистими [3,5]. Основний напрямок досліджень в даній області - це створення галогенонеміщуючих сповільнювачів горіння, оскільки в процесі горіння галогеновміщуючих матеріалів можуть виділятися токсичні сполуки, які можуть призвести до летального результату.

Висновки. Пошуки шляхів, що обмежують горючість полімерів і зменшують виділення диму, токсичних продуктів при горінні, тривають в усьому світі та на це витрачаються значні фінансові та інтелектуальні засоби. У той же час зараз вже однозначно встановлено, що ці елементи, потрапляючи в атмосферу, сприяють руйнуванню озонового шару Землі. Тому одним з головних завдань сучасного пошуку антипіренів є розробка безгалоїдних способів зниження горючості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Статистика щодо пожеж в Україні [Електронний ресурс]// Режим доступу <http://fireoberig.com.ua>
2. Кричевский Г.Е. Химическая технология текстильных материалов/ Г.Е. Кричевский. - М.: ВЗИТЛП, 2000. - Т. 1. - 436 с.
3. Зубкова Н.С. Снижение горючести текстильных материалов – решение экологических и социально-экономических проблем / Н.С. Зубкова, Ю.С. Антонов // Российский хим. Журнал. – Т. XLVI. – 2002. - №1. – С. 96-103.
4. Щербина Н.А. Эффективность действия замедлителей горения на модифицированные волокна// Н.А. Щербина, Е.В. Бычкова, Л.Г. Панова// Перспективные полимерные композиционные материалы. Альтернативные технологии. Переработка. Применение. Экология: «Композит-2007», Саратов. 2007.- С. 337-339.
5. Перепелкин К.Е. Современные химические волокна и перспективы их применения в текстильной промышленности/ К.Е. Перепелкин // Химический журнал. - 2002. - №1. - С. 1–18.
6. Берлин А.А. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести/ А.А. Берлин // Соровский Образовательный журнал. - 1996. - №4. - С 16–24.
7. Козинда З.Ю. Методы получения текстильных материалов со специальными свойствами/ З.Ю. Козинда, И.И. Горбачева, Е.Е. Суворова // М.: Легпромбытиздат, 1988, 112 с.
8. Конкин А.А. Термо-, жаростойкие и негорючие волокна / А.А. Конкин, Г.И. Кудрявцев, А.М. Щетинин //М.: Химия, 1978. - 424 с.
9. Беляева О.А. Влияние состава огнезамедлительных систем на свойства вискозных волокон / О.А. Беляева, Е.В.Бычкова, Л.Г. Панова // Хим. волокна.-2008.-№6.-С.19-21.
10. Коровникова Н.І. Вплив термічної обробки поліакрилонітрильного волокна на склад продуктів перетворення / Н.І. Коровникова, В.В. Олійник // Проблеми пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ.- 2008. – Вып. 24.- С. 75-78.
11. Кодолов В.И. Замедлители горения полимерных материалов / В.И. Кодолов // М.: Химия, 1980. - 269 с.
12. Levchik S.V.Polym. Degrad. Stab. / S.V. Levchik, G.F. Levchik., A.I. Balabanovich //1996. - V. 54. - P. 305-309
13. Каталог замедлителей горения. Bolid GMBH. Frankfurt, 1996. -21 с.
14. Киркина Л.И. Огнезащитная отделка текстильных материалов в СССР и за рубежом / Л.И. Киркина , Л.И. Романцова, Т.Т. Баскова // Москва, 1981.- 53 с.
15. Beninate J.V. J. Fire Retardant Chem./ J.V. Beninate, J.P Morean // 1979. - № 6, P. 193-205.

16. Hofmann P., Raschdant F. Textilveredlung, 1970, Bd. 6, S. 486-497.

17. Сибрикова Р.Д., Изв. высш. учеб. заведений/ Р.Д. Сибрикова, Т.Ю. Захарова //Технология текстильной пром-сти, 1978.-№ 1.-С. 80-83.

Коровникова Н.И., Олейник В.В., Рыпало Ю.Ю., Зверьков С.П.

Снижение горючести волокнистых материалов

В работе представлен обзор основных тенденций разработок антипиренов для волокнистых материалов. Проанализированы основные причины трудностей, возникающих при получении и использовании замедлителей горения волокон.

Ключевые слова: антипирены, химические волокна, огнезащита, фосфор- и азотосодержащие замедлители горения.

Korovnikova N.I., Oliynik, VV, Ripalo Y.Y., Zvirkov S.P.

Flammability reduction of fibrous materials

The paper provides an overview of major trends for the development of flame retardant fibrous material. The main reasons for the difficulties in obtaining and using flame retardants fibers analyzed.

Key words: flame retardants, chemical fibers, fire protection, phosphorus and nitrogen- retardants.

УДК 614.8; 621.3

О.В. Кулаков, канд. техн. наук, доцент, заст. нач. каф. НУЦЗУ

ПОЖЕЖНА НЕБЕЗПЕКА ВЕЛИКИХ ПЕРЕХІДНИХ ОПОРІВ МІЖ ЕЛЕМЕНТАМИ СИСТЕМИ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ

(представлено д-ром техн. наук Лариным О.М.)

Визначено вимоги до з'єднань в системі блискавкозахисту. Показано, що відмова від нормування величини мінімально припустимого перехідного опору з'єднань та необхідності його періодичного контролю не є оправданою. При великому перехідному опорі в місці його появи блискавковідвід буде розплавлений струмом блискавки, що може привести до пожежі

Ключові слова: блискавкозахист, блискавковідвід, перехідний опір, пожежа

Постановка проблеми. За статистичними даними [1] щорічно в Україні відбувається близько 1600 пожеж від грозових розрядів блискавки. Практично кожна пожежа, пов'язана з блискавкою, призводить до значних матеріальних та людських втрат. Тому удосконалення існуючих методів захисту будинків та споруд від розрядів блискавки є необхідним.

Аналіз останніх досягнень та публікацій. З 01 січня 2009 року в Україні замість РД 34.21.122 [2] ведений новий нормативний документ – національний стандарт України ДСТУ Б В.2.5-38 [3]. Цим документом суттєво змінено вимоги до улаштування блискавкозахисту будівель і споруд. Зокрема, за попереднім нормативним документом РД 34.21.122 (п. 3.4) з'єднання блискавкоприймачів зі струмовідводами й струмовідводів із заземлювачами повинні були виконуватися, як правило, зварюванням, а тільки при неприпустимості вогневих робіт дозволялося виконання болтових з'єднань, причому перехідний опір з'єднання не повинний був перевищувати 0,05 Ом при обов'язковому щорічному контролі останнього перед початком грозового сезону. Правила виконання зварювальних робіт [4] вимагають виконувати зварювання внахльостку таким чином, щоб довжина зварних швів була не менше ніж подвійна сума товщини деталей, що зварюються. Зазначений спосіб з'єднання елементів забезпечував мінімальний перехідний опір в місцях з'єднання, що унеможливило пошкодження елементів блискавкозахисту та появу джерел запалювання електричного походження [5].

У відповідності з вимогами п. 6.5.7 нового нормативного документу ДСТУ Б В.2.5-38 [3] з'єднання в системі блискавкозахисту дозволяється виконувати зварюванням, паянням, допускається також

вставка в затискний наконечник або болтове кріплення. При цьому стосовно вставки в затискний наконечник або болтового кріплення відсутня вимога щодо величини мінімально припустимого перехідного опору та необхідності його періодичного контролю.

Температуру нагрівання контактів струмопровідників за час τ при підвищених перехідних опорах можна розрахувати, наприклад, за допомогою методики ГОСТ 12.1.004 [5].

Постановка задачі та її розв'язання. Проаналізуємо пожежну небезпеку великих перехідних опорів в з'єднаннях елементів блискавковідводу. Для цього розрахуємо температуру нагрівання контакту болтового кріплення при підвищених перехідних опорах за час дії блискавки.

Блискавка характеризується наступними параметрами [6]: сила струму каналу у середньому складає $I=10^5$ А, час дії – близько $\tau = 0,1$ с.

Припустимо, що блискавка виникла за нормальних умов навколишнього середовища, тобто за температури $t_{cp} = 20$ °С.

Для виготовлення елементів блискавковідводів дозволяється застосувати сталь, мідь або алюміній. Мінімальній переріз елементів блискавковідводів, виготовлених зі сталі, складає 50 мм^2 , алюмінію – 70 мм^2 для блискавкоприймача та 25 мм^2 для блискавковідводу, міді – 35 мм^2 для блискавкоприймача та 16 мм^2 для блискавковідводу [3].

Падіння напруги на контактних парах сталь-сталь дорівнює $U=2,5$ В, мідь-мідь – $U=0,65$ В та алюміній-алюміній – $U=0,28$ В відповідно (таблиця 8 [5]).

Припустимо, що блискавковідвід виготовлений зі сталевого кола діаметром 8 мм та має контактні пари, виконані за допомогою болтового кріплення М8.

У відповідності до методики [5] розрахунку температури нагрівання контактів струмопровідників при підвищених перехідних опорах припустимо, що температура нагріву контактів дорівнює $t_{н.к} = 2200$ °С. У цьому випадку загальний коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_{заг} = 11,63 \cdot e^{0,0023 \cdot t_{н.к}} = 11,63 \cdot e^{0,0023 \cdot 2200} \approx 1832,78 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}.$$

Питома масова теплоємність металу контактів складає [7]

$$C=460 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1};$$

припускаємо масу контактів

$$m \approx 0,05 \text{ кг};$$

площа поверхні теплообміну

$$S = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} \approx 50 \text{ мм}^2 = 50 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Тоді постійна часу нагрівання контактів

$$\tau_k = \frac{C \cdot m}{S \cdot \alpha_{\text{заг}}} = \frac{460 \cdot 0,05}{50 \cdot 10^{-6} \cdot 1832,78} \approx 2,51 \cdot 10^2 \text{ с.}$$

Електрична потужність, що виділяється у контактних переходах

$$P = I \cdot \sum_{i=1}^n U_i = 1 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 2,5 = 0,5 \cdot 10^6 \text{ Вт.}$$

Остаточно температура нагрівання контактів сталь-сталь струмопровідника –

$$t_{\text{н.к}} = t_{\text{сп}} + \frac{P}{S \cdot \alpha_{\text{заг}}} \cdot (1 - e^{-\frac{\tau}{\tau_k}}) = 20 + \frac{0,5 \cdot 10^6}{50 \cdot 10^{-6} \cdot 1832,78} (1 - e^{-\frac{0,1}{251}}) = 2204 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Припущене значення температури $t_{\text{н.к}} = 2200 \text{ }^\circ\text{C}$ та розраховане значення температури $t_{\text{н.к}} = 2204 \text{ }^\circ\text{C}$ відрізняються менше ніж на 5%, тому розрахунок виконаний правильно.

Температура плавлення сталі дорівнює $1300 \div 1400 \text{ }^\circ\text{C}$ [7]. При великому перехідному опорі в місці його появи блискавковідвід буде розплавлений струмом блискавки та блискавкозахист виведений з ладу. Внаслідок цього при подальших влученнях блискавки її струм буде протікати через об'єкт по неконтрольованому шляху, що може привести до пожежі. Крім того, розрахункова температура нагріву провіднику в місці великого перехідного опорю ($2200 \text{ }^\circ\text{C}$) значно перебільшує температуру плавлення сталі ($1300 \div 1400 \text{ }^\circ\text{C}$), що, як правило, веде до появи дуг та іскор [5], потрапляння яких на горючі елементи конструкції будинку також може привести до пожежі.

Висновок. Відмова від нормування величини мінімально припустимого перехідного опорю з'єднань та необхідності його періодичного контролю в системі блискавкозахисту не є оправданою. При великому перехідному опорі в місці його виникнення блискавковідвід буде розплавлений струмом блискавки та блискавкозахист виведений з ладу. Розплавлення струмовідводу може супроводжуватися появою дуг та іскор, потрапляння яких на горючі елементи конструкції будинку може привести до пожежі. При подальших влученнях блискавки її струм буде протікати через об'єкт по неконтрольованому шляху, що також може привести до пожежі.

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. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений: РД 34.21.122-87. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 56 с. – (Керівний документ Міненерго СРСР).
3. Инженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавозахисту 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).
4. Геворкян В.Г. Основы сварочного дела / В.Г. Геворкян - Москва: Высшая школа, 1991. - 240 с.
5. Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004-91.- [Введеный 1992-07-01]. – Москва: Изд-во стандартов, 1992. – 78 с. – (Державний стандарт СРСР).
6. Базелян Э.М. Физика молнии и молниезащиты / Э.М. Базелян, Ю.П. Райзер. – Москва: Физматгиз, 2001. - 320 с. – (Наукове видання).
7. Лободюк В.А. Справочник по элементарной физике / В.А. Лободюк, К.П. Рябошапка, О.И. Шулишова - Киев: Наукова думка, 1978. - 448 с.

О.В. Кулаков

Пожарная опасность больших переходных сопротивлений между элементами системы молниезащиты.

Определены требования к соединениям в системе молниезащиты. Показано, что отказ от нормирования величины минимально допустимого переходного сопротивления соединений и необходимости его периодического контроля не является оправданным. При большом переходном сопротивлении в месте его появления молниеотвод будет расплавлен током молнии, что может привести к пожару.

Ключевые слова: молниезащита, молниеотвод, переходное сопротивление, пожар.

O.V. Kulakov

Fire hazard of high transition impedances between elements of system lightning protection.

Requirements to connect in system lightning protection are describe. Prove that the refusal from rate setting of transition impedances between elements of system lightning protection and its periodical control are not correct. If transition impedance will be high, lightning lead will be melt by lightning current.

Keywords: lightning protection, lightning lead, transition impedance, fire.

УДК 614.841; 551.515

*М.В. Кустов, канд. техн. наук, НУГЗУ,
В.Д. Калугин, доктор хим. наук, профессор, НУГЗУ
В.В. Коврегин, канд. техн. наук, НУГЗУ*

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕССЫ РАЗВИТИЯ И ПРЕКРАЩЕНИЯ КРУПНЫХ ПОЖАРОВ НА ОТКРЫТОЙ МЕСТНОСТИ

Рассмотрено влияние основных метеорологических факторов на процесс развития и тушения крупных пожаров на открытой местности. Установлено, что наиболее эффективным метеорологическим явлением, влияющим на тушение пожаров, являются осадки. В качестве перспективного метода повышения эффективности борьбы с крупными пожарами на открытой местности предлагается искусственная интенсификация осадков в зоне пожара.

Ключевые слова: пожары на открытой местности, ветер, влажность, среднегодовое распределение, осадки, комплексный показатель пожарной опасности.

Постановка проблемы. Ситуация с крупными пожарами на открытой местности, такими как лесные пожары, пожары на торфяниках, горение крупных разливов нефти и нефтепродуктов, убедительно демонстрирует недостаточную эффективность используемых способов и методов борьбы с такими чрезвычайными ситуациями. Необходимо учесть, что на процесс развития указанных выше типов пожаров существенную роль играет климатическая ситуация в зоне чрезвычайной ситуации. В этой связи одной из проблем, подлежащей разрешению, является установление воздействия различных климатических факторов на процессы развития и прекращения горения в зоне чрезвычайной ситуации.

Анализ последних достижений и публикаций. Основными климатическими факторами, которые влияют на процессы развития и прекращения горения пожаров на открытой местности являются: скорость ветра, влажность и температура воздуха, наличие или отсутствие осадков, и др. [1,2]. Возможности человека на управление этими факторами весьма ограничено вследствие того, что все климатические явления являются сверх энергетичными. Однако известны и широко применяются метод понижения температуры за счёт распыления жидкого углекислого газа (CO_2) и активизация осадков из облаков путём распыления солей йода [3-5].

Постановка задачи и её решение. Целью работы является рассмотрение влияния климатических факторов на процессы развития и прекращения крупных пожаров на открытой местности, и исследова-

ние возможности гарантированного управления процессами конденсации воды в атмосфере для обеспечения условий эффективной ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Для решения поставленной задачи необходимо выявить роль факторов природного характера. Прежде всего, наибольшее влияние как на развитие, так и на тушение пожаров на открытой местности оказывает скорость и направление ветра. В настоящее время существует большое количество методик, математических моделей и алгоритмов [6-7], учитывающих скорость и направление ветра при прогнозировании динамики природного пожара, что позволяет более эффективно подходить к вопросу выбора средств пожаротушения, ввода и расстановки сил и средств, определению тактической ситуации.

Скорость ветра почти полностью определяет контур пожара. Чем сильнее ветер, тем более будет вытянут контур по его направлению. Существенно увеличивает площадь пожара изменение направления ветра в период активного горения. Так на рис. 1 представлено посуточное распределение скорости ветра на территории харьковской области за 2010 год, полученное с метеостанции «Харьков - #34300» (49°56'N 36°17'E) [8].

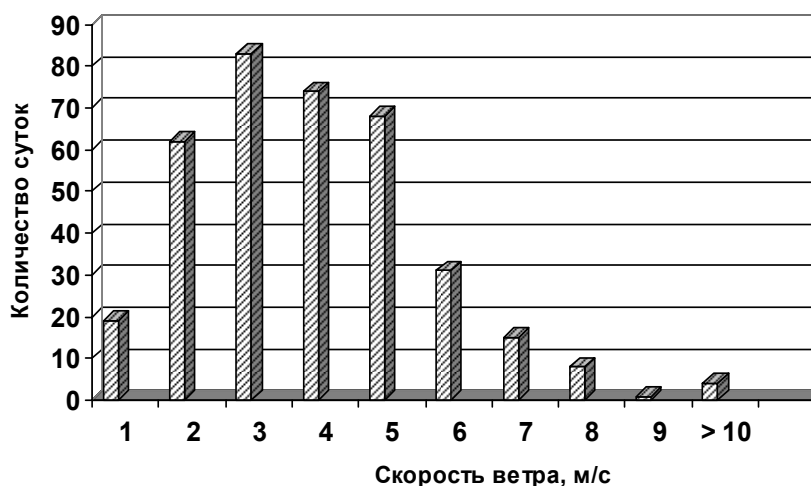


Рис. 1 – Распределение скорости ветра за 2010 год

Анализ показывает, что в регионе восточной Европы преобладает низкая (<6 м/с) скорость ветра. Ветер также способствует распространению по воздуху искр и горящих частиц материала, что дополнительно усугубляет ситуацию по локализации пожаров на открытом пространстве. Для ветра на большинстве территории Украины характерна суточная цикличность. В течении ночи, как правило, ветер слабый и постоянный по скорости и направлению. Утром скорость его возрастает и достигает своего максимума, а затем к вечеру снижается до минимума. Ветер со скоростью от 6 до 10 м/с неустойчив, повышение скорости ветра ведёт к его стабилизации.

В безветренную погоду скорость распространения пожара составляет приблизительно 0,2-0,6 м/мин (в зависимости от вида и плотности пожарной нагрузки), до 2-10 м/мин - при скорости ветра более 6 м/с. Особенно негативное влияние оказывает ветер при лесных верховых пожарах, где скорость распространения пожара может достигать сотен метров в минуту (рис. 2) [1-2].

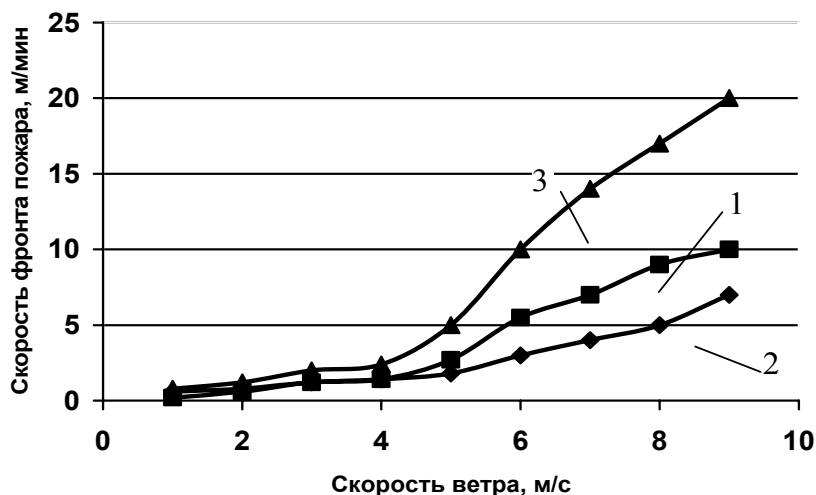


Рис. 2 – Влияние скорости ветра на скорость распространения пожара в зависимости от вида пожарной нагрузки: 1 – пожар в степи; 2 – лесной низовой пожар; 3 – лесной верховой пожар

Представленные выше данные указывают на существенное влияние ветра на развитие пожара на открытой местности. Следует отметить, что наибольшее негативное влияние ветер оказывает на верховые лесные пожары, так как у верхних кромок деревьев располагается более легковоспламеняемая растительность и ничто не препятствует ветру. В то же время минимальное влияние ветер оказывает на низовые лесные пожары вследствие существенного торможения ветра о приземную растительность. С учётом данных о количестве дней с высокой среднесуточной скоростью ветра (рис. 1) негативное влияние ветра на тушение крупных пожаров увеличивается. Исходя из вышеизложенного, возможность корректировки скорости и направления ветра кардинально бы улучшила ситуацию по тушению крупных пожаров на открытой местности. Однако на сегодняшний день уровень научного и технического прогресса недостаточен для решения столь глобальной задачи.

Влажность и температура воздуха большее влияние оказывают на процесс зарождения горения, чем на его развитие и тушение. Несмотря на то, что влажность воздуха и его температура жёстко связаны между собой, рассмотрим изначально механизмы воздействия на них по отдельности. Повышение влажности существенно затрудняет процесс возникновения горения (рис. 3).

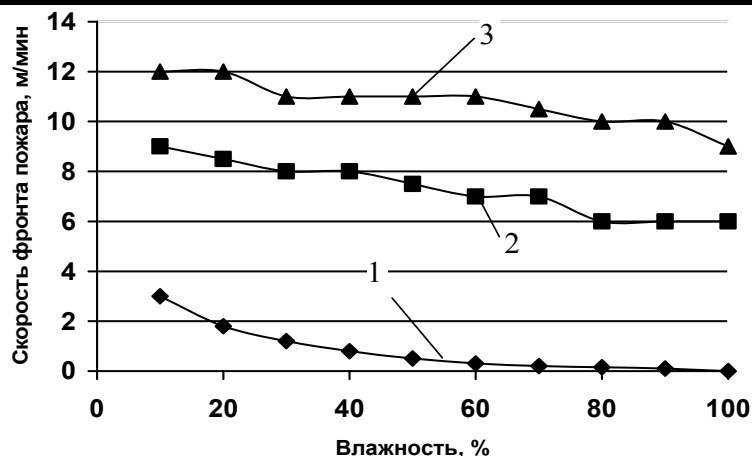


Рис. 3 – Влияние влажности воздуха на скорость распространения лесного низового пожара на различных этапах горения: 1 – 0-10 мин; 2 – 10-30 мин; 3 - > 30 мин

На развитый пожар (после 10 мин активного горения) влияние температуры и влажности воздуха имеет несущественное влияние, поэтому силы и средства, затраченные на снижение температуры и повышение влажности не оправдывают себя. Для полного анализа влияния влажности на общегодовую ситуацию по пожарам на открытой местности необходимо также рассмотреть среднесуточное распределение влажности (рис. 4) [8].

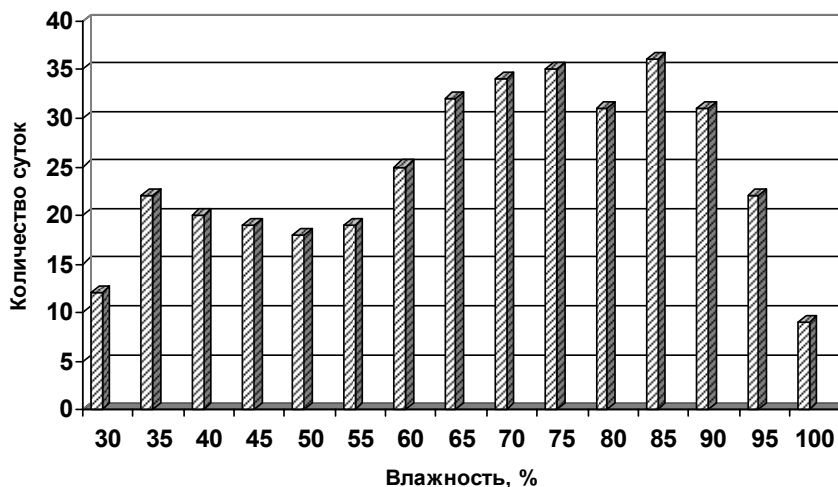


Рис. 4 – Среднесуточное распределение влажности за 2010 год

При рассмотрении вопроса профилактики возникновения пожара на открытой местности необходимо учитывать значительные площади защищаемых объектов (леса, поля с урожаем, торфяники и т.д.), которые определяются сотнями и тысячами гектар. В связи с этим единственным способом повышения влажности воздуха и горючего материала являются осадки. В этом случае дополнительно повышается влажность в процессе тушения пожара, так как для этого используются большие объемы воды.

Как показывает анализ, засушливых дней (влажность $<70\%$) в году значительно больше, чем дней с высокой скоростью ветра, однако основным засушливым периодом в регионе восточной Европы является летний период (май - сентябрь), который и характеризуется подавляющим количеством лесных, степных и торфяных пожаров, по сравнению с остальными сезонами (рис. 5).

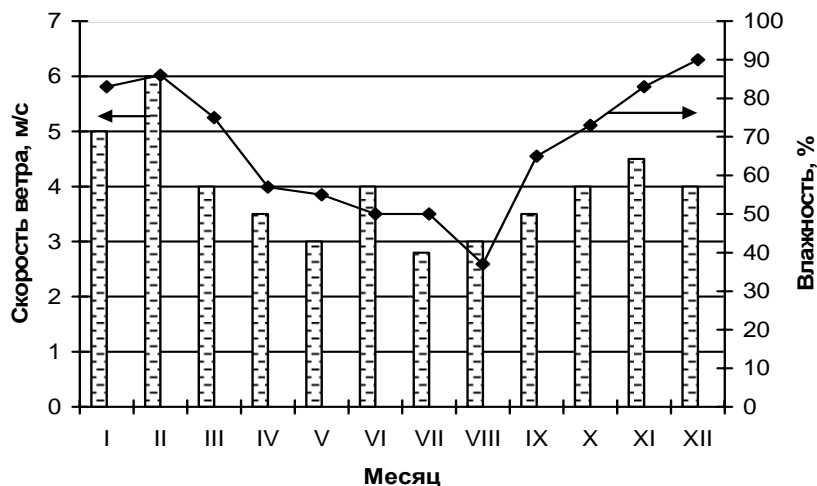


Рис. 5 – Распределение влажности и скорости ветра по месяцам 2010 года

Из рисунка 5 видно, что в некоторые периоды, при высокой скорости ветра, сохраняется достаточно влажная погода и наоборот - засушливые периоды характеризуются низкой скоростью ветра. Анализ результатов указывает на необходимость комплексного подхода при анализе влияния метеорологической ситуации на степень пожарной опасности.

Снижение температуры также влияет на процессы зарождения пожара – рис. 6.

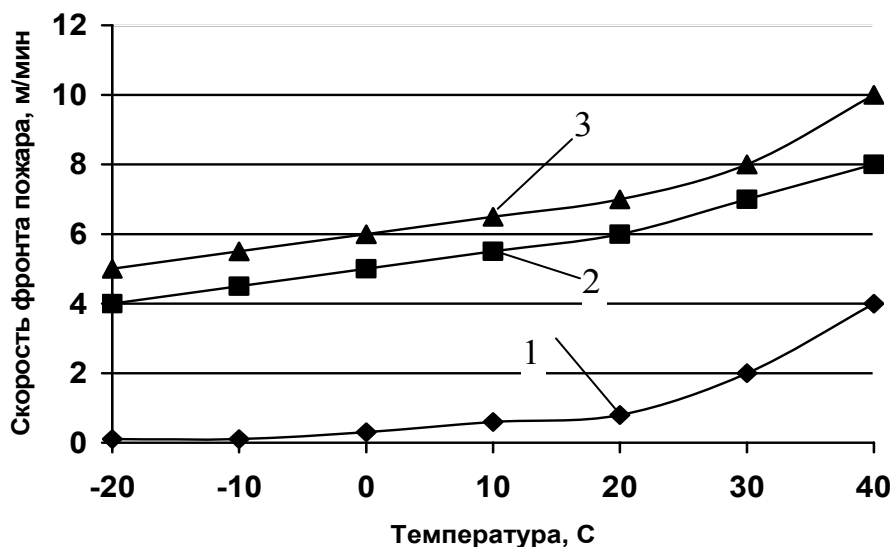


Рис. 6 – Влияние температуры окружающей среды на скорость распространения лесного низового пожара на различных этапах горения: 1 – 0-10 мин; 2 – 10-30 мин; 3 – > 30 мин

На сегодняшний день существует несколько способов снижения температуры в больших объемах атмосферы. Основной из них это природный – экранирование солнечного излучения облаками различной природы, а также антропогенный – распыление жидкого углекислого газа. Последний из рассмотренных методов пригоден лишь для использования при относительно небольших объёмах атмосферы и нецелесообразен для решения задачи профилактики пожаров на открытой местности.

Существенное влияние на процесс ликвидации пожаров большой площади на открытой местности оказывает наличие осадков. Осадки способствуют повышению влажности, снижению температуры и являются мощным источником огнетушащего материала – воды. Учёт рассмотренных выше метеорологических факторов при оценке пожарной безопасности осуществляется с помощью комплексного показателя пожарной опасности, на основе которого в Украине и других странах СНГ оценивается пожарная ситуация в лесах, степях и на торфяниках. Комплексный показатель пожарной опасности рассчитывается по методике В.Г. Нестерова [9].

Комплексный показатель (КП) определяется как сумма произведений коэффициента, учитывающего скорость ветра (K_v), на температуру воздуха (T и разность между значением температуры воздуха и температурой точки росы t). Расчет КП начинается после последнего дождя и проводится за каждый день. (n). Данные за каждый день суммируются нарастающим итогом.

$$КП = \sum_1^n K_v \cdot T \cdot (T - t). \quad (1)$$

Коэффициент, учитывающий скорость ветра (K_v), определяется из справочников.

Расчет комплексного показателя пожарной опасности по (1) ведется в течение теплого периода ежедневно от схода снежного покрова весной до установления его осенью. Комплексный показатель пожарной опасности нарастает в течение безосадочного, сухого периода, а также в дни, когда осадков выпадает недостаточно для ликвидации пожарной опасности в лесах. При выпадении осадков, способных снять напряженность пожарной ситуации в лесу, производится сброс комплексного показателя. Порог сбрасывания комплексного показателя (количество осадков, необходимое для ликвидации пожарной опасности) определяется по таблице 1. в зависимости от значения сумм комплексного показателя пожарной опасности на день с осадками. После сбрасывания комплексного показателя расчеты КП возобновляются.

Исчезновение пожарной опасности зависит от суммарного зна-

чения комплексного показателя и от количества выпавших осадков за сутки. Чем больше КП, тем большее количество осадков за сутки необходимо для ликвидации пожарной опасности.

Таблица 1 - Количество осадков за предыдущие сутки (Q), при которых сбрасывается комплексный показатель пожарной опасности

КП (тыс.)	Q (мм)	КП	Q (мм)	КП	Q (мм)
0-0,3	2	4-5	7	9-10	12
0,3-1	3	5-6	8	10-11	13
1-2	4	6-7	9	11-12	14
2-3	5	7-8	10	> 12	15
3-4	6	8-9	11		

Таким образом, наличие осадков существенно улучшает пожароопасную ситуацию и способствует эффективной борьбе с чрезвычайными ситуациями, связанными с горением лесов, степей, торфяников и других крупных пожаров на открытой местности.

Существующее на сегодняшний день большое количество научных и практических работ в области климатологии и метеорологии [10-12] свидетельствует о возможности искусственного управления процессами осадкообразования. В связи с этим дальнейшее изучение данной проблемы является весьма актуальным и перспективным для повышения эффективности борьбы с крупными пожарами на открытой местности.

Выводы. В работе рассмотрено влияние основных метеорологических факторов (ветер, влажность, температура, осадки) на процесс развития и тушения крупных пожаров на открытой местности. На основе анализа установлено, что наиболее эффективным метеорологическим явлением, влияющим на тушение пожаров, являются осадки. Для повышения эффективности борьбы с крупными пожарами на открытой местности перспективным является разработка методов искусственного управления процессами осадкообразования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кимстач И.Ф. Пожарная тактика: Учеб. пособие для пожарнотехн. училищ и нач. состава пожарной охраны / И.Ф. Кимстач, П.П. Девлишев, Н.М. Евтюшкин // М.: Стройиздат, 1984. – 590 с.
2. Пожежна тактика: Підручник / [Клюс П.П., Палюх В.Г., Пустовой А.С. та ін.]. – Х.: Основа, 1998. – 592 с.
3. 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.

4. Израэль Ю.А. Метеорология и гидрология / Ю.А. Израэль, 2005. - № 10. - С. 5—9.
5. Ивлев Л.С. Химический состав и структура атмосферных аэрозолей / Л.С. Ивлев // Л., Изд. ЛГУ, 1982. - 366 с.
6. Richard D. Stratton. Guidance on Spatial Wildland Fire Analysis: Models, Tools, and Techniques. General Technical Report RMRS-GTR-183. 2006-20 p.
7. Тарасенко А.А. Модель динамики контура природного пожара под действием совместного влияния ландшафтно-метеорологических факторов / Ю.А. Абрамов, А.А. Тарасенко // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ, 2008. – Вып. 24. – С. 194-200.
8. Аэрозоль и климат. [Под ред. К.Я.Кондратьева]. Л., Гидрометеоиздат, 1991. - 541 с.
9. Meteo.Infospace. [Электронный ресурс]. – Доступный с <http://meteo.infospace.ru>.
10. Нестеров В.Г. Горимость леса и методы её определения / В.Г. Нестеров – М. : Гослесбумиздат, 1949. – 76 с.
11. Кондратьев К.Я. Атмосферный аэрозоль / К.Я. Кондратьев, Н.И. Москаленко, Д.В. Поздняков. // Л., Гидрометеоиздат, 1983. - 224с.
12. Janicke R. Aerosol physics and chemistry. // In Landolf-Bernstein, Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology. New Series. Group V, G.Fischer (Ed.), 1988, vol. 4, p. 391-457.

Кустов М.В., Калугин В.Д., Коврегин В.В.

Вплив кліматичних факторів на процеси розвитку та припинення великих пожеж на відкритій місцевості.

Розглянуто вплив основних метеорологічних факторів на процес розвитку та гасіння великих пожеж на відкритій місцевості. Встановлено, що найбільш ефективним метеорологічним явищем, яке впливає на гасіння пожежі, є опади. В якості перспективного методу підвищення ефективності боротьби з великими пожежами на відкритій місцевості пропонується штучна інтенсифікація опадів в зоні пожежі.

Ключові слова: пожежі на відкритій місцевості, вітер, вологість, середньорічний розподіл, опади, комплексний показник пожежної безпеки.

Kustov M.V., Kalugin V.D., Kovregin V.V.

The influence of climatic factors on developments and the terminations of the burnout on open district

Influence of the basic meteorological factors on development and suppression of a burnout on open district is considered. It is established that the most effective meteorological phenomenon influencing suppression of fires, deposits are. As a perspective method of increase of efficiency of struggle against a burnout on open district the artificial intensification of deposits in a fire zone is offered.

Keywords: fires on open district, a wind, humidity, mid-annual distribution, deposits, a complex indicator of fire danger.

УДК 614.84

*А.А. Лісняк, к-т техн. наук, заступник начальника кафедри НУЦЗУ,
І.Г. Дерев'янка, ст. викладач НУЦЗУ*

ГАСІННЯ ГОРЮЧИХ РІДИН МЕТОДОМ ОХОЛОДЖЕННЯ

(представлено д-ром техн. наук Басмановим О.Є.)

Надано теоретичне обґрунтування використання вогнегасних речовин з домінантною охолоджувальною дією для гасіння горючих рідин у резервуарах, технологічних апаратах та приміщеннях промислових підприємств.

Ключові слова: обґрунтування, гасіння рідин, охолодження зони горіння.

Постановка проблеми. Проблеми розвитку економіки більшості держав у сучасний період в значній мірі обумовлюються обмеженням енергоресурсів та сировинних запасів для потреб хімічної промисловості. Нафта та нафтопродукти є тією складовою, що одночасно є основою для синтезу визначної частки речовин які використовуються у промисловості та сільському господарстві та забезпечують роботу усього суспільства як джерело енергії. Пожежі, що виникають на підприємствах по зберіганню та переробці нафти та нафтопродуктів, у виробничих приміщеннях де використовуються горючі рідини, на транспорті супроводжуються швидким поширенням, високою температурою та щільним тепловим опромінюванням та задимленням. Вибухи пароповітряної суміші призводить до часткового або повного руйнування резервуарів, технологічного обладнання та конструкцій [10]. Збитки від пожеж складаються зі збитків від знищення та пошкодження технологічного обладнання надлишковим тиском при вибуху, втрати механічних властивостей під дією високої температури в зоні горіння, або перегріву від теплового випромінювання полум'я. Значною складовою заданих збитків залишаються втрати на вогнегасні речовини що використовуються та витрати на відновлення функціонування об'єкту після пожежі [1].

Основною вогнегасною речовиною при гасінні пожеж на подібних об'єктах залишається повітряно-механічна піна середньої та низької кратності [2, 3, 4]. Аналіз результатів гасіння пожеж показує відносно високу ефективність використання повітряно-механічної піни, але відсутність в Україні налагодженої технології виробництва піноутворювача для потреб пожежегасіння привело до значного зростання ціни на піноутворювач та високої собівартості використання повітряно-механічної піни як вогнегасної речовини. Процес проведення пінної атаки потребує ретельної підготовки сил та засобів [2], що призводить до затягування подачі вогнегасної речовини в осере-

док пожежі і, тим самим, до збільшення збитків від неї.

Основна частина піноутворювачів, що знаходяться на озброєнні відносяться до поверхнево-активних речовин з тривалим терміном розкладання у природних умовах, тому їх використання додатково збільшує екологічні наслідки від пожежогасіння на даних об'єктах.

В таких умовах гостро стає питання про необхідність активного застосування води та діоксиду вуглецю у якості вогнегасних речовин для гасіння пожеж класу „В”.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В роботах [6, 7], приводяться данні досліджень механізму припинення горіння вогнегасними речовинами охолоджувальної дії, а також розглядаються методи підвищення коефіцієнту її використання. Приведені данні та розрахунки стосуються визначення механізму гасіння пожеж нафти та нафтопродуктів.

В роботах [8, 9] поставлені питання щодо наукового обґрунтування мінімально потрібної інтенсивності подавання вогнегасних засобів, а саме дрібно розпиленої води з імпульсних переносних установок, для гасіння пожеж матеріалів що містять целюлозу.

Також питання попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій в резервуарних парках з нафтопродуктами розглядалися в роботі [10], але використання водяних струменів води передбачалось лише для охолодження стінок резервуару що горить, та сусідніх резервуарів, а не для гасіння горючих рідин.

Постановка задачі та її розв'язання. Таким чином постає задача пошуку альтернативної вогнегасної речовини для гасіння горючих рідин, а саме використання вогнегасних речовин охолоджувальної дії, таких як тонкорозпилена вода або діоксид вуглецю. Розв'язання цієї задачі дозволить вирішити питання часу введення вогнегасної речовини в осередок пожежі, зменшення матеріальних збитків та негативних екологічних наслідків від вогнегасних речовин. Прилади формування та подачі розпиленних струменів води розглядалися в роботах [11, 12], а що стосується механізму припинення горіння, то виходячи з [5] умовою що необхідна та достатня для припинення горіння парів що утворюються з вільної поверхні горючих рідин (ЛЗР, ГР), шляхом охолодження її поверхні є:

$$t_{нов.д} \leq t_{сп(з.т.)}, \quad (1)$$

де $t_{пов.д}$ – допустима температура нагріву поверхні рідини, $^{\circ}\text{C}$;
 $t_{сп(з.т.)}$ – температура спалаху рідини у закритому тиглі, $^{\circ}\text{C}$.

У свою чергу ця умова виконується при наступних умовах:

$$\Delta Q_{нов(ЛЗР,ГР)}^{відв} \geq \int_{\tau} q_{пр}(\tau_z) d\tau + Q_{ЛЗР,ГР}^{ак}, \quad (2)$$

де $\Delta Q_{нов(ЛЗР,ГР)}^{сиде}$ – кількість тепла, що потрібно відвести від поверхні нагрітого шару рідини, $\text{кДж}\cdot\text{м}^{-2}$; $q_{np}(\tau_2)$ - інтенсивність промінистого опромінювання поверхні рідини від факелу полум'я, $\text{кДж}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$; τ_2 - час гасіння, с; $Q_{ЛЗР,ГР}^{ак}$ - кількість тепла, що акумульовано у шарі рідини прогрітим вище допустимої температури нагріву рідини, $\text{кДж}\cdot\text{м}^{-2}$.

Якщо припустити, що весь промінистий потік, що надійшов від факелу до поверхні рідини, витрачається на нагрів від початкової температури t_0 до температури кипіння $t_{кип}$ та на її випаровування, рівняння (2) записується у вигляді:

$$\Delta Q_{нов(ЛЗР,ГР)}^{сиде} \geq v_m \bar{c}(t_{кип} - t_0)\tau_2 + v_m \Delta H_{ЛЗР,ГР}\tau_2 + Q_{ЛЗР,ГР}^{ак}, \quad (3)$$

або

$$\Delta Q_{нов(ЛЗР,ГР)}^{сиде} \geq v_m \tau_2 [\bar{c}(t_{кип} - t_0) + \Delta H_{ЛЗР,ГР}] + Q_{ЛЗР,ГР}^{ак}, \quad (4)$$

де v_m – масова швидкість вигорання рідини, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$; \bar{c} - середня теплоємність рідини що горить у діапазоні температур від $t_{кип} - t_0$, $\text{кДж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$; $\Delta H_{ЛЗР,ГР}$ - питома теплота випаровування рідини, $\text{кДж}\cdot\text{кг}^{-1}$; $Q_{ЛЗР,ГР}^{ак}$ - кількість тепла, що акумульовано у шарі рідини прогрітим вище допустимої температури нагріву рідини, $\text{кДж}\cdot\text{м}^{-2}$.

Кількість тепла, що акумульовано у шарі рідини можна визначити за формулою:

$$Q_{ЛЗР,ГР}^{ак} = S_2 \delta_{нов} \bar{\rho} \bar{c}(t_{кип} - t_{сн})k_t, \quad (5)$$

де S_2 – площа гасіння (розрахункова площа впливу вогнегасних засобів охолоджувальної дії), м^2 ; $\bar{\rho}$ - середня щільність рідини у діапазоні температур від $(t_{кип} - t_{сн})$, $\text{кДж}\cdot\text{м}^{-3}$; $\delta_{нов}$ - середня товщина прогрітої шари рідини, м, приймається $\delta_{нов} = 0,025$ м; k_t - коефіцієнт поля температур у прогрітої шари рідини, приймається $k_t = 0,5$.

При гасінні мазуту с температурою спалаху $t_{сп} = 85^\circ\text{C}$ та температурою кипіння, яка відповідає температурі прогрітого поверхневого шару $t_{кип} = 230-300^\circ\text{C}$ кількість тепла, що необхідно відвести складає $\Delta Q_{нов(ГР)}^{сиде} = 5046,9 \text{ кДж}\cdot\text{м}^2$.

Для охолодження нагрітого шару рідини можуть бути використані будь які вогнегасні засоби охолоджувальної дії, наприклад дрібно розпилена вода, або діоксид вуглецю у твердому стані.

Кількість тепла, що може бути відведено з зони горіння за рахунок процесів нагріву рідкої фази, випаровування або сублімації та наступного нагріву пари вогнегасної речовини визначається з рівняння:

$$Q_{зас}^{B.P.} = \bar{c}_{p(m)}(t_{кип(субл)} - t_0) + \Delta H_{вип(субл)} + \bar{c}_{n(z)}(t_{пол} - t_{кип(субл)}), \quad (6)$$

де $\bar{c}_{p(m)}$ - середня теплоємність вогнегасної речовини у зрідженому або твердому стані, $\text{кДж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$; $t_{\text{кип(субл)}}$ - температура фазового переходу (кипіння сублімації), $^{\circ}\text{C}$; $\Delta H_{\text{вин(субл)}}$ - теплота фазового переходу (кипіння сублімації), $\text{кДж}\cdot\text{кг}^{-1}$; $\bar{c}_{n(g)}$ - середня теплоємність вогнегасної речовини у газоподібному стані у діапазоні температур від $(t_{\text{пол}} - t_{\text{кип(субл)}})$, $\text{кДж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$; $t_{\text{пол}}$ - температура полум'я, $^{\circ}\text{C}$.

При умові повного прогріву вогнегасних речовин у зоні горіння до температури кипіння, їх повного випаровування (сублімації) та наступного нагріву до температури горіння може бути відведено во-

дою $Q_{\text{гас}}^{\text{H}_2\text{O}} = 4400 \text{ кДж}\cdot\text{кг}^{-1}$, а діоксидом вуглецю $Q_{\text{гас}}^{\text{CO}_2} = 1485 \text{ кДж}\cdot\text{кг}^{-1}$.

Теоретично потрібну витрату вогнегасних речовин для припинення горіння можна визначити по формулі:

$$G_{\text{гас.т}}^{\text{B.P.}} = \frac{\tau Q_{\text{нов(ЛЗР,ГР)}}^{\text{відв}}}{Q_{\text{гас}}^{\text{B.P.}}} \quad (7)$$

Для гасіння дрібно розпиленою водою це значення складає $G_{\text{гас.т}}^{\text{H}_2\text{O}} = 1,147 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$, а для діоксиду вуглецю $G_{\text{гас.т}}^{\text{CO}_2} = 3,398 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$.

При подаванні води або діоксиду вуглецю на гасіння діє, як правило, не один механізм гасіння, а декілька одночасно. У даному випадку водяна пара та діоксиду вуглецю в газоподібному стані здійснюють розбавлення горючої пари що утворюється на стадії підготовчих процесів горіння.

Розрахунковий час подавання вогнегасних засобів охолоджувальної дії згідно з [4] складає до 1 хв. для розпиленої води та 2-3 хв. для діоксиду вуглецю відповідно. При цьому розрахункова інтенсивність складає $I_{\text{гас.т}}^{\text{H}_2\text{O}} = 0,019 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ та $I_{\text{гас.т}}^{\text{CO}_2} = 0,028 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$. Реально нормативна інтенсивність приблизно в десять разів вище за розрахункову. Нормативна інтенсивність гасіння нафти та нафтопродуктів в резервуарах [3] складає $I_{\text{гас.н}}^{\text{H}_2\text{O}} = 0,24 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$, а діоксиду вуглецю [6] відповідно $I_{\text{гас.н}}^{\text{CO}_2} = 0,17 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$.

Нормативна витрата вогнегасних речовин для припинення горіння з урахуванням коефіцієнту запасу та нормативного часу гасіння визначить по формулі:

$$\tau_{\text{гас.н}}^{\text{B.P.}} = I_{\text{гас.н}}^{\text{B.P.}} \cdot k_3 \cdot \tau_{\text{гас.н}} \cdot 60, \quad (8)$$

де k_3 - нормативний коефіцієнт запасу при гасінні пожеж ГР; $\tau_{\text{гас.н}}$ - нормативний час подавання вогнегасної речовини при пожеж ГР, хв.

Тоді нормативна витрата для гасіння дрібно розпиленою водою стане $G_{гас.н}^{H_2O} = 0,24 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 60 = 43,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$, а для діоксиду вуглецю $G_{гас.н}^{CO_2} = 0,17 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 60 = 61,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$.

Витрата піноутворювача при гасінні мазуту з урахуванням його концентрації у розчині стане

$$G_{гас.н}^{ПУ} = I_{гас.н}^{р-ч} \cdot k_3 \cdot \tau_{гас.н} \cdot 60 \cdot C^{ПУ}, \quad (9)$$

де $C^{ПУ}$ – концентрація піноутворювача у розчині, дорівнюється 6%, або 0,06.

Нормативна витрата піноутворювача для гасіння мазуту повітряно механічною піною середньої кратності стане:

$$G_{гас.н}^{ПУ} = 0,05 \cdot 3 \cdot 25 \cdot 60 = 225 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}.$$

Формалізований коефіцієнт якості гасіння мазуту дрібно розпиленою водою та діоксидом вуглецю у порівнянні з повітряно механічною піною середньої кратності стане:

$$K_{я.г.}^{H_2O} = \frac{G_{гас.н}^{ПУ}}{G_{гас.н}^{H_2O}} = \frac{225}{43,2} = 5,2 \text{ та } K_{я.г.}^{CO_2} = \frac{G_{гас.н}^{ПУ}}{G_{гас.н}^{CO_2}} = \frac{225}{61,2} = 3,7.$$

Таким чином отримані данні показують на те, що при гасінні ЛЗР та ГР витрата діоксиду вуглецю у твердому стані у 3,7 рази, а дрібно розпиленої води у 5,2 рази відповідно менш ніж витрата піноутворювача.

Висновки. Отримані залежності дозволяють казати про перспективність використання розглянутих вогнегасних засобів для гасіння пожеж ЛЗР та ГР у резервуарах та необхідність розробки сучасних технічних засобів їх подавання, вивчення прийомів та способів організації оперативних дій по гасінню пожеж з використанням дрібно розпиленої води та діоксиду вуглецю у твердому стані.

ЛІТЕРАТУРА

1. Исаева Л.К. Экология пожаров, техногенных и природных катастроф: Учеб. пособие – М.: Академия ГПС МВД России, 2000.- 301с., с 199 – 206.

2. 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.

3. НАПБ 05.035- 2004 – Інструкція щодо гасіння пожеж у резервуарах із нафтою та нафтопродуктами.

4. Иванниов В.П., Ключ П.П. Справочник руководителя тушения пожара.- М.: Стройиздат, 1987.-228 с.

5. ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. М., ГК СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1990.- 143 с.

6. Абдурагимов И.М. Технический отчет та теме Пути повышения эффективности и качества тушения ординарных пожаров». М., ВИПТШ МВД СССР, 1980.

7. Жидкостные средства пожаротушения. Обзор зарубежных изобретений /Пивоваров Л.З.; Всесоюзный научно-исследовательский институт противопожарной обороны МВД СССР. – Балашиха-6, 1970. – 65 с.

8. Є. А. Лінчевський, В.В. Сировий Розробка тактичного забезпечення до імпульсних вогнегасників // Пожежна безпека. Науковий збірник. Ч.3. – Черкаси: ЧПБ. – 1999. С. 21-23.

9. Абдурагимов И.М., Рынков К.М. О путях дальнейшего повышения эффективности тушения пожаров. София, «Огнеборец», 1976, №5.

10. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций в резервуарных парках с нефтепродуктами. – Харьков: Изд-во АГЗУ, 2006. – 251 с.

11. Еременко С.А., Ольшанський В.П., Халипа В.М., Дубовик О.А. Розрахунок пожежних гідравлічних струменів. – Київ. 2005 р.

12. Шаповалова Е.А. Разработка схем пожарных стволов, оптимальных по критерию дальности подачи огнетушащего вещества : Дис... канд. техн. наук: 21.06.02 / Харьковский ин-т пожарной безопасности. — Х., 2000. — 182 л. — Бібліогр.: л. 157-168.

13. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Довідн. вид.: в 2-х томах; кн. 2/А.Н. Баратов та ін. –М.: Хімія, 1990. – 384с.

Лисняк А.А., Деревянко И.Г.

Тушение горючих жидкостей методом охлаждения

Приведено теоретическое обоснование использования огнетушащих веществ с доминирующим охлаждающим действием для тушения горючих жидкостей в резервуарах, технологических аппаратах и помещениях промышленных предприятий.

Ключевые слова: обоснование, тушения жидкостей, охлаждение зоны горения.

Lisniak A.A., Derevyanko I.G.

Suppression of combustible liquids by a cooling method

The theoretical ground of extinguish substances with a dominant cool action is given. These substances is used for extinguishing of combustible liquids in reservoirs, technological vehicles and industrial buildings.

Keywords: substantiation, suppressions of liquids, cooling of a zone of burning.

УДК 621.3

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

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В ТРУБАХ С ПОТЕРЯМИ

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

Исследовано влияние скорости течения газа в трубопроводах установок газового пожаротушения на диаметр трубопроводов распределительной сети.

Ключевые слова: газовая динамика, газодинамические функции, распределительная сеть, газовый огнетушащий состав, установки газового пожаротушения.

Постановка проблемы. При проведении гидравлических расчетов автоматических установок газового пожаротушения (АУГП), параметры газовых распределительных сетей (РС) выбирают согласно рекомендаций нормативных документов [1]. Однако приводимые рекомендации не раскрывают физический смысл и характер течения газа в магистральных. Это не только затрудняет выполнение расчетов, но и может привести к неправильному выбору диаметров газовых магистралей РС. Для повышения точности выполняемых гидравлических расчетов необходимо составить физическую модель течения газа в трубопроводах.

Анализ последних исследований и публикаций. Течение газа при срабатывании АУГП можно условно разбить на два этапа: течение в газовых магистральных (трубах) и истечение газа из выпускных насадков. Выпуск газа из распылителей соответствует истечению газа в коротких соплах. В учебниках по термодинамике вопросы течения газа в коротких соплах рассмотрены достаточно хорошо [2]. А при расчетах течения газа в трубах, как правило, пренебрегают явлением сжимаемости газа [2,3], что сокращает диапазон рассматриваемых скоростей течения газа числом Маха $M=0,2...0,3$ и приводит к неоправданно завышенному выбору площади проходного сечения. Повышение скорости течения газа выше чисел $M=0,5$ требует учета явлений сжимаемости.

Постановка задачи и ее решение. Минимальному диаметру трубопроводов будет соответствовать оптимальная скорость течения газа в трубах. Расчеты течения газа, в этом случае, выполняются с учетом явлений сжимаемости газа. Используем в расчетах приведенную скорость течения газа λ [2]:

$$\lambda = \frac{c}{c_{кр}},$$

где c – абсолютная скорость течения газа; $c_{кр} = \sqrt{\frac{2k}{k+1} RT^*}$ – критическая скорость течения газа; k – показатель адиабаты; R – газовая постоянная; T^* – полная температура.

Суммарные потери потока сжимаемого газа можно учесть как потери полного давления:

$$\delta = \frac{p^*}{p_{ид}^*} = \frac{\pi\left(\frac{\lambda}{\psi}; k\right)}{\pi(\lambda; k)},$$

где p^* – полное давление газа; $p_{ид}^*$ – полное давление идеального газа (без учета потерь); $\pi(\lambda; k) = \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda^2\right)^{\frac{k}{k-1}}$ – газодинамическая функция; $\psi = \frac{c}{c_{ид}}$ – коэффициент скорости; $c_{ид}$ – идеальная (без потерь) скорость течения газа.

Будем полагать, что коэффициент скорости ψ для заданного участка трубопровода зависит только от конструктивных особенностей трубопровода и не зависит от режима течения [3].

Расход газа в сечении трубы можно определить по формуле Христиановича [2]:

$$G = m \cdot \frac{\delta \cdot p^*}{\sqrt{T^*}} \cdot F \cdot q(\lambda),$$

где $q(\lambda)$ – приведенный расход газа:

$$q(\lambda, k) = \lambda \left(\frac{k+1}{2} \cdot \tau(\lambda, k) \right)^{\frac{1}{k-1}};$$

где $\tau(\lambda, k) = 1 - \frac{k-1}{k+1} \cdot \lambda^2$ – газодинамическая функция.

Для известного расхода и параметров газа можно определить площадь проходного сечения трубопровода:

$$F = \frac{G \cdot \sqrt{T^*}}{m \cdot \delta \cdot p^* \cdot q(\lambda, k)}.$$

Известно, что скорость газа в цилиндрической трубе не может превышать критического значения ($\lambda_{кр}=1$) [2], следовательно, изменяя значение λ от 0 до 1, получим требуемое значение площади (диаметра)

трубопровода во всем диапазоне скоростей, включая скорости, где проявляются явления сжимаемости (большие дозвуковые скорости).

Результаты выполненных исследований для $\psi=0.6$, $p^*=12,5$ МПа, $T^*=288\text{K}$, $G=7,27\text{кг/с}$ представлены на рис.1.

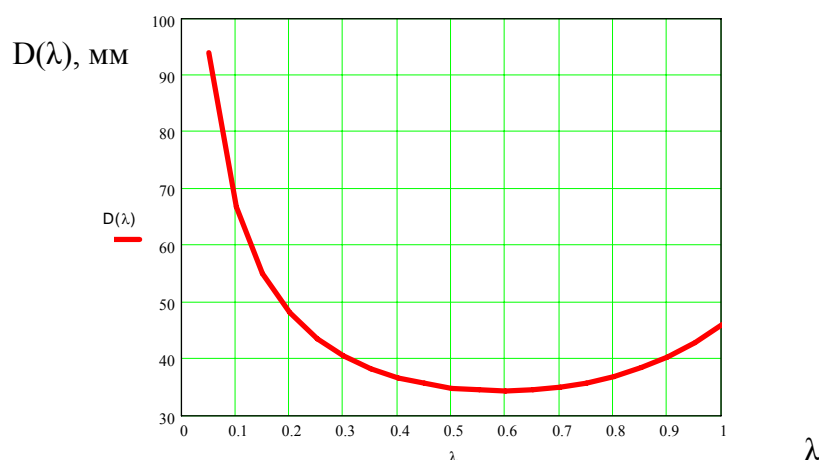


Рис. 1 – Зависимость требуемого диаметра трубопровода от приведенной скорости газового потока

Выводы. При течении газа в трубопроводе с трением, явления сжимаемости могут проявляться на скоростях существенно ниже критических. Видно, что график $D(\lambda)$ имеет явно выраженный оптимум в области $\lambda = 0,6$. При больших скоростях течения газа увеличиваются потери полного давления, что приводит к необходимости увеличения площади проходного сечения трубопровода.

ЛИТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.5–13–98* Пожарная автоматика зданий и сооружений/ Госстрой Украины.– Киев: 2007.– 80 с.
2. Абрамович Г.Н., Прикладная газовая динамика ч.1. М.: Наука, 1991 с.600.
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М., 1987.

Литвяк О. М., Дуреев В. О.

Вибір оптимальної швидкості перебігу газу в трубах з втратами

Досліджений вплив швидкості перебігу газу в трубопроводах установок газової пожежогасінні на діаметр трубопроводів розподільної мережі.

Ключові слова: газова динаміка, газодинамічні функції, розподільна мережа, газовий огнетушачий склад, установки газової пожежогасінні.

Litvjak A. N., Dureev V.A.

Choice of optimum speed of flow of gas in pipes with losses

Influence of speed of flow of gas is investigational in the pipelines of settings gas to extinguish a fire on the diameter of pipelines of distributive network.

Keywords: Gas dynamics, gas-dynamic functions, distributive network, gas fire to extinguish composition, settings gas to extinguish a fire.

Луценко Ю.В., канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры, НУГЗУ
Е.А.Яровой, преподаватель, НУГЗУ

ПОВЫШЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВОК ТЕРМИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ УГОЛЬНОЙ ШИХТЫ К КОКСОВАНИЮ

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

В работе представлены результаты экспериментальных исследований по снижению пожарной опасности термической подготовки угольной шихты к коксованию.

Ключевые слова: кислород, горючий газ, кокс, уголь.

Постановка проблемы. В теплоносителе, сбрасываемом с установки [1] в атмосферу, содержится до 1,5-2,0 % оксида углерода (СО), что может привести к образованию горючей среды в процессе термической подготовки угольной шихты к коксованию. Причиной образования повышенной концентрации СО является то обстоятельство, что в данном технологическом процессе часть теплоносителя подается на рециркуляцию в камеру сжигания. В циркулирующем теплоносителе содержится 10-12 г/нм³ тончайшей угольной пыли, которая, попадая в печь, сгорает не полностью, а частично. В условиях дефицита кислорода происходит неполное сгорание, вследствие чего в продуктах горения повышается содержание СО. Вместе с тем, повысить содержание кислорода путем непосредственного увеличения подачи воздуха на горение коксового газа не представляется возможным, так как это приведет к повышенному окислению угля при его термической обработке, что отрицательно скажется на качестве получаемого кокса.

Анализ последних исследований и публикаций. В работах [1-5] освещаются результаты исследований, направленных на снижение пожарной опасности различных стадий коксового производства. Наибольшую опасность представляют неорганизованные выбросы горючих газов и пыли с последующим образованием взрывоопасных концентраций.

Постановка задачи и ее решение. Задачей исследования является обоснование возможности снижения пожарной опасности процесса подготовки угольной шихты к коксованию путем снижения содержания СО.

Сброс отработанного теплоносителя осуществляется после первой ступени нагрева [1]. Это свидетельствует о том, что вдувание

дополнительного воздуха перед входом в первую ступень позволит снизить концентрацию оксида углерода. Такое решение оправдано, поскольку на первую ступень нагрева идет более горячий теплоноситель, а, следовательно, процесс окисления CO в CO_2 будет проходить более интенсивно. Кроме того, температура угля в первой ступени значительно ниже, чем во второй, поэтому окисление угля будет менее интенсивно.

Для осуществления этого решения был смонтирован подвод вторичного воздуха в печь теплоносителя (рис. 1). Воздух от воздухоподогревателя (1) через задвижку (2) подается в печь теплоносителя (6) через специальное сопло (5), которое оканчивается перед разделительной диафрагмой (7) в печи между первой (I) и второй (II) ступенями нагрева. Расход воздуха регулируется при помощи регулирующего клапана (3) и контролируется по манометру от измерительной диафрагмы (4).

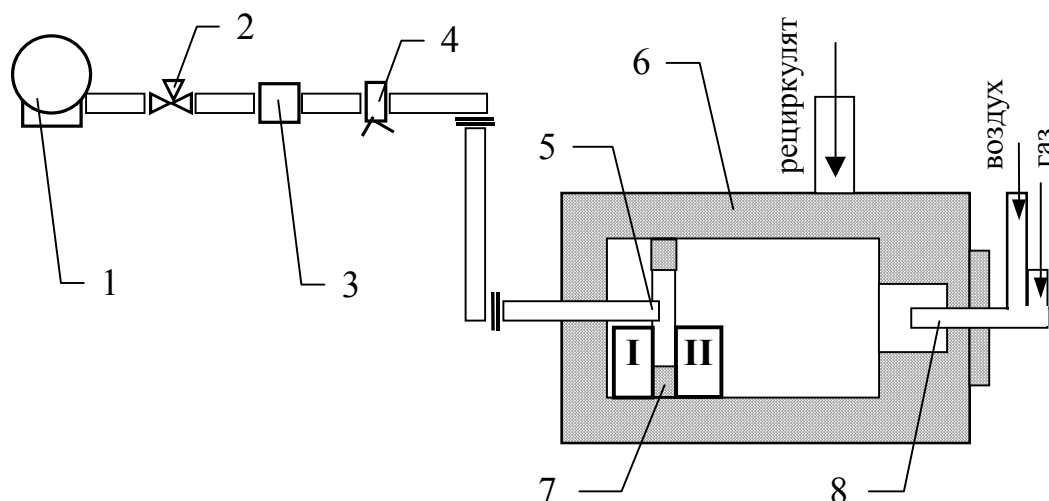


Рис. 1 – Принципиальная схема подачи вторичного воздуха в печь теплоносителя

В ходе исследований было испытано две конструкции сопла для ввода вторичного воздуха – с радиальной подачей воздуха и с осевой. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 1.

На начальном этапе исследования были проведены опыты без подачи угля (опыт 1-3), из которых следует, что печь теплоносителя позволяет добиваться практически полного сжигания коксового газа при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1.1 - 1.2$. При подаче угля в систему нагрева количество CO в теплоносителе резко увеличивается (опыт 4-6) и составляет 1.4% ($\alpha = 1.1$) и 1.0% ($\alpha = 1.2$).

Следующий шаг исследования заключался в следующем. Проводилось вдувание воздуха в печь, при этом, на горелку (8) подавали

воздух с $\alpha = 1.0$, а вторичный воздух добавляли с таким расчетом, чтобы общее его количество давало коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1.1$ (опыт 7) и $\alpha = 1.2$ (опыт 9).

Таблица 1. – Содержание СО в сбрасываемом теплоносителе при разных режимах работы печи

№ опыта	Расход газа, $\text{нм}^3/\text{ч}$	Расход воздуха, $\text{нм}^3/\text{ч}$	Коэф. избытка воздуха (α)	Расход вторичного воздуха, $\text{нм}^3/\text{ч}$	Коэф. избытка возд. (α общий)	Производительность установки, $\text{т}/\text{ч}$	Температура на входе в первую ступень, $^{\circ}\text{C}$	Концентрация, % об.		
								CO_2	O_2	CO
Опыты без угля										
1	200	900	1.0	-	1.0	-	350	8.9	0.6	1.0
2	200	995	1.1	-	1.1	-	355	9.0	1.0	0.2
3	200	1085	1.2	-	1.2	-	355	9.3	2.4	0.02
Опыты с углем										
4	400	1800	1.0	-	1.0	10	530	8.9	0.2	2.6
5	400	1990	1.1	-	1.1	10	550	9.3	0.3	1.4
6	400	2170	1.2	-	1.2	10	560	9.7	0.8	1.0
Опыт со вторичным воздухом (сопло с радиальной подачей воздуха)										
7	375	1700	1.0	160	1.1	10	520	10.2	0.6	1.6
8	420	2080	1.1	200	1.2	10	585	10.0	1.0	0.6
9	420	1900	1.0	380	1.2	10	585	9.6	1.2	1.2
Опыты со вторичным воздухом (сопло с осевой подачей воздуха)										
10	320	1450	1.0	140	1.1	8	480	9.0	0.6	2.0
11	320	1590	1.1	150	1.2	8	480	9.4	0.8	1.0
12	320	1450	1.0	280	1.2	8	480	9.2	1.0	1.4

В опыте 8 на горелку подавали воздух с $\alpha = 1.1$, а вторичный воздух вдували до $\alpha = 1.2$. Как видно из приведенных в табл. 1 данных наилучший результат получен в опыте 8 (концентрация СО – 0.6%). В опыте 9 суммарное количество подаваемого воздуха такое же, как и в опыте 8. Однако его реализация при вдувании через сопло проходит хуже, чем при подаче на горелку. Опыты 7 – 9 проведены при вдувании воздуха через сопло с радиальной подачей воздуха, а опыты 10 – 12 при вдувании вторичного воздуха через сопло с осевой подачей воздуха. Характер изменения концентрации СО в опытах 10 – 12 такой же, как и в опытах 7 – 9. Однако результаты, полученные в опытах 10 – 12 несколько хуже, чем в опытах 7 – 9. Это связано, очевидно, с тем, что при осевой подаче воздуха вглубь печи вторичный воздух, попадая на встречный поток, разбавляется по всему объему топки. Это приводит к тому, что вторичный воздух попадает как в первую так и во вторую ступени нагрева. Следовательно, концентра-

ция кислорода на первой ступени понижалась, а концентрация окиси углерода – увеличивалась.

Выводы. Из вышесказанного следует, что для снижения пожарной опасности процесса термической подготовки угольной шихты путем уменьшения концентрации окиси углерода в сбрасываемом теплоносителе необходимо процесс горения коксового газа в печи вести с коэффициентом избытка воздуха $\alpha = 1.1$, а на входе в первую ступень вдувать дополнительный (вторичный) воздух в количестве, необходимом для общего его содержания до $\alpha = 1.2$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Луценко Ю.В. Определение влияния скорости движения пылевоздушного потока на процесс воспламенения дисперсных частиц / Луценко Ю.В., Деревянко И.Г. // Пожарная безопасность: организационно-техническое обеспечение. – 1996. – С. 27– 29.

2. Луценко Ю.В Пути повышения уровня пожарной безопасности при загрузке коксовых печей / Луценко Ю.В., Козырев М.Г. // Проблемы пожарной безопасности. – 2001. – Спец. вып. – С. 43 – 49.

3. Луценко Ю.В. Влияние технологических факторов на состав и пожароопасные свойства газов, выделяющихся при загрузке коксовых печей / Луценко Ю.В., Козырев М.Г. // Проблемы пожарной безопасности. – 2002. – № 12 – С. 130 – 132.

4. Луценко Ю.В. Теоретические исследования процессов горения частиц твердого топлива при термическом обезвреживании газов загрузки коксовых печей / Луценко Ю.В. // Проблемы пожарной безопасности. – 2003. – № 13 – С. 89 – 93.

5. Луценко Ю.В. Влияние скорости подачи газифицирующих агентов на выход горючих газов из углей / Луценко Ю.В., Яровой Е.А. // Проблемы пожарной безопасности. – 2007. – № 21. – С. 156 -159.

Луценко Ю.В. , Яровой Е.А.

Підвищення пожежної безпеки при експлуатації установок термічної підготовки вугільної шихти до коксування

У роботі представлені результати експериментальних досліджень по зниженню пожежної небезпеки термічної підготовки вугільної шихти до коксування.

Ключові слова: кисень, горючий газ, кокс, вугілля.

Lutsenko U.V., Yarovoy E.A.

Increase of fire safety during exploitation of settings of thermal preparation of coal charge to coking

The results of experimental researches are in-process presented on the decline of fire hazard of thermal preparation of coal charge to coking.

Keywords: oxygen, combustible gas, coke, coal.

В.В. Мамаев, канд. техн. наук, зам. завотделом НИИГД «Респиратор»

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ УРОВНЯ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

(представлено д-ром техн. наук Соболев А.Н.)

Рассмотрены современные методы оценки уровня пожарной опасности объектов. Предложен метод определения уровня пожарной опасности подземных объектов с учетом вероятности воздействия опасных факторов пожара на горнорабочих и возможности их эвакуации в условиях угольных шахт. По результатам выполненных исследований разработан и введен в действие отраслевой стандарт.

Ключевые слова: пожарная опасность, подземный объект, опасные факторы пожара, пожарный риск, зоны загазирования, эвакуация горнорабочих.

Постановка проблемы. Разработка аналитических методов оценки уровня пожарной опасности объектов обусловлена получением максимально экономически эффективного решения при проектировании новых объектов и систем их противопожарной защиты, а также уже эксплуатируемых путем обеспечения минимально допустимого уровня пожарной безопасности с заданной степенью риска, а также возможностью анализировать опасные ситуации на объекте в автоматизированном режиме.

Анализ последних исследований и публикаций показывает, что методы определения опасности возникновения пожара могут быть разделены на три группы [1 - 3].

К первой относят методы оценки уровня пожарной опасности, основанные на ее индексации. Они не отражают фактический уровень опасности, но помогают определить ее условный уровень, используются в основном для сравнительной классификации объектов по степени опасности и при выборе средств предупреждения пожаров и защиты объектов.

Вторая группа включает детерминированные методы оценки допустимого уровня опасности, в соответствии с которыми определяют параметры, характеризующие допустимые значения показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов, технологических процессов и объектов. Их достоверность тем надежнее и выше, чем объективнее методика определения этих показателей.

Третья группа объединяет статистико-вероятностные методы, которые наиболее применимы для расчета возможности возникнове-

ния пожара на объекте, так как учитывают случайный характер пожароопасных событий и позволяют анализировать динамику пожара, распространение дыма и эвакуацию людей из аварийного объекта как функцию времени, оценивать фактический уровень пожарной опасности технологических аппаратов, процессов, помещений, а также объектов в целом. Примером документа, построенного на вероятностном подходе, является ГОСТ 12.1.004-91 [4]. Этот документ регламентирует требования к мероприятиям по пожарной профилактике и системам противопожарной защиты исходя из условия, чтобы вероятность воздействия на людей опасных факторов пожара (ОФП), превышающих по величине предельно допустимые значения, была не выше 10^{-6} в год. Назначение в этом стандарте определенного уровня безопасности является обстоятельством, обеспечивающим принципиальную возможность обоснованного выбора систем защиты и затрат на них.

Метод вероятностной оценки пожарной опасности основан на постулате, что авария - событие случайное, подчиняющееся статистическим закономерностям и за критерии, определяющие вероятность (уровень) опасности, принимаются величины индивидуального и социального рисков [3, 5, 6]. При этом реализуется так называемый гибкий подход к обеспечению безопасности, когда не регламентируются жестко все необходимые защитные мероприятия для определенного класса объектов, а формулируются критерии безопасности и в самом общем виде пути достижения этих критериев.

Постановка задачи и ее решение. В связи с принятием закона Украины [7] актуальность использования понятия «пожарный риск» для нормирования уровня обеспечения пожарной безопасности объектов существенно возросла. При этом наиболее важными вопросами являются выбор методов оценки пожарного риска, определение критериев его предельно допустимого значения и управление пожарным риском. Для определения вероятностей возможных нежелательных событий пожара специалистам отрасли необходимо владеть знанием разработки вероятностных моделей систем безопасности, умением создавать возможные сценарии возникновения и развития подземного пожара, спасения горнорабочих и защиты материальных ценностей.

В 2010 году НИИГД «Респиратор» были выполнены исследования и разработан отраслевой нормативный документ [8], в котором изложен метод определения пожарной опасности подземных объектов угольных шахт на основе вероятностного подхода к возникновению пожара, возможности воздействия ОФП на горнорабочих и эва-

куации их с аварийного участка.

При разработке этого метода была использована концепция «приемлемого риска» и принцип «предвидеть и предупредить», когда существует единственный уровень риска, который является границей между допустимыми и недопустимыми его значениями. Пожарную безопасность подземных объектов определяют с помощью критериев: индивидуального ($R_{и}$) или социального ($R_{с}$) рисков, то есть оценки вероятности и уровня возможного нанесения вреда здоровью горнорабочих в опасной ситуации с целью разработки необходимых мер безопасности. Эти риски классифицируют следующим образом:

область пренебрежимо малого риска ($R_{и} \leq 10^{-6}$; $R_{с} \leq 10^{-5}$). В этой области риск считают обеспеченным, так как или частота возникновения ОФП настолько мала, или последствия настолько незначительны, что никаких мер по снижению риска пожара не требуется;

область недопустимого риска ($R_{и} > 10^{-4}$; $R_{с} > 10^{-3}$). В этой области риск считают не допустимым, так как частота и последствия пожара слишком велики. В этом случае обязательны меры по снижению риска или соответствующие проектные изменения, когда снижение его является экономически нецелесообразным;

промежуточная область ($10^{-6} < R_{и} \leq 10^{-4}$; $10^{-5} < R_{с} \leq 10^{-3}$). В этой области риск считают приемлемым, если приняты меры, позволяющие сделать частоту и последствия аварии настолько низкими, насколько это практически целесообразно.

Согласно этому нормативному документу индивидуальный риск $R_{и}$ для каждого подземного объекта рассчитывают по формуле

$$R_{и} = P_{п} P_{пр} (1 - P_{э})(1 - P_{пз}), \quad (1)$$

где $P_{п}$ – вероятность пожара на объекте в течение года; $P_{пр}$ – вероятность присутствия горнорабочих на объекте в течение года при работе: 0,25 – в одну смену; 0,50 – в две смены; 0,75 – в три смены; 1,00 – в четыре смены; $P_{э}$ – вероятность эвакуации горнорабочих на объекте; $P_{пз}$ – вероятность эффективной работы технических средств противопожарной защиты.

При этом вероятность пожара на подземном объекте $P_{п}$ определяют в зависимости от вида объекта (штрек, камера, ходок и др.), категории шахты по газу, вида энергии (электро или пневмо-энергия), группы горючести крепления выработок и рассчитывают по формуле

$$P_{ii} = P_{ii} \ell_i, \quad (2)$$

где P_{ii} – удельная вероятность возникновения пожара на 1 погонном метре горной выработки, m^{-1} (для конкретных подземных объектов шахты значение P_{ii} приведены в приложении Б); ℓ_i – длина i -ой горной выработки, м.

При определении вероятности эвакуации горнорабочих с аварийного объекта $P_э$ рассматривают возможности эвакуации их также при включении в изолирующие самоспасатели и рассчитывают по формуле

$$P_э = 1 - (1 - P_{э1})(1 - P_{э2}), \quad (3)$$

где $P_{э1}$ – вероятность эвакуации горнорабочих без включения в самоспасатели; $P_{э2}$ – вероятность эвакуации горнорабочих в изолирующих самоспасателях.

Вероятность $P_{э1}$ определяют согласно [4]. Вероятность $P_{э2}$ рассчитывают по формуле

$$P_{э2} = \begin{cases} 0,999, & \text{если } \tau_{зс} > t_p; \\ 0, & \text{если } \tau_{зс} \leq t_p, \end{cases} \quad (4)$$

где $\tau_{зс}$ – время защитного действия изолирующего самоспасателя при одноступенчатой системе защиты, мин; t_p – расчетное время эвакуации горнорабочих из загазированной зоны аварийного участка, мин.

Если на подземном объекте принята многоступенчатая система защиты, тогда общее время защитного действия использованных горнорабочими самоспасателей должно составлять

$$\tau_{зс} = \sum_{i=1}^n \tau_{зсi}, \quad (5)$$

где $\tau_{зсi}$ – время защитного действия изолирующих самоспасателей на каждом i -ом участке движения горнорабочих с учетом переключения их в резервные самоспасатели в местах размещения пунктов переключения, мин; n – количество использованных самоспасателей для преодоления зоны загазирования.

В этом случае время эвакуации горнорабочих t_p определяют по

формуле

$$t_p = \sum_{j=1}^m L_{зj} / \mathcal{G}_{пj}, \quad (6)$$

где $L_{зj}$ - длина зоны загазирования объекта продуктами горения от подземного пожара, м; $\mathcal{G}_{пj}$ - средняя скорость передвижения горнорабочего в самоспасателе по j -му подземному объекту, м/мин; m - количество загазированных подземных объектов, по которым передвигаются горнорабочие в самоспасателях.

Длину зоны $L_{зj}$ загазирования горных выработок для различных режимов вентиляции и места возникновения подземного пожара рассчитывают согласно [9], а среднюю скорость $\mathcal{G}_{пj}$ передвижения в аварийной выработке в зависимости от направления движения горнорабочих определяют согласно приложению В [8].

Предполагается, что каждый опасный фактор воздействует на горнорабочих независимо от других. Параметры развития подземного пожара в горных выработках для определения предельных значений ОФП рассчитывают согласно [9, 10]. К таким параметрам, в частности, относят: дальность и скорость распространения пожара, площадь горящей поверхности, длину зоны действия конвективных потоков навстречу вентиляционному потоку, расход материала на горение, температуру воздушного потока на выходе из зоны горения, температуру исходящих газов на расстоянии от очага пожара.

Вероятность эффективного срабатывания противопожарной защиты $P_{пз}$ вычисляют по формуле

$$P_{пз} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_{пзи}), \quad (7)$$

где $R_{пзи}$ - вероятность эффективного срабатывания i -го технического решения в течение года, которая является следствием реализации любой из видов защиты и вычисляют по формуле

$$R_{пзи} = 1 - \prod_{k=1}^5 (1 - R_{ик}^c), \quad (8)$$

где $R_{ик}^c$ - вероятность реализации любой из видов противопожарной защиты: применения на i -ом объекте первичных средств пожаротушения (переносные и передвижные огнетушители, пожарные стволы,

песок и т.д.); автоматических систем пожарной сигнализации и пожаротушения; устройств, обеспечивающих ограничение распространения пожара (негорючих зон, водяных завес и т.п.); конструкций крепления с регламентируемой огнестойкостью; деревянных элементов шахтной крепи, пропитанных огнезащитными составами или обработанных огнезащитными покрытиями.

Индивидуальный риск $R_{и}$ пожара на проектируемых (новых) объектах первоначально оценивают по формуле (1) при $P_э = 0$. Если при этом выполняется условие $R_{и} \leq 10^{-6}$, то безопасность рабочих на объекте обеспечена на требуемом уровне системой предотвращения пожара. Если это условие не выполняется, то расчет риска $R_{и}$ следует проводить по зависимостям (1) - (7). Пример расчета риска $R_{и}$ приведен в приложении Е разработанного отраслевого стандарта [8].

Выводы. Полученные зависимости для определения индивидуального риска позволяют прогнозировать и оценивать пожарную опасность подземного объекта угольной шахты с учетом особенностей динамики пожара, образования зон загазирования горных выработок, условий передвижения в них горнорабочих при аварии и принятых систем самоспасения на объекте, а также эффективности срабатывания противопожарной защиты. Это способствует усилению системы предотвращения пожара, обеспечению безопасности горнорабочих и защиты материальных ценностей на подземном объекте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методы количественной оценки уровня пожаровзрывоопасности объектов: Обзорная информация / [В.М. Гаврилей, А.П. Шевчук, А.В. Матюшин, В.А. Иванов].- М.: ГИЦ МВД СССР, 1987.- 55 с.
2. Вогман Л.П. Основные подходы к оценке уровня пожарной опасности производственных объектов / Л.П. Вогман, В.А. Зуйков // Пожаровзрывоопасность.- 2004.- №2.- С. 23-30.
3. Система попереджувальної взаємодії служб шахти з оцінюванням ризику і його зниження в режимі реального часу / [М.В. Малеев, К.В. Дорофеев, Є.І. Соколов, М.І. Римар] // Безпека життєдіяльності. - 2005.- №4.- С. 17-20.
4. Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004-91.-[Введ. 1992-07-01].- М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1992.- 77 с.
5. Мамаєв В.В. Оцінка пожежної небезпеки підземних об'єктів шахт на основі розрахункового індивідуального ризику /

В.В. Мамаєв // Пожежна безпека-2009: Зб. тез доповідей ІХ Міжнар. наук.-практ. конф./ ЛДУ БЖД.- Львів, 2009.- С. 272-273.

6. Азаров В.И. Расчет риска поражения шахтеров от аварийного взрыва / С.И. Азаров, В.Л. Сидоренко // Уголь Украины.- 2010.- №12.- С. 39-40.

7. Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності: Закон України від 5.04.2007, №877-V.

8. Підземні об'єкти та гірничошахтне обладнання вугільних шахт. Метод визначення пожежної небезпеки: СОУ 10.1-00174102-010-2010. -[Чинний від 2010-10-01].- К.: Мінвуглепром України, 2010.- 52 с.

9. Зони загазування гірничих виробок вугільних шахт продуктами термодеструкції від підземних пожеж. Методика розрахунку: ГСТУ 10.1-00174102-008-2003. – [Чинний від 2004-07-01].- К.: Мінпаливенерго України, 2003.- 25 с.

10. Руководство по определению параметров подземного пожара и выбору эффективных средств его тушения: утв. ВУ ВГСЧ 09.09.85 / ВНИИГД.- Донецк, 1985.- 96 с.

Мамаєв В.В.

Прогноз та оцінка рівня пожежної небезпеки підземних об'єктів вугільних шахт

Розглянуто сучасні методи оцінки рівня пожежної небезпеки об'єктів. Запропоновано метод визначення рівня пожежної небезпеки підземних об'єктів за умов імовірності впливу небезпечних факторів підземної пожежі на гірників та можливості їх евакуації в умовах вугільних шахт. За результатами виконаних досліджень розроблено та упроваджено галузевий стандарт.

Ключові слова: пожежна небезпека, підземний об'єкт, небезпечні фактори пожежі, пожежний ризик, зони загазування, евакуація гірників.

Mamayev V.V.

Prognosis and estimation of the fire hazard level of underground objects of coal mines

The modern methods of estimation of the fire hazard level of the objects are considered. The method of determination of the fire hazard level of the underground objects taking into account probability of influence of hazardous factors of the fire on mine workers and possibilities of their evacuation under conditions of the coal mines is proposed. The branch standard is worked out and put into operation on results of the investigations fulfilled.

Key words: fire hazard, underground object, hazardous factors of the fire, fire risk, gassing zones, evacuation of the mine workers.

УДК 614.8

А.А. Михайлюк, канд. техн. наук, ст. научн. сотрудник НУГЗУ

ВЫБОР СИЛ И СРЕДСТВ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ГОРЯЩЕГО РЕЗЕРВУАРА

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

Приведено решение математической задачи оптимального выбора сил и средств для охлаждения горящего резервуара по критерию минимума расхода воды

Ключевые слова: резервуар, охлаждение, интенсивность подачи.

Постановка проблемы. Пожар в резервуаре с нефтепродуктом характеризуется выделением значительного количества тепла и наличием высоких температур, приводящих при отсутствии охлаждения к деформации сухой стенки резервуара и образованию изолированных зон горения («карманов»), снижающих эффективность проведения пенной атаки. Поэтому первостепенной задачей подразделений МЧС при локализации и ликвидации такого рода пожаров является обеспечение достаточного охлаждения горящего резервуара.

Анализ последних исследований и публикаций. В работе [4] построена модель нагрева сухой стенки горящего резервуара. В [5] показано, что коэффициент конвективной теплоотдачи от стенки резервуара в стекающую по ней водную пленку зависит от ряда факторов: скорости струи в момент удара о стенку резервуара, интенсивности подачи воды, коэффициента покрытия стенки резервуара водной пленкой. Несмотря на это, существующие на сегодня рекомендации определяют лишь интенсивность подачи воды: 0,5 л/м·с [1]; 0,8 л/м·с [2]. Все эти рекомендации не учитывают таких особенностей пожара, как высота сухой стенки, тип горящего нефтепродукта, коэффициент использования воды и т.д.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является решение задачи оптимального выбора сил и средств для охлаждения горящего резервуара по критерию минимума расхода воды.

Под оптимальным будем понимать такой выбор сил и средств, который бы обеспечивал охлаждение стенки резервуара до приемлемой температуры при минимальном значении некоторой величины.

При постановке задачи оптимизации учтем следующие особенности:

1. Струя воды должна достичь верхней кромки стенки резервуара с заданного расстояния.
2. Температура охлаждаемой стенки не должна превосходить

150°C.

3. Средняя по толщине водной пленки температура должна быть ниже температуры кипения

4. Тепловой поток от пожара не должен превосходить критического значения.

Прочностные характеристики стали резко ухудшаются при температуре порядка 400 – 500°C. Однако охлаждение до такой температуры недостаточно, т. к. при таких температурах стенки имеет место пленочное кипение, при котором возникает воздушная прослойка между стенкой и водной пленкой, что приводит к резкому уменьшению коэффициента теплоотдачи и неустойчивости процесса охлаждения. Поэтому в качестве приемлемой будем полагать температуру охлаждаемой стенки $T_{кр} = 150^\circ\text{C}$, при которой пленочного кипения не происходит [3].

В качестве критериев оптимальности могут быть приняты следующие критерии:

1. Минимум расхода воды пожарными стволами. Выбор такого критерия продиктован не только экономией воды в случае ее недостатка, но и тем, что скопление использованной воды в обваловании резервуара затрудняет действия подразделений МЧС.

2. Минимум количества личного состава, задействованного на работу со стволами по охлаждению горящего резервуара. Выбор такого критерия может быть вызван недостатком сил и средств после прибытия первых подразделений МЧС к месту пожара.

3. Минимум количества пожарных автомобилей, обеспечивающих работу стволов. Выбор такого критерия возможен, когда фактором, ограничивающим действия РТП, является количество доступных пожарных автомобилей.

Для вертикального стального резервуара заданного типа и с заданным нефтепродуктом определим такие условия подачи (количество и тип стволов, напор воды, расстояние до резервуара), которые бы обеспечивали минимум выбранной функции цели и выполнение ограничений 1-4. С целью упрощения будем полагать, что все стволы расположены на равном расстоянии от резервуара в вершинах правильного n -угольника, центр которого совпадает с центром основания резервуара.

С математической точки зрения это означает следующую задачу оптимизации:

$$F(n, d, h_b) \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$h_b \geq \frac{1}{2} \left(H + \sqrt{H^2 + L^2} \right); \quad (2)$$

$$\cos \frac{\pi}{n} \geq \frac{R}{R + \ell}; \quad (3)$$

$$T_c(\ell, n, d, h_B, D, H, h, T_\phi, \varepsilon_\phi) \leq T_{c.кр.}; \quad (4)$$

$$T_B(\ell, n, d, h_B, D, H, h, T_\phi, \varepsilon_\phi) \leq T_{кип.}; \quad (5)$$

$$q(\ell, n, d, h_B, D, H, h, T_\phi, \varepsilon_\phi) \leq q_{кр.}; \quad (6)$$

где ℓ – расстояние от резервуара до ствола; n – количество стволов; d – диаметр насадка; h_B – напор воды; D, H – диаметр и высота охлаждаемого резервуара; T_ϕ, ε_ϕ – температура и степень черноты факела, определяющие тепловой поток к сухой стенке резервуара; $T_{c.кр.}$ – критическое значение температуры сухой стенки ($T_{c.кр.} = 150^\circ\text{C}$); $T_{кип.} = 100^\circ\text{C}$ – температура кипения воды; $q_{кр.}$ – критическое значение плотности теплового потока от пожара в точке, где расположен ствол; T_c – температура стенки резервуара; T_B – температура воды, стекающей по стенке резервуара; q – плотность теплового потока от пожара в точке, где размещен пожарный ствол.

В частности, при выборе в качестве критерия оптимизации минимума расхода воды целевая функция (1) имеет вид:

$$F = n \cdot Q(d, h_B),$$

где Q – расход воды пожарным стволом (табл. 1).

Таблица 1 – Расход воды пожарными стволами

Ствол	Диаметр ствола, мм	Напор воды, м		
		20	40	60
Лафетный	25	9,7	13,6	21
А	19	5,4	7,4	9
Б	13	2,7	3,7	4,5

Ограничение (2) соответствует условию досягаемости водой верхней кромки резервуара. Ограничение (3) обусловлено геометрическими соображениями (рис. 1): максимально возможный угол охлаждения β (т.е. минимально возможное значение $\cos\beta$) достигается

при $\varphi = \frac{\pi}{2}$.

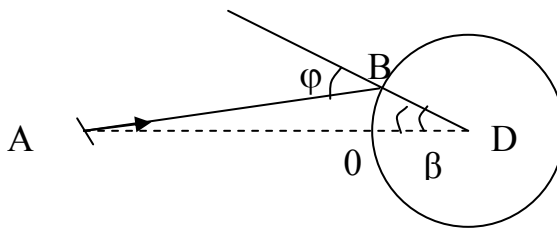


Рис. 1 – Определение угла падения струи на стенку резервуара

Ограничение (4) соответствует требованию о том, что температура стенки не должна превышать величины $T_{с.кр.} = 150^{\circ}\text{C}$. При этом зависимость температуры стенки от расстояния y до ее верхней кромки имеет вид [4]:

$$T_c(y) = T_2 + \frac{T_1 - T_2}{h} y, \quad (7)$$

где h – высота сухой стенки, а параметры T_1, T_2 определяются из модели нагрева сухой стенки горящего резервуара [4].

Ограничение (5) соответствует условию о том, что средняя температура стекающей воды не должна быть выше температуры кипения. Ограничение (6) накладывает требования на допустимую плотность теплового потока, приходящегося на ствольщиков. При плотности теплового потока менее $7,0 \text{ кВт/м}^2$ [1] работа ствольщиков не требует защиты водяной завесой. В противном случае такая защита нужна, и к целевой функции (1) должно быть добавлено слагаемое, равное расходу воды на защиту ствольщиков. Поэтому при решении задачи оптимизации 5 вначале следует решить задачу (1)-(6), т.е. (без ограничения на плотность теплового потока) защиты ствольщиков водяной завесой, а затем при (1)-(5), добавив при этом в целевую функцию слагаемое, равное расходу воды на защиту ствольщиков водяной завесой:

$$F = n \cdot Q(d, h_v) + nQ_{\text{защ}},$$

где $Q_{\text{защ}}$ – расход воды на защиту одного ствола.

После этого необходимо сравнить решение этих двух задач и выбрать решение, обеспечивающее меньший расход воды.

Особенностью задачи оптимизации (2)-(6) является то, что множество значений, которые могут принимать оптимизируемые величины n, h, d_v дискретно: n – целые числа (из геометрических соображений $n \geq 3$); d, h_v – определяются таблицей 4.2. Четвертый пара-

метр ℓ может принимать любое положительное значение. Кроме того ограничения (2)-(6) не линейны. В связи с этим применение классических методов оптимизации (метод наискорейшего спуска, метод Ньютона и др.) не представляется возможным. С другой стороны, малое количество допустимых значений параметров n , h , d_v позволяет осуществить полный перебор, определяя для каждой такой тройки оптимальное значение ℓ .

Это может быть выполнено следующим образом. Поскольку ℓ не входит в целевую функцию (1), а только в ограничение задачи, то достаточно выбрать любое ℓ , которое бы удовлетворяло неравенствам (2)-(6). Для этого будем перебирать значения от

$$\ell_1 = \frac{R}{\cos \frac{\pi}{n}} - R \quad (8)$$

до

$$\ell_2 = \sqrt{(2h_v - H)^2 - H^2} \quad (9)$$

с шагом $\Delta\ell$. Здесь (8) определяется ограничением (4), а (9) – ограничением (3). Величину шага целесообразно выбирать порядка 1м. Это с одной стороны не потребует большого объема вычислений, а с другой – если и будет пропущено значение ℓ^* , обеспечивающее выполнение условий (2)-(6), то практического применения оно не имеет, т.к. невозможно обеспечить такую точность расположения стволов.

В качестве примера рассмотрим выбор сил и средств для охлаждения горящего резервуара РВС-5000. В таблице 2 приведен результат работы алгоритма для различных нефтепродуктов (бензин, нефть, мазут) и различных уровней разлива (высота сухой стенки 2,5-7,5 м).

Таблица 2 – Выбор сил и средств для охлаждения горящего резервуара РВС-5000 по критерию минимизации расхода воды в зависимости от условий горения

Вид нефтепродукта	Высота сухой стенки, м	Тип ствола	Напор, м	Кол-во стволов	Расстояние, м	Расход воды, л/с	Интенсивность подачи воды л/(м ² , с)	Кол-во личного состава	Кол-во автомобилей
Бензин	2,5	А	40	11	6-18	81,4	1,23	30	10
	5	А	40	10	6-18	74	1,12	20	5
	7,5	Б	40	10	6-18	37	0,56	10	3
Нефть	2,5	Б	60	10	15	45	0,68	10	3

	5	Б	40	9	9-18	29,6	0,44	9	3
	7,5	Б	40	6	9-18	22,2	0,33	6	2
Мазут	2,5	Б	40	8	9-18	29,6	0,44	8	2
	5	Б	40	6	9-18	22,2	0,33	6	2
	7,5	Б	40	4	18	14,8	0,22	4	1

Выводы. Решена задача оптимального выбора сил и средств для охлаждения горящего резервуара по критерию минимума расхода воды. Область допустимых решений обусловлена ограничениями, связанными с досягаемостью струей воды резервуара, тепловым воздействием пожара на личный состав, и ограничениями, связанными с необходимостью охлаждения стенки резервуара до температуры ниже критической.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванников В.П. Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Иванников, П.П. Ключ. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.
2. Інструкція щодо гасіння пожеж у резервуарах із нафтою та нафтопродуктами: НАПБ 05.02.–03. – Офіц. вид. – К.: М-во з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи, 2003. – 81 с. – (нормативний документ МНС України. Інструкція).
3. Луканин В.Н. Теплотехника / В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Г.М. Камфер. – М.: Высшая школа, 2002. – 671 с.
4. Басманов А.Е. Математическая модель нагрева сухой стенки горящего резервуара с нефтепродуктом / А.Е. Басманов, А.А. Михайлюк // Проблемы пожарной безопасности. – 2008. – №23. – С. 35–40.
5. Басманов А.Е. Взаимодействие водной струи со стенкой резервуара при его охлаждении в условиях пожара / А.Е. Басманов, А.А. Михайлюк // Проблемы пожарной безопасности. – 2009. – №25. – С. 14–20.

A.A. Mikhailyuk

Selection of and means for cooling tank on fire.

A solution of the mathematical problem of optimal choice of forces and means for cooling the tank on fire on the criterion of minimum water flow.

Key words: reservoir, cooling flow rate.

A.A. Михайлюк

Вибір сил і засобів для охолодження горящих резервуара.

Наведено рішення математичної задачі оптимального вибору сил і засобів для охолодження палаючого резервуару за критерієм мінімуму витрат води.

Ключові слова: резервуар, охолодження, інтенсивність подачі.

УДК 621. 3

*В.К. Мунтян, канд. техн. наук, зав. каф. НУГЗУ,
А.Г. Подгорный, ст. преп., НУГЗУ,
Р.Г. Мелещенко, преп., НУГЗУ*

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОЖАРНОГО САМОЛЕТА АН-32П ПО ТУШЕНИЮ ЛАНДШАФТНЫХ ПОЖАРОВ В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ

(представлено д-ром техн. наук Комяк В.М.)

Определена область применения пожарного самолета Ан-32П для тушения ландшафтных пожаров в горной местности. Выработаны рекомендации для руководителя ликвидации ЧС.

Ключевые слова: ландшафтный пожар, горная местность, пожарный самолет Ан-32П.

Постановка проблемы. Тушение ландшафтных пожаров в горной местности при помощи пожарных автомобилей ограничено из условий их маневрирования и проходимости, а также ряда других факторов (угол опрокидывания, угол подъема и др.). В связи с этим все надежды по тушению пожаров в горной местности возлагаются на авиационную технику. Однако, авиационная техника имеет ряд технических и эксплуатационных ограничений, которые ограничивают возможности ее применения для тушения пожаров в горной местности. Владение информацией о данных ограничениях позволит руководителю ликвидации ЧС принять обоснованное решение по привлечению пожарной авиации для тушения пожаров в горной местности.

Анализ последних достижений и публикаций. Проблемы полетов в условиях повышенной турбулентности атмосферы, значительных градиентов температур воздушных потоков на входе в силовую установку рассматривались в работах [1-4]. Однако, все эти работы посвящены условиям устойчивости, управляемости самолетов и безопасности полетов. В работах [1,5] рассматриваются проблемы полетов на малых высотах. Проблему возможности применения пожарного самолета для тушения ландшафтных пожаров в горной местности с точки зрения безопасности полета в указанных работах не рассматривали.

Постановка задачи и ее решение. В данной статье будет рассмотрено влияние технических и эксплуатационных возможностей пожарного самолета Ан-32П при тушении ландшафтных пожаров в горной местности.

К таким характеристикам можно отнести: минимальная высота над уровнем наивысшего препятствия, тяговооруженность самолета (отношение силы тяги силовой установки к весу пожарного самолета), радиус разворота в горизонтальной плоскости и радиус кривизны

траектории в вертикальной плоскости, максимально допустимые углы атаки, ограничения связанные с полетом в условиях высокой турбулентности и значительных градиентов температур.

Ландшафтные пожары в горной местности по сравнению с равнинной местностью имеют ряд особенностей. В частности, форма контуров пожара в горах отличается тем, что фронт имеет форму вытянутых пальцев или выступов. В широких ложбинах из-за наличия большого количества горючего и хвойных молодняков интенсивность горения высокая. На склонах и в вершинах ложбин возникают верховые пожары. Движение конвективных потоков над очагом пожара имеет турбулентный характер с большим градиентом вертикальных скоростей. Для обеспечения однозначности расчетов создаются модели турбулентной атмосферы. В соответствии с одной из таких моделей [6] турбулентность делится на слабую и сильную. Нормированные характеристики ее приведены в таблице 1, где H – высота над уровнем моря, L – масштаб турбулентности (средняя протяженность порыва) b – значение средней квадратической скорости вертикальных порывов.

Таблица 1 - Нормированные характеристики турбулентной атмосферы

H, м	L, м	Слабая	Сильная
		b, м/с	b, м/с
0-300	150	0,826	3,25
300-600	150	1,00	2,99
600-3000	300	1,16	2,99
3000-6000	300	1,13	3,17
6000-9000	300	1,07	3,41
9000-12000	300	1,04	3,38

В зоне горения образуются мощные восходящие конвективные потоки, скорость которых может достигать 35 м/с. [7]. Известны случаи [8], когда самолеты, летящие на высоте 1800 м, опрокидывались. Сравнивая приведенные данные с таблицей, характеристику атмосферы над зоной пожара можно оценить как сильно турбулентную. По мере удаления от зоны пожара скорость восходящих потоков снижается. Вблизи поверхности земли образуются потоки воздуха направленные в зону пожара. Таким образом, при пожарах с большой интенсивностью могут образовываться вихри параллельные линии фронта пожара (рис. °1) [9].

Диаметр вихревых колец в зависимости от интенсивности горения может иметь значение от нескольких метров до нескольких сотен метров. В зоне вихря наблюдается значительный градиент вертикальной скорости и температуры.

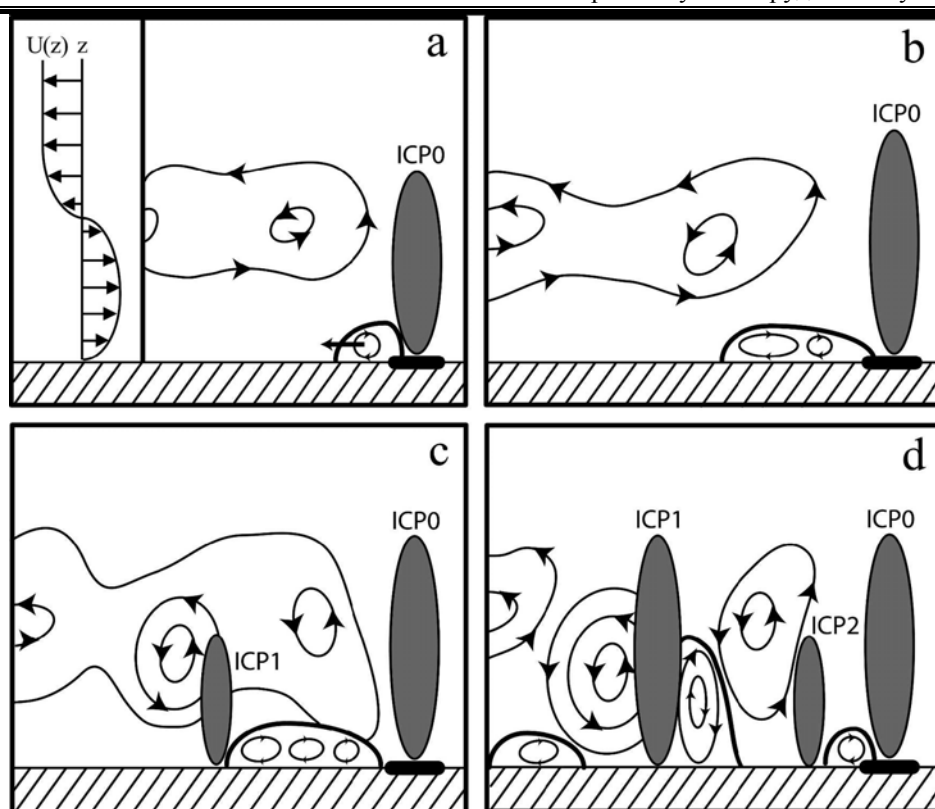


Рис. 1 – Образование горизонтальных вихрей в зависимости от интенсивности горения (ICP0, ICP1, ICP2 – обозначают условные интенсивности горения)

Наличие градиента температуры существенно оказывает влияние на устойчивость работы силовой установки летательного аппарата, особенно, если речь идет о турбовинтовом или турбовальном двигателе [10], вплоть до их выключения. Размах крыльев самолета Ан-32П составляет 29,2 м, что соизмеримо с размером вихря. В условиях наличия градиента вертикальных скоростей углы атаки на полуплоскости со стороны пожара будут больше чем на другой полуплоскости, что в свою очередь может вызвать резкое кренение пожарного самолета в сторону от пожара. На малых скоростях любое кренение сопровождается значительной потерей высоты. В связи со сказанным, для соблюдения условий безопасности полета, сам полет необходимо осуществлять за пределами значительных конвективных течений, т.е. необходимо либо увеличить высоту полета, либо полет осуществлять на удалении от фронта пожара превышающем размер вихря. Указанные явления приводят к снижению эффективности применения пожарного самолета Ан-32П и невозможности его применения для прямой атаки.

Тушение ландшафтного пожара на склонах гор возможно тремя способами:

1. Отсечение распространения пожара вдоль склона.

Для этого необходимо осуществлять сброс воды перпендикулярно склону в районе наиболее высокой точки (по склону) пожара. При этом вступают в действие следующие ограничения:

- дымовая завеса перекрывает кромку пожара, что снижает точность попадания при сбросе;

- крутизна склона не должна превышать 45 градусов. При более крутом склоне есть опасность столкновения с горой со стороны склона, чему может способствовать наличие градиента вертикальных скоростей воздушных потоков.

Попытка обеспечить безопасность полета путем увеличения высоты сброса приведет к резкому снижению эффективности применения пожарного самолета Ан-32П [11].

2. Отсечение распространения пожара перпендикулярно склону (параллельно флангам) при заходе на сброс со стороны вершины горы.

При такой тактике захода, вершина горы закрывает предполагаемое место сброса, что снижает точность выхода самолета на боевой курс. Сброс воды при снижении (пикировании) значительно снижает уровень безопасности полета на завершающем этапе маневра по причине возможности превышения максимально допустимой перегрузки при выходе из пикирования, а также наличия противоположного склона.

Таким образом, этот способ можно применять только при пожарах на холмах с пологими склонами.

3. Отсечение распространения пожара перпендикулярно склону при заходе на сброс в сторону вершины горы.

При таком способе, пожарный самолет у подножья холма (горы) переводится на кабрирование и осуществляет полет параллельно склону горы. Положительным является то, что летчик имеет полный обзор зоны пожара. Однако, при этом вступают в силу ограничения связанные с техническими возможностями летательного аппарата, в частности с тяговооруженностью. Для пожарного самолета Ан-32П тяговооруженность составляет 0.4, что позволяет выполнять горку без потери скорости с углом кабрирования 20-23 градуса, т.е. крутизна склона при этом способе тушения не должна превышать 23 градуса. При таком угле кабрирования и скорости сброса 250 км/ч угол атаки пожарного самолета близок к максимально допустимому по сваливанию. При сбросе воды он может дополнительно вырасти на 5°-6 градусов и превысить критический, что приведет к сваливанию самолета.

Следовательно, с учетом наличия значительной турбулентности воздуха, реальный угол склона горы не должен превышать 20 градусов.

Выводы. 1. Эффективное тушение ландшафтных пожаров в горной местности с помощью пожарного самолета Ан-32П возможно при угле склона, не превышающего 20 градусов. При пожарах на склонах с большей крутизной необходимо увеличивать высоту сброса, а сам сброс осуществлять с горизонтального полета учитывая, что эффективность тушения при этом уменьшается.

2. Из условий соблюдения безопасности полетов для тушения ландшафтных пожаров в горной местности следует применять тактику постановки заградительных полос.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н.М. Лысенко. Практическая аэродинамика маневренных самолетов. ВИМО ССР.- Москва.:1977.
2. Белоцерковский С.М., Дворак А.В., Желанников А.И., Котовский В.Н. Моделирование на ЭВМ турбулентных струй и следов. Проблемы турбулентных течений. М.: Наука, 1987.
3. Белоцерковский С.М., Ништ М.И. О моделировании турбулентного следа в идеальной среде. Турбулентные течения. М.: Наука, 1977.
4. Бондаренко В.М., Желанников А.И. Расчет основных характеристик дальнего аэродинамического следа за летательным аппаратом. Прикладные задачи аэромеханики. Харьков, ХАИ, 1987.
5. Antonov.com. АНТК им. О.К.Антонова. Самолет для тушения лесных пожаров Ан-32П
6. Нормы лётной годности для гражданских транспортных самолётов (НЛГС-3).
7. Орловский С.Н. Лесные и торфяные пожары, практика их тушения в условиях Сибири. Красноярск: Краснояр. гос. аграр. ун-т., 2003.- 163 с.
8. Валендик Э. Н., Матвеев П. М., Софронов М. А. Крупные лесные пожары. М., 1979. 198 с.
9. Michael T. Kiefer A. 2007. Study of Two-Dimensional Dry Convective Plume Modes with Variable Critical Level Height. Journal of the atmospheric sciences, 448 – 469.
10. Нечаев Ю.Н., Федоров Р.М., Говоров А.Н. Теория авиационных двигателей. Ч.2. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1974.
11. Кириченко И.К., Мунтян В.К., Мелещенко Р.Г. Моделирование параметров сброса воды с пожарного самолета Ан-32П на основании данных полученных «sup-and-grid» методом // Проблемы пожарной безопасности. – 2010. - № 28 – С. 86-92.

Мелещенко Р.Г.

Аналіз технічних можливостей пожежного літака Ан-32П по гасінню ландшафтних пожеж у гірській місцевості

Визначена область застосування пожежного літака Ан-32П для гасіння ландшафтних пожеж у гірській місцевості. Вироблені рекомендації для керівника ліквідації НС.

Ключові слова: ландшафтна пожежа, гірська місцевість, пожежний літак Ан-32П.

Meleschenko R.G.

Analysis of technical capabilities firefighting plane An-32P-fighting fires landscape in the highlands

The range of firefighting plane AN-32P to extinguish the fires of landscape in the highlands. Recommendations to the head of the emergency response.

Keywords: landscape fire, mountain terrain, fire aircraft An-32P.

УДК 624.012

*С.В. Поздеев, канд. техн. наук доцент, нач. кафедры,
АПБ им. Героев Чернобыля*

ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ УТОЧНЕННОГО РАСЧЕТНОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛОВ ОГНЕСТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

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

В статье приведены результаты разработки методов верификации результатов расчета пределов огнестойкости железобетонных конструкций уточненными методами на базе моделирования их напряженно-деформированного состояния в условиях пожара.

Ключевые слова: предел огнестойкости, железобетонные конструкции, уточненный расчетный метод, верификация результатов.

Постановка проблемы. Для определения пределов огнестойкости несущих железобетонных строительных конструкций является перспективным использование расчетных методов на базе математического моделирования напряженно-деформированного состояния их элементов при пожаре. Данной проблеме посвящены многочисленные публикации [1], но, анализируя научные исследования в этом направлении, следует отметить то, что на данное время не существует четких упорядоченных методик для данных методов, а также подходы таких методов не учитывают технологических и эксплуатационных аспектов конкретных железобетонных конструкций. Кроме этого, при применении данных методов промежуточные результаты, полученные на каждом этапе расчета, должны подвергаться тщательному анализу их достоверности, а методы такого анализа разработаны недостаточно. При устранении указанных недостатков возможна полная, или частичная замена дорогостоящих и трудоемких огневых испытаний железобетонных конструкций на огнестойкость расчетными процедурами для их окончательной аттестации по огнестойкости при анализе пожарной безопасности широкого класса зданий и сооружений на стадиях проектирования, возведения и эксплуатации.

Анализ последних исследований и публикаций. При разработке уточненных расчетных методов важным представляется вопрос корректного определения свойств материалов. Современные нормы многих стран, таких как страны Евросоюза и Российская Федерация, наряду с упрощенными методами, что базируются на инженерных методиках расчета сопротивления материалов, рекомендуют приме-

нение уточненных расчетных методов, которые основаны на применении положений теории упругости, теории пластичности и теории разрушения. Тем не менее, в данных нормах нет четких рекомендаций относительно выбора базовых математических моделей поведения железобетона и численной реализации уравнений напряженно-деформированного состояния (НДС). Кроме этого, в нормативных документах, например [2, 3], даны четкие математические модели свойств материалов, что подразумевает необходимость их применения для расчетов пределов огнестойкости железобетонных конструкций при проектировании зданий и сооружений на практике, но данные модели не учитывают технологических и эксплуатационных особенностей материалов и конструкций. Также анализируя имеющийся опыт применения уточненных методов следует сказать, что отсутствует система верификационных процедур получаемых результатов [4] при их применении.

Постановка задачи и ее решение. Целью данной работы является разработка методов верификации результатов, полученных при применении уточненных расчетных методов определения пределов огнестойкости железобетонных строительных конструкций.

На основе анализа моделей силового сопротивления элементов железобетонных конструкций при механических и температурных нагрузках, которые, например, описаны в работах [4, 5], нами был предложен обобщенный инженерный подход к численной реализации уточненного расчетного метода определения пределов огнестойкости элементов несущих железобетонных конструкций при их работе в условиях огневого воздействия «стандартного» пожара. Разработанный комплекс методик и процедур, необходимых для осуществления разработанного уточненного расчетного метода определения пределов огнестойкости несущих железобетонных конструкций показан в виде структурной схемы на рис. 1.

При определении комплекса теплофизических и механических свойств бетона и арматурной стали предлагается экспериментально-расчетный метод, структурная схема которого показана на рис. 2. Согласно данной структурной схеме определение параметров температурных зависимостей теплофизических и механических свойств материалов производится посредством решения обратных задач идентификации по результатам лабораторных испытаний, которые решаются с помощью численных оптимизационных методов минимизации квадратичной невязки [5].

Для нахождения предела огнестойкости по несущей способности необходим расчет НДС элемента железобетонной конструкции в контрольные моменты времени развития пожара, определяемые через каждую 1 мин [5]. При реализации расчета рекомендуется ис-

пользовать одну из компьютерных систем [5]. При определении предела огнестойкости рекомендуется использовать разработанную методику определения предела огнестойкости по рассчитанным параметрам НДС элемента в условиях пожара, схема алгоритма которой показана на рис. 3.

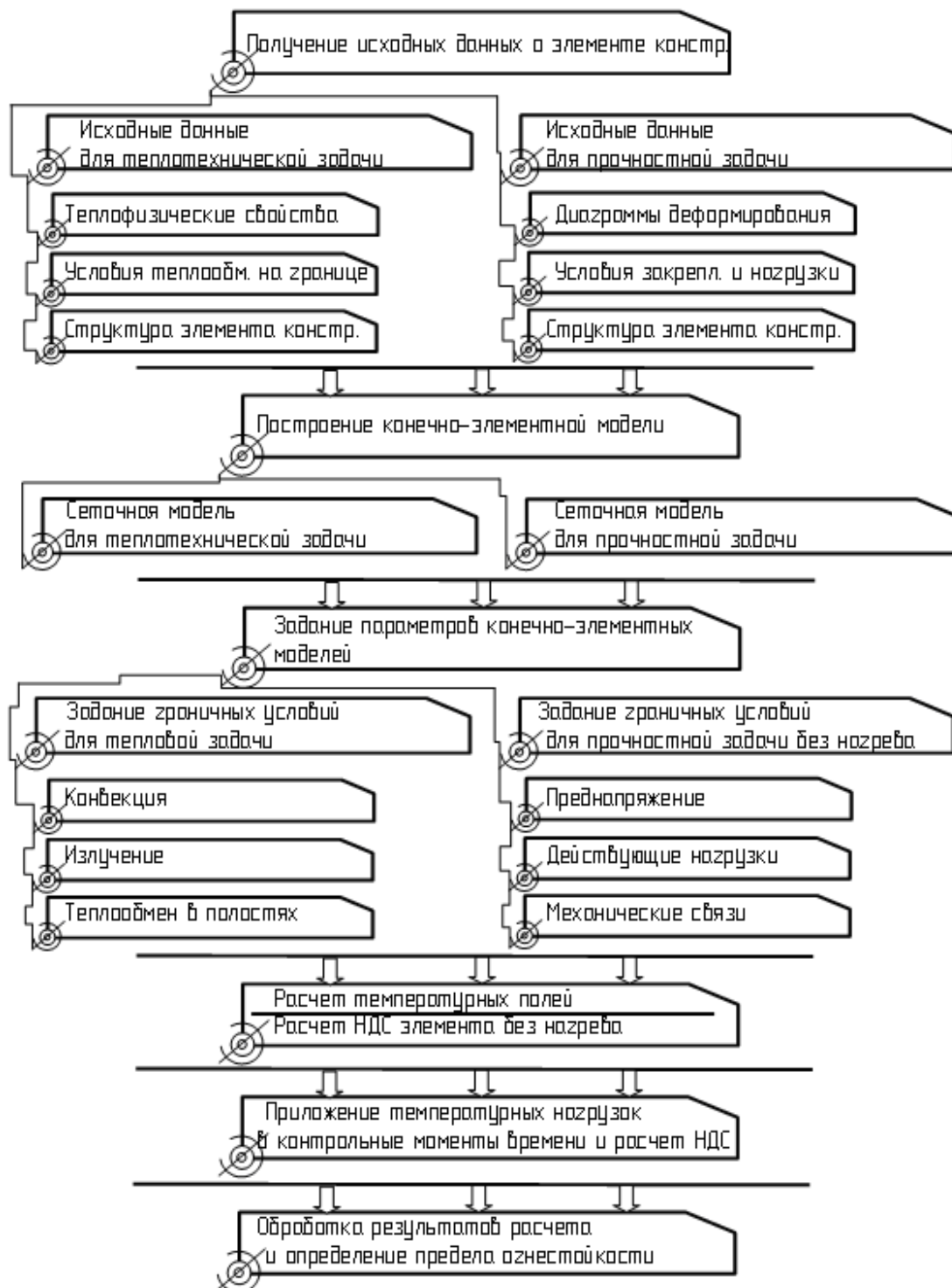


Рис. 1 – Общая структурная схема уточненного расчетного метода определения огнестойкости стали несущих железобетонных конструкций



Рис. 2 – Структурная схема получения комплекса свойств бетона и арматурной стали в условиях нагрева экспериментально-расчетным методом

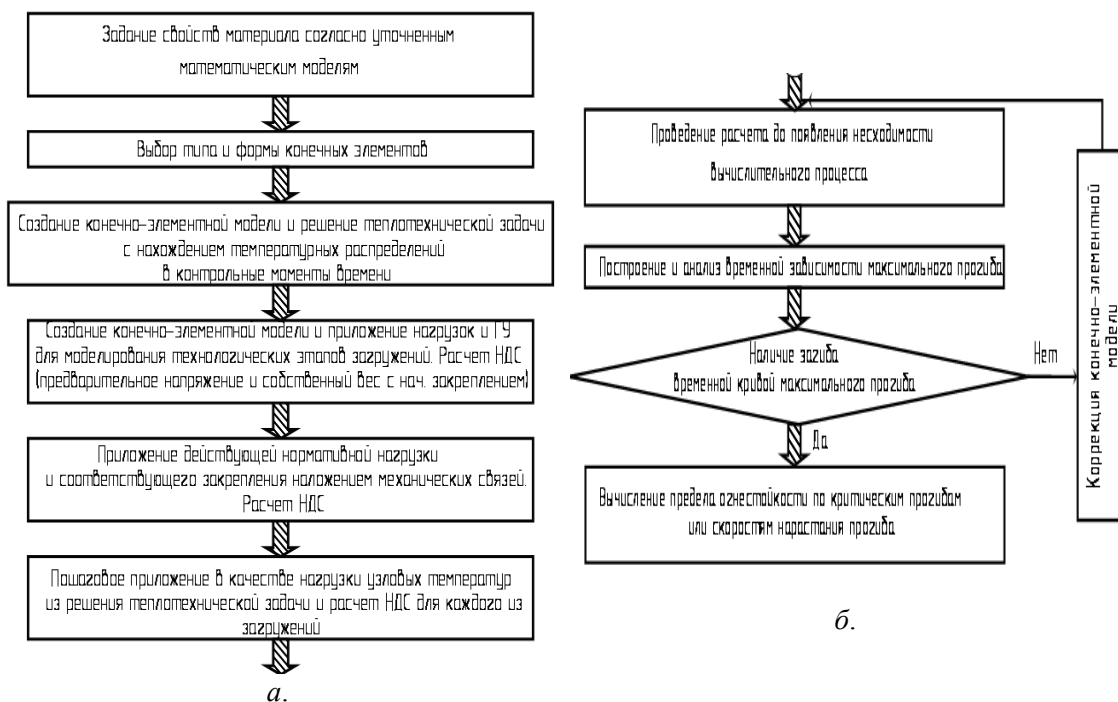


Рис. 3 – Структурная схема расчета напряженно-деформированного состояния элемента конструкции в условиях пожара (а) и алгоритм определения предела огнестойкости по полученным данным (б).

Для определения пределов огнестойкости по полученным расчетным данным о НДС элементов железобетонных конструкций необходимо иметь определенный комплекс его параметров, которые

позволяют это сделать. В табл. 1 приведена структура расчетных данных НДС элементов в условиях пожара для осуществления разработанной методики определения предела огнестойкости при применении уточненного расчетного метода.

Таблица 1 - Структура постпроцессорных данных для определения предела огнестойкости несущих железобетонных конструкций

№, п/п	Определяемые данные	Необходимые результаты расчета
1.	Сценарий и причины разрушения элемента несущей железобетонной конструкции при пожаре	Распределение упругих, пластических, температурных относительных деформаций и напряжений. Распределение дефектов по пространству элемента
2.	Предел огнестойкости	Временные зависимости упругих, пластических, температурных относительных деформаций и напряжений, а также максимальных глобальных перемещений (прогибов)

Учитывая вышеизложенное был разработан метод верификации, основанный на поэтапной проверке получаемых предварительных и окончательных результатов расчета НДС элементов железобетонных конструкций в условиях пожара. Согласно положениям разработанного метода верификация результатов происходит при согласовании параметров, приведенных в табл. 2.

Таблица 2 - Параметры, по которым проводится верификация предела огнестойкости несущих железобетонных конструкций по уточненному методу

№, п/п	Параметр, по которому проводится верификация	Способ проведения верификации
1.	Время достижения в арматуре изгибаемых элементов критической температуры (~ 500 °С)	Сравнение времени достижения критической температуры в арматуре и предела огнестойкости (должны иметь близкие значения с откл. 10 – 15 мин).
2.	Предел огнестойкости, полученный одним из упрощенных методов	Сравнение пределов огнестойкости, полученной разными упрощенными методами (должны иметь близкие значения с откл. 10 – 20 %).
3.	Возникновение пластических деформаций в бетоне	Сравнение уровней нагрузок при достижении первых пластических деформаций в бетоне с результатами упрощенного расчета для данного предельного состояния (откл. 10 – 20 %).
4.	Возникновение первых трещин в растянутых слоях бетона.	Сравнение уровней нагрузок при достижении первых повреждений в бетоне с результатами упрощенного расчета для данного предельного состояния (откл. 10 – 20 %).
5.	Величина относительных температурных деформаций в бетоне и арматуре для данной температуры	Проверка соответствия величин температурной деформации бетона и арматуры законам температурных деформаций, установленных для заданного материала (откл. 10 – 20 %).

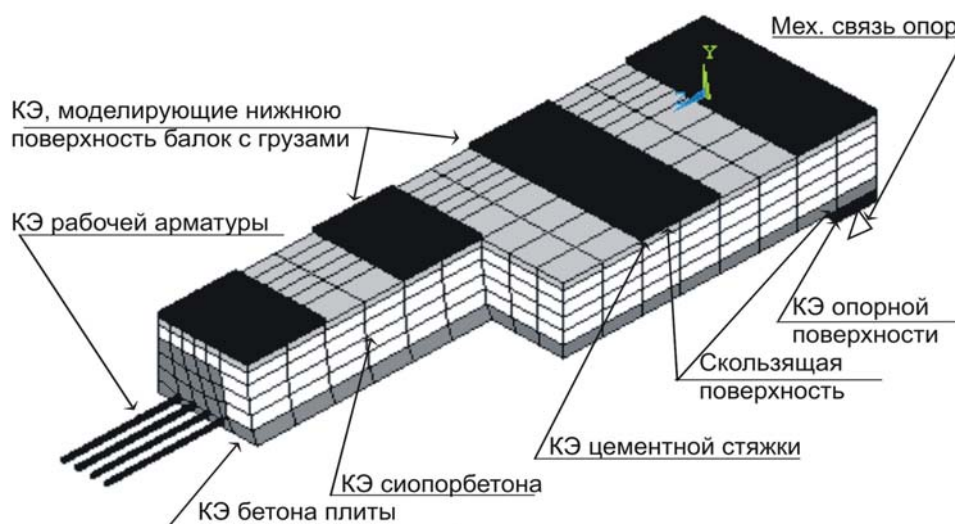


Рис. 4 – Конечно-элементная модель железобетонной плиты для решения теплотехнической задачи.

В табл. 3 показаны определенные пределы огнестойкости.

Таблица 3 - расчетные значения пределов огнестойкости предварительно напряженной ребристой железобетонной плиты

№ П/П	МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ	U, МИН
1.	ОГНЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ (ПЛИТА №1)	67
2.	ОГНЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ (ПЛИТА №2)	69
3.	EUROKODE 2 EN 1992-1-2: 2004 [8]	80
4.	УТОЧНЕННЫЙ РАСЧЕТНЫЙ МЕТОД	75

Для оценки адекватности полученных данных был проведен анализ результаты которого приведены в табл. 4.

Таблица 4 - результаты анализа адекватности результатов расчета напряженно-деформированного состояния преднапряженной ребристой плиты

№, П/П	ПАРАМЕТР	ЕДИНИЦЫ ИЗМЕР.	МАКСИМАЛЬНОЕ АБС. ОТКЛ.	СРЕДНЕЕ ОТН. ОТКЛОНЕНИЕ, %	СРЕДНЕКВАДРАТ. ОТКЛ., ММ
БАЗОВЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СВОЙСТВ EN 1992-1-2:2005 EUROCODE 2 [12]					
	МАКСИМАЛЬНЫЙ ПРОГИБ	ММ	173	25	29
	ТЕМПЕРАТУРА В АРМАТУРЕ	°С	120	15	75
	ПРЕДЕЛ ОГНЕСТОЙКОСТИ	МИН	18	22,1	--
УТОЧНЕННЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СВОЙСТВ					
	МАКСИМАЛЬНЫЙ ПРОГИБ	ММ	185	16	5,58
	ТЕМПЕРАТУРА В АРМАТУРЕ	°С	54	4	23
	ПРЕДЕЛ ОГНЕСТОЙКОСТИ	МИН	5	7,5	--

В табл. 5 показаны результаты верификации результатов расчета, проведенные с использованием разработанного метода.

Таблица 5 - Параметры, по которым проводится верификация предела огнестойкости несущих железобетонных конструкций по уточненному методу

№, п/п	Способ проведения верификации	Результаты	
		Для свойств Eurocode 2	Уточненные модели
1.	Разница времени достижения критической температуры в арматуре и предела огнестойкости, мин.	14	9
2.	Отклонение пределов огнестойкости, от значений, полученными разными упрощенными методами, %.	12	15
3.	Отклонение величин нагрузок при достижении первых пластических деформаций в бетоне от результатов упрощенного расчета для данного предельного состояния, %.	17	9
4.	Отклонение величин нагрузок при достижении первых повреждений в бетоне от результатов упрощенного расчета, %.	19	5
5.	Отклонение величин температурной деформации компонентов от законов температурных деформаций, установленных для них в модели, %.	12	7

Согласно расчетам, проведенным для ребристой преднапряженной железобетонной плиты с применением уточненного метода и метода верификации результатов данных расчетов, суммарная погрешность рассчитанных параметров НДС железобетонной плиты в условиях испытаний на огнестойкость для результатов расчета по характеристикам свойств, полученных по более грубым моделям Eurocode 2 составляет около 16 %, тогда как результаты, полученные по уточненным характеристикам дают погрешность в среднем не более 7 %. Данные результаты говорят о высокой эффективности разработанного метода верификации полученных результатов расчета.

Выводы. В результате проведенных исследований разработан метод верификации результатов расчета пределов огнестойкости по уточненному методу и показана его высокая эффективность вследст-

вие его чувствительности к точности применяемых математических моделей свойств компонентов железобетона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мосалков И.Л. Огнестойкость строительных конструкций / Мосалков И.Л., Плюснина Г.Ф., Фролов А.Ю. – М.: ЗАО «СПЕЦТЕХНИКА», 2001. – 496 с.
2. Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. СТО 36554501-006-2006 – [Введен в действие 1996-01-01] – М., 2006. – 77 с. – (Национальный стандарт РФ).
3. EN 1992-1-2:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures Part 1-2: General rules - Structural fire design, Brussels, 2004.
4. Клованич С.Ф. Метод конечных элементов в механике железобетона : [монография] / Клованич С.Ф., Мироненко И.Н. – Одесса: ОНМУ, 2007. – 110 с.
5. Поздеев С.В. Экспериментально-расчетный метод определения механических характеристик бетона в условиях нагрева/ Поздеев С.В. // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: УГЗУ. – Вып. 28. – 2010. – С. 133–141.

С.В. Поздеев

Верифікація результатів уточненого розрахункового методу визначення меж вогнестійкості залізобетонних конструкцій

У статті подані результати щодо розробки методів верифікації результатів розрахунку меж вогнестійкості залізобетонних конструкцій за уточненими методами на базі моделювання їх напружено-деформованого стану в умовах пожежі.

Ключові слова: межа вогнестійкості, залізобетонні конструкції, уточнений розрахунковий метод, верифікація результатів

S.V. Pozdeyev

Verification of results of the specified calculation method of determination of limits of fire-resistance of reinforced concrete constructions

In the article the results of development of methods of verification of results calculation of limits of fire-resistance reinforced concrete constructions are resulted by the specified methods on the base of design of their tense-deformed state in the conditions of fire.

Keywords: limit of fire-resistance, reinforced concrete constructions, specified calculation method, verifikation of results

УДК 614.84

О.В. Савченко, канд. техн. наук, ст. наук. співр., ст. виклад. НУЦЗУ,
О.О. Кіреєв, канд. хіміч. наук, доцент НУЦЗУ,
О.О. Островець, канд. пед. наук, доцент, нач. каф. НУЦЗУ

**ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ВОГНЕГАСНОЇ ЗДАТНОСТІ
ОПТИМІЗОВАНОГО КІЛЬКІСНОГО СКЛАДУ
ГЕЛЕУТВОРЮЮЧОЇ СИСТЕМИ $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$
НА СТАНДАРТИЗОВАНОМУ МОДЕЛЬНОМУ ВОГНИЩІ
ПОЖЕЖІ**

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

В роботі експериментально визначено показник вогнегасної здатності оптимізованого кількісного складу гелеутворюючої системи $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ на стандартизованому модельному вогнищі пожежі класу 1А, який склав $1,39 \text{ кг/м}^2$. За результатами досліджень встановлено, що за вогнегасною здатністю дана гелеутворююча система переважає воду на 40%.

Ключові слова: гасіння, гелеутворююча система, показник вогнегасної здатності, модельне вогнище пожежі.

Постановка проблеми. Протягом останніх років кількість пожеж в Україні залишається стабільною і складає від 44 тис. до 50 тис. Тому робота по розробці нових вогнегасних речовин (ВР) вогнегасна ефективність яких переважає відомі аналоги залишається актуальною проблемою. Найбільш поширеною ВР в Україні залишається вода.

За різними даними коефіцієнт використання води на пожежі складає від 2 до 20%. [1,2]. Це багато в чому визначається втратами за рахунок стікання з вертикальних і похилих поверхонь. Іншим фактором неповного використання ВР є ефект утворення між краплями води і нагрітою поверхнею матеріалу парової плівки, яка ускладнює теплообмін [3].

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Зменшити втрати ВР при пожежогасінні можна при використанні гелеутворюючих систем (ГУС) [4].

Аналіз літератури [5-7] свідчить, що за рядом показників найбільш перспективною вогнегасною ГУС є $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$.

В роботі [8] наведено результати експериментального дослідження впливу ГУС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, ГУС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{MgSO}_4$, ГУС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2$ на матеріали, які поширені у житловому секторі. Встановлено, що гелеві плівки легко видаляються

механічним способом через 48 годин, не пошкоджуючи поверхню матеріалів.

За допомогою моделі гасіння пожежі постійної площі з урахуванням часу повторного займання, кількісного та якісного складу горючого завантаження в роботі [9] була проведена оптимізація ГУС $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ для гасіння пожеж у будівлях житлового сектору. Розрахунками встановлено, що час гасіння квартири з середньостатистичним горючим завантаженням за допомогою ГУС CaCl_2 11,4% – $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$ 3,8% – H_2O 84,8% менше часу гасіння за допомогою води на 30%.

В роботі [10] експериментально визначено показник вогнегасної здатності (ПВЗ) ГУС CaCl_2 11,4% – $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$ 3,8% – H_2O 84,8% у лабораторних умовах на модельних вогнищах пожежі класу А малого розміру. Штабель складався з 32 брусків з деревини, розміром $20 \times 20 \times 150$ мм, покладених у 8 шарів по 4 бруска в кожному. ПВЗ склав $1,34 \text{ кг/м}^2$. Встановлено, що за вогнегасною здатністю дана ГУС переважає воду на 30%.

Подальші дослідження властивостей даної ГУС для цілей пожежогасіння потребують визначення її ПВЗ на стандартизованому модельному вогнище пожежі. Згідно [11] ПВЗ це маса ВР, що припадає на одиницю площі модельного вогнища пожежі або об'єму модельної споруди з модельним вогнищем пожежі, достатня для впевненого гасіння в ньому в умовах стандартного експерименту. Підвищенню ефективності пожежогасіння відповідає зменшення чисельного значення ПВЗ.

Постановка задачі та її розв'язання. Метою роботи є експериментальне визначення ПВЗ ГУС CaCl_2 11,4% – $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$ 3,8% – H_2O 84,8% на стандартизованому модельному вогнищі пожежі класу 1А. Вогнище являє собою штабель з 72 дерев'яних брусків, укладених в 12 шарів по 6 у кожному довжиною 50 мм з поперечним перерізом у вигляді квадрату зі стороною 40 мм згідно [12]. Для виготовлення штабелів використовувалися заготовки з сосни звичайної за ГОСТ 9685 з вологістю у межах $(10 \div 14)\%$. Площа відкритих поверхонь штабелю складала $4,7 \text{ м}^2$.

На електронні платформні ваги ТСS (клас точності 3) встановлювалася теплоізолююча підставка та металева стійка із сталевих кутків розміром $500 \text{ мм} \times 40 \text{ мм} \times 4 \text{ мм}$, та визначалась їх маса. Потім на підставці збирався штабель, і проводилось його зважування з підставкою. За різницею мас розраховувалася маса штабеля. Після цього під штабель вводилось металеве деко розміром $400 \text{ мм} \times 400 \text{ мм} \times 100 \text{ мм}$. Деко встановлювалося горизонтально, дно покривалося шаром води товщиною 30 мм, до нього заливалось 1,1 л бензину А-76 згідно ГОСТ 2084 (рис. 1).

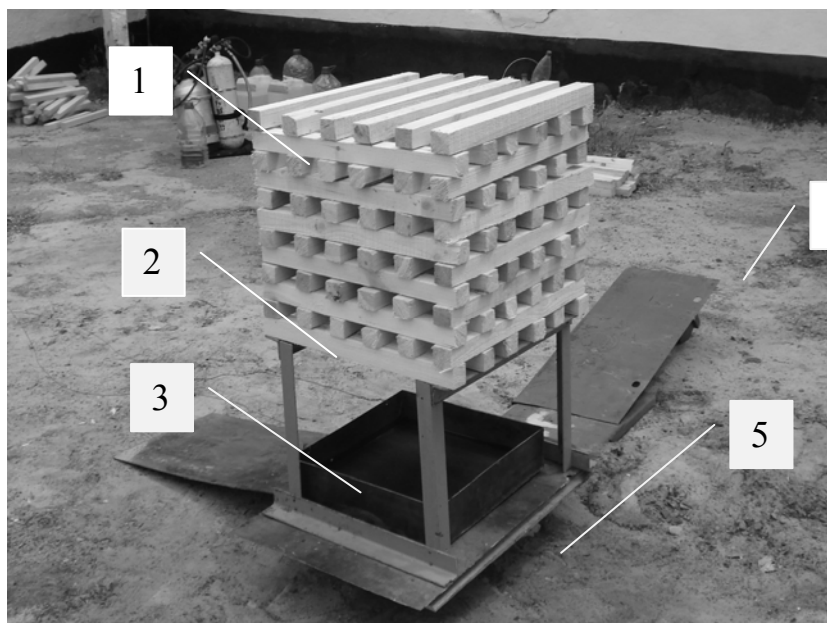


Рис. 1 – Загальний вид стандартизованого модельного вогнища перед початком експерименту: 1 – штабель з дерев'яних брусків; 2 – металеві стійки; 3 – деко для підпалу штабелю; 4 – виносне табло; 5 – платформа

Випробування проводились на відкритому просторі при швидкості вітру $1 \div 2$ м/с, при температурі повітря 29°C . Умови гасіння витримувалися згідно [12]. Пальне підпалювалось, після його вигорання (120-160 с) деко забиралось з-під штабелю (рис. 2).



Рис. 2 – Горіння стандартизованого модельного вогнища

Після вигорання ($45 \div 2\%$) маси штабелю, (400-440 с вільного горіння), з відстані 1,8 м починалось гасіння стандартизованого модельного вогнища. Подача ВР відбувалось за допомогою автономної установки гасіння гелеутворюючими системами [13], яка була модернізована що забезпечило витрату ВР 5 л/хв. (рис. 3, 4).



Рис. 3 – Гасіння стандартизованого модельного вогнища



Рис. 4 – Стандартизоване модельне вогнище після гасіння ГУС CaCl_2 11,4% – $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$ 3,8% – H_2O 84,8%

Маса ВР, яку було витрачено на гасіння, визначалася шляхом зважування установки до початку гасіння і після нього. Для порів-

няння також проводилось гасіння штабелів водою. Для кожного виду ВР досліди проводились до отримання трьох позитивних результатів. Результати досліджень наведені в табл.1.

Таблиця 1 – Результати експериментального визначення показника вогнегасної здатності

Вогнегасна речовина	Маса ВР витраченої для гасіння модельного вогнища, кг	Показник вогнегасної здатності, кг/м ²
Вода	10,81	2,29
ГУС CaCl ₂ 11,4% – Na ₂ O·2,95SiO ₂ 3,8% – H ₂ O 84,8%	6,53	1,39

Отримані дані корелюють з результатами отриманими в роботі [10] де ПВЗ для досліджуваної ГУС визначений при гасіння модельного вогнища меншого розміру склав 1,34 кг/м².

Аналіз отриманих даних свідчить, що за ПВЗ ГУС CaCl₂ 11,4% – Na₂O·2,95SiO₂ 3,8% – H₂O 84,8% переважає воду на 40%.

Візуальні спостереження за процесом гасіння модельного вогнища і поведінкою штабелів після припинення полум'яного горіння засвідчили, що на поверхнях штабелів утворювався стійкий шар гелю, який протидіяв повторному займанню. Також слід відмітити, що при використанні пневматичного способу подачі ВР збільшився розпил ГУС. Цей факт позитивно вплинув на ефективність гасіння.

Висновки. В результаті досліджень встановлено ПВЗ ГУС CaCl₂ 11,4% – Na₂O·2,95SiO₂ 3,8% – H₂O 84,8% який склав 1,39 кг/м². Даний склад ГУС за ПВЗ переважає воду на 40%. Результати випробувань свідчать про доцільність подальших досліджень вогнегасних та вогнезахисних властивостей даної системи. Одним з яких є, наприклад, виготовлення партії дослідних зразків автономної установки гасіння гелеутворюючими системами для проведення розширених випробувань ГУС на реальних пожежах, що дозволить отримати різнобічну інформацію щодо практики їх застосування та напрямків подальшого вдосконалення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Захматов В.Д. Новые методы и техника для тушения лесных пожаров / В.Д. Захматов, Н.Я. Откидач, Н.В. Щербак // Пожаровзрывобезопасность. 1998. – №4. – С.69-77.

2. Лінчевський Є.А. Розробка тактичного забезпечення до імпульсних вогнегасників / Є.А. Лінчевський, В.В. Сировой // Пожежна безпека: Науковий збірник. Ч.3, Черкаси: 1999. – С. 21-23.

3. Харченко И.А. Теплообмен при взаимодействии жидкостных средств пожаротушения с нагретой поверхностью / И.А. Харченко, Э.Г. Братута, В.В. Хмельницкий // Порошковое пожаротушение: Сб. научн. трудов. М., ВНИИПО, 1993. С. 60-64.

4. Киреев А.А. Перспективные направления снижения экономического и экологического ущерба при тушении пожаров в жилом секторе / А.А. Киреев, К.В. Жерноклёв, А.В. Савченко // Науковий вісник будівництва: Зб. наук. праць. – Харків ХДТУБА, ХОТВ, АБУ, 2005. – Вип. 31 – С. 295–299.

5. Абрамов Ю.А. Исследование областей быстрого гелеобразования огнетушащих и огнезащитных систем на основе гидроксидов и карбонатов / Ю.А. Абрамов, А.А. Киреев, К.В. Жерноклёв // Науковий вісник будівництва: Зб. наук. праць. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ, АБУ, 2006. – Вип. 36. – С.190–194.

6. Киреев А.А. Исследование концентрационных областей быстрого гелеобразования в огнетушащих системах на основе силиката натрия / А.А. Киреев, В.М. Романов, Г.В. Тарасова // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков, 2004. – Вып.15. – С. 107 – 110.

7. Киреев А.А. Определение областей быстрого гелеобразования в огнетушащих системах $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{MgCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ и $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{FeSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ / А.А. Киреев, В.М. Романов, А.В. Александров // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков, 2004. – специальный вып. – С. 34–37.

8. 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.

9. Савченко О.В. Оптимізація кількісного складу гелеутворюючої системи для гасіння пожеж об'єктів житлового сектору / О.В. Савченко, О.О. Киреев // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. УГЗ Украины – Харьков, 2009 – Вып. 25. – С.162 – 166.

10. Савченко О.В. Експериментальне визначення вогнегасної здатності оптимізованого кількісного складу гелеутворювальної системи $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95 \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ / О.В. Савченко // Пожежна безпека: Зб. наук. праць. – Львів, 2010. – Вип. 16. – С.109 – 114.

11. Пожежна безпека. Терміни та визначення. Терміни та визначення основних понять: ДСТУ 2272 – [Чинний від 2007-07-01] – К.: Держстандарт України, 2006. – 33 с. (Національний стандарт України).

12. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань: ДСТУ 3675–98 [Чинний від 1998-01-30]– К.: Держстандарт України, 1998. – 31 с. (Національний стандарт України).

13. Савченко О.В. Результати натурного випробування оптимізованого кількісного складу гелеутворюючої системи у типових умовах пожежі житлового сектору / О.В. Савченко // Проблеми пожарной безопасности: Сб. науч. тр. УГЗ Украины – Харьков, 2009. Вып. 26. – С.121 – 125.

А.В. Савченко, А.А. Киреев, О.А. Островерх

Определение показателя огнетушащей способности оптимизированного количественного состава гелеобразующей системы $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95 \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ на стандартном модельном очаге пожара.

В работе экспериментально определен показатель огнетушащей способности оптимизированного количественного состава гелеобразующей системы $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95 \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ на стандартном модельном очаге пожара класса 1А, который составил $1,39 \text{ кг/м}^2$. В результате исследований установлено, что по огнетушащей способности данная гелеобразующая система превосходит воду на 40%.

Ключевые слова: тушение, гелеобразующая система, показатель огнетушащей способности жилой сектор, модельный очаг пожара.

O.V. Savchenko, O.O. Kireev, O.O. Ostroverx

Determination of Fire-fighting ability is optimized nogo-quantitative composition of the gel-forming system $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95 \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ on the standard model fire.

We experimentally determined rate of fire extinguishing ability of the optimized quantitative composition of the gel-forming $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95 \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ on the standard model fire class 1A, which amounted to $1,39 \text{ kg/m}^2$. The studies found that the extinguishing ability of this gelling system is superior to water at 40%.

Keywords: quenching, gel-forming system, the rate of fire extinguishing ability residential sector, the model fire.

УДК 614.8

О.М. Семкив, канд. техн. наук, проректор, НУГЗУ

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОВЫХ ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ

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

Проведен анализ характеристик и параметров тепловых пожарных извещателей.

Ключевые слова: тепловой пожарный извещатель, постоянная времени, время срабатывания, температура срабатывания

Постановка проблемы. Эффективное обнаружение пожара непосредственно связано с уровнем развития систем раннего обнаружения опасных факторов пожара. В этой связи одной из проблем является определение возможных направлений развития таких систем.

Анализ последних исследований и публикаций. Наиболее подробно исследованы системы пожарной сигнализации в [1, 2], однако за последние годы отсутствуют исследования, направленные на выявление перспективных направлений развития таких систем. Рядом авторов [3÷5] исследованы возможности одного из элементов таких систем – тепловых пожарных извещателей, однако общий подход, направленный на выявление состояния дел с элементами такого плана отсутствуют.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является анализ характеристик и параметров тепловых пожарных извещателей.

В качестве основных моделей, описывающих процессы в ТПИ, используются обычные дифференциальные уравнения [2] и реже передаточные функции [1].

Если чувствительный элемент ТПИ имеет малую активную площадь поверхности и является однородным, то без учета изменения температуры вдоль внешней нормали к поверхности контакта воздушной среды с чувствительным элементом дифференциальное уравнение такого пожарного извещателя имеет вид [3]:

$$\tau \frac{d\theta(t)}{dt} + \theta(t) = T(t), \quad (1)$$

где $\theta(t)$, $T(t)$ – температура чувствительного элемента ТПИ и температура окружающей среды соответственно; τ – постоянная времени

$$\tau = \frac{mc}{\alpha S}; \quad (2)$$

m – масса чувствительного элемента; c – удельная теплоемкость; α

– коэффициент теплоотдачи поверхности, площадь которой равна S .

Передаточная функция, соответствующая дифференциальному уравнению (1), равна

$$W(p) = (\tau p + 1)^{-1}. \quad (3)$$

Следует отметить, что модель вида (1) распространяется на системы с сосредоточенными параметрами и по существу относится к математическим моделям феноменологического типа. В моделях такого типа не учитывается целый ряд обстоятельств и факторов, в частности, не учитываются условия теплообмена чувствительного элемента с окружающей средой.

Более точно описываются тепловые процессы в ТПИ с использованием математических моделей, в основе которых лежит использование нестационарного уравнения теплопроводности [3]. В [4] для различных типов ТПИ получены их математические модели, принадлежащие классу дробно-рациональных передаточных функций. В основе разделения ТПИ по типам лежит использование того или иного физического эффекта или явления. Независимо от физического эффекта или явления, используемого для построения ТПИ, их чувствительные элементы имеют одинаковое математическое описание, по форме совпадающее с (3). Проявление физического эффекта или явления в ТПИ сводится к формализации представления параметра передаточной функции (3) – постоянной времени.

В общем виде постоянная времени чувствительного элемента ТПИ может быть представлена следующим образом

$$\tau = \frac{R^2}{a\mu^2}, \quad (4)$$

где a – коэффициент температуропроводности материала чувствительного элемента; R – характерный размер чувствительного элемента; μ – первый корень трансцендентного уравнения, вид и параметры которого определяются формой чувствительного элемента, а также условиями его теплообмена с окружающей средой. Примерами таких трансцендентных уравнений являются [5, 6, 7, 8]

$$\mu J_1(\mu) - hR J_0(\mu) = 0; \quad (5)$$

$$\frac{N_1(\mu) J_0\left(\mu \frac{R_2}{R_1}\right) - J_1(\mu) N_0\left(\mu \frac{R_2}{R_1}\right)}{N_1(\mu) J_1\left(\mu \frac{R_2}{R_1}\right) - J_1(\mu) N_1\left(\mu \frac{R_2}{R_1}\right)} = \frac{\mu}{hR_1}; \quad (6)$$

$$\left[J_0(\mu) + \frac{\mu}{h_1 R_1} J_1(\mu) \right] N_0\left(\mu \frac{R_2}{R_1}\right) - \frac{\mu}{h_2 R_1} N_1\left(\mu \frac{R_2}{R_1}\right) - \left[J_0\left(\mu \frac{R_2}{R_1}\right) - \frac{\mu}{h_2 R_1} J_1\left(\mu \frac{R_2}{R_1}\right) \right] \left[N_0(\mu) + \frac{\mu}{h_1 R_1} N_1(\mu) \right] = 0; \quad (7)$$

$$\operatorname{ctg} \mu = \frac{\mu}{hR}; \quad (8)$$

$$\operatorname{ctg} \mu = \frac{\mu^2 - h^2 R^2}{2hR\mu}; \quad (9)$$

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{\mu}{1 - hR}, \quad (10)$$

где h , h_1 , h_2 – относительные коэффициенты конвективного теплообмена (индексам 1 и 2 соответствуют внутренняя и внешняя поверхности чувствительного элемента); J_0 , J_1 – функции Бесселя первого рода нулевого и первого порядков соответственно; R_1 , R_2 – радиусы внутренней и внешней цилиндрических поверхностей чувствительного элемента ТПИ соответственно.

Анализ свидетельствует о том, что в зависимости от того, какой физический эффект или физическое явление положено в основу построения чувствительного элемента ТПИ, величина их постоянных времени может находиться в диапазоне (8,0÷100,0) с [7]. В [2] можно найти сведения о том, что величина постоянной времени чувствительных элементов ТПИ может принадлежать диапазону (1,5÷50,0) с. В соответствии с ДСТУ EN54 – 5:2003 время срабатывания тепловых пожарных извещателей при их температурных испытаниях нормируется для двух значений постоянной времени – $\tau = 20$ с и $\tau = 60$ с.

Следует отметить, что наименьшее значение постоянной времени имеют чувствительные элементы, в основе построения которых лежит использование терморезистивного или термоэлектрического эффектов [7].

К числу основных характеристик ТПИ в соответствии с евро-стандартом EN 54 и ДСТУ EN 54-5:2003 относятся:

- нормальная температура использования ($\theta_{0н}$);
- максимальная температура использования ($\theta_{0м}$);
- минимальная статическая температура срабатывания ($\theta_{с\text{ мин}}$);
- максимальная статическая температура срабатывания ($\theta_{с\text{ макс}}$);
- время срабатывания (t_c).

На рис. 1 условно показана взаимосвязь между этими характеристиками при условии, что температура окружающей среды изме-

няется по линейному закону, т.е.

$$\theta(t) = \theta_0 + at, \quad (11)$$

где θ_0 , a – параметры.

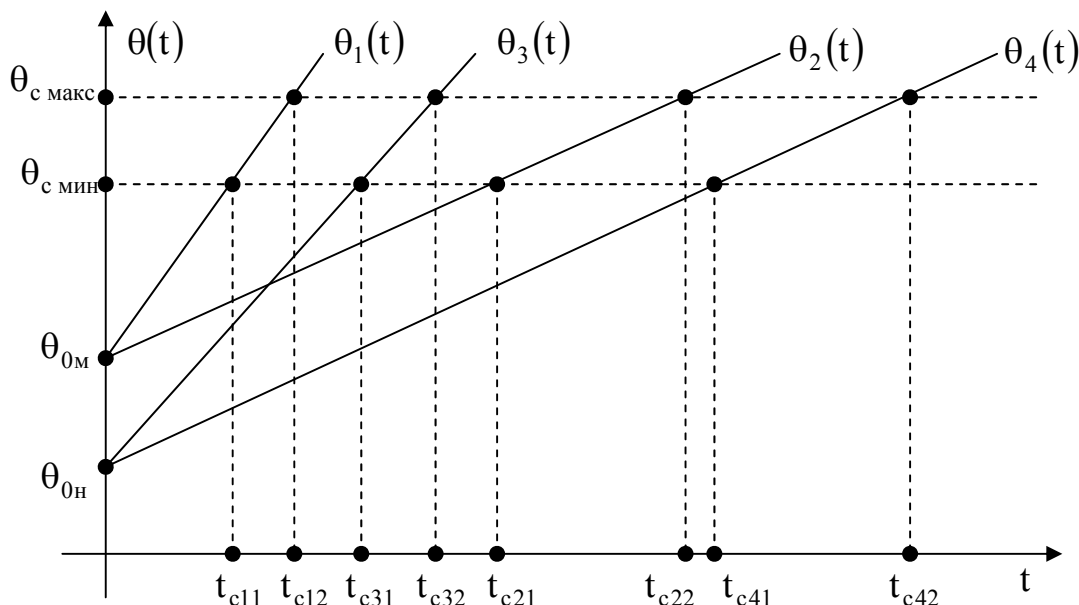


Рис. 1 – О взаимосвязи характеристик ТПИ

Между характеристиками ТПИ имеют место следующие соотношения:

$$\begin{aligned} \theta_{0H} &= \theta_{c \text{ мин}} - 29; \\ \theta_{0M} &= \theta_{c \text{ мин}} - 4; \\ \theta_i(t_{ci_1}) - \theta_{c \text{ мин}} &= 0; \\ \theta_i(t_{ci_2}) - \theta_{c \text{ макс}} &= 0. \end{aligned} \quad (12)$$

Из анализа евростандарта EN-54 следует, что время срабатывания t_c зависит от начальной температуры θ_0 , в качестве которой может быть θ_{0H} или θ_{0M} , а также от статической температуры срабатывания $\theta_{c \text{ мин}}$ или $\theta_{c \text{ макс}}$, а также от скорости изменения температуры окружающей среды a . Для классов ТПИ А1 и А2 $\theta_{0H} = 25^\circ\text{C}$, $\theta_{0M} = 50^\circ\text{C}$, а для остальных классов извещателей $\theta_{0H} = (40 \div 115)^\circ\text{C}$, $\theta_{0M} = (65 \div 140)^\circ\text{C}$. Величина скорости изменения температуры окружающей среды a при температурных испытаниях тепловых пожарных извещателей принадлежит диапазону $(0,017 \div 0,5)^\circ\text{C}/\text{с}$ и фиксируется на шести уровнях.

Выводы. Проведен анализ характеристик и параметров тепловых пожарных извещателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А. Методы и средства обнаружения пожаров / Ю.А. Абрамов, П.М. Бортничук, А.А. Деревянко, С.П. Карлаш, В.В. Христинич. – Х.:ХИПБ, 1995. – 92 с.
2. Шаровар Ф.И. Методы раннего обнаружения загораний / Ф.И. Шаровар. – М.: Стройиздат, 1988. – 336 с.
3. Абрамов Ю.А. Основы пожарной автоматики / Ю.А. Абрамов. – Х.: МОУ, 1993. – 288 с.
4. Куренной Е.В. Определение времени срабатывания точечных тепловых пожарных извещателей максимального типа: Дис. ... канд. техн. наук: 21.06.02 / Куренной Е.В. – Харьков, 2004. – 189 с.
5. Садковой В.П. Теоретические основы автоматического тушения пожаров класса В распыленной водой / В.П. Садковой, Ю.А. Абрамов. – Х.: НУЦЗУ, 2010. – 267 с.
6. Абрамов Ю.А. Терморезистивные тепловые пожарные извещатели с улучшенными характеристиками и методы их температурных испытаний / Ю.А. Абрамов, В.М. Гвоздь. – Х.: АГЗУ, 2005. – 121 с.
7. Абрамов Ю.А. Точечные тепловые пожарные извещатели максимального типа / Ю.А. Абрамов, Е.В. Куринный. – Х.: АГЗУ, 2005. – 129 с.
8. Абрамов Ю.А. Температурные объектовые испытания тепловых пожарных извещателей с терморезистивным чувствительным элементом / Ю.А. Абрамов, В.В. Коврегин, В.П. Садковой. – Х.: АГЗУ, 2009. – 115 с.

О.М. Семків

Аналіз характеристик і параметрів теплових пожежних сповіщувачів

Проведено аналіз характеристик і параметрів теплових пожежних сповіщувачів.

Ключові слова: тепловий пожежний сповіщувач, постійна часу, час спрацювання, температура спрацювання.

O.M. Semkiv

Analyses of characteristics and parameters of thermal fire detectors

Analyses of characteristics and parameters of thermal fire detectors is present.

Keywords: thermal fire detector, time constant, reaction time, reaction temperature.

УДК 614.84

*М.М. Удянський, канд. тех. наук., доцент, нач. факультету, НУЦЗУ,
А.Г. Кутявін, ст. викладач, НУЦЗУ*

**ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ЗАПОВНЕННЯ ДИМОМ БЕЗПЕЧНОЇ
ЗОНИ ПРИМІЩЕННЯ З ОБМЕЖЕНИМ ПОВІТРООБМІНОМ
ПРИ ПОЖЕЖІ**

(представлено д-ром хім. наук, проф. Прохачем Е.Ю.)

Запропонована математична модель, яка є частковим рішенням рівняння пожежі і надає можливість описати швидкість опускання шару диму у приміщенні для замкнутої термодинамічної системи

Ключові слова: модель, задимлення приміщень, швидкість опускання шару диму.

Постановка проблеми. Найбільш небезпечним чинником пожежі (далі – НЧП) є дим. Це підтверджують статистичні дані загибелі людей на пожежах. Летальні випадки настають за причини обмеженої інформації щодо безпечного часу перебування людини в задимленому приміщенні, особливо при веденні бойових дій на пожежі. Тому виникає необхідність використання оціночного розрахунку часу заповнення димом безпечної зони приміщень при пожежі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Результати досліджень задимлення приміщень при пожежах викладено у роботах [1-5]. При цьому основними завданнями розрахунку динаміки НЧП є: критична тривалість пожежі (необхідний час евакуації); фактичні межі вогнестійкості будівельних конструкцій; час спрацьовування теплових, димових, концентраційних, радіаційних і комбінованих пожежних сповіщувачів; термогазодинамічна картина пожежі; безпечні відстані (для евакуації людей і розстановки устаткування). Отримані характеристики динаміки НЧП застосовуються при вирішенні наступних завдань пожежної безпеки: аналіз об'ємно-планувальних і конструктивних рішень будівель і споруд; вибір і оптимізація товщини вогнезахисних покриттів будівельних конструкцій; проектування автоматичних систем пожежної сигналізації і автоматичного пожежогасіння; проведення пожежно-технічних експертиз і розслідування пожеж; розробка планів евакуації і пожежогасіння тощо.

Постановка завдання та його вирішення. Для того щоб описати процес задимлення приміщення з обмеженим повітрообміном при пожежі необхідно створити математичну модель, яка б була частковим рішенням рівняння пожежі і давала можливість описати швидкість опускання шару диму у приміщенні для замкнутої термодина-

мічної системи. Для вирішення цієї задачі введемо наступні припущення, які є прийнятними для процесу що досліджується:

1. Дія джерела тепла починається миттєво (тобто осередок горіння з нульового моменту часу має кінцеві визначені розміри, які в подальшому залишаються незмінними).

2. Тепло- та димовиділення джерела постійні.

3. Видаляння продуктів горіння з приміщення відсутнє.

4. Враховуючи короткий час дії пожежі до повного задимлення приміщення, променевим теплообміном нехтуємо, так як конструкції у не задимленій зоні не встигають прогрітися, щоб перетворитися у джерело конвенції II порядку.

5. Вважаємо, що дим розповсюджується з конвективним потоком.

6. Втрати енергії, пов'язаною з тертям об стіни, нехтуємо.

При розробці теоретичної схеми поширення диму у замкнутому об'ємі приміщення використовуємо принцип балансу задимленого газового середовища. Розглянемо елементарний задимлений об'єм dV в шару диму (Рис.1). Його величина дорівнює додатку ширини приміщення A на довжину B та на висоту dZ :

$$dV = A \cdot B \cdot dZ . \quad (1)$$

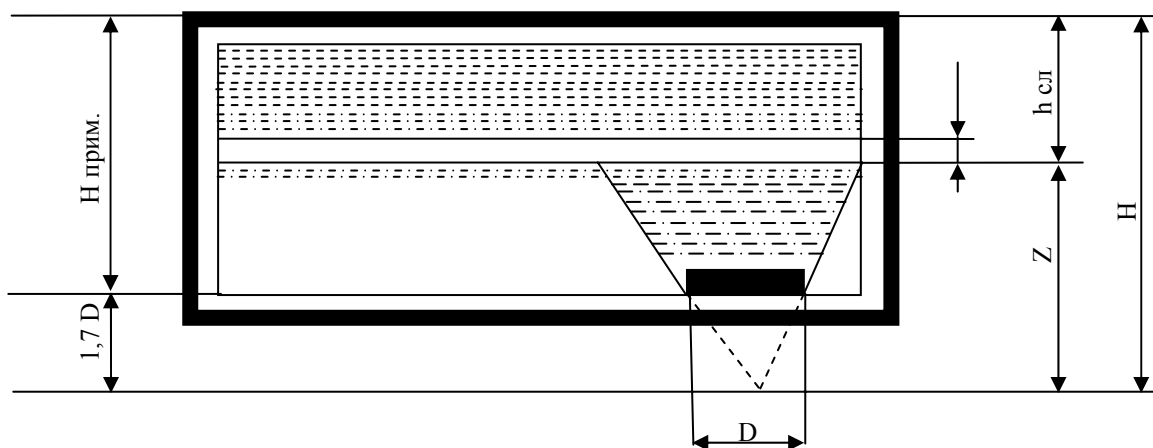


Рис. 1 - Розрахункова схема розповсюдження диму у приміщенні

В той же час величина елементарного задимленого об'єму у замкнутому приміщенні можливо описати рівнянням:

$$dV = L_p(Z) \cdot d\tau , \quad (2)$$

де, $L_p(Z)$ - витрати газового потоку у струї (функція відстані від полюсу струї до шару диму), $i^3 \cdot \tilde{n}^{-1}$; $d\tau$ - час за який заповниться димом цей елементарний об'єм, с.

Об'єднавши рівняння (1) та (2) отримаємо наступну залежність:

$$\begin{cases} dV = A \cdot B \cdot dZ; \\ dV = L_p(Z) \cdot d\tau. \end{cases} \quad (3)$$

Якщо осередок горіння піднято над рівнем відстань від полюсу струї до границі задимленої зони (Z) та до стелі приміщення (H) у відповідності з висновками В.М. Ельтермана [6] слід приймати як:

$$Z = H_{i\zeta} + 1,7D; \quad (4)$$

$$H = H_{i\delta\epsilon} + 1,7D. \quad (5)$$

де: $H_{i\zeta}$ - рівень незадимленої зони, м; D – діаметр осередку горіння, м; $H_{i\delta\epsilon}$ - висота приміщення, м.

Величину L_p І.А. Шепелєв теоретично визначив як [3]:

$$L_p = \left[89 \left(\frac{Z}{D} \right)^{2/3} - 72 \right] \cdot D^{5/3} \cdot Q_{\epsilon i \hat{a}}^{1/3}, \quad (6)$$

де: Z – відстань від полюсу струї до точки яку розглядаємо, м; $Q_{\epsilon i \hat{a}}$ - кількість конвективного тепла, ккал/год;

В.М. Ельтерман запропонував величину L_p визначати за формулою [6]:

$$L_p = 20,2 \cdot Q_{\epsilon i \hat{a}}^{1/3} \cdot Z^{5/3}. \quad (7)$$

Із виразу (3) можна визначити величину $d\tau$:

$$d\tau = A \cdot B \cdot \frac{dZ}{L_p(Z)}. \quad (8)$$

Підставивши у рівняння (8) значення L_p та Z з формули (6) та винісши за дужки $\frac{89}{D^{2/3}}$, отримаємо наступний вираз:

$$d\tau = \frac{A \cdot B}{89 \cdot D \cdot Q^{1/3}} \cdot \left[\frac{dZ}{Z^{2/3} - \frac{72}{89} \cdot D^{2/3}} \right] \quad (9)$$

Виконавши заміну $Z = t^3$, $dZ = 3t^2 \cdot dt$ та проінтегрувавши, отримаємо τ - час опускання шару диму до висоти Z :

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{A \cdot B}{89 D \cdot Q^{1/3}} \int_{(H_{i\delta\epsilon} + 1,7D)^{1/3}}^{(H_{i\zeta} + 1,7D)^{1/3}} \frac{3t^2 dt}{t^2 - \frac{72}{89} D^{2/3}} = \\ &= \frac{3 \cdot A \cdot B}{89 \cdot D \cdot Q^{1/3}} \cdot \left\{ (H_{i\zeta} + 1,7D)^{1/3} - (H_{i\delta\epsilon} + 1,7D)^{1/3} + \right. \\ &\left. + D^{1/3} \cdot 0,45 \ln \left[\frac{(H_{H3} + 1,7D)^{1/3} - 0,9D^{1/3}}{(H_{H3} + 1,7D)^{1/3} + 0,9D^{1/3}} \right] \cdot \left[\frac{(H_{прим} + 1,7D)^{1/3} + 0,9D^{1/3}}{(H_{прим} + 1,7D)^{1/3} - 0,9D^{1/3}} \right] \right\} \end{aligned}$$

Аналогічно, підставивши $L_p(Z)$ з формули (7) у формулу (8), визначаємо час, за який шар диму опуститься до висоти Z ($Z=H-h_{\tilde{n}\tilde{e}}$):

$$d\tau = \frac{A \cdot B \cdot dZ}{20,2 \cdot Q_{\tilde{e}\tilde{i}\tilde{a}}^{1/3} \cdot Z^{5/3}}; \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{A \cdot B \cdot dZ}{20,2 \cdot Q_{\tilde{e}\tilde{i}\tilde{a}}^{1/3}} \cdot \int_{H_{i\delta\epsilon} + 1,7D}^{H_{i\zeta} + 1,7D} \frac{dZ}{Z^{5/3}} = \frac{3 \cdot A \cdot B}{2 \cdot 20,2 \cdot Q_{\tilde{e}\tilde{i}\tilde{a}}^{1/3}} \cdot \left[\frac{H_{i\zeta} + 1,7D}{H_{i\delta\epsilon} + 1,7D} \right] = \\ &= \frac{1,5 \cdot S_{i\delta\epsilon}}{20,2 \cdot Q_{\tilde{e}\tilde{i}\tilde{a}}^{1/3}} \cdot \left[\frac{1}{(H_{i\zeta} + 1,7D)^{2/3}} - \frac{1}{(H_{i\delta\epsilon} + 1,7D)^{2/3}} \right] \quad (12) \end{aligned}$$

Висновки. Запропонована математична модель, яка є частковим рішенням рівняння пожежі і надає можливість при пожежі визначити час заповнення димом безпечної зони у приміщенні для замкнутої термодинамічної системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12.1.004-91* ССБТ Пожарная безопасность. Общие требования.
2. Ландышев Н.В. Результаты исследования задымления помещений при пожаре при горении ЛВЖ и ГЖ / Н.В.Ландышев// Научно-техническое обеспечение противопожарных и аварийно-спасательных работ: Материалы XII Всероссийской науч.-практ. конф. – М.: ВНИИПО МВД РФ, 1993. – С. 339.
3. Шепелев И.А. Аэродинамика воздушных потоков в помещении. – М.: Стойиздат, 1978. – 145 с.
4. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учебное пособие. - М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.
5. Пузач С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. Монография. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – 336 с.
6. Эльтерман В.М. Вентиляция химических производств. – М.: Химия, 1980. – 228 с.

Удянский Н.Н., канд. тех. наук., доцент, нач. факультета, НУГЗ Украины,
Кутявин А.Г., ст. преподаватель, НУГЗ Украины

Определение времени заполнения дымом безопасной зоны помещения с ограниченным воздухообменом при пожаре

Предложена математическая модель, которая является частичным решением уравнения пожара и предоставляет возможность описать скорость опускания слоя дыма в помещении для замкнутой термодинамической системы.

Ключевые слова: модель, задымление помещений, скорость опускания слоя дыма.

Udyanskiy N.N., kand. those. sciences., associate professor, nach. faculty,
NUGZ of Ukraine, Kutyavin A.G., item teacher, NUGZ of Ukraine

Determination of time of filling smoke of safe area of apartment with the limited ventilation at a fire

A mathematical model which is the partial decision of equalization of fire and gives possibility to describe speed of lowering of layer of smoke in an apartment for the closed thermodynamics system is offered.

Keywords: model, smoke-screen of apartments, speed of lowering of layer of smoke.

К.Р. Умеренкова, канд. техн. наук, доцент, НУГЗУ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ДИАГРАММ ОГNETУШАЩИХ СОСТАВОВ (НА ПРИМЕРЕ "АРГОНИТА")

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

На примере "Аргонита" рассмотрена методика определения фазовых равновесий многокомпонентных огнетушащих составов.

Ключевые слова: Аргонит, математическая модель, фазовые диаграммы, огнетушащие составы.

Постановка проблемы. Объектами исследования в данной работе являются газообразные и жидкие смеси, применяющиеся при тушении пожаров. Основой для решения многих научно-технических вопросов, связанных с разработкой и изготовлением различного оборудования для автоматических установок пожаротушения, а также для проведения исследований при создании новейших огнетушащих составов (ОС) являются надежные данные о теплофизических свойствах смесей, в частности о параметрах фазовых равновесий (ФР).

Определение фазовых равновесий опытным путем в широких диапазонах состояний затруднительно, а зачастую просто невозможно. С другой стороны, анализ существующих методов расчетов теплофизических характеристик и параметров ФР многокомпонентных смесей показывает, что различного рода эмпирические корреляции и упрощенные модели дают в основном лишь грубое количественное описание, не соответствующее требованиям современных практических задач.

Такое состояние проблемы определяет актуальность создания математических моделей, описывающих параметры ФР и позволяющих получать их численные значения расчетным путем с необходимой точностью при использовании минимума исходных данных.

Анализ исследований и публикаций. При рассмотрении существующих методик расчета можно выделить два основных подхода к расчету фазовых равновесий. Первый состоит в описании свойств пара и жидкости едиными (в основном – эмпирическими) уравнениями состояния. В области низких и средних давлений наибольшее распространение получил другой подход, в котором паровая и жидкая фазы представлены принципиально различными моделями [1-3].

Для первого и для второго подходов предложено значительное количество эмпирических уравнений состояния с большим числом постоянных (модельных параметров). Их применение для расчетов

равновесия жидкость-пар дает приемлемые результаты только для того диапазона температур, давлений и составов, данные по которому были использованы при определении этих параметров.

Уравнения состояния многокомпонентных систем могут быть получены также методами статистической физики. Это, в частности, численные эксперименты на ЭВМ (метод Монте-Карло и др.), строгие аналитические теории на базе теории возмущений или метода интегральных уравнений и различные модельные теории (решеточные, групповые, квазихимические и др.) [4].

На основании анализа состояния проблемы описания ФР сделан вывод о том, что результаты, получаемые в рамках подобных подходов и схем, неудовлетворительны в количественном отношении, отклонения от эксперимента по основным параметрам ФР находясь в диапазоне 5–25 %.

Постановка задачи и ее решение. Данная работа посвящена созданию математической модели фазовых равновесий ОС, используемых в системах пожаротушения (аргонит, инерген), и разрабатываемых новых ОС.

Формирование математической модели парожидкостного равновесия в многокомпонентных смесях (при заданных температуре, давлении и составе) основано на представлении их как совокупности взаимодействующих между собой частиц различных размеров. Для описания межмолекулярных взаимодействий использован потенциал Леннард-Джонса

$$u_{\alpha\beta}(r) = \varepsilon_{\alpha\beta} \varphi(r/\sigma_{\alpha\beta}) = 4\varepsilon_{\alpha\beta} \left[\left(\sigma_{\alpha\beta}/r \right)^{12} - \left(\sigma_{\alpha\beta}/r \right)^6 \right], \quad (1)$$

где $\varepsilon_{\alpha\beta}$, $\sigma_{\alpha\beta}$ – параметры потенциала взаимодействия молекул α и β смеси.

Параметры $\varepsilon_{\alpha\beta}$, $\sigma_{\alpha\beta}$ парных потенциалов (1) для чистых компонентов и разнородных взаимодействий ($\alpha \neq \beta$) связаны между собой посредством комбинационных правил

$$\begin{cases} \varepsilon_{\alpha\beta} = \zeta_{\alpha\beta} \sqrt{\varepsilon_{\alpha\alpha} \varepsilon_{\beta\beta}} ; \\ \sigma_{\alpha\beta} = 0,5(\sigma_{\alpha\alpha} + \sigma_{\beta\beta}), \end{cases} \quad (2)$$

где энергетические параметры $\zeta_{\alpha\beta}$ определяются по экспериментальным данным. При этом из описания выпадают смеси, где компонентами являются вещества, по свойствам бинарных комбинаций которых отсутствует экспериментальная информация.

Таким образом, при построении математической модели необ-

ходимо получить явные аналитические выражения для $\zeta_{\alpha\beta}$. Теоретически получены две альтернативных формы аналитического выражения для коэффициента $\zeta_{\alpha\beta}$, включающего потенциалы ионизации (I) и поляризуемости молекул (α).

$$\zeta'_{\alpha\beta} = \left(\delta_{\alpha\beta}^+ / 2\right)^{-6} 2 \sqrt{\omega_{\alpha} \omega_{\beta}} / (\omega_{\alpha} + \omega_{\beta}), \quad (3)$$

где $\omega_{\beta} = \varepsilon_{\beta\beta} \sigma_{\beta\beta}^6 / \alpha_{\beta}^2$, а $\delta_{\alpha\beta}^+ = (\sigma_{\alpha\alpha} + \sigma_{\beta\beta}) / \sqrt{\sigma_{\alpha\alpha} \sigma_{\beta\beta}}$

$$\zeta'_{\alpha\beta} = \left(\delta_{\alpha\beta}^+ / 2\right)^{-6} 2 \sqrt{I_{\alpha} I_{\beta}} / (I_{\alpha} + I_{\beta}). \quad (4)$$

Выражения (3) и (4) дают практически совпадающие значения $\zeta_{\alpha\beta}$, возможные расхождения между ними обусловлены погрешностями определения параметров I , α компонентов [5, 6]. Расчетное значение $\zeta(\text{Ar}, \text{N}_2) = 0,989$.

Основная задача исследования равновесного процесса состоит в определении фазового состояния смеси (жидкость, газ или двухфазная парожидкостная система) и нахождении составов сосуществующих фаз, которые образовались из исходной смеси состава $\{x_i^0\}$ (набора мольных концентраций) при заданных температуре T и давлении p .

Математическая модель равновесия жидкой и паровой фаз гетерогенной системы формализована в виде совокупности уравнений, характеризующих равенство давлений p_m и химических потенциалов компонентов μ_i ($i = 1, 2, \dots, n$) сосуществующих фаз смеси:

$$\left\{ \begin{array}{l} p_m(v_m^L, T, \{x_i^L\}) - p = 0; \\ p_m(v_m^V, T, \{x_i^V\}) - p = 0; \\ \mu_1(v_m^L, T, \{x_i^L\}) - \mu_1(v_m^V, T, \{x_i^V\}) = 0; \\ \dots \\ \mu_n(v_m^L, T, \{x_i^L\}) - \mu_n(v_m^V, T, \{x_i^V\}) = 0. \end{array} \right. \quad (5)$$

Рассмотрим ОС "Аргонит" для которого в литературе имеются экспериментальные данные. При заданной температуре $T = 84,5$ К и давлении $0,2178$ МПа $>P > 0,07498$ МПа смесь азота с аргоном расслаивается на жидкую и паровую фазы. На рис. 1 изображена расчи-

танная согласно (5) фазовая диаграмма, показывающая парожидкостное равновесие смеси азота с аргоном. При температуре $T=84,5$ К и давлении $P<0,07498$ МПа смесь находится в гомогенном газообразном состоянии, а при давлении $P>0,2178$ МПа – в гомогенном жидком состоянии.

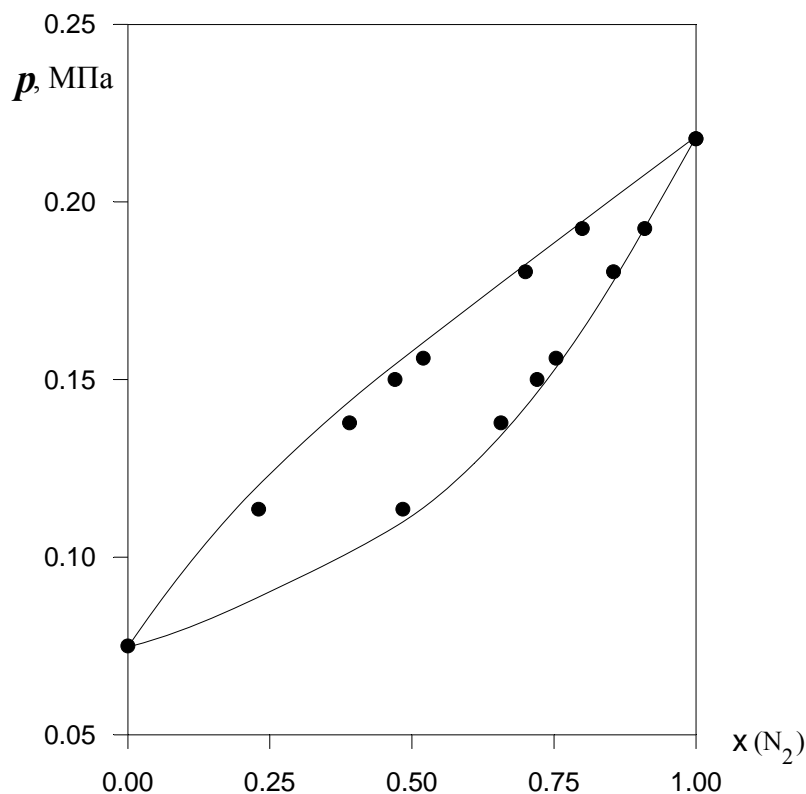


Рис. 1 Диаграмма фазового равновесия жидкость-пар смеси азот-аргон ("Аргонит") при температуре $T=84,5$ К, • - эксперимент [7]

Выводы. Разработанная математическая модель парожидкостных равновесий обеспечивает расчеты фазовых диаграмм для ОС сложных фракционных составов (типа "Аргонит", "Инерген"), дает возможность прогнозировать поведение разрабатываемых новых ОС в широких диапазонах температур и давлений. Сравнение расчетных и опытных данных подтверждает адекватность разработанной математической модели описания составов жидкой и паровой фаз. Полученные аналитические выражения для $\zeta_{\alpha\beta}$ позволяют учитывать особенности взаимодействия разнородных частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уэйлес С. Фазовые равновесия в химической технологии. – М.: Мир, 1989. – 664 с.
2. Морачевский А.Г. Термодинамика равновесия жидкость-пар. / А.Г. Морачевский, Н.А. Смирнова, Е.М. Пиотровская. – Л.: Хи-

мия, 1989. – 344 с.

3. Смирнова Н.А. Молекулярные теории растворов. – Л.: Химия, 1987. – 336 с.

4. Рид Р. Свойства газов и жидкостей. / Р Рид , Дж. Праусниц., Т. Шервуд – Л.: Химия, 1982. – 592 с.

5. Гуревич Л.В. Энергия разрыва химических связей. Потенциалы ионизации и сродство к электрону./ Л.В.Гуревич, Г.В. Карачевцев. – М.: Наука, 1974. – 351 с.

6. Вукс М.Ф. Рассеяние света в газах, жидкостях и растворах. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. – 320 с.

7. Людмирская Г.С. Равновесие жидкость-пар. / Г.С. Людмирская, Т.А. Барсукова, А.М. Богомольный. Справочник. – М.: Химия, 1987. – С. 336.

Умеренкова К.Р.

Моделювання фазових діаграм вогнегасних сумішей (на прикладі "Аргоніта")

На прикладі "Аргоніта" розглянута методика визначення фазових рівноваг багатоконпонентних вогнегасних сумішей .

Ключові слова: Аргоніт, математична модель, фазові діаграми, вогнегасні суміші.

Umerenkova K.R.

Modelling of phase diagrams compositions for firefighting (on example "Argonite")

On example "Argonite" the metod of determination of phase equilibria multi-component mixtures for firefighting is considered .

Keywords: Argonite, mathematical model, phase diagrams, compositions for firefighting.

*А.А. Чернуха, преподаватель, НУГЗУ,
Д.В. Олейник, преподаватель-методист УМО, НУГЗУ,
Н.А. Бруев, к.т.н., ГУ МЧС в Харьковской области*

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОГНЕЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ КСЕРОГЕЛЯ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ СРЕДЫ

Рассмотрена гигроскопичность огнезащитного покрытия на основе ксерогеля СК-1, как определяющее свойство для установления области применения. Полученные результаты показали, что данное покрытие применимо в сухих, проветриваемых помещениях.

Ключевые слова: огнезащита, огнезащитная эффективность, огнезащитное покрытие, ксерогель, гигроскопичность, экспериментальные исследования.

Постановка проблемы. В настоящее время наиболее распространенным строительным материалом традиционно остается древесина и изделия из нее. Однако наряду с достоинствами, выгодно отличающими ее от других строительных материалов, древесина обладает и недостатками, главными из которых являются легкая воспламеняемость и горючесть. В связи с этим, важное значение приобретает проблема огнезащиты древесины различными способами, наиболее эффективными из которых являются обработка огнезащитными покрытиями и пропитка специальными составами.

Анализ последних исследований и публикаций. Одним из способов огнезащиты является способ нанесения на поверхность защищаемого материала слоя покрытия, эффективность которого определяется физико-химическими свойствами и адгезией к данной поверхности. При местном воздействии кратковременного источника зажигания огнезащитные покрытия затрудняют горение деревянных конструкций, облегчают тушение пожара, а в ряде случаев исключают возможность его возникновения [1].

Покрытие СК-1 представляет собой ксерогелевую композицию с волокнистым и крупнодисперсным наполнителем. Покрытие применяется для огнезащиты древесины [2].

Наряду с огнезащитными свойствами огнезащитных покрытий, требует изучения комплекс эксплуатационных свойств.

При создании огнезащитного покрытия исследователь должен учитывать условия, в которых оно будет применяться. Эксплуатаци-

онные свойства огнезащитных покрытий должны соответствовать требованиям для строительных «декоративных» покрытий (краски, лаки, штукатурки, шпаклёвки, обмазки и др.) применяемых в тех же условиях.

Для испытаний эксплуатационных свойств покрытий используются стандартные методы. Испытания на адгезию и ударную прочность проводили ранее, в соответствии с требованиями для подобных испытаний.

Постановка задачи и её решение. Задачей данного исследования является определение условий применения огнезащитного покрытия СК-1, исходя из гигроскопичности данного покрытия.

С помощью стандартных методик [4] была исследована гигроскопичность СК-1. Подготовка образцов обработанных огнезащитным покрытием для испытания на гигроскопичность проводилось аналогично подготовке образцов для оценки огнезащитной эффективности по ГОСТ 16363-76.

Для испытания использовались следующие материалы:

- 4 образца с нанесенным огнезащитным составом СК-1;
- 4 контрольных незащищенных образца;
- эксикатор с относительной влажностью воздуха 80%;
- эксикатор с относительной влажностью воздуха 100%;
- весы с погрешностью взвешивания $\pm 0,1$ г.

Создание в эксикаторе относительной влажности воздуха 80% достигалось использованием серной кислоты с плотностью $1,195 \text{ г/см}^3$, влажности воздуха, близкой к 100% - дистиллированной воды.

В каждый эксикатор помещалось по два испытываемых образца с покрытием и по два контрольных образца. Образцы устанавливались на ребро так, чтобы исключить соприкосновение образцов друг с другом и со стенками эксикатора.

После установки образцов эксикаторы герметично закрывались и выдерживались в комнатных условиях в течение 6 суток с периодическим наблюдением за состоянием огнезащитного покрытия.

Гигроскопичность образца с огнезащитным покрытием определялась по поглощению влаги огнезащитным образцом, рассчитываемому по следующей формуле:

$$B = (B-A) \cdot 100/A$$

где B - поглощение влаги образцом, %; B - масса образца после испытания, г; A - масса образца перед испытанием, г.

Гигроскопичность контролируемого образца с огнезащитным покрытием не должна превышать гигроскопичность контрольного образца.

Для средств огнезащиты, эксплуатируемых в сухих помещениях в условиях, исключающих попадание влаги, допускается превышение гигроскопичности контролируемого образца при сохранении целостности покрытия и его функциональных свойств [4].

Таблица 1 – Массы образцов в эксикаторе с дистеллированной водой (влажность близкая к 100%)

сутки	0	1	2	3	4	5	6
m(контролируемый), г	275,5	279	281,5	283,7	285	286,1	286,5
W, %	0	1,25	2,13	2,89	3,33	3,70	3,83
m(контрольный), г	255	256,3	257,5	258,2	258,6	258,9	259,1
W, %	0	0,50	0,97	1,23	1,39	1,50	1,58

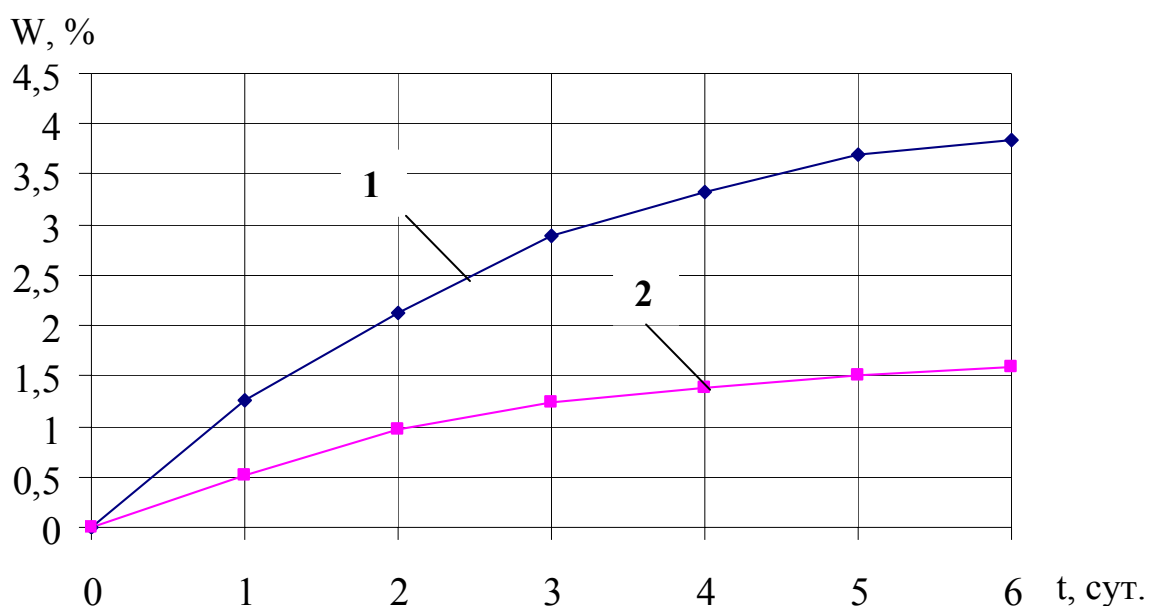


Рис.1 – Диаграммы зависимости гигроскопической влажности от времени: 1 – образец древесины обработанной СК-1; 2 – образец древесины

Из рисунка видно, что гигроскопичность древесины ниже, чем образца обработанного огнезащитным покрытием СК-1.

Выводы. Результаты испытаний огнезащитного покрытия показали, что данное покрытие по своей гигроскопичности не может использоваться для внешних работ по огнезащите древесины и в помещениях с высокой влажностью. Однако согласно норм [3] разрешает-

ся использование материалов с подобными свойствами в сухих помещениях [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Жартовський В. М. Профілактика горіння целюлозовмісних матеріалів. Теорія та практика/ В. М. Жартовський, Ю. В. Цапко. – Київ: Наукова думка, 2006.- 248с.
2. Чернуха А. А., Подбор гелеобразующих систем для получения вспучивающихся огнезащитных покрытий / А. А. Чернуха, А. А. Киреев // Проблемы пожарной безопасности. – 2008. – Вып. 24. – С. 54–60.
3. Методи определения водопоглощения, плотности и морозостойкости строительных материалов и изделий: ДСТУ Б.В.2.7.42-97.– [Чинний від 1998-19-01]. – К.: Издательство стандартов, 1998. – 28 с. – (Національний стандарт України).
4. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний: ГОСТ 17177-94. – [Дата введения 1996-04-01]. – К.: Издательство стандартов, 1991. – 32 с. – (Межгосударственный стандарт).
5. Горчаков Г. И. Строительные материалы. / Горчаков Г. И. – М., 1986. – С. 516–518.

Чернуха А.А., Олійник Д.В., Бруєв М.О.

Визначення умов використання вогнезахисного покриття на основі ксерогеля

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.

Chernuha A., Oleynik D., Brujev N.

Definition of conditions of use fireproof covering on the basis of gel

Hygroscopicity of a fireproof covering on a basis ксерогеля 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.

УДК 678.686:66.046.516

*Р.А. Яковлева, д.т.н., проф., зав. кафедрой, ХГТУСА,
Е.Ю. Спирина-Смилка, аспирант ХГТУСА,
Н.В. Саенко, к.т.н., доцент, ХГТУСА,
Ю.В. Попов, к.т.н., доцент ХГТУСА,
С.В. Новак, к.т.н., с.н.с., зам. нач. УкрНИИПБ,
В.В. Коваленко, к.т.н., начальник НИЦ №3 УкрНИИПБ,
О.Д. Гудович, к.т.н., с.н.с., доцент ИГУГЗ НУГЗУ,
Л.М. Шафран, д.м.н., проф., первый зам. директора УкрНИИИМТ*

ВЛИЯНИЕ АНТИПИРЕНОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ЭПОКСИПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Исследовано влияние различных антипиренов на показатели пожарной опасности эпоксиполимеров. Показано, что использование моноаммонийфосфата совместно с ко-интеркалированными соединениями графита снижают в 4,5-5 раз индекс потенциальной опасности при тлении и горении эпоксиполимерных материалов.

Ключевые слова: антипирены, эпоксиполимеры, пожарная опасность, токсичность продуктов горения, коэффициент дымообразования, моноаммонийфосфат, ко-интеркалированные соединения графита.

Постановка проблемы. Эпоксиполимерные материалы благодаря технологичности, высоким механическим и адгезионно-прочностным свойствам широко применяются в строительстве, но вместе с тем имеют повышенную пожарную опасность [1]. Для снижения горючести этих материалов в их состав вводят различные антипирены. Однако пожарная опасность материалов, кроме горючести, в значительной степени определяется токсичностью продуктов горения и дымообразующей способностью. Поэтому одним из приоритетных направлений фундаментальных и прикладных исследований является комплексная оценка пожарной опасности эпоксидных материалов, модифицированных антипиренами.

Анализ последних исследований и публикаций. Для снижения горючести эпоксиполимеров применяют различные антипиреновые добавки: галоген-, бром-, фосфорсодержащие и т. д. [2]. Ранее проведенными исследованиями установлено, что одним из эффективных ингибиторов горения является фосфорсодержащий наполнитель моноаммонийфосфат (МАФ). В последнее время большое внимание уделяется получению и изучению свойств так называемых интеркалированных и ко-интеркалированных соединений графита (КСГ) в системе графит – H_2SO_4 – H_3PO_4 . Такие КСГ используются в качестве антипирирующих добавок для огнезащитных вспучивающих покрытий на основе эпок-

сидных и других полимеров [3,4]. Однако все еще остается невыясненным вклад подобных антипиренов в токсичность продуктов горения.

Постановка задачи и ее решение. Влияние различных антипиренов на показатели пожарной опасности эпоксиполимеров является важной научно-практической задачей. Поэтому нами проведены сравнительные испытания показателей пожарной опасности по ГОСТ 12.1.044-89 [5] ненаполненного эпоксиполимера и с добавками антипиренов.

В качестве антипиренов были использованы моноаммонийфосфат (МАФ) в виде аммофоса и образцы графита марки ГСМ-2, коинтеркалированные смесью серной и фосфорной кислот (SP), в присутствии окислителей бихромата калия (бхк) – SP-бхк, а также персульфата калия (пск) – SP-пск.

В качестве полимерной матрицы использовали эпоксидный олигомер марки ЭД-20, отвержденный бинарным отвердителем аминного типа, состоящим из моноцианэтилдиэтилентриамина марки УП-0633М, смеси 2-диметиламинометилфенола и 2,6-бис(диметламинометил)фенола переаминированной этилендиамином марки АФ-2, с применением в качестве модификатора реакционно-способного олигомера - триглицидилового эфира полиоксипропилен-триола марки Лапроксид 503.

Санитарно-химические исследования проводили согласно ГОСТ 12.1.044 – 89 п. 4.20. Санитарно-химические исследования проведены в режиме термоокислительной деструкции (450°C) и пламенного горения при температуре 750°C, результаты представлены в табл. 1.

Из представленных данных видно, что при горении эпоксиполимера ЭП:МАФ+SP-пск в воздухе испытательной камеры были определены оксид углерода, цианистый водород, в концентрациях, которые могут вызвать острое отравление экспериментальных животных, а также оксиды азота, аммиак, бензол, оксид углерода (IV).

Фенол и формальдегид в токсикологически безопасных (с позиций острой токсикологии) концентрациях. Из определенных веществ, согласно ГОСТ 12.1.007-76, водород цианистый относится к первому классу, бензол, фенол и формальдегид ко второму классу, все остальные вещества – к третьему и четвертому классам опасности.

Видно также, что антипирен МАФ и коинтеркалированный графит - SP-пск оказывают влияние на количественные показатели выделяющихся продуктов при горении. При совместном использовании антипиренов МАФ+SP-пск наблюдается заметное снижение концентрации таких высокоопасных веществ, как цианистого водорода, бензола, фенола и формальдегида. Введение в состав композиции графита - SP-пск, как отдельно, так и совместно с МАФ, позволяет уменьшить потерю массы эпоксиполимера при термоокислительной деструкции и пламенном горении на

8,6% по сравнению с эпоксиполимером наполненным МАФ. Увеличение коксового остатка и уменьшение концентрации ароматических соединений, являющихся потенциальными зародышеобразователями сажевых частиц, должно способствовать снижению дымообразующей способности эпоксиполимеров с добавками антипиренов.

Таблица 1 –Миграция веществ при моделировании условий горения образцов эпоксиполимеров

Компонент	Определение количества продуктов горения, мг/г							
	При 450 °С				При 750 °С			
	ЭП	ЭП:МАФ	ЭП:SP-пск	ЭП:МАФ +SP-пск	ЭП	ЭП:МАФ	ЭП:SP-пск	ЭП:МАФ +SP-пск
Оксиды азота	15,1 ±1,4	9,0 ±0,9	15,1 ±1,6	9,6 ±0,9	18,4 ±1,7	11,2 ±1,1	17,9 ±1,8	12,1 ±1,2
Аммиак	9,2 ±0,9	4,5 ±0,5	8,7 ±0,9	4,2 ±0,4	4,3 ±0,3	2,3 ±0,2	4,1 ±0,4	1,9 ±0,2
Бензол	1,8 ±0,2	1,4 ±0,1	1,9 ±0,2	1,2 ±0,1	0,6 ±0,06	0,5 ±0,05	0,6 ±0,06	0,4 ±0,04
Водород хлористый	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Углерод четырех-хлористый	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Водород цианистый	13,2 ±1,2	6,6 ±0,7	12,4 ±1,2	8,5 ±0,9	6,2 ±0,7	3,7 ±0,4	7,8 ±0,8	4,3 ±0,4
Оксид углерода (IV)	364 ±37	397 ±40	412 ±42	244 ±25	510 ±50	458 ±44	630 ±62	413 ±41
Оксид углерода (II)	116 ±12	92 ±8	150 ±15	72 ±7	88 ±8	70 ±7	98 ±9	60 ±6
Диоксид серы	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Стирол	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Фенол	8,9 ±0,9	1,6 ±0,2	7,3 ±0,7	1,7 ±0,2	2,4 ±0,2	0,5 ±0,05	2,1 ±0,2	0,6 ±0,06
Формальдегид	4,2 ±0,4	2,2 ±0,5	3,8 ±0,4	2,5 ±0,3	2,9 ±0,3	1,8 ±0,2	3,1 ±0,3	1,6 ±0,2
Хлорбензол	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Потеря массы, %	88	81	74	76	95	93	85	85

Целью токсикологических исследований является определение показателя токсичности H_{CL50} , который характеризуется как отношение количества материала к единице объема замкнутого пространства, продукты горения которого вызывают гибель 50% подопытных животных. В табл. 2 приведены результаты токсикологических исследований.

Таблица 2 - Показатели токсичности продуктов горения эпоксиполимеров

Эпоксиполимеры	Показатель токсичности продуктов горения			
	H_{CL50} , г/м ³ при 450°С	HbCO, % при 450°С	H_{CL50} , г/м ³ при 750°С	HbCO, % при 750°С
ЭП	65,5±6,3	58,4±2,6	86,1±9,9	61,6±3,1
ЭП:МАФ	82,5±8,4	65,6±3,2	108,6±10,9	66,8±3,4
ЭП:SP-пск	52,6±5,8	60,4±3,1	78,1±7,9	64,8±3,3
ЭП:МАФ+SP-пск	105,6±11,3	66,7±3,4	128,3±12,9	64,2±3,2

Наименьшее значение H_{CL50} для всех исследуемых образцов эпоксиполимеров оказалось при температурном режиме 450 °С, поэтому это значение использовано для установления величины показателя токсичности продуктов горения. Согласно с классификацией по п. 2.16.2 ГОСТ 12.1.044-89 все объекты исследований относятся к классу умеренно-опасных.

Введение в состав эпоксиполимерной композиции наполнителя МАФ снижает токсичность материала с 65,5 до 82,5 г/м³ по сравнению с ненаполненным эпоксиполимером, а введение в состав полимерной композиции КСГ - SP-пск не влияет на показатель токсичности H_{CL50} . При введении одновременно двух антипиренов МАФ и SP-пск величина H_{CL50} эпоксиполимера снижается почти в 1,5 раза по сравнению с другими вариантами образцов материалов.

Так как эпоксиполимеры относятся к горючим материалам, то проведены испытания образцов по ГОСТ 12.1.044-89. п. 4.3 (метод экспериментального определения группы трудногорючих и горючих твердых веществ и материалов) и установлено, что все образцы материалов относятся к горючим материалам средней воспламеняемости. Следовательно, по этому показателю невозможно выявить эффективность используемых антипиренов.

В ряде работ [6, 7] авторы предлагают оценивать влияние антипиренов на пожароопасные свойства полимерных материалов на основании комплекса испытаний по так называемому индексу потенциальной опасности РНІ (Potential High Index), который рассчитывается по следующей формуле:

$$PHI = \frac{W_{max} \cdot D_m \cdot \Delta H_c}{H_{CL50} \cdot KI \cdot T_{max}}, \text{ где} \quad (1)$$

где W_{max} – максимальный процент потери массы на любом 100 – гра-

дусном участке кривой «температура – потеря массы»; D_m – удельная оптическая плотность дыма; ΔH_c – теплота сгорания; КИ – кислородный индекс; T_{max} – температура, соответствующая максимальной потере массы; H_{CL50} – показатель токсичности продуктов горения.

Исходные данные для расчета РНІ, полученные в результате экспериментальных исследований, другие показатели пожарной опасности испытуемых образцов и само значение искомого показателя РНІ представлены в табл. 3. Максимальный процент потери массы W_{max} и температура T_{max} , соответствующая этой потере, определялись по термогравиметрическим кривым, приведенных в работе [8].

Таблица 3 - Пожарная опасность и токсичность эпоксиполимеров

Показатель (ГОСТ, ДСТУ)	Эпоксиполимеры			
	ЭП	ЭП:МА Ф	ЭП:МА Ф+SP- пск	ЭП:МА Ф+SP- бхк
Кислородный индекс, КИ, % (ГОСТ 12.1.044-89, п. 4.14)	19	28	31	30
Теплота сгорания, ΔH_c , кДж/кг (ДСТУ ISO 1928:2006):				
- высшая	32060	27910	27495	27880
- низшая	31590	26460	26595	26130
Температура				
- воспламенения, °С (ГОСТ 12.01.044–89, п. 4.7)	290	305	285	265
- самовоспламенения, °С (ГОСТ 12.01.044–89, п. 4.9)	465	545	515	535
Коэффициент дымообразова- ния, D_m , м ² /кг (ГОСТ 12.1.044- 89, п. 4.18):				
- при тлении	1307,5	965,0	1027,0	1174,0
- при горении	552,6	490,0	469,0	526,0
Максимальный процент поте- ри массы, W_{max} , % (по данным ТГ-анализа):				
- при тлении $T_{max} = 400$ °С	46,0	38,7	36,4	33,2
- при горении $T_{max} = 600$ °С	73,8	62,9	56,5	57,1
Показатель токсичности про- дуктов горения, H_{CL50} , г/м ³ (ГОСТ 12.1.044-89, п. 4.20)				
при 450 °С	65,5	82,5	105,6	–
при 750 °С	86,1	108,6	128,3	–
Индекс потенциальной опас- ности РНІ				
- при тлении	3817	1069	759	–
- при горении	1313	447	295	–

Из представленных данных видно, что, как и ожидалось, при введении в эпоксиполимер МАФ и SP-пск снижается коэффициент дымообразования при тлении почти на 280-340 м²/кг и на 83,6 м²/кг при горении для композиции ЭП:МАФ+SP-пск по сравнению с горючим аналогом ЭП.

Для всех наполненных антипиренами эпоксиполимеров снижается нижняя теплота сгорания приблизительно в 1,2 раза, уменьшается температура воспламенения на 50-80 °С по сравнению с ЭП, при этом величина кислородного индекса увеличивается до 28-31%.

Наблюдаемое снижение индекса потенциальной опасности для эпоксиполимера, наполненного одновременно МАФ и ко-интеркалированным графитом, в 5 раз при тлении и в 4,5 раза при горении по сравнению с ненаполненным эпоксиполимером, а также в 1,4 раза при тлении и в 1,5 раз при горении по сравнению с наполненным только МАФ эпоксиполимером, видимо, связано с совместным содержанием в его полимерной матрице КСГ, содержащего фосфор, и фосфорсодержащего антипирена - МАФ.

Таким образом, при наборе соответствующих статистических данных по различным полимерным материалам и определив индекс потенциальной опасности можно производить оценку влияния антипиренов на пожароопасность материала.

Выводы. 1. Показано, что антипирены моноаммонийфосфат и ко-интеркалированный графит в отдельности практически не влияют на показатель токсичности продуктов горения эпоксиполимеров.

2. Установлено, что при совместном использовании моноаммонийфосфата и ко-интеркалированного графита индекс потенциальной опасности исходного эпоксиполимерного материала снижается в 4,5-5 раз и этот эффект достигается за счет снижения показателя токсичности продуктов горения (в 1,5 раза), коэффициента дымообразования при горении (с 552 м²/кг до 469 м²/кг), теплоты сгорания (в 1,2 раза) и повышения величины кислородного индекса (с 19% до 31%).

ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлева Р.А. Изучение пожарной опасности эпоксиполимерных материалов пониженной горючести для защиты строительных конструкций и электротехнических изделий / Р.А. Яковлева, И.А. Харченко, А.В. Довбыш // Вісник КНУТД. – Київ: 2003 – № 1. – С. 127-130.

2. Яковлева Р.А. Влияние ингибиторов горения на пожарную опасность эпоксиполимеров / Р.А. Яковлева, О.М. Семкив, О.Д. Гудович // Вісник КНУТД. – Київ: 2002 – № 2. – С. 180-182.

3. Яковлева Р.А. Влияние коинтеркалированных соединений графита на показатели огнезащитных свойств вспучивающихся огне-

защитных композицій / Р.А. Яковлева, Е.Ю. Спирина, Ю.В. Попов, Н.В. Саенко, Р.А. Быков. // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, – 2010. – Вип. 59. – С. 259-263.

4. ТУ У 13481691.01-97. Огнезащитное покрытие «Эндотерм ХТ 150».

5. ГОСТ 12.1.044-89. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. Введ. 01.01.1991. – М.: Изд-во стандартов. – 1990. – 146с.

6. Яковлева Р.А. Оценка пожарной опасности и токсичности эпоксиполимеров пониженной горючести / Р.А. Яковлева, В.В. Нехаев, Н.А. Харченко, Ю.В. Попов, Н.В. Дмитриева // Тезисы докладов V Междунар. конф. «Полимерные материалы пониженной горючести». – Волгоград. – 1-2 октября 2003 г. – С. 77 – 78.

7. Шафран Л.М. Аналітичні дослідження методів визначення токсичності продуктів горіння речовин та матеріалів. / Л.М. Шафран, О.Д. Гудович, І.О. Харченко, В.П. Бут // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2004, №1 (9). – С. 38 – 54.

8. Яковлева Р.А. Влияние интеркалированных и коинтеркалированных соединений графита на стойкость к термоокислительной деструкции эпоксиполимерных композиционных материалов / Р.А. Яковлева, Е.Ю. Спирина, Ю.В. Попов, А.В. Кондратенко, В.З. Барсуков, В.Г. Хоменко // Вісник КНУТД. Зб. наук. Праць. – 2010. - №5 – Т. 3. – С. 253-263.

Яковлева Р.А., Спирина-Смілка О.Ю., Саенко Н.В., Попов Ю.В., Новак С.В., Коваленко В.В., Гудович О.Д., Шафран Л.М.

Вплив антипіренів на показники пожежної небезпеки епоксиполімерних матеріалів

Досліджено вплив різних антипіренів на показники пожежної небезпеки епоксиполімерів. Показано, що використання моноамонійфосфату разом із коінтеркальованими сполуками графіту знижує в 4-4,5 рази індекс потенційної небезпеки при тлінні та горінні епоксиполімерних матеріалів.

Ключові слова: антипірени, епоксиполімери, пожежна небезпека, токсичність продуктів горіння, коефіцієнт димоутворення, моноамонійфосфат, коінтеркальовані сполуки графіту.

Jakovleva R., Spirina-Smilka E., Sajenko N., Popov Yu., Novak S., Kovalenko V., Gudovich O., Shafran L.

Influence of fire-retardants on fire danger indicators of epoxy polymer materials.

Influence of various fire-retardants on fire danger indicators of epoxy polymers is investigated. It is shown, that use of ammophos together with co-intercalation graphite compounds reduce in 4,5-5 times Potential High Index at smoldering and burning of epoxy polymer materials.

Keywords: fire-retardants, epoxy polymers, fire danger, toxicity of combustion products, factor of smoke formation, ammophos, co-intercalation graphite compounds.

СОДЕРЖАНИЕ

Ю.А. Абрамов, В.И. Кривцова, В.Г. Борисенко, О.П. Алексеев Номограммы для оценки временных характеристик тушения пожаров класса в распыленной водой	3
В.А. Андронов, С.О. Рибка Дослідження вогнезахисних властивостей реактивних покриттів для металевих конструкцій з урахуванням температурних режимів реальних пожеж	8
П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко, Ю.И. Калябин К вопросу масштабного моделирования разупрочнения стеклопластика на начальной стадии пожара	18
П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко, В.К. Мунтян Кислотные катализаторы отверждения эпоксидов и их модифицирующее действие на сетчатый полимер в условиях пожара	23
В.М. Быков, В.М. Комяк, В.К. Мунтян, В.Н. Акулов Обоснование возможности использования радиотеплолокатора для выявления радиотеплоконтрастных участков ландшафта в процессе ликвидации лесного пожара ситуаций	32
О.В. Васильченко, М.М. Стець Оцінка впливу вітру та перевантаження на безпеку застосування тросових технічних засобів рятування людей з висотної будівлі	41
И.Н. Грицына, С.А. Виноградов Исследование зависимости скорости истечения высокоскоростной струи от параметров импульсного водомета	46
В.А. Гузенко, Ю.М. Сенчихин, С.Ю. Руденко Удосконалення методу гасіння лісових пожеж направленим вибухом за рахунок використання особливостей форми ударних вибухових хвиль	50
А.Я. Калиновский, А.П. Созник, Л.Н. Куценко Модель распространения ландшафтного пожара с учетом изменения влажности горючего материала	55
А.А. Киреев, К.В. Жерноклёв, Л.Н. Куценко Оценка времени тушения пожаров класса «а» гелеобразующими составами. учёт возможности повторного воспламенения	60
А.А. Киреев, А.Д. Кириченко Исследование поведения терморасширяющихся компонентов при термическом воздействии	66
А.А. Киреев, А.Н. Коленов, Исследование кинетики разрушения пен	70
В.Ф. Клепиков, Е.М. Прохоренко А.М. Баранов, А.І. Морозов, Применение метода тепловизионного контроля при противопожарном обследовании оборудования тепловых электростанций	75
Ю.П. Ключка, В.И. Кривцова, В.Г. Борисенко Определение характеристик истечения газообразного водорода из баллона	84
Н.І. Коровникова, В.В. Олійник, Ю.Ю. Рипало, С.П. Звірков Зниження горючості волокнистих матеріалів	92
О.В. Кулаков Пожежна небезпека великих перехідних опорів між елементами системи блискавкозахисту	98
М.В. Кустов, В.Д. Калугин, В.В. Коврегин Влияние климатических факторов на процессы развития и прекращения крупных пожаров на открытой местности	102
А.А. Лісняк, І.Г. Дерев'янюк Гасіння горючих рідин методом охолодження	110

А.Н. Литвяк, В.А. Дуреев Выбор оптимальной скорости течения газа в трубах с потерями	116
Ю.В. Луценко, Е.А. Яровой Повышение пожарной безопасности при эксплуатации установок термической подготовки угольной шихты к коксованию	119
В.В. Мамаев К определению уровня пожарной опасности подземных объектов угольных шахт	123
А.А. Михайлюк Выбор сил и средств для охлаждения горящего резервуара	130
В.К. Мунтян, А.Г. Подгорный, Р.Г. Мелещенко Анализ технических возможностей пожарного самолета ан-32п по тушению ландшафтных пожаров в горной местности	136
С.В. Поздеев Верификация результатов уточненного расчетного метода определения пределов огнестойкости железобетонных конструкций	141
О.В. Савченко, А.А. Киреев, О.О. Островерх Визначення показника вогнегасної здатності оптимізованого кількісного складу гелеутворюючої системи $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95 \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ на стандартизованому модельному вогнищі пожежі	149
О.М. Семкив Анализ характеристик и параметров тепловых пожарных извещателей	156
М.М. Удяньский, А.Г. Кутявін Визначення часу заповнення димом безпечної зони приміщення з обмеженим повітрообміном при пожежі	161
К.Р. Умеренкова Моделирование фазовых диаграмм огнетушащих составов (на примере "аргонита")	166
А.А. Чернуха, Д.В. Олейник, Н.А. Бруев Оценка возможности использования огнезащитного покрытия на основе ксерогеля в условиях повышенной влажности среды	171
Р.А. Яковлева, Е.Ю. Спирина-Смилка, Н.В. Саенко, Ю.В. Попов, С.В. Новак, В.В. Коваленко, О.Д. Гудович, Л.М. Шафран Влияние антипиренов на показатели пожарной опасности эпоксиполимерных материалов	175

СПИСОК АВТОРОВ

Абрамов Ю.А.	3	Кутявін А.Г.	161
Акулов В.Н.	32	Куценко Л.Н.	55
Алексеев О.П.	3		60
Андронов В.А.	8	Литвяк А.Н.	116
Афанасенко К.А.	23	Лісняк А.А.	110
	18	Луценко Ю.В.	119
Баранов А.М.	75	Мамаев В.В.	123
Билым П.А.	18	Мелещенко Р.Г.	136
Билым П.А.	23	Михайлюк А.А.	130
Борисенко В.Г.	3	Михайлюк А.П.	18
	84		23
Бруев Н.А.	171	Морозов А.І.	75
Быков В.М.	32	Мунтян В.К.	23
Васильченко О.В.	41		32
Виноградов С.А.	46		136
Грицына И.Н.	46	Новак С.В.	175
Гудович О.Д.	175	Олейник Д.В.	171
Гузенко В.А.	50	Олійник В.В.	92
Дерев'янок І.Г.	110	Островець О.О.	149
Дуреев В.А.	116	Подгорный А.Г.	136
Жерноклёв К.В.	60	Поздеев С.В.	141
Звірко С.П.	92	Попов Ю.В.	175
Калиновский А.Я.	55	Прохоренко Е.М.	75
Калугин В.Д.	102	Рибка Є.О.	8
Калябин Ю.И.	18	Рипало Ю.Ю.	92
Киреев А.А.	60	Руденко С.Ю.	50
	70	Савченко О.В.	149
	149	Саенко Н.В.	175
	66	Семкив О.М.	156
Кириченко А.Д.	66	Сенчихин Ю.М.	50
Клепиков В.Ф.	75	Созник А.П.	55
Ключка Ю.П.	84	Спирина-Смилка Е.Ю.	175
Коваленко В.В.	175	Стець М.М.	41
Коврегин В.В.	102	Удянський М.М.	161
Коленов А.Н.	70	Умеренкова К.Р.	166
Комяк В.М.	32	Чернуха А.А.	171
Коровникова Н.І.	92	Шафран Л.М.	175
Кривцова В.И.	3	Яковлева Р.А.	175
Кривцова В.И.	84	Яровой Е.А.	119
Кулаков О.В.	98		
Кустов М.В.	102		

Научное издание

ПРОБЛЕМЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Выпуск 29

Ответственный за выпуск Ю.А. Абрамов

Технический редактор А.А. Михайлюк

Подписано в печать 27.04.2011

Уч.-изд. л. 12

Печ. л. 11,2

Формат бумаги 60x84/16.

Тир. 300

Зак. 189 – 2011

Цена договорная

61023, Харків, вул. Чернишевського, 94

Електронна адреса: <http://apbu.edu.ua/rus/>

Типографія Національного університету цивільного захисту України